

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE QUATRO PEQUENOS CORPOS
HIDRÁULICOS EM CASCATA EM ÉPOCAS DE SECA E CHUVA NO SEMIÁRIDO**

HELOÍSA RAQUEL FERREIRA AMORIM

Campina Grande
Data: JULHO/2010



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA EM RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE QUATRO PEQUENOS CORPOS
LÊNTICOS EM CASCATA EM ÉPOCAS DE SECA E CHUVA NO SEMIÁRIDO**

HELOÍSA RAQUEL FERREIRA AMORIM

CAMPINA GRANDE - PB

JULHO/2010

HELOÍSA RAQUEL FERREIRA AMORIM

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE QUATRO PEQUENOS CORPOS
LÊNTICOS EM CASCATA EM ÉPOCAS DE SECA E CHUVA NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária.

Orientadores: Prof^a. Dr^a. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos
Prof^a. Dr^a. Annemarie König

Área de Concentração: Engenharia Civil

Sub-área: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Campina Grande – PB

Julho de 2010



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

A524a

Amorim, Heloísa Raquel Ferreira.

Avaliação do comportamento de quatro pequenos corpos lênticos em cascata em épocas de seca e chuva no semiárido/ Heloísa Raquel Ferreira Amorim. — Campina Grande, 2010.

130f. : il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia em
Recursos Naturais.

Referências.

Orientadoras: Prof^a. Dr^a. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos, Prof^a.
Dr^a. Annemarie König.

1. Limnologia. 2. Hidrologia. 3. Cascata - Açudes. 4. Água -
Qualidade. 5. Semiárido. I. Título.

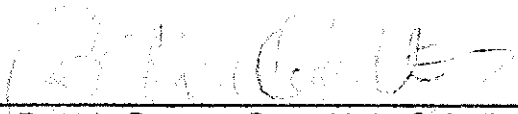
CDU – 556.55 (043)

HELOÍSA RAQUEL FERREIRA AMORIM

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE QUATRO PEQUENOS CORPOS
LÉNTICOS EM CASCATA EM ÉPOCAS DE SECA E CHUVA NO SEMIÁRIDO**

Dissertação aprovada em: 13 / 07 / 2010

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. Dr.^a. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos (orientadora)
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



Prof.^a. Dr.^a. Annemarie König (orientadora)
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa (examinador externo)
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB



Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão (examinador interno)
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Campina Grande - PB

Julho/2010

Agradecimentos

À Deus, luz da minha vida por guiar meus passos, que me acolhe nas dificuldades e me dá alegrias de viver ao redor de pessoas especiais que encontro no meu caminho.

À Profa. Beatriz Ceballos pela orientação na realização deste trabalho e no meu crescimento pessoal e profissional.

À Profa. Annemarie König pela colaboração neste trabalho.

Ao Prof. Carlos Galvão, coordenador no projeto CT - HIDRO BEER.

Aos meus familiares que acompanham a minha trajetória com apoio irrestrito; meus pais Ivanalda e José Paulo; irmãos Paulo, Daniela e Thiago e meu avô Paulo.

À turma do mestrado Riveka, Cristina, Flávia, Fábio, Joseneto e Rogério pela união e companheirismo que me deu a oportunidade de ajudar e ser ajudada durante o período do mestrado.

À Valmária e Cristina pela colaboração e amizade em todo tempo vivido no Bloco CV.

À turma do Laboratório de Saneamento:

Alaine, que sempre esteve disposta a me ajudar e passar os primeiros ensinamentos nas análises no laboratório. Pela amizade, sempre muito divertida e motivadora.

Suzana e Patrícia, companheiras de trabalho intenso no laboratório, mas bastante prazeroso, que se tornava animado com suas presenças.

Flavinha, Sara e Talita, pela força nas análises. Salomão, Iara, Silvana e Cinthia que também compartilharam os bons momentos no laboratório.

À Rosa, companheira das coletas em São João do Cariri, (valeu Rosinha!).

À Ismael que ajudou nas coletas e tornava as viagens sempre tão tranquilas e também divertidas com as conversas com Rosa. Alessandro, técnico da Bacia de São João do Cariri que sempre nos acompanhava à ida aos açudes.

Ao Prof. Juarez pela colaboração na estatística deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro

À Fernando, pela amizade e pelas palavras de motivação.

Com poucas palavras expresseo com enorme gratidão esses dois anos maravilhosos vividos na UFCG, agradecendo a oportunidade de continuar a aprender.

À todos àqueles que contribuíram diretamente e indiretamente para mais uma etapa vivida, que me fez aprender que em grupo podemos crescer e nos fortalecer diante os desafios da vida.

Muito Obrigada!

RESUMO

Os reservatórios de pequeno e médio porte têm grande importância na região semiárida para o abastecimento humano, lavagem de roupas, dessedentação dos rebanhos e irrigação de culturas, sendo pólos de atividades diversas das famílias rurais. A qualidade das águas acumuladas sofre influências das atividades antropogênicas desenvolvidas na bacia hidrográfica onde estão inseridos, das variações do clima (seca-chuva) e de fatores hidrológicos. Quando distribuídos em cascata, os açudes de montante poderão influenciar os situados à jusante. A Bacia Experimental de São João do Cariri, com 12 km², possui açudes em cascata e por ter essa pequena área pode ser modelo para estudos de previsão do comportamento de sistemas em escala maiores, tanto nos aspectos qualitativos como nos quantitativos. O presente trabalho objetivou estudar, em um sistema de açudes em cascata (Bola I, Roque, Bola III e Luiz Heleno) ao longo do rio Namorados, inserido na Bacia Experimental de São João do Cariri/PB, as influências de alguns fatores climáticos, em particular a precipitação pluviométrica e a evaporação, no comportamento qualitativo e quantitativo da água acumulada. O período de estudo se estendeu entre setembro de 2006 a março de 2009, realizando-se coletas mensais de amostras de água em um ponto central (zona limnética) dos açudes. Foram analisadas transparência, temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, N-amoniaco, nitrito, nitrato, fósforo total, ortofosfato, entre outras, biológicas (clorofila "a" e feofitina) e sanitárias (coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*). Dados de precipitação pluviométrica, de evaporação e de radiação solar foram fornecidos da estação meteorológica da Bacia Escola. Os resultados evidenciaram influência dos fatores climáticos, em especial da precipitação pluviométrica, que se concentra em poucos meses com alternância de veranicos e meses extremamente seco na maioria do ano, assim como a alta temperatura, a radiação solar intensa e a evaporação elevada, todos eles influenciando no volume de água acumulada. O volume dos açudes no momento da coleta foi determinante da qualidade da água, interferindo na transparência, na concentração ou diluição de íons e aumento ou decréscimo da salinidade e condutividade elétrica, dureza e nos teores de macronutrientes, entre outros. Coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* estiveram presentes nos quatro açudes, confirmando a contaminação fecal por animais homeotérmicos. Não foi possível verificar a influência interaçude pela inexistência de transbordamento dos mesmos na maior parte deste estudo e quando ocorreu (março de 2008), os córregos foram efêmeros, sem permitir a coleta de amostras. Diversos índices de estado trófico caracterizaram os quatro açudes como eutróficos devido aos altos valores de fósforo total. Esse parâmetro incluiu os quatro açudes na classe 3 da Resolução CONAMA 357/2005, o que estabelece sua adequabilidade para abastecimento doméstico após tratamento convencional ou avançado, para irrigação de culturas que não serão consumidas cruas e, para dessedentação de animais.

Palavras-chave: açudes em cascata, qualidade da água, semiárido

ABSTRACT

Small and medium size reservoirs have great importance in semiarid region for human supply, clothes washing, livestock watering and crops irrigation being important place for human activities in rural households. The quality of the accumulated water is influenced by anthropogenic activities developed in the water basin, climatic variations in climate (drought-rainfall) and hydrological factors. When distributed cascade, the upstream dams will affect those located downstream. The Experimental Basin of São João do Cariri – Paraíba State – Brazil, with 12 km², with their nested small reservoirs and due to its small area can be used as model for larger scale studies of behavior prediction systems, both in qualitative and in quantitative terms. In this context this work aimed the study of climate factors, particularly rainfall and evaporation and its influence in some qualitative and quantitative variables of the accumulated water. The study was carried out in a nested system of small dams (Bola I, Roque, Bola III and Luiz Heleno) along the Namorado river situated in the Experimental Basin of São João do Cariri, from September 2006 to March 2009, with monthly water sampling in a central point – the limnetic zone. The water quality variables analyzed were transparency, temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen, N-ammonia-, nitrite, nitrate, total phosphorus, orthophosphate, among others, biological chlorophyll *a* and phaeophytin and fecal coliform and *Escherichia coli*. Data from rainfall, evaporation and solar radiation were provided by staff of the Experimental Basin Meteorological Station. The results showed strong influence of climatic factors particularly the rainfall. In semiarid regions rain is concentrated in a few months (2 to 3) and sometimes alternating with dry spells but most of the year is extremely dry with no rain. The high air temperatures, intense solar radiation and evaporation have high influence on the volume of accumulated water. The dam volume at the time of water sampling was a important variable for water quality due to the influence on transparency, ions concentration or dilution, increase or decrease in salinity, electrical conductivity, hardness and macro nutrients levels, among others. Fecal coliforms and *Escherichia coli* were present in four dams confirming the faecal contamination by homeothermic animals. This research did not show the inter-dam influence due to the absent of water flow during the rainy season and when occurred in March 2008, the streams were ephemeral, not allowing water sampling. Various trophic state indexes classified the four dams as eutrophic due to high values of total phosphorus. This parameter also classified them as Class 3 in the CONAMA Resolution 357/2004, which establishes its suitability for domestic supply after conventional or advanced treatment, for crops irrigation those not consumed raw and for watering live stock .

Keywords: nested dams, water quality, semiarid

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Principais açudes monitorados pela AESA e a sua capacidade máxima.....	26
Tabela 2.	Classificação dos corpos aquáticos segundo CONAMA 357/05.....	37
Tabela 3.	Dados morfométricos dos açudes localizados na bacia experimental de São João do Cariri/PB.....	41
Tabela 4.	Pontos de coleta dos reservatórios estudados na bacia experimental de São João do Cariri/PB.....	42
Tabela 5.	Relação dos parâmetros analisados no monitoramento dos açudes Bola I, Luiz Heleno, Roque e Bola III localizados em São João do Cariri.....	43
Tabela 6.	Valores limites para a classificação trófica dos corpos aquáticos segundo diversos autores.....	45
Tabela 7.	Precipitação pluviométrica nos postos instalados nos açudes Bola I (PA3*), Roque, Bola III e Luiz Heleno (2006-2009), na Bacia Experimental de São João do Cariri/PB e a média histórica de 21 anos (1986-2007).....	48
Tabela 8.	Valores da temperatura do ar (°C), obtidos na Estação Meteorológica instalada na Bacia Experimental de São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.....	50
Tabela 9.	Valores de radiação global (W/m^2) obtidas na Estação Meteorológica instalada na Bacia Experimental de São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.....	50
Tabela 10.	Valores da umidade relativa do ar (%) obtidos na Estação Meteorológica instalada na Bacia Experimental de São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.....	51
Tabela 11.	Evaporação mensal medida em Tanque Classe A (TCA - mm) obtidos na Estação Meteorológica instalada na Bacia Experimental de São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.....	51
Tabela 12.	Classificação trófica dos açudes Bola I e Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com o nível de trofia de Vollenweider (1981).....	93
Tabela 13.	Classificação trófica dos açudes Roque e Bola III (São João do Cariri/PB), de acordo com o nível de trofia de Vollenweider (1981).....	94
Tabela 14.	Classificação trófica os açudes Bola I e Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com o nível de trofia de Dobson (1981).....	95
Tabela 15.	Classificação trófica dos açudes Bola III e Roque (São João do Cariri/PB), de acordo com o nível de trofia de Dobson (1981).....	96
Tabela 16.	Classificação trófica dos açudes Bola I e Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET de Carlson (1977) modificado por Kratzer & Brezonik (1981).....	97

Tabela 17. Classificação trófica dos açudes Bola III e Roque (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET de Carlson (1977) modificado por Kratzer & Brezoni (1981).....	98
Tabela 18. Classificação trófica dos açudes Bola I e Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET de Rosich <i>et al.</i> , (1981).	99
Tabela 19. Classificação trófica dos açudes Bola III e Roque (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET de Rosich <i>et al.</i> , (1981)	100
Tabela 20. Classificação trófica dos açudes Bola I e Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET da OECD (1988).....	101
Tabela 21. Classificação trófica dos açudes Bola III Roque (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET da OECD (1988).....	102
Tabela 22. Classificação trófica do açude Bola I (São João do Cariri/PB), de acordo com IET Carlson (1977) modificado por Toledo Jr <i>et al.</i> , (1983).....	103
Tabela 23. Classificação trófica do açude Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com IET Carlson (1977) modificado por Toledo Jr <i>et al.</i> , (1983).....	104
Tabela 24. Classificação trófica do açude Bola III (São João do Cariri/PB), de acordo com IET Carlson (1977) modificado por Toledo Jr <i>et al.</i> , (1983).....	105
Tabela 25. Classificação trófica do açude Roque (São João do Cariri/PB), de acordo com IET Carlson (1977) modificado por Toledo Jr <i>et al.</i> , (1983).....	106
Tabela 26. Classificação do estado trófico dos açudes em cascata de acordo com vários autores.....	107
Tabela 27. Classificação segundo o CONAMA 357/2005 dos açudes em cascata no período de setembro de 2006 a dezembro de 2007	111
Tabela 28. Classificação segundo o CONAMA 357/2005 dos açudes em cascata no período de março de 2008 a março de 2009	112
Tabela 29. Correlação de postos de Sperman do açude Bola I (São João do Cariri/PB), com 5% de significância.	115
Tabela 30. Correlação de postos de Sperman do açude Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), com 5% de significância.	116
Tabela 31. Correlação de postos de Sperman do açude Bola III (São João do Cariri/PB), com 5% de significância.	117
Tabela 32. Correlação de postos de Sperman do açude Roque (São João do Cariri/PB), com 5% de significância.	118
Tabela 33. Teste de normalidade para o açude Bola I (São João do Cariri/PB)...	130
Tabela 34. Estatística descritiva dos açudes em cascata em São João do Cariri/PB no período de setembro de 2006 a março de 2009	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Região do Cariri Paraibano, Bacia do Açude Boqueirão e Bacia do rio Taperoá.....	40
Figura 2.	Localizados dos açudes na bacia do riacho Namorados/PB e suas respectivas sub-bacias.	41
Figura 3.	Variação dos valores de evaporação e precipitação mensal obtidos na Estação Meteorológica instalada na Bacia Experimental de São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.....	52
Figura 4.	Variação mensal dos volumes acumulados nos açudes Bola I e Luiz Heleno, localizados em São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.....	53
Figura 5.	Variação mensal da temperatura do açude Bola I, localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	54
Figura 6.	Variação mensal da temperatura do açude Luiz Heleno, localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	54
Figura 7.	Variação mensal da temperatura do açude Bola III, localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	55
Figura 8.	Variação mensal da temperatura do açude Roque, localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	55
Figura 9.	Variação mensal da transparência da água, zona eufótica, profundidade e volume acumulado no açude Bola I, localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	56
Figura 10.	Variação mensal da transparência da água, zona eufótica, profundidade e volume acumulado no açude Luiz Heleno, localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	57
Figura 11.	Variação mensal da transparência da água, zona eufótica, no açude Bola III, localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	57
Figura 12.	Variação mensal da transparência da água, zona eufótica, no açude Roque, localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	57
Figura 13.	Variação mensal da condutividade elétrica da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	60
Figura 14.	Variação mensal da condutividade elétrica da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	61
Figura 15.	Variação mensal da condutividade elétrica da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	61

Figura 16.	Variação mensal da condutividade elétrica da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	61
Figura 17.	Variação mensal da alcalinidade da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	63
Figura 18.	Variação mensal da alcalinidade da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	64
Figura 19.	Variação mensal da alcalinidade da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	64
Figura 20.	Variação mensal da alcalinidade da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	64
Figura 21.	Variação mensal da dureza da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	65
Figura 22.	Variação mensal da dureza da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	66
Figura 23.	Variação mensal da dureza da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	66
Figura 24.	Variação mensal da dureza da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	66
Figura 25.	Variação mensal dos sólidos suspensos totais da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	67
Figura 26.	Variação mensal dos sólidos suspensos totais da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	67
Figura 27.	Variação mensal dos sólidos suspensos da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	68
Figura 28.	Variação mensal dos sólidos suspensos da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	68
Figura 29.	Variação mensal dos sólidos dissolvidos totais da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	69
Figura 30.	Variação mensal dos sólidos dissolvidos totais da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	69
Figura 31.	Variação mensal dos sólidos dissolvidos totais da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	69

Figura 32.	Variação mensal dos sólidos dissolvidos totais da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	70
Figura 33.	Variação mensal do pH da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	70
Figura 34.	Variação mensal do pH da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	71
Figura 35.	Variação mensal do pH da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	71
Figura 36.	Variação mensal do pH da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	71
Figura 37.	Variação mensal do oxigênio dissolvido na água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	72
Figura 38.	Variação mensal do oxigênio dissolvido na água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	73
Figura 39.	Variação mensal do oxigênio dissolvido na água no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	73
Figura 40.	Variação mensal do oxigênio dissolvido na água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	73
Figura 41.	Variação mensal do fósforo total no açude Bola I localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	75
Figura 42.	Variação mensal do fósforo total no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	75
Figura 43.	Variação mensal do fósforo total no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	76
Figura 44.	Variação mensal do fósforo total no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	76
Figura 45.	Variação mensal do ortofosfato solúvel no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	77
Figura 46.	Variação mensal do ortofosfato solúvel no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	77
Figura 47.	Variação mensal do ortofosfato solúvel no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	78
Figura 48.	Variação mensal do ortofosfato solúvel no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	78
Figura 49.	Variação mensal do nitrato no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	79

Figura 50. Variação mensal do nitrato no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	80
Figura 51. Variação mensal do nitrato no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	80
Figura 52. Variação mensal do nitrato no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	80
Figura 53. Variação mensal do nitrito no açude Bola I localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	81
Figura 54. Variação mensal do nitrito no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	81
Figura 55. Variação mensal do nitrito no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	82
Figura 56. Variação mensal do nitrito no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	82
Figura 57. Variação mensal do N-amoniaco no açude Bola I localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	83
Figura 58. Variação mensal do N-amoniaco no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	84
Figura 59. Variação mensal do N-amoniaco no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	84
Figura 60. Variação mensal do N-amoniaco no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	84
Figura 61. Variação mensal da clorofila <i>a</i> no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.....	85
Figura 62. Variação mensal da clorofila <i>a</i> no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	86
Figura 63. Variação mensal da clorofila <i>a</i> no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	86
Figura 64. Variação mensal da clorofila <i>a</i> no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	86
Figura 65. Variação mensal da feofitina no açude Bola I localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	87
Figura 66. Variação mensal da feofitina no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	88
Figura 67. Variação mensal da feofitina no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	88
Figura 68. Variação mensal da feofitina no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.....	88
Figura 69. Concentração de coliformes termotolerantes nos açudes Bola III, Roque, Bola I, Luiz Heleno localizados em São João do Cariri no período de junho de 2008 a março de 2009	90

Figura 70. Concentração de <i>Escherichia coli</i> nos açudes Bola III, Roque, Bola I, Luiz Heleno localizados em São João do Cariri no período de junho de 2008 a março de 2009	90
Figura 71. Classificação trófica do açude Bola I (São João do Cariri/PB), segundo de IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr <i>et al.</i> , (1983)	109
Figura 72. Classificação trófica do açude Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), segundo IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr <i>et al.</i> , (1983)	110
Figura 73. Classificação trófica do açude Bola III (São João do Cariri/PB), segundo IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr <i>et al.</i> , (1983)	110
Figura 74. Classificação trófica do açude Roque (São João do Cariri/PB), segundo o IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr <i>et al.</i> , (1983)	110

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

AESA	- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
Alc	- Alcalinidade
ANA	- Agência Nacional de Água
APHA	- American Public Health Association
CE	- Condutividade elétrica
CEPIS	- <i>Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente</i>
Clor a	- Clorofila a
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
IET	- Índice de Estado Trófico
IETm	- índice de estado trófico modificado por Toledo Jr <i>et al.</i> , (1983)
OD	- Oxigênio dissolvido
OECD	- Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento
P-orto	- Ortofosfato
P-total	- Fósforo total
SODIS	- Solar Water Desinfection
T	- Temperatura
Transp	- Transparência

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	22
2.1 Objetivos Específicos	22
3 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1 Caracterização do semiárido e açudagem	24
3.2 Reservatórios em cascata	31
3.3 Qualidade da Água.....	32
4. MATERIAIS MÉTODOS	40
4.1 Local de Estudo.....	40
4.1.1 Caracterização da Bacia.....	40
4.1.2 Caracterização dos Açudes.....	41
4.1.3 Definição dos Pontos de Amostragem	42
4.2 Período de Coleta, Metodologia e Análises Laboratoriais	42
4.2.1 Análises Laboratoriais	43
4.3 Tratamento Estatístico dos Dados.....	45
5. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
5.1 Caracterização dos Quatro Ambientes em Cascata.....	47
5.2 Avaliação da qualidade sanitária da água dos açudes em cascata.....	89
5.3 Evolução do estado de trófico dos açudes em cascata	91
5.4 Classificação da qualidade da água dos açudes sob estudo segundo a Resolução CONAMA 357/2005.....	111
5.5 Estudo de correlação da qualidade da água dos açudes em cascata na bacia de São João do Cariri/PB.....	112
6. CONCLUSÕES	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXOS	130

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O semi-árido brasileiro se caracteriza pelas precipitações pluviométricas irregulares durante o ano e pelas variações da intensidade e da frequência das chuvas ao longo dos anos. A construção de açudes de pequeno e médio porte para armazenar a água da chuva é uma alternativa para garantir as atividades humanas, principalmente o abastecimento das populações e dos rebanhos durante a estiagem (MOLLE e CADIER, 1992). Porém vários fatores interferem na quantidade e na qualidade das águas acumuladas durante as chuvas nesses corpos aquáticos, com destaque à evaporação intensiva da água. Segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), os ecossistemas aquáticos são dinâmicos e apresentam grande variabilidade no tempo e no espaço, sob influência de fatores climáticos, morfológicos e antropogênicos.

Em condições naturais a água sofre interferências do escoamento superficial, resultado das chuvas. O impacto das mesmas carrega partículas do solo, e a incorporação de sólidos em suspensão ou dissolvidos ocorre mesmo que a bacia hidrográfica esteja totalmente preservada em suas condições naturais. A interferência do homem e na forma em que usa e ocupa o solo de uma bacia hidrográfica tem implicação direta na qualidade da água e acelera a eutrofização (VON SPERLING, 2005). Vollenweider (1981) cita como fontes de eutrofização artificial os efluentes domésticos, industriais e agropastoris, por transportarem ou liberarem nutrientes, como compostos de fósforo e de nitrogênio. Os rios e córregos são as principais fontes de poluição pontual de nitrogênio e fósforo para muitos lagos e reservatórios (NOGUEIRA *et al.*, 2006).

Estudos de avaliação da evolução trófica de ambientes lênticos ao longo do ciclo hidrológico são importantes para conhecer o comportamento desses corpos hídricos sob condições de seca e de chuva, e tem relevância na detecção e predição dos seus processos de eutrofização, na busca de propostas de soluções que viabilizam o aumento da vida útil desses ecossistemas (ESTEVES, 1998, TUNDISI, 1999).

No Nordeste, a alternância entre estação úmida e a estação seca leva a uma sucessão de fenômenos de diluição e concentração de sais e nutrientes nas águas dos açudes (LARAQUE, 1986). Nas secas periódicas, os baixos volumes favorecem

a concentração dos nutrientes (fósforo e nitrogênio) e dos sais aumentando a condutividade elétrica e esses fatores constituem um cenário favorável ao desenvolvimento do fitoplâncton, com predominância, nos últimos anos, de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas, muitas delas letais ao homem e aos animais (CHORUS & BARTRAM, 1999); HUSZAR *et al.*, 2000; CARMICHAEL *et al.*, 2001;).

Em um sistema de açudes em cascata o transporte de nutrientes e componentes bióticos de montante para jusante influencia o comportamento desses corpos aquáticos (RODGER *et al.*, 2005). Estudos desenvolvidos por Nogueira *et al.*, (2006) mostram para alguns sistemas que essa disposição física pode resultar na melhora da qualidade da água, porque parte dos nutrientes e poluentes podem ficar retidos nos açudes de montante.

O Nordeste possui grande número de pequenos reservatórios, entretanto poucos são os estudos relacionados à qualidade de suas águas e à adequabilidade dessa qualidade com seus usos. Estudos de Diniz (1994) mostram que em geral estes apresentam-se eutrofizados durante o verão ou época seca e com contaminação fecal entre elevada e média, o qual impede seu uso para consumo humano.

A Bacia Experimental de São João do Cariri, com área de apenas 12 km², apresenta açudes em cascata e por possuir essa área pequena, pode servir de modelo para estudos de previsão do comportamento de sistemas em escala maiores, tanto nos aspectos qualitativos como nos quantitativos. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou estudar, em um sistema de açudes em cascata ao longo do rio Namorados, a influência de fatores ambientais na variação da qualidade da água, com destaque para a evolução dos níveis de eutrofização.

A qualidade de água de cada reservatório também irá depender da capacidade que cada um deles tem de influenciar o outro a jusante, sendo que o primeiro geralmente poderá ser mais eutrófico que os demais (MARGALEF, 1983). A influência de um reservatório para outro à jusante depende de suas características, se profundo e estratificado (efeitos pronunciados) ou um raso (efeitos menores) (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

A distância entre os reservatórios pode melhorar a qualidade da água daqueles a jusante, caso não exista entrada de poluição ao longo do trajeto do rio (MINILLO, 2005).

Segundo Tundisi & Straskraba (1999), nos reservatórios em cascata ocorre diminuição dos poluentes ao longo de sua seqüência espacial, pois o reservatório a montante funciona como um quimiostato, retendo parte dos poluentes e nutrientes e melhorando a qualidade das águas e sedimentos cascata abaixo.

A qualidade da água pode ser afetada pelas transferências hídricas que causa a disseminação de doenças transmissíveis através de água contaminada.

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Avaliar em açudes em cascata da Bacia Experimental do São João do Cariri/PB, a influência dos fatores ambientais na qualidade da água, observando no período de seca e de chuva as variações das propriedades físicas, químicas, biológicas e microbiológicas da água.

2.1 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar as condições limnológicas dos açudes em cascata da bacia piloto de São João do Cariri/PB mediante estudos de variáveis físicas, químicas e microbiológicas de cada corpo aquático e suas variações ao longo do ciclo hidrológico, em eventos de seca e de chuva.
2. Detectar fatores ambientais característicos do semi-árido nordestino (variações de precipitação pluviométrica, evaporação, temperatura) que influenciam nas alterações da qualidade da água e avaliar os efeitos do escoamento dos açudes em cascata na qualidade da água daqueles a jusante.
3. Avaliar a evolução trófica dos açudes em cascata comparando diferentes índices de eutrofização.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Caracterização do semiárido e açudagem

A região semiárida abrange 10% do território nacional. Diferencia-se das demais regiões do Brasil por ter como característica principal a irregularidade no regime de chuvas, a quantidade e distribuição desigual nas bacias hidrográficas e o período chuvoso restrito a poucos meses no ano. Localiza-se na zona central da região Nordeste, com pluviometria média entre 500 e 800 mm/ano, sendo a estação chuvosa curta, de 3 a 5 meses no ano, e o período de seca mais longo, se estendendo de 7 até 9 meses em anos normais (VIEIRA & GONDIM FILHO, 2006).

As características determinantes da região semiárida são o tipo de vegetação, formado pela caatinga, o embasamento cristalino encontrado em grandes áreas, solos rasos, evapotranspiração acima de 2.000 mm/ano, rios intermitentes, secas e cheias extremas (VIEIRA & GONDIM FILHO, 2006).

Os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo fazem parte de uma divisão regional dentro do semiárido brasileiro denominado Polígono das Secas, que é uma definição política para identificar áreas dentro da isoietas de 800 mm/ano de precipitação pluviométrica que tem como enfoque as áreas sociais e economicamente atingidas pelas adversidades do clima (VIEIRA & GONDIM FILHO, 2006). Os prejuízos acarretados pela estiagem prolongada estão associados à perda da produção agrícola que gera impactos sociais e econômicos nas comunidades rurais. (VIEIRA & GONDIM FILHO, 2006).

A necessidade de água para o desenvolvimento humano surgiu desde o início da vida e aumentou com o desenvolvimento das civilizações. Com a revolução industrial, houve a necessidade de construir um crescente número de barragens pela maior demanda por água (MORAIS *et al.*, 2007).

Devido à disponibilidade irregular de água na região do semiárido, uma das soluções encontradas foi a construção de reservatórios, para garantir oferta de água para a população mesmo no período de estiagem, até a chegada do próximo período de chuva.

A construção de açudes no Nordeste brasileiro teve início na época do Império, com a construção do açude de Cedro no estado do Ceará (MOLLE & CADIER, 1992). Devido às secas prolongadas que ocorrem periodicamente, com períodos de estiagem datados na história aproximadamente cada 10 anos, e unido ao crescimento demográfico, a construção de açudes foi uma alternativa entre as soluções buscadas para resolver pelo menos em parte o problema da escassez hídrica, armazenando a água no período chuvoso para consumo no período de estiagem (VIEIRA & GONDIM FILHO, 2006).

A presença do embasamento cristalino favoreceu a construção de açudes na região semiárida, onde foi estimado em mais de 70.000 o número desses reservatórios de pequeno porte já em 1992 (MOLLE E CADIER, 1992). A formação cristalina do semiárido nordestino é geralmente imprópria para a exploração de recursos hídricos subterrâneos, entretanto permite um bom armazenamento do escoamento superficial de águas e nessas áreas se construíram pequenos, médios e grandes barragens (LARAQUE, 1989). Garcez & Alvarez, (2006) observam que nessa região, onde não ocorre grande infiltração, o armazenamento em açudes das águas de chuvas é a fonte principal de abastecimento e os reservatórios representam uma das maiores riquezas naturais regionais.

Em relação aos pequenos açudes, estes também desempenham importante função, em especial para os habitantes dispersos do semiárido brasileiro. Segundo Molle & Cadier (1992), os pequenos e médios açudes, são antes de tudo reservatórios usados como fonte de suprimento d' água em torno da qual convergem diversas atividades das comunidades rurais: abastecimento doméstico, recreação, agricultura familiar, dessedentação animal. Os mesmos autores citam que os pequenos açudes tiveram no início de sua construção a finalidade de irrigação e evoluíram para os usos múltiplos, que proporcionam diversos benefícios às comunidades rurais como emprego e renda associados à agricultura, pesca e, em conseqüência, trouxeram algum desenvolvimento econômico regional. TUNDISI E MATSUMURA-TUNDISI (2008) citam que os serviços que prestam os pequenos açudes são diversificados e importantes bases sociais e econômicas para o ecossistema regional.

Além da preocupação com a quantidade de água fornecida à população, o gerenciamento, o controle e a fiscalização da qualidade dos recursos hídricos fez-se necessário para garantir seu uso sem riscos à saúde.

A lei das Águas (Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997), criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos que promove articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regional e estadual. Os órgãos relacionados com a gestão de recursos hídricos são: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Água, os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, os Comitês de Bacias Hidrográficas, os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, municipais e do Distrito Federal.

Quanto aos órgãos gestores, a ANA (Agência Nacional de Água), vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, tem como missão regular e disciplinar a utilização dos rios e lagos de domínio da União, assegurando água em quantidade e qualidade para usos múltiplos, supervisionar as atividades para cumprimento da legislação hídrica e apoio aos estados na criação de órgãos gestores públicos (REBOUÇAS, 2006). As Agências Estaduais de Água são órgãos executivos que atuam junto à secretaria executiva dos comitês de bacia e deverão encaminhar todos os dados técnicos à discussão sobre o planejamento e a gestão dos usos naquelas bacias hidrográficas.

A AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) está vinculada à Secretaria do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Ciência e Tecnologia, e tem como objetivo gerenciar os recursos hídricos subterrâneos e superficiais de domínio do estado da Paraíba. A agência monitora 123 açudes em todo o estado particularmente aqueles destinados para o abastecimento humano. Os oito principais açudes com maiores volumes são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Principais açudes monitorados pela AESA e a sua capacidade máxima.

Município	Açude	Capacidade máxima (m ³)
Itatuba	Argemiro de Figueiredo - Acauã	253.000.000
Santa Terezinha	Capoeira	53.450.000
Coremas	Coremas/Mãe D'água	1.358.000.000
Cajazeiras	Engenheiro Ávidos	255.000.000
Boqueirão	Epitácio Pessoa Boqueirão	411.686.287
Conde	Gramame/Mamuaba	56.937.000
Cajazeiras	Lagoa do Arroz	80.220.750
Souza	São Gonçalo	44.600.000

Fonte: AESA (2009)

Além dos grandes açudes destinados ao abastecimento humano, os pequenos açudes foram construídos para suprir as necessidades de oferta de água para sobrevivência das comunidades dispersas no semiárido e presentes em propriedades rurais.

As características da qualidade da água derivam dos ambientes naturais e antrópicos onde se originam, circulam ou ficam armazenadas (REBOUÇAS, 2006). A alteração do ambiente terrestre pelas atividades antrópicas interfere de modo significativo no ciclo hidrológico causando problemas para o ambiente aquático. Os processos de desmatamento e degradação afetam diretamente a cobertura do solo, ocasionando a diminuição da infiltração da água e o aumento do escoamento superficial, onde partículas do solo são carregadas para o reservatório o que causa o assoreamento e a contaminação da água (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI; TUNDISI, 2008).

As altas temperaturas na região semiárida durante todo o ano é um fator importante para a disponibilidade de volume de água em um reservatório por ter relação direta com a evaporação. Aumento de temperatura influi favoravelmente na intensidade de evaporação juntamente com o vento por afastar as massas de ar de elevado grau de umidade (GARCEZ & ALVAREZ, 2006). A alta evaporação (média de 2.000 mm/ano), por exemplo, concentra nutrientes e sais que se expressam na alta salinidade e rápida eutrofização que caracterizam a maioria destes corpos de água (GUIMARÃES, 2006; GUIMARÃES *et al.*, 2005).

A evaporação é uma variável crítica dentro do balanço hídrico de regiões semiáridas, chegando a representar 92% do volume precipitado anual médio (FONTES *et al.*, 2003). Muitos lagos de regiões áridas não possuem um escoamento externo, perdem água somente por evaporação e se tornam ricos em sódio, cloretos e outros íons (TOWNSEND; BEGO; HARPER, 2006).

De acordo com Wetzel (1993), toda água que entra pela precipitação pluviométrica e pelos afluentes superficiais sai por infiltração e evapotranspiração e está sujeita a variação sazonal e geográfica e também depende das características da bacia. A entrada de água por poluição difusa também é um aporte importante, tanto quantitativo como qualitativo (GUIMARÃES *et al.*, 2007). O relevo de uma bacia hidrográfica influencia os fatores meteorológicos e hidrológicos. Segundo

Villela & Mattos (1995) a declividade dos terrenos de uma bacia controla a velocidade do escoamento superficial, afetando o tempo de duração para que haja concentração da água de chuva na rede de drenagem das bacias.

De importância fundamental no funcionamento de reservatórios e nas suas características físicas, químicas e biológicas são o tipo de construção, o tempo de retenção, o período de enchimento e os impactos dos usos múltiplos na qualidade da água desses ecossistemas (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

As principais características dos reservatórios que tem relações chuva/reservatório são a área, o volume, características morfométricas. Os reservatórios com muitos compartimentos são mais sujeitos aos impactos, pois com tempo de retenção menor possibilita uma melhor qualidade da água do reservatório, pela renovação da água (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

A morfometria dos reservatórios influencia na dinâmica do corpo aquático. A área do espelho de água se dendrítico ou não, é importante, pois ao longo dos compartimentos do reservatório ocorre baixa circulação de água e acúmulo de material orgânico. A profundidade do reservatório tem uma forte influência sobre a qualidade da água, juntamente com a intensidade dos ventos na região podendo proporcionar a mistura dentro dele (WETZEL, 1993).

Segundo Odum (1988), um lago é um sistema aberto e o seu funcionamento e estabilidade relativa ao longo dos anos é determinada pelas taxas de influxo e efluxo de água e por materiais e organismos oriundos de outras áreas da bacia. O estado em que se encontra um reservatório é resultado da interação com todo ambiente onde está inserido.

Informações sobre clima, vegetação, fauna e flora e atividades humanas são úteis para muitos processos ecológicos na região semiárida brasileira (MALTCHIK e FLORIN, 2002). A pequena variação climática, assim como as longas estiagens recorrentes no Nordeste brasileiro, proporciona oportunidade para examinar as respostas do reservatório ao clima em relação às mudanças limnológicas físicas e químicas (BOUVY *et al.*, 2003). Na região tropical as quatro estações do ano não são bem definidas como ocorre nos países temperados existindo apenas a predominância de dois períodos evidentes no semiárido, o período chuvoso ou "inverno" e a estiagem ou "verão". Segundo alguns autores (LUCCA; ALBUQUERQUE; ROCHA, 2008) os lagos próximos à linha do Equador são pontos

de estudo interessantes para aspectos limnológicos, porque são usualmente considerados ambientes constantes pela ausência de sazonalidade clássica, entretanto um forte período chuvoso pode produzir alterações na massa de água que afeta sua biota.

As características físicas, químicas e biológicas das águas naturais decorrem de uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico e na bacia hidrográfica em consequência da capacidade de dissolução de uma ampla gama de substâncias (LIBÂNIO, 2008). Alguns trabalhos realizados no açude Argemiro de Figueiredo – Acauã – Itatuba (PB), relatam que naquele reservatório é bastante nítida a influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água, pois sua localização, no final de um conjunto de açudes em cascata ao longo da bacia nas partes alta e média do rio Paraíba faz dele um ecossistema receptor e processador de águas carregadas de detritos lançadas ao ambiente (LINS, 2006; CARVALHAL-LUNA, 2008). Segundo Henry (1999), os reservatórios são parte de uma bacia hidrográfica e, como tal detectam todos os efeitos das atividades antropogênicas que nela ocorre, assim como as influências das variações no clima e na geologia.

A agricultura na bacia hidrográfica pode acelerar o processo de eutrofização quando os fertilizantes utilizados (químicos e/ou orgânicos) são carregados para o reservatório durante o período chuvoso pelo escoamento superficial. O uso inadequado do solo promove erosão, bem como o lançamento de dejetos humanos em toda a área da bacia afetam sobremaneira a qualidade da água.

A aceleração da eutrofização é essencialmente causada por três elementos básicos que estão interligados com as mudanças demográficas: o rápido crescimento populacional (urbanização) que produz esgotos e lixo que vão diretamente para corpos aquáticos, o lançamento de esgoto industrial, a agricultura intensiva com uso de fertilizantes químicos e a erosão (VOLLENWEIDER, 1981).

A eutrofização cultural causada pelo estabelecimento de atividades humanas nas bacias de drenagens, fato que tem incrementado descargas de nutrientes nos corpos aquáticos tem como consequência mudanças nas características tróficas (BARBOSA *et al.*, 2006). A entrada de grande quantidade de matéria orgânica, nutrientes e poluentes industriais tem sido responsável pela rápida eutrofização e degradação ecológica em vários reservatórios brasileiros (TORRES *et al.*, 2007). A eutrofização pode trazer sérios impactos para a qualidade da água, como floração

algal, déficit de oxigênio, mau odor e crescimento excessivo de macrófitas (VON SPERLING *et al.*, 2008).

Florações de cianobactérias em reservatórios resultam na perda da qualidade da água e em efeitos negativos para a saúde humana (PANOSSO *et al.*, 2007). A relação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, o uso e ocupação da bacia hidrográfica e a climatologia influenciam a qualidade de água do sistema assim como a ocorrência de cianobactérias (LEITE, 1998; PACHECO, 2009; GOMES, 2008)

Estudos de avaliação trófica em sistemas aquáticos têm como relevância a detecção e predição de seus processos de eutrofização e busca de propostas de soluções que viabilizem o aumento da vida útil desses ecossistemas (TUNDISI; GENTIL & DIRICKSON, 1999).

A classificação do grau de trofia de lagos em oligotrófico, mesotrófico e eutrófico utiliza variáveis indicadoras como biomassa algal expressa pela clorofila *a*, fósforo total e transparência. Entre os principais métodos propostos para calcular o índice de estado trófico, o de Carlson (1977) tem sido o mais utilizado, aplicando com as variáveis fósforo total, clorofila-*a* e transparência de Secchi (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008). O IET de Carlson modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983), acrescenta a variável fósforo reativo solúvel. Para a classificação dos corpos aquáticos de acordo com o grau de trofia alguns limites foram estabelecidos de acordo com vários autores: Vollenweider (1968) *apud* Esteves (1988), IET de Carlson modificado por Kratzer & Brezonik (1981), Dobson (1981), Rosch *et al.*, (1981) IET de Carlson modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983), os valores propostos por e os da OECD (1988), e o IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983).

Para o diagnóstico de eutrofização o índice de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr *et al.* (1983) tem sido muito utilizado, mas apresenta problemas na sua aplicação em função da rápida erosão em regiões tropicais, acelerada pelas práticas agrícolas que resultam em elevada turbidez nos sistemas aquáticos (BARBOSA, 1992). A análise da transparência da água auxilia de forma significativa a determinação da eutrofização, mas a turbidez nesses casos não é gerada pela grande quantidade de fitoplâncton, mas de água com quantidade elevada de material dissolvido ou em suspensão como argila/silte.

3.2 Reservatórios em Cascata

De acordo com Straskraba e Tundisi (1999), o sistema de cascata caracteriza-se pelo fato de que os efeitos em um reservatório a montante podem ser transferidos para os demais, localizados a jusante. Também pode acontecer que os açudes de montante atenuem os efeitos por eles recebidos sobre os de jusante, por exemplo, por redução por sedimentação dos sólidos totais se o tempo de detenção hidráulica for elevado (NOGUEIRA, *et al.*, 2006).

Dessa forma, a qualidade de água de cada reservatório irá depender da capacidade que cada um deles tem de influenciar no de jusante, sendo que o primeiro poderá ser mais eutrófico que os demais (MARGALEF, 1983). A influência de um reservatório para outro a jusante depende de suas características, se é profundo e estratificado (efeitos pronunciados) ou se é raso (efeitos menores) (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008). MINILLO (2005) considera que a distância entre os reservatórios pode melhorar a qualidade da água daqueles a jusante, caso não existam entradas poluidoras ao longo do trajeto do rio.

Segundo Tundisi & Straskraba (1999), nos reservatórios em cascata ocorre diminuição dos poluentes ao longo de sua seqüência espacial, pois o reservatório a montante funciona como um quimiostato, retendo parte dos poluentes e nutrientes e melhorando a qualidade das águas e sedimentos cascata abaixo. Entretanto, a qualidade da água dos açudes de jusante pode ser afetada pelas transferências hídricas, que dependem de variáveis diversas dos açudes de montante, algumas já citadas como o tempo de detenção hidráulica e de outras, como a velocidade dos ventos, a profundidade da coluna de água, a capacidade de estratificação e mistura da água, etc. e podem ser causa de disseminação de doenças transmissíveis através de água contaminada.

Numerosos reservatórios consecutivos geram grupos de represas que recebem e acumulam matéria orgânica e inorgânica dos sistemas adjacentes, como por exemplo, o sistema do rio Tietê no estado de São Paulo. A construção em série de reservatórios nesse caso foi para exploração do potencial hidrelétrico (RODGHER *et al.*, 2005). As características físicas, químicas e biológicas em reservatórios em cascata têm sido relatadas em vários trabalhos (SILVA, 2008; NOGUEIRA *et al.*, 2005; JORCIN & NOGUEIRA, 2005) como também foram feitas

pesquisas isoladas nos reservatórios que foram construídos ao longo da cascata no rio Tietê (NOGUEIRA, 2000; HENRY, 2005; BICUDO *et al.*, 2005).

3.3 Qualidade da Água

Os reservatórios são utilizados para diversos fins, desta forma é necessário à determinação contínua e sistemática da qualidade da água. Segundo Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008) a avaliação dos futuros impactos e o monitoramento são fundamentais para a compreensão dos processos de conservação ou deterioração dos corpos aquáticos.

Análises de variáveis físicas e químicas oferecem informação sobre a condição da água no momento em que as medições foram executadas. Nas análises biológicas podem ser detectadas alterações na qualidade da água, como também a propensão futura que é refletida nas mudanças no habitat ou na natureza dos organismos aquáticos (CHELLAPPA *et al.*, 2009).

O efeito que um determinado poluente provoca começa com a emissão pela fonte poluidora, seguida por sua dispersão no meio ambiente provocada pela ação de principalmente de fatores climáticos, como vento e precipitação e termina com os efeitos sobre a vida aquática, seres humanos, animais e vegetais (BOLLMANN *et al.*, 2001).

A qualidade da água não está restrita apenas ao uso para abastecimento humano, ou próprio para recreação sem riscos de doenças. No Canadá, o "Ontario Water Resources Act", instituiu que "A qualidade da água será considerada preservada quando nenhuma das comunidades de organismos do sistema aquático estiver sendo determinada primariamente por um fator antropogênico" (BOLLMANN *et al.*, 2001). A qualidade da água também reflete no equilíbrio ecológico, pois a atividade humana não deve interferir na condição de vida dos organismos aquáticos, extinguindo alguma espécie ou favorecendo o desenvolvimento de outra. A integração dos resultados das análises físicas, químicas e biológicas pode indicar de forma mais precisa o estado em que se encontra o corpo aquático.

Como os reservatórios têm usos múltiplos houve a necessidade de criação de critérios de qualidade. Com a rápida degradação dessas reservas, o uso fica restrito de acordo com a classificação do corpo d'água não sendo possível abranger todas as necessidades mesmo em uma região.

Comunidades ribeirinhas da região semiárida do nordeste brasileiro são afetadas pela falta de água, situação imposta pelo longo período de estiagem. A manutenção da qualidade de rios e reservatórios na região contribui significativamente para a melhora da qualidade de vida da população (SODRÉ-NETO e ARAÚJO, 2008).

De acordo com Wetzel (1993), a absorção de energia solar e a sua dissipação sob a forma de calor, exerce uma série de efeitos concomitantes sobre os ciclos de nutrientes, a distribuição dos gases dissolvidos e as adaptações de comportamento dos organismos. Nos corpos d'água, devido à forte absorção de radiação solar no primeiro metro, deveria ocorrer abaixo dessa camada uma quebra brusca de temperatura, mas o vento promove uma redistribuição do calor por toda a massa d'água (ESTEVES, 1998). Como muitos reservatórios no Brasil são rasos, eles estão submetidos à ação do vento, o qual frequentemente promove circulação completa no sistema (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

A transparência é influenciada pelas características de absorção de luz da água, a qual depende dos materiais em suspensão ou dissolvidos sejam de natureza orgânica ou inorgânica (WETZEL, 1993). É um parâmetro de qualidade importante na avaliação de um corpo aquático, pois dele depende a penetração da luz na massa de água e, portanto, a distribuição dos organismos fotossintéticos.

A transparência de Secchi mede a profundidade de aparecimento e desaparecimento de um disco branco de 20 a 30 cm de diâmetro quando o mesmo se mergulha na água. É uma medida visual, que é o oposto à turbidez da água e registra a presença maior ou menor de sólidos em suspensão na água. Esse disco está pintado com quadrantes pretos e brancos para facilitar sua visualização e leva o nome de seu criador, em 1886, o padre italiano Angelo Secchi (ESTEVES, 1998).

A profundidade do desaparecimento do disco de Secchi corresponde à profundidade na qual a radiação visível (de 400 a 740 nm) não é mais percebida pelo olho humano. Essa profundidade é dita profundidade de Secchi ou Z_{sd} . Segundo esse autor a transparência é um excelente indicador da capacidade de penetração da luz ao longo da coluna de água. A profundidade de Secchi também se usa para calcular a profundidade ou extensão da zona eufótica, pela simples multiplicação do valor de Z_{sd} pelo fator 2,7 ou 3 para ambientes tropicais. Esse valor obtido de forma empírica indica aproximadamente 1% da radiação que chega desde a superfície.

A temperatura influencia na dissolução de gases, quanto maior a temperatura, menor será a quantidade de oxigênio dissolvido. Todos os gases da atmosfera são solúveis na água em algum grau, mas tanto o nitrogênio quanto o oxigênio são poucos solúveis e diretamente proporcionais à pressão atmosférica (SAWYER; McCARTY & PARKIN, 1994). As principais fontes de oxigênio para a água são a fotossíntese e em menor escala a atmosfera. Por outro lado, as perdas são o consumo pela decomposição de matéria orgânica, respiração de organismos aquáticos, oxidação de íons metálicos (Fe^+ e Mn) e perdas para a atmosfera (ESTEVES, 1998). O oxigênio fotossintético é produzido durante o dia, em quantidade proporcional para a produtividade na água, os altos valores de produção no epilimnio durante o dia aumentam o nível de oxigênio (GOLDMAN & HORNE, 1994).

A DBO é uma determinação importante para a avaliação e detecção de atividades poluidoras. Se os lançamentos de matéria orgânica são consideráveis, a autodepuração torna-se insuficiente, a poluição aparece e a oxidação de materiais orgânicos requer muito mais oxigênio (DAJOZ, 2005).

Os nutrientes mais importantes são aqueles que limitam o crescimento de organismos aquáticos. A quantidade de fósforo e nitrogênio nos lagos sofre influência climática: precipitação pluviométrica, erosão, escoamento superficial, infiltração etc. De acordo com Wetzel (1993), a quantidade de fósforo adicionada pela drenagem superficial varia com a quantidade desse elemento no solo, a topografia, a cobertura vegetal, os fluxos de escoamento, o uso do solo e a poluição gerada na bacia. A quantidade de fósforo na água pode ter origem natural como dissolução de compostos do solo e decomposição de matéria orgânica e de origem antropogênica, como despejos domésticos, industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes químicos (WETZEL, 1993).

O fósforo desempenha uma função relevante na maioria dos processos celulares, especialmente aqueles envolvendo a geração e transformação de energia metabólica, portanto, este elemento influencia no crescimento algal (ESTEVES, 1998; GOMES, 2005). O ortofosfato, por ser solúvel, é a forma principal em que o fósforo é assimilado pelo fitoplâncton.

A sedimentação de partículas e excretas de animais planctônicos ou bentônicos e os peixes contribuem para o acúmulo no sedimento, o qual é um

reservatório de fósforo, e também na água intersticial, e depende dos processos na interface sedimento-água (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

O nitrogênio, outro importante nutriente, pode estar presente na água sob várias formas: íon-amônio, nitrito, nitrato. É um elemento indispensável ao crescimento de algas que, em excesso, pode ocasionar fenômeno chamado de eutrofização (WETZEL, 1993). O nitrogênio chega aos corpos d' água principalmente na forma de nitrato junto com a precipitação pluviométrica, em regiões industrializadas. A maior parte do nitrogênio que chega com a água de chuva está na forma nitrato ou amônia, mas poucas bactérias conseguem converter o nitrogênio gasoso atmosférico em forma biologicamente utilizável e as cianobactérias (GOLDMAN & HORNE, 1994). O NH_3 mais NH_4^+ formam o nitrogênio amoniacal total e, quanto mais elevado for o pH, maior será a porcentagem na amônia total presente na forma NH_3 , não ionizada (forma tóxica).

O nitrogênio é oxidado e reduzido ao longo de seu ciclo de transformações (ciclo biogeoquímico) que inclui a passagem desse elemento pelos seres vivos e pelo ambiente, sob condições aeróbias (com ação das bactérias nitrificantes) e anaeróbias que inclui a ação de bactérias desnitrificantes (SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994; BLACK, 2002, MADIGAM, *et al.*, 2004). Para os organismos do fitoplâncton o nitrogênio é essencial para a biossínteses de matéria orgânica e pode ser fixado da atmosfera na forma gasosa e transformado em amônio por algumas espécies algais e de cianobactérias. Nos corpos de água, nitrogênio em excesso, a igual que o fósforo, causa eutrofização (WETZEL, 1993).

Dentre os diferentes estados de oxidação, o nitrato juntamente com o íon amônio são as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários. Nitrato é a forma mais oxidada de nitrogênio, É a mais estável e usualmente é o composto de nitrogênio inorgânico mais abundante. O íon amônio é mais facilmente absorvido e incorporado nas proteínas que o NO_3^- por não precisar de redução prévia como ocorre com este último. O nitrito, forma parcialmente reduzida do nitrato, é instável e em geral é raramente encontrado, exceto que existam condições redutoras (APHA, 1998; SAWYER SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994; ESTEVES, 1998).

A nitrificação e a desnitrificação podem ocorrer simultaneamente ou acopladas e nos corpos aquáticos, durante o dia, na zona superior iluminada ou epilimnio ocorre predominantemente a nitrificação do amônio e a nitratação do nitrito

(oxidação do amônio para nitrito e do nitrito para nitrato, respectivamente) devido ao abundante oxigênio produzido na atividade fotossintética de algas e cianobactérias. No final do período com luz e na zona não iluminada ou hipolimnio sob condições anaeróbias ocorrerá a desnitrificação do nitrato e do nitrito para formar nitrogênio amoniacal, seja com predominância de NH_4^+ ou de NH_3 . Com o vir de um novo dia a luz estimulará a fotossínteses e novamente serão predominantes as reações de oxidação do amônio formado nas horas de escuridão e/ou de falta de oxigênio. A predominância de uma ou de outra das formas de nitrogênio amoniacal depende do pH da água (SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994)

A amônia tem origem na atividade das bactérias heterotróficas, pois é um produto final primário da decomposição da matéria orgânica, quer diretamente das proteínas quer de outros compostos orgânicos nitrogenados. Os lagos não poluídos possuem mais nitrato que amônia, quando o lago sofre contaminação, por esgotos ou aplicação de fertilizantes na agricultura, é freqüente encontrar mais amônia do que o nitrato (WETZEL, 1993).

A concentração de nitrito é em geral muito baixa, uma vez que esta espécie química pode ser reduzida quimicamente ou através da atividade de bactérias que reduzem nitrato ou oxidam amônio (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Na determinação da qualidade da água, a análise microbiológica é um dos aspectos importantes sobre o nível de contaminação da água por estar relacionada com doenças de veiculação hídrica. Em particular, o subgrupo dos coliformes termotolerantes, que se diferenciam dos coliformes totais por crescerem e se multiplicarem em laboratório com fermentação da lactose a $44,5^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$ em 24 horas são melhores indicadores de contaminação fecal. São usados desde a década do 1950 para indicar se uma água foi contaminada por fezes de animais de sangue quente, e em decorrência, essa água apresenta potencialidade para transmitir doenças infecciosas de veiculação hídrica (APHA, 1998, VON SPERLING, 1995; PORTARIA No 518/2004 do Ministério da Saúde, Resolução CONAMA 357/2005). A Resolução do CONAMA 357/2005 define coliformes termotolerantes como:

"Os coliformes termotolerantes são bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase negativas, caracterizadas pela atividade da enzima galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° a 45°C , com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais

homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal."

A definição de *E. coli* na resolução CONAMA 357/2005 é a seguinte:

"Escherichia coli (E.coli): bactéria pertencente a família Enterobacteriaceae caracterizada pela atividade da enzima beta glicuronidase. Produz indol a partir do aminoácido triptofano. É a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas" (BRASIL, 2005)."

A resolução CONAMA 357/2005 estabelece padrões para a qualidade da água e classifica os corpos aquáticos de acordo com seus fins, como diz a citada resolução:

"Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências".

As águas doces são classificadas em cinco categorias, citadas na Tabela 2

Tabela 2. Classificação dos corpos aquáticos segundo CONAMA 357/05

Classe	Água destinada para os seguintes usos
Especial	<ul style="list-style-type: none">• ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;• a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas• a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral
I	<ul style="list-style-type: none">• ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;• a proteção das comunidades aquáticas;• a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho• a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película• à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas
II	<ul style="list-style-type: none">• ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;• a proteção das comunidades aquáticas;• a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho• a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;• a aquicultura e a atividade de pesca.
III	<ul style="list-style-type: none">• ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;• a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;• a pesca amadora;• a recreação de contato secundário• a dessedentação de animais.
IV	<ul style="list-style-type: none">• a navegação;• a harmonia paisagística

O conhecimento científico dos reservatórios como ecossistemas e das suas interações com as bacias hidrográficas, produzem permanentemente novas perspectivas teóricas e possibilitam uma interferência rápida e efetiva nestes ecossistemas artificiais em situações de fortes impactos (HENRY, 1999).

A construção de açudes foi uma solução para o fornecimento de água e estimular o desenvolvimento de regiões onde a escassez de água é persistente, embora uma outra preocupação se relacione com o acesso a água de qualidade adequada para a população, para que a mesma não seja risco a saúde humana. Os açudes no semiárido nordestino brasileiro, pelas suas características regionais apresentam qualidade da água sujeita aos fatores climáticos, morfométricos, geológicos e antrópicos. A portaria 518/2004 do Ministério de Saúde estabelece os valores máximos permissíveis de numerosas variáveis qualitativas para a água potável, ou seja a água com qualidade adequada para o consumo humano.

Os açudes Bola III, Roque, Bola I e Luiz Heleno situados na Bacia Experimental de São João do Cariri, encontram-se dispostos em cascata. Para funcionar como reservatórios em cascata necessitam de um regime de chuva que ofereça quantidade suficiente para que haja a formação de córregos entre eles, e assim fiquem conectados para que ocorra a passagem de água de um açude para o outro, de montante à jusante. A Bacia Experimental de São João do Cariri, por ter uma área pequena, pode servir de modelo para prever como um sistema em escala maior responde aos impactos sofridos pelas variáveis monitoradas nos reservatórios com o objetivo de priorizar a preservação da qualidade da água para regiões com escassez hídrica.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de Estudo

4.1.1 Caracterização da Bacia

Os açudes estudados se localizam no município de São João do Cariri situado na porção central do estado da Paraíba e integra a sub-bacia hidrográfica do rio Taperoá, tributário do Paraíba, o maior do estado. Os açudes integram a Bacia Experimental de São João do Cariri, que possui 12 km² e está situada na parte média da sub-bacia do rio Taperoá, (7° 25' Sul e 36° 30' Oeste), nas proximidades da cidade de São João do Cariri, semiárido da Paraíba (Figura 1). A região apresenta clima seco semiárido, solos rasos, subsolo derivado do embasamento cristalino, vegetação típica da caatinga, relevo ondulado e altitude entre 450 e 550m. Segundo a AESA (2006), a temperatura do ar varia entre 15,2 e 36,5°C, com média de 26,6°C; a umidade relativa média do ar é de 71,50 %; a precipitação média é em torno de 503 mm/ano entre janeiro e maio (período chuvoso) que concentra 73,8% da precipitação anual; a média anual de evaporação é alta, próxima a 2.000 mm/ano e está associada com a elevada temperatura ar, intensa radiação solar (horas de insolação) e, direção e velocidade dos ventos.

Em 1985, o Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba delimitou na bacia do rio Namorados, quatro sub-bacias (AESAs, 2006), (Figura 2), com a instalação de vários instrumentos (pluviômetros, régua limimétricas, sensores automáticos para medição de precipitação), Nessas sub-bacias estão localizados os açudes particulares Bola I, Roque, Bola III e Luiz Heleno, monitorados no presente trabalho.



Figura 1. Região do Cariri Paraibano, Bacia do Açude Boqueirão e Bacia do rio Taperoá.
Fonte: Bacia Experimental São João do Cariri/PB

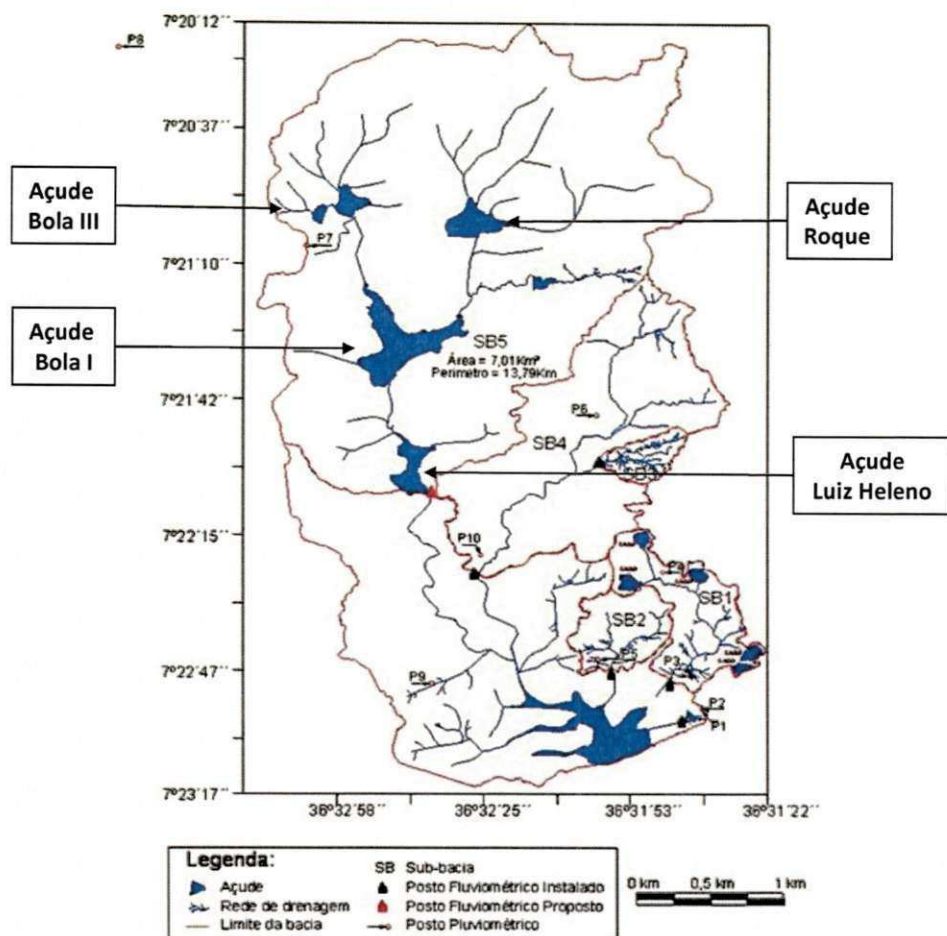


Figura 2. Localizados dos açudes na bacia do riacho Namorados/PB e suas respectivas sub-bacias. Fonte: Bacia Experimental São João do Cariri/PB

4.1.2 Caracterização dos Açudes

As características morfométricas dos açudes Bola I e Luiz Heleno (Tabela 3) foram obtidas através de um estudo batimétrico realizado em agosto 2006. Os açudes Bola III e Roque não há dados disponíveis.

Tabela 3. Dados morfométricos dos açudes localizados na bacia experimental de São João do Cariri/PB.

Açude	Profundidade Média (m)	Profundidade Máxima (m)	Volume Total (m)	Área Inundada (ha)	Perímetro do Reservatório (m)	Classe Morfológica
Roque	-	-	-	-	-	Circular/Oval
Bola I	2,36	5,17	313.608,16	16,62	3.378	Composto
Luiz Heleno	2,66	3,70	70.184,17	5,36	1.759	Composto
Bola III			31.111,07			Circular/Oval

Fonte: Bacia Experimental São João do Cariri/PB

Em abril de 2008, devido às fortes chuvas, o açude Namorados transbordou seguido do rompimento de sua barragem. Portanto, este açude não foi monitorado no presente trabalho.

4.1.3 Definição dos Pontos de Amostragem

Os pontos de coleta foram definidos no trabalho de Vilar (2009) pois esses açudes vêm sendo monitorados desde 2006, no contexto do projeto BEER – Bacia Experimental e Representativa da Rede Hidrológica do semiárido/UFCG (CT-Hidro/FINEP).

O mapa batimétrico elaborado em 2006 foi usado para definir os pontos de amostragens, considerando-se as isolinhas de profundidades e identificação da região de maior profundidade em cada reservatório definido assim a zona limnética. Os pontos de amostragens foram georreferenciados (Tabela 4).

Tabela 4. Pontos de coleta dos reservatórios estudados na bacia experimental de São João do Cariri/PB.

Açude	S	O
Bola III	7°20' 54.37"	36°32' 53.24"
Roque	7°21' 00.29"	36°32' 27.58"
Bola I	7°21' 32.97"	36°32' 45.73"
Luiz Heleno	7°22' 04.36"	36°32' 43.61"

Fonte: Bacia de São João do Cariri

4.2 Período de Coleta, Metodologia e Análises Laboratoriais

O período de amostragem iniciou-se em setembro de 2006 com término em março de 2009, com frequência mensal. Para o monitoramento de variáveis físicas, químicas e biológicas da qualidade da água, as amostras eram coletadas na sub-superfície (0,15m de profundidade) em pontos centrais previamente definidos em cada um dos açudes (zona limnética), sempre em horários aproximados entre 8 e 11 horas da manhã.

O deslocamento para a parte central de cada açude foi feita com barco a remo. As amostras eram coletadas com auxílio de uma garrafa do tipo “Van Dorn” de 5 litros de capacidade, mergulhada na sub-superfície dos açudes. O amostrador era lavado repetidas vezes com água de cada ponto a ser coletado. Cada amostra era distribuída em recipientes apropriados (frascos tipo PET) e devidamente identificado com o nome do ponto, data e a hora de realização da coleta. As variáveis pH condutividade elétrica, temperatura, e transparência da água eram medidas em campo logo após a coleta. A amostra destinada a análise de oxigênio dissolvido era coletada era fixada em campo (azida sódica e sulfato manganoso). Todas as

garrafas com as amostras eram transportadas para o laboratório em caixas isotérmicas com gelo para manter a temperatura inferior a 10^oC, sendo processadas imediatamente ao chegar ao Laboratório de Saneamento UAEC/UFCG, ou conservadas em geladeira seguindo as recomendações da APHA (1998).

No período da pesquisa (set/06 – mar/09) foram realizadas um total 27 coletas no açude Bola I, 22 no açude Roque, 11 no açude Bola III e 22 no açude Luiz Heleno.

4.2.1 Análises Laboratoriais

Tabela 5. Relação dos parâmetros analisados no monitoramento dos açudes Bola I, Luiz Heleno, Roque e Bola III localizados em São João do Cariri.

Parâmetro	Metodologia	Referências
Temperatura (°C) - água e ar	Termômetro	APHA, 1998
Transparência (m)	Disco de Secchi	ESTEVES, 1998
pH	pH-metro	APHA, 1998
Condutividade Elétrica (µS/cm)	Condutivímetro	APHA, 1998
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	Método titulométrico	APHA, 1998
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	Método titulométrico com EDTA	APHA, 1998
Oxigênio Dissolvido - (mg/L)	Winkler, modificação azida.	APHA, 1998
N-amoniaco(µg/L)	Espectofotométrico do fenol	APHA, 1998
Nitrato (µg/L)	Coluna redutora de cádmio	APHA, 1998
Nitrito (µg/L)	Método colorimétrico	APHA, 1998
Fósforo total (µg/L)	Método do ácido ascórbico após digestão com persulfato	APHA, 1998
Ortofosfato (µg/L)	Método do Ácido ascórbico	APHA, 1998
Sólidos dissolvidos e Suspensos suspensos totais (mg/L)	Método gravimétrico	APHA, 1998
Coliformes termotolerantes (UFC/100ml)	Método dos Tubos Múltiplos	APHA, 1998
<i>E.coli</i> (UFC/100 mL)	Confirmação pela técnica cromogênica.	APHA, 1998
Clorofila <i>a</i>	Extração com acetona 90%	APHA, 1998

- **Índice de estado trófico**

Para a obtenção do índice de estado trófico a equação mais utilizada é a de Carlson (1977) modificada por Toledo Jr *et al.*, (1983), relacionando os teores de fósforo total, clorofila *a* e transparência do disco de Secchi e também P-orto ou P-solúvel reativo (Equações 1 a 5).

$$IET(DS) = 10 \left\{ 6 - \left(\frac{0,64 + \ln DS}{\ln 2} \right) \right\} \quad \text{Eq. 1}$$

$$IET(CHL) = 10 \left\{ 6 - \left(\frac{2,04 - 0,695 \ln CHL}{\ln 2} \right) \right\} \quad \text{Eq. 2}$$

$$IET(PRS) = 10 \left[6 - \left(\frac{\ln(21,67 / PSR)}{\ln 2} \right) \right] \quad \text{Eq. 3}$$

$$IET(PT) = 10 \left[6 - \left(\frac{\ln(80,32 / PT)}{\ln 2} \right) \right] \quad \text{Eq. 4}$$

$$IET(M) = \frac{IET(DS) + 2[IET(PI) + IET(PSR) + IET(CHL)]}{7} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

IET (DS) = índice de estado trófico para o disco de Secchi;

IET (CHL) = índice de estado trófico para a clorofila *a*;

IET (PRS) = índice de estado trófico para fósforo solúvel reativo;

IET (PT) = índice de estado trófico para fósforo total;

IET (M) = índice de estado trófico médio;

Para a classificação trófica de acordo com o índice se aplicam os seguintes valores: oligotrófico (≤ 44), mesotrófico ($44 \leq IET \leq 54$) e eutrófico (≥ 54).

A Tabela 6 apresenta os valores limites para a classificação dos níveis de trofia dos corpos aquáticos lênticos segundo diversos autores.

Tabela 6. Valores limites para a classificação trófica dos corpos aquáticos segundo diversos autores

Autor	Estado Trófico	Parâmetros						
		Secchi (m)	P-total (µg/L)	P-orto (µg/L)	Clorofila-a (µg/L)	N-amoniacoal (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)
Vollenweider (1981)	ultraoligotrófico							
	oligotrófico		5 a 10			0 a 0,3	0 a 0,5	0 a 1
	mesotrófico		10 a 30			0,3 a 2	0,5 a 5	1 a 5
	eutrófico		30 a 100			2 a 15	5 a 15	5 a 50
	hipereutrófico							
Carlson (1977) modificado por Kratzer & Brezonik (1981)	ultraoligotrófico							
	oligotrófico		< 3		< 0,34			
	mesotrófico		3 a 12		0,34 a 2,6			
	eutrófico		12 a 24		2,6 a 6,4			
	hipereutrófico		24 a 48		6,4 a 20			
Dobson 1981	ultraoligotrófico		> 48		> 20			
	oligotrófico							
	mesotrófico		0 a 3,3		0 a 0,7			
	eutrófico		3,3 a 10		0,7 a 2			
	hipereutrófico		10 a 30		2 a 6			
Rosch <i>et al</i> (1981)	ultraoligotrófico		30 a 90		6 a 18			
	oligotrófico		> 90		> 18			
	mesotrófico							
	eutrófico							
	hipereutrófico		5		0,3 a 3			
OECD (1988)	ultraoligotrófico		5 a 30		3 a 15			
	oligotrófico		1.000		15 a 500			
	mesotrófico							
	eutrófico							
	hipereutrófico		< 4		< 1 < 2,5			
Carlson (1977) modificado por Toledo Jr <i>et al</i> (1983)	ultraoligotrófico		< 10		< 8			
	oligotrófico	< 44	10 a 35	< 44	8 a 25			
	mesotrófico	44 a 54	35 a 100	44 a 54	25 a 75			
	eutrófico	> 54	> 100	> 54	> 75			
	hipereutrófico							

Fonte: Ceballos (1995)

4.3 Tratamento Estatístico dos Dados

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva (número total de dados, valores máximos e mínimos, média, desvio padrão - DP). Os resultados foram apresentados na forma de tabelas e de gráficos utilizando o Microsoft Excel.

Visando estabelecer o grau de correlação entre as variáveis em cada açude, foi realizada a análise de correlação de Spearman, ao nível de 5% de significância com a utilização programa Statistica 7.0.

5. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Caracterização dos Quatro Ambientes em Cascata

Para avaliar a influência dos fatores ambientais na qualidade da água foram utilizados dados de precipitação pluviométrica dos postos pluviométricos de cada sub-bacia. A radiação solar, a temperatura do ar, umidade relativa do ar e a evaporação foram medidas na estação meteorológica da Bacia Escola de São João do Cariri. A Tabela 7 mostra os dados da precipitação pluviométrica mensal (em mm), a porcentagem em relação ao total anual do período 2006 - 2009 e a média histórica mensal (período de 21 anos).

Tabela 2. Precipitação pluviométrica nos postos instalados nos açudes Bola I (PA3*), Roque, Bola III e Luiz Heleno (2006-2009), na Bacia Experimental de São João do Cariri/PB e a média histórica de 21 anos (1986-2007)

Açude	Precipitação (mm)												Total Anual
	Meses – Ano 2006												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Roque/PA3*	0,5	70,4	59,2	103,1	20,8	273,6	10,4	7,1	0,5	4,1	3,0	0,5	553,2
Acumulado (%)	0,1	12,7	10,7	18,6	3,8	49,5	1,9	1,3	0,1	0,7	0,6	0,1	-
Bolas I e III Contenas*	0,0	67,1	103,3	105,9	17,0	348,1	5,3	6,5	0,5	2,8	3,0	1,5	661,0
Acumulado (%)	0,0	10,2	15,6	16,2	2,6	52,6	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	-
Luiz Heleno/LH2*	0,0	65,7	50,7	93,3	29,3	234,7	5,8	3,1	0,4	2,9	2,7	0,9	489,5
Acumulado (%)	0,0	13,4	10,4	19,1	6,0	47,9	1,2	0,6	0,1	0,6	0,6	0,2	-
Ano 2007													
Roque/PA3*	0,8	130,6	130,6	35,3	10,2	4,8	4,1	6,4	3,6	0,0	0,3	0,0	326,4
Acumulado (%)	0,23	39,99	39,99	10,82	3,11	1,48	1,24	1,95	1,09	0,00	0,09	0,00	-
Bola I e III Contenas*	0,2	101,3	66,4	62,2	67,5	40,3	7,2	34,3	4,6	0,0	0,0	0,0	384,0
Acumulado (%)	0,1	26,4	17,3	16,2	17,6	10,5	1,9	8,9	1,2	0,0	0,0	0,0	-
Luiz Heleno/LH2*	2,1	111,4	58,8	72,3	49,6	22,5	24,2	19,3	7,6	0,0	0,0	0,0	367,8
Acumulado (%)	0,6	30,3	16,0	19,7	13,5	6,1	6,6	5,2	2,1	0,0	0,0	0,0	-
Ano 2008													
Roque/PA3*	15,0	18,5	366,0	186,0	152,9	42,0	32,5	8,8	1,5	0,5	0,3	3,8	827,8
Acumulado (%)	1,8	2,2	44,2	22,5	18,5	5,1	3,9	1,1	0,2	0,1	0,0	0,5	-
Bola I e III Contenas*	17,5	14,1	558,1	124,8	183,9	41,3	30,8	7,4	1,0	0,2	0,4	2,1	981,6
Acumulado (%)	1,8	1,4	56,9	12,7	18,7	4,2	3,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,2	-
Luiz Heleno/LH2*	10,9	21,9	274,5	162,9	147,9	44,2	32,7	10,5	1,4	0,5	0,3	1,3	709,0
Acumulado (%)	1,5	3,1	38,7	23,0	20,9	6,2	4,6	1,5	0,2	0,1	0,0	0,2	-
Ano 2009													
Roque/PA3*	0,0	0,0	0,0										
Acumulado (%)													
Bola I e III Contenas*	0,0	141,2	127,7										
Acumulado (%)													
Luiz Heleno/LH2*	43,4	86,7	120,7										
Acumulado (%)													
Média Histórica	66,9	85,2	95,9	87,8	42,5	37,2	33,8	24	6,9	4,4	7,8	20,6	512,9
Acumulado (%)	13,00	16,60	18,70	17,10	8,30	7,20	6,60	4,70	1,30	0,90	1,50	4,00	-

*Código do Pluviômetro

O início da coleta dos dados ocorreu em setembro de 2006, ano no qual a precipitação pluviométrica foi acima da média histórica, concentrando as chuvas nos meses de fevereiro, março, abril e junho. Em 2007 os totais anuais se apresentaram abaixo da média histórica e apenas os meses de fevereiro, março e abril concentraram o período chuvoso. Nesses três meses choveu 90% da precipitação total anual no açude Roque, 60% do total anual precipitado em Bola I e Bola III e 66% no açude Luiz Heleno. Entretanto, a forte estiagem nos meses seguintes ocasionou a redução do volume acumulado e os açudes secaram de forma progressiva iniciando por Bola III, seguido por Luiz Heleno e Roque, que ficaram reduzidos a poças com água barrenta e às vezes esverdeada pela presença de fitoplâncton e, ao final do período, encontravam-se totalmente secos. Estes três açudes ficaram secos durante os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2007 e janeiro e fevereiro de 2008. Somente o açude Bola I não secou durante o período estudado pela maior profundidade em relação aos três outros açudes.

Em 2008, novamente os totais anuais de precipitação se apresentaram acima da média histórica e os meses de março, abril e maio concentraram o período chuvoso, com 85 % da precipitação total anual no açude Roque, 88,3% em Bola I e Bola III e 82,6% em Luiz Heleno. Devido à forte intensidade das chuvas no mês de março, os volumes dos açudes atingiram 100% e extravasaram, dando origem a pequenos córregos que interligaram os açudes em cascata, embora de caráter temporário. Durante essas chuvas houve impossibilidade de acesso a alguns pontos da bacia o que não permitiu chegar aos açudes nesse mês de março, para realizar as amostragens de rotina e os córregos, efêmeros, não puderam ser amostrados. A barragem do açude Namorados, o último do sistema em cascata, rompeu neste mês e desde então deixou de ser monitorado.

Já em 2009, em apenas dois meses (fevereiro e março), a precipitação pluviométrica foi superior à média histórica com valores que se aproximaram aos daqueles observados em meses dos anos anteriores.

A temperatura do ar foi associada com a radiação solar e relacionada com a evaporação da água (MARTINS, 2007; TUCCI & BELTRAME, 2007). A Tabela 8 mostra que as maiores temperaturas do ar foram superiores a 25°C e ocorreram nos meses de janeiro a março e de outubro a dezembro na maioria dos anos estudados,

meses de em que ocorreu a evaporação e secagem progressiva da água dos corpos de água sob estudo.

Tabela 3. Valores da temperatura do ar (°C), obtidos na Estação Meteorológica instalada na Bacia Experimental de São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	27,3	28,1	27,3	26,9	25,6	23,4	23,3	24,1	25,1	26,2	27,4	27,9
2007	26,8	27,0	25,5	27,7	24,9	23,9	23,7	23,6	24,2	26,1	27,1	27,6
2008	27,2	28,1	27,0	25,4	24,6	22,9	22,8	23,8	24,2	26,2	25,9	26,2
2009	26,4	26,4	25,6	24,0	23,1							

A radiação global é a energia radiante emitida pelo Sol para a superfície terrestre (GARCEZ & ALVAREZ, 2006). A Tabela 9 mostra que em São João do Cariri, os meses de mais intensa e mais elevada radiação solar foram outubro, novembro e dezembro. A vida aquática autotrófica depende da quantidade e da qualidade da energia radiante disponível na coluna d' água para a realização da fotossíntese (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008) e em geral, nesses meses houve aumento da biomassa fitoplanctônica medida como clorofila *a*, cuja evolução temporal e espacial será discutida adiante.

Tabela 4. Valores de radiação global (W/m²) obtidas na Estação Meteorológica instalada na Bacia Experimental de São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	531,5	370,2	444,7	455,2	366,9	375,2	377,7	441,9	486,7	513,8	520,3	527,7
2007	456,3	455,4	439,2	418,0	413,1	352,0	403,5	405,1	435,0	540,5	533,0	537,7
2008	465,8	537,6	465,8	405,0	357,3	383,0	326,8	412,1	465,5	437,1	337,3	330,1
2009	322,3	326,3	295,5	214,3	249,5							

A umidade relativa do ar (Tabela 10) é expressa em porcentagem e se refere à quantidade de vapor de água presente no ar atmosférico. Quanto maior for a quantidade de vapor de água presente e mais próximo do valor de saturação, menor será a evaporação (MARTINS, 2007).

Segundo Freire, Calijuri & Santaella (2009) as características da região semiárida exercem efeitos substanciais na disponibilidade hídrica, visto que a

grande evaporação e curto e irregular ciclo de precipitação causa perdas significativas de água.

A umidade relativa do ar apresentou os maiores valores no período chuvoso e os menores nos meses de novembro e dezembro (período seco), como era esperado para a região semiárida, e explica porque nestes meses ocorre a maior alta taxa de evaporação de água observada nos pequenos açudes.

Tabela 5. Valores da umidade relativa do ar (%) obtidos na Estação Meteorológica instalada na Bacia Experimental de São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	71,7	76,5	78,4	80,5	81,3	85,8	84,6	78,3	72,5	70,1	69,3	68,3
2007	71,6	74,3	77,8	75,4	80,4	81,4	79,8	85,4	73,2	69,8	70,2	69,2
2008	70,2	68,2	69,3	79,8	83,2	82,1	82,1	79,4	74,1	75,3	56,9	57,3
2009	60,3	59,1	68,2	77,6	80,3							

A Tabela 11 mostra a evaporação mensal na Estação Meteorológica instalada na Bacia Escola de São João do Cariri. Os meses de maior evaporação ao longo de todo o período foram em total seis: janeiro, fevereiro, setembro, outubro, novembro e dezembro. Nesses meses ocorreram as mais elevadas temperaturas do ar, bem como os maiores valores de radiação solar e os menores de umidade relativa do ar.

Tabela 6. Evaporação mensal medida em Tanque Classe A (TCA - mm) obtidos na Estação Meteorológica instalada na Bacia Experimental de São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	278,8	220,6	192,2	165,1	155,9	95,7	143,6	144,4	221,9	290,3	283,1	216,7
2007	273,9	208,9	180,6	176,9	191,6	148,0	158,3	145,9	230,7	258,8	269,6	263,1
2008	260,6	262,7	226,1	134,4	95,1	98,7	110,6	171,2	219,8	274,5	276,3	239,9

Os fatores climáticos que influenciam a evaporação são os ventos, temperatura e umidade do ar, e mais intensa com a diminuição da umidade relativa do ar. Os aumentos da radiação solar e da temperatura influenciam na intensidade de evaporação da água juntamente com a intensidade do vento que afasta as massas de ar de elevado grau de umidade das superfícies do solo e da água

(GARCEZ & ALAVAREZ, 2006). O conjunto desses fenômenos foi observado nos corpos de água sob estudo.

O balanço hídrico negativo é mostrado na Figura 3 para os dados coletados na Bacia Escola de São João do Cariri. Na maioria dos meses, exceto em março, abril e maio de 2008, a evaporação superou a precipitação, ou seja, a saída de água dos açudes por evaporação excedeu a entrada por precipitação. Como exemplo de outros valores no semiárido nordestino, Fontes, Oliveira e Medeiros (2003) citam, no reservatório do França/BA, precipitação média anual de 830 mm e evaporação de 1.730 mm, com perda de 900 mm de água para a atmosfera.

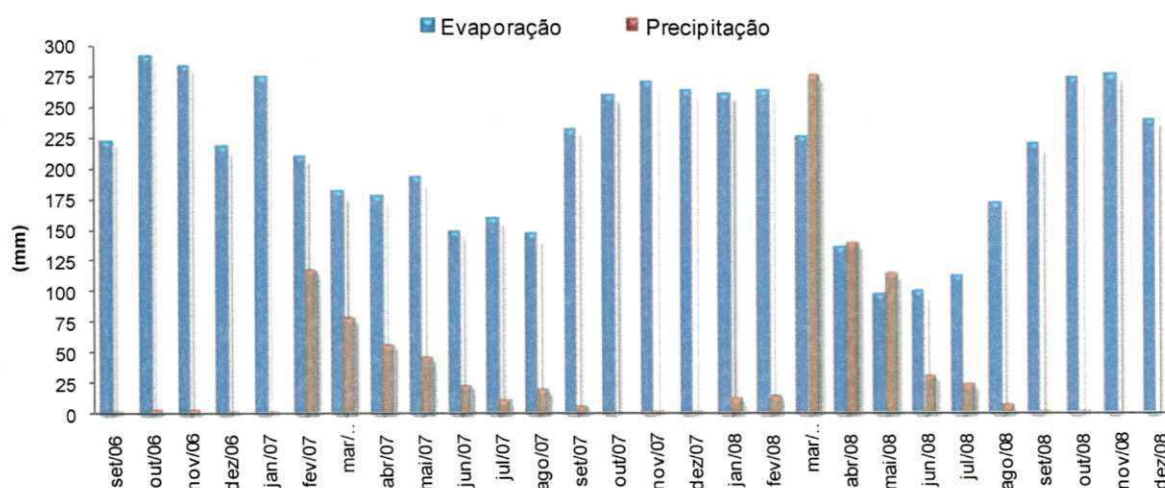


Figura 3. Variação dos valores de evaporação e precipitação mensal obtidos na Estação Meteorológica instalada na Bacia Experimental de São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.

A Figura 4 mostra a variação do volume acumulado ao longo dos meses para os açudes Bola I e Luiz Heleno. Ao analisar a evolução desses volumes acumulados se verificou decréscimo ao longo do tempo em todos eles. Entretanto somente se apresentam os volumes acumulados versus tempo para os açudes Bola I e Luiz Heleno por serem os únicos com registro sistemáticos de cota – volume.

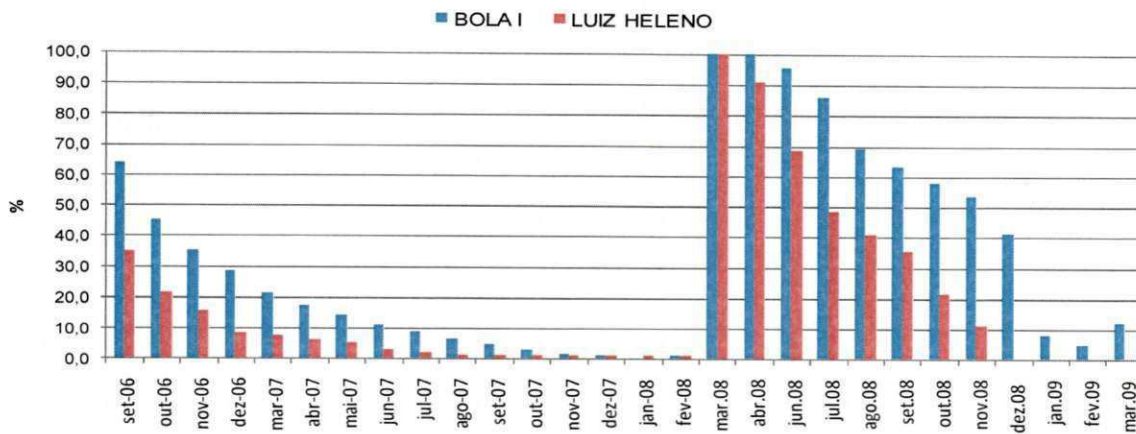


Figura 4. Variação mensal dos volumes acumulados nos açudes Bola I e Luiz Heleno, localizados em São João do Cariri/ PB no período de 2006 a 2009.

Em fevereiro, março e abril de 2007, foi registrada precipitação pluviométrica acumulada nesses três meses de 296 mm no açude Roque, 139,9 mm em Bola I e Bola III e 242 mm em Luiz Heleno. Ao longo desse período chuvoso não se verificou aumento no volume dos açudes; pelo contrário, houve decréscimo, devido à evaporação. Foram registrados 512 mm evaporados na estação meteorológica da Bacia de São João do Cariri no período chuvoso de 2007, e que contribuíram com a diminuição da água acumulada até fevereiro de 2008. Portanto, a chuva precipitada não foi suficiente para acumular água nos açudes sob estudo.

Em março de 2008, a precipitação pluviométrica foi extremamente elevada para a região, com média histórica de 512 mm na Bacia de São João do Cariri. Na sub-bacia do açude Roque choveu 827,8 mm, 981,6 mm em Bola I e Bola III e 709,0 mm em Luiz Heleno. Em consequência dessa alta precipitação pluviométrica, os volumes dos açudes atingiram 100% e sangraram, gerando córregos efêmeros que interconectaram os açudes em cascata. Logo após o período chuvoso houve novamente rápido decréscimo da quantidade de água acumulada sob o efeito da elevada evaporação (Figura 4).

Conforme a Figura 5, as águas do açude Bola I apresentaram temperaturas elevadas durante todos os meses, com pequenos aumentos de março até maio de 2007 e nos meses de março e abril de 2008, ambos os períodos chuvosos. Na Figura 6, se observa a pouca variação da temperatura no açude Luiz Heleno. A grande maioria dos lagos de regiões tropicais apresenta pouca profundidade e grande área superficial, além disso, nestas regiões a variação sazonal da

temperatura da água é pouco acentuada o que contribui com a evaporação ao longo de todo o ano (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

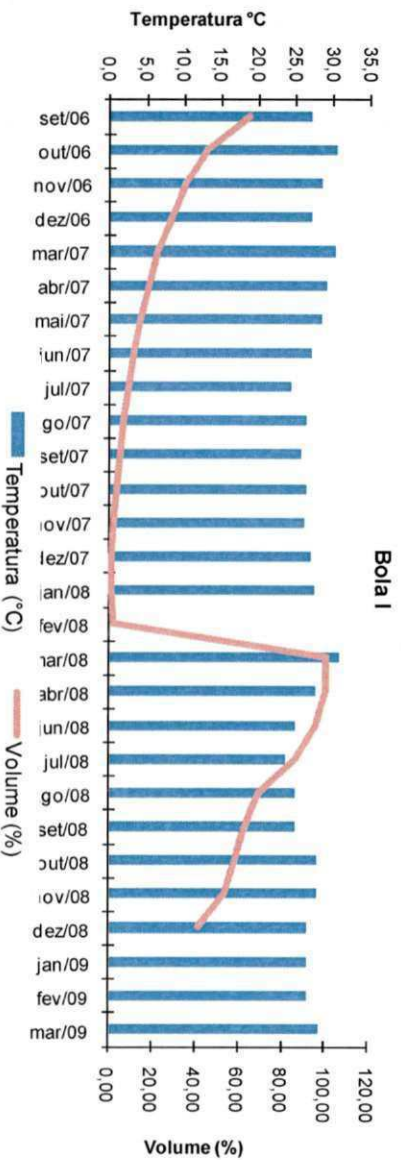


Figura 5. Variação mensal da temperatura do açude BOLA I, localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

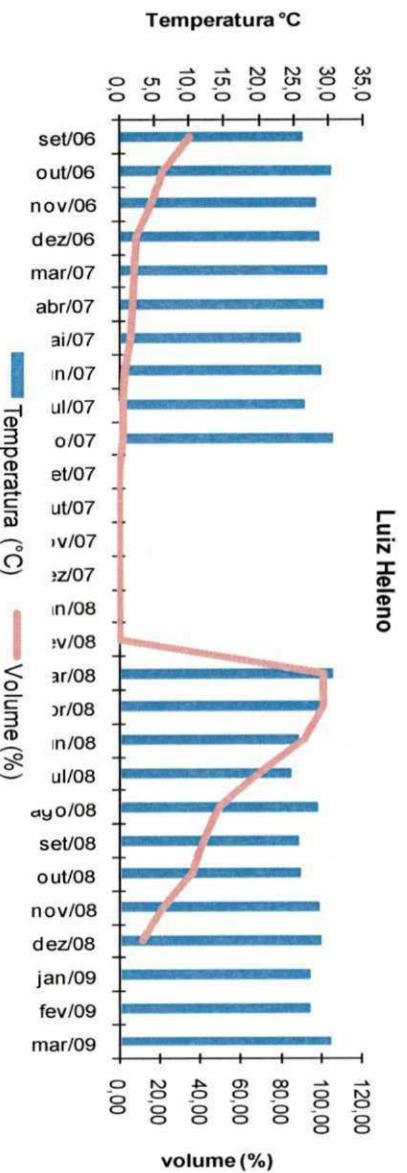


Figura 6. Variação mensal da temperatura do açude Luiz Heleno, localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

Elevadas temperaturas da água durante o ano, sem estações climáticas bem definidas é característico de reservatórios no semiárido. A temperatura média nos quatro açudes foi de 27°C. Barbosa *et al.*, (2006) verificaram valores próximos da temperatura da água em quatro ambientes na bacia do rio Taperoá/ PB, com valores médios acima de 25°C (entre 25,9 e 28,9°C). Freire, Calijuri & Santaella (2009) estudando o reservatório de Pacajus/CE observaram altas temperaturas nas épocas de seca e de chuvas, com variações de até 3°C entre o período seco e o chuvoso, (entre 26,7 e 30,2°C) evidenciando o comportamento típico da temperatura da água na região semiárida brasileira: temperatura média elevada e maiores, ainda, durante as chuvas.

As Figuras 7 e 8 mostram o comportamento da temperatura da água nos açudes Bola III e Roque, cujas variações foram semelhantes aos outros açudes avaliados nesta bacia e próximos aos valores de outros açudes da região semiárida. Antonello (2006) estudando o reservatório de Boa Esperança PI/MA observou média anual de 28,62°C com valor máximo de 33,5°C na época chuvosa. O mesmo comportamento foi observado por Carvalho-Luna (2008) no reservatório de Acauã/PB com valor médio de temperatura na superfície da água de 28,3°C. Os valores superiores ocorreram no período chuvoso, com média de 29,5°C, e no período de estiagem o valor médio foi de 26,9°C, mantendo-se a diferença entre ambos períodos em torno de 3°C.

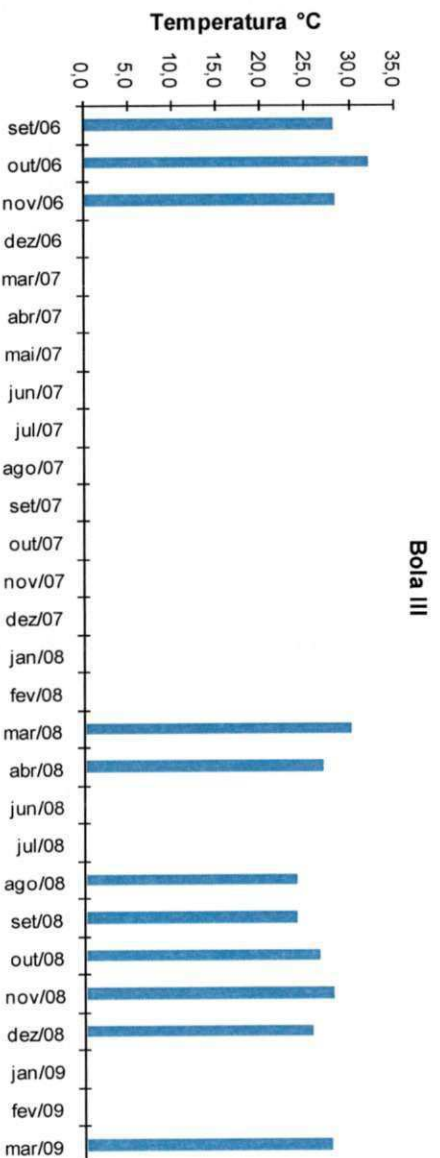


Figura 7. Variação mensal da temperatura do açude Bola III, localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

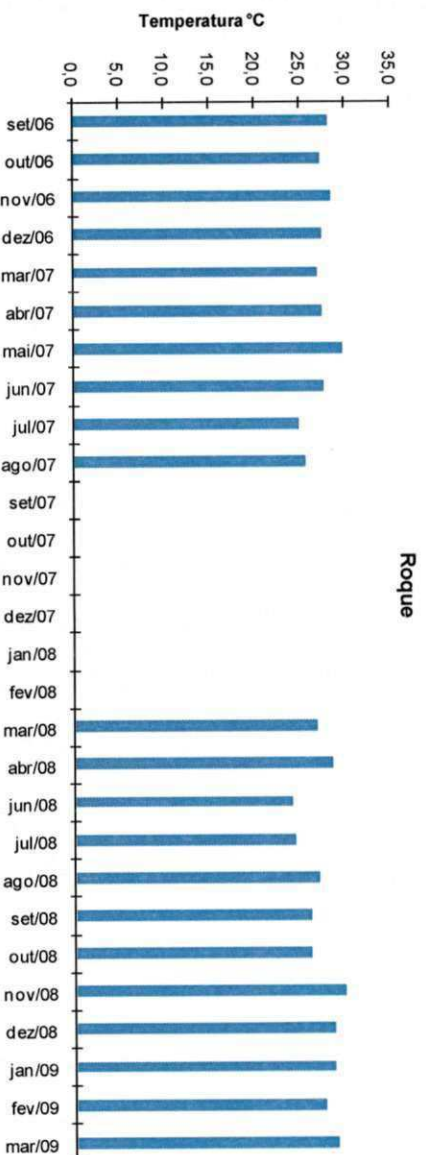


Figura 8. Variação mensal da temperatura do açude Roque, localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

A transparência da água avalia a “claridade” de uma água e é inversa à turbidez. A transparência da água se associa, em geral, com a produtividade do corpo aquático. Baixa transparência (ou alta turbidez) é causada pela presença de materiais orgânicos, inorgânicos e coloidais, em suspensão, tais como argilas, silte, material orgânico e inorgânico finamente particulado e microrganismos planctônicos e outros de tamanho muito pequeno (APHA,1998).

Define-se como zona eufótica a profundidade iluminada da massa de água. A profundidade dessa zona depende da quantidade de partículas em suspensão presentes, ou seja, da transparência ou da turbidez da água, e que pode ser plâncton e substâncias orgânicas e inorgânicas em suspensão (APHA, 1998; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

As Figuras 9 a 12 mostram as variações da transparência de Secchi. Observa-se que nos quatro açudes os valores foram semelhantes, ou seja, maiores entre setembro e outubro.

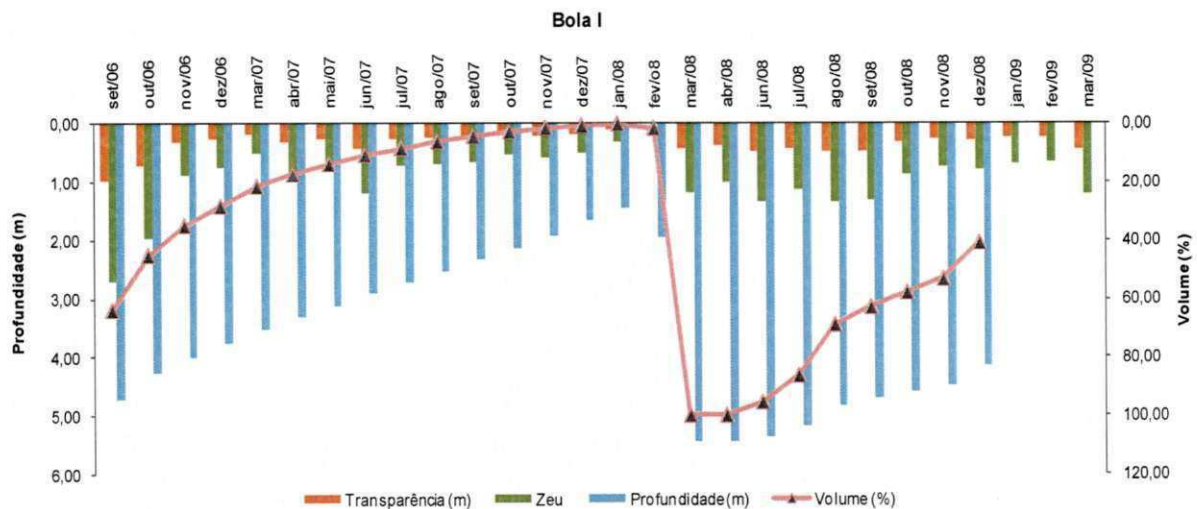


Figura 9. Variação mensal da transparência da água, zona eufótica, profundidade e volume acumulado no açude Bola I, localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

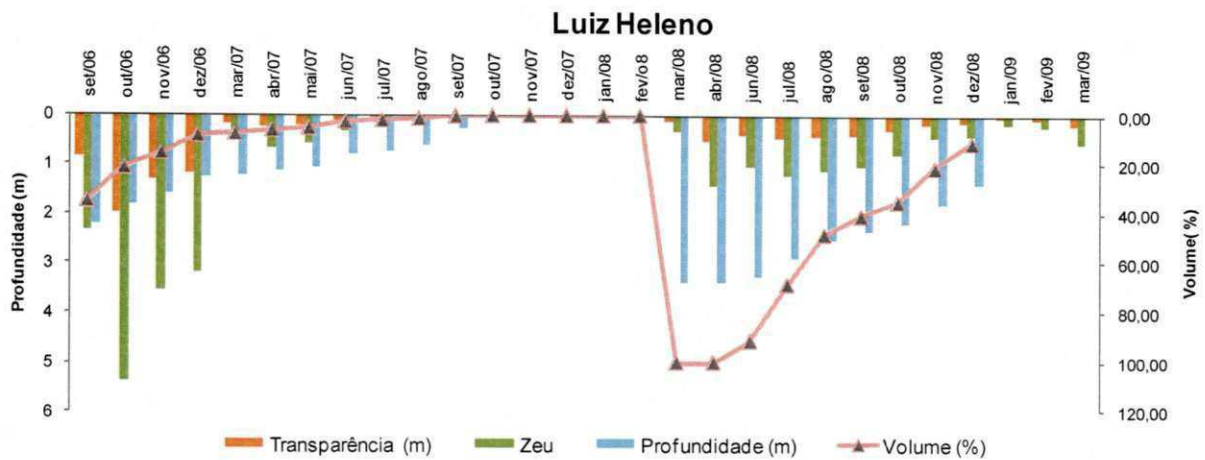


Figura 10. Variação mensal da transparência da água, zona eufótica, profundidade e volume acumulado no açude Luiz Heleno, localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

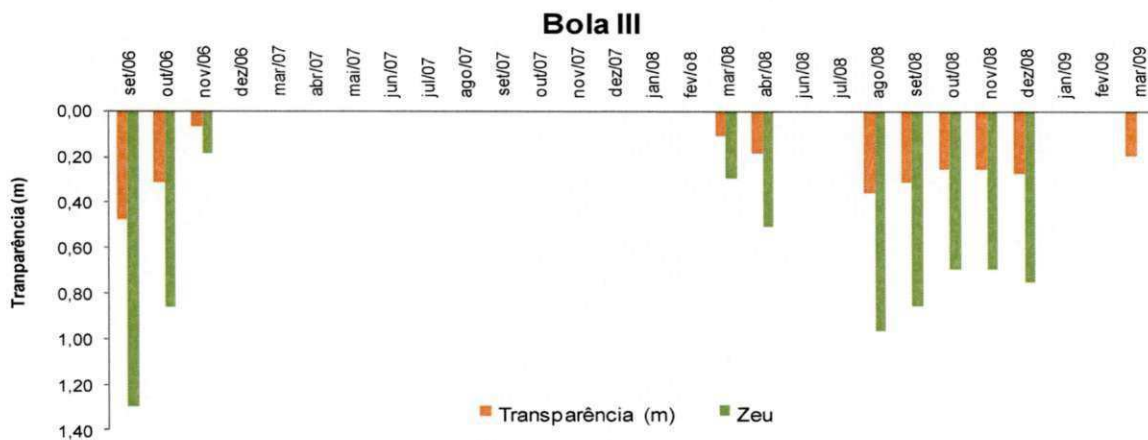


Figura 11. Variação mensal da transparência da água, zona eufótica, no açude Bola III, localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

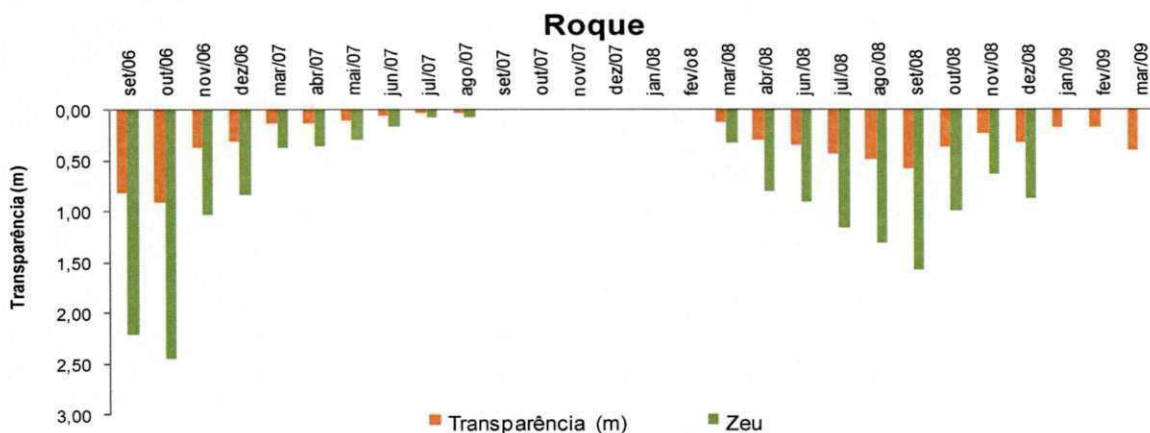


Figura 12. Variação mensal da transparência da água, zona eufótica, no açude Roque, localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

A transparência foi menor na medida em que os açudes foram perdendo água por evaporação. Os maiores valores ocorreram após das chuvas de fevereiro e março de 2008: nos açudes Roque e Bola I a maior transparência se verificou no mês de setembro de 2008 (0,59 e 0,49m respectivamente).

Os meses de setembro a outubro corresponderam aos meses de transição entre o fim da chuva e o início da estiagem na região, assim, a maior transparência observada nesses meses em 2006 e em 2008 se deve ao longo período de seca e as partículas em suspensão foram sedimentando e, em consequência, a coluna de água vai se tornando menos turva. Nesse período, em setembro de 2006, a zona eufótica atingiu mais de 50% da profundidade no açude Bola I. Ainda em 2006, no Luiz Heleno o comportamento da transparência foi diferente: nos meses de setembro a dezembro, a zona eufótica atingiu 100% da profundidade, ficando toda a coluna de água iluminada embora o volume de água acumulada diminuísse de 40% em novembro para 20% em dezembro. Com o avanço da estiagem e a redução do volume acumulado, os valores de transparência foram diminuindo. Essa diminuição nos quatro açudes, que são rasos, foi devida principalmente a ação dos ventos, que promoveu a mistura do sedimento com a água, e a presença de animais que se utilizam delas para dessedentação e promoveram o revolvimento da interface água-solo-água-fundo/sedimento causando o mesmo efeito. No fim da estiagem os pequenos açudes secaram e só acumularam água novamente no próximo período de chuvas.

No presente trabalho se observou que as primeiras águas acumuladas com as primeiras chuvas são turvas, ou seja, com baixa transparência, devido ao escoamento superficial de água que erode o solo da bacia e transporta os sólidos da bacia para dentro dos açudes. Também é gerada turbulência na água pelo escoamento superficial sobre a interface água-solo da zona litorânea. Com as chuvas, o transporte dos materiais acumulados na bacia de drenagem para dentro dos açudes favorece a turbulência e a mistura da água que pode atingir o lodo do fundo, em particular com as primeiras chuvas, quando os açudes estão secos ou com água escassa.

Pacheco (2009) verificou o mesmo fenômeno no açude Acarape do Meio/CE, com capacidade de armazenamento de 31,5 km³: a turbulência da água gerada nos primeiros meses de chuvas associada ao transporte de materiais da bacia de

drenagem eram determinantes, nesse período, de baixa transparência. Também foi observada a mesma tendência nos açudes de Vargem das Flores/MG com volume de acumulação de $44,0 \times 10^6 \text{ m}^3$, (GOMES, 2008) e na represa São Salvador em Sapé/PB (volume de $12.099.900 \text{ m}^3$) (TAVARES, 2000), na qual a transparência mínima chegou a 0,9m. O mesmo fenômeno, de diminuição da transparência, ocasionado pela chegada das chuvas, foi observado nos pequenos açudes, pode ocorrer também nos grandes reservatórios.

Nos meses seguintes após de setembro–outubro 2007 e até fins de fevereiro de 2008 os açudes permaneceram secos, exceto Bola I. Com o início das fortes chuvas de março de 2008 houve novamente acumulação de água. Pelo observado, pode-se concluir que os quatro açudes estudados apresentaram transparência com comportamento semelhante ao longo do tempo. Porém esse comportamento não necessariamente ocorre em todos os açudes do Nordeste. Sodré-Neto e Araújo (2008) verificaram, no reservatório Armando Ribeiro Gonçalves/RN, fortemente eutrofizado, que a menor transparência ocorreu no período seco, principalmente pela proliferação de algas e cianobactérias. Esse açude é de grande porte (volume de acumulação de 2,4 bilhões de m^3) com pouca probabilidade de secar no período da estiagem. Em contrapartida, na seca, ocorre aumento na concentração de sais e de macronutrientes que favorecem a proliferação do fitoplâncton e sua presença interfere na transparência. No reservatório de Acauã/PB, estudos ao longo de diferentes anos também mostraram menor transparência na época de estiagem associada à proliferação de algas e cianobactérias que causaram turbidez biogênica (LINS, 2006; CARVALHAL-LUNA, 2008; ARRUDA, 2009).

A condutividade elétrica de uma solução é determinada pela sua capacidade de conduzir corrente elétrica de acordo com a concentração e o tipo de íons dissolvidos; entende-se por tipo de íons a sua mobilidade e valência química e também tem influência a temperatura da água (APHA, 1998; SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994).

A precipitação pluviométrica tem grande importância pela introdução, no corpo de água, de íons pelo escoamento superficial e a temperatura da água interfere na sua solubilidade, a qual é maior quanto mais alta é a temperatura do lago (LARAQUE, 1989). A evaporação influencia na concentração de sais. Na estiagem, a perda de água por evaporação concentrou os íons dissolvidos na água

de todos os pequenos açudes sob estudo, resultando no aumento da condutividade elétrica que variou no açude Bola I de 356 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em março de 2008 para 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em janeiro de 2009 (Figura 13) e no Luiz Heleno de 134 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em abril de 2008 até 261 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em outubro do mesmo ano (Figura 14). Wright (1973) estudando açudes na Paraíba, entre eles o açude de Bodocongó, em Campina Grande/PB, observou que com o decorrer da estiagem a concentração de cloretos variou de 760 mgCl^-/L no inverno para 2.400 mgCl^-/L no verão, com aumentos consequentes de condutividade elétrica.

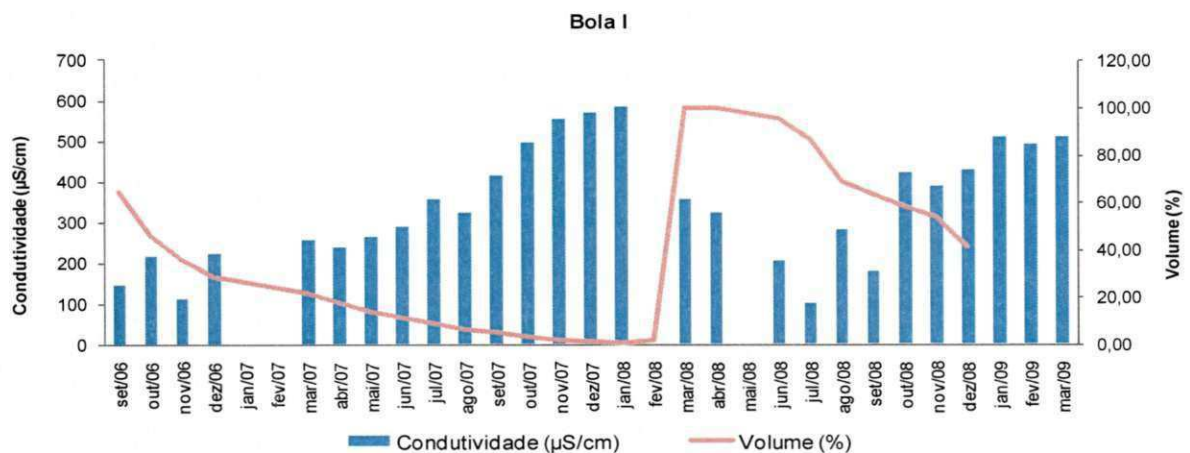


Figura 13. Variação mensal da condutividade elétrica da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

A condutividade elétrica das águas do açude Luiz Heleno (Figura 15) apresentou variações semelhantes àsquelas observadas no açude Bola I (Figura 14), no Bola III (Figura 15), e no Roque (Figura 16).

No açude Luiz Heleno foi observado aumento de condutividade elétrica no mês de agosto de 2007, período em que o açude se encontrava com o menor volume antes de secar completamente, resultado da forte evaporação e consequente concentração desses íons. Em março de 2008, com a chuva e o enchimento do açude, foi observada a diminuição desses valores pela diluição acompanhando o aumento de volume nesse período.

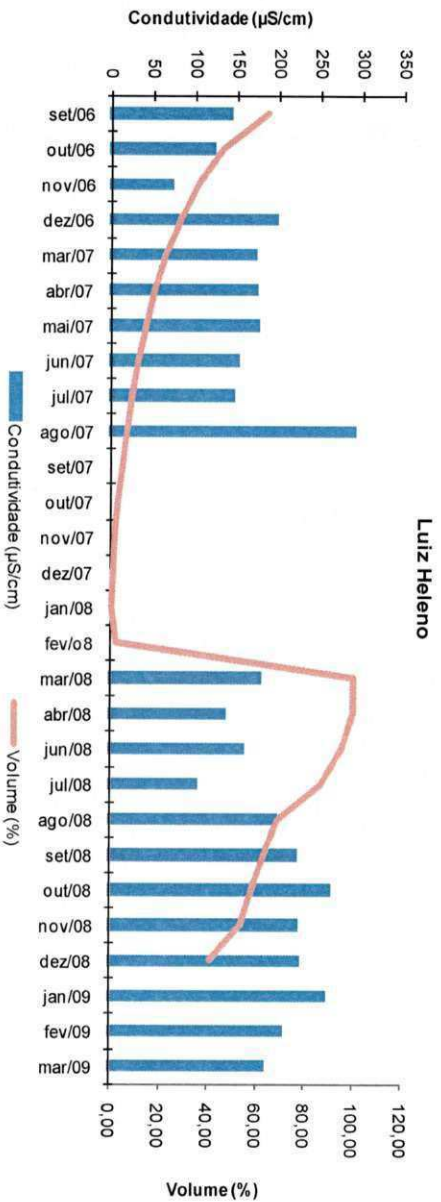


Figura 14. Variação mensal da condutividade elétrica da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

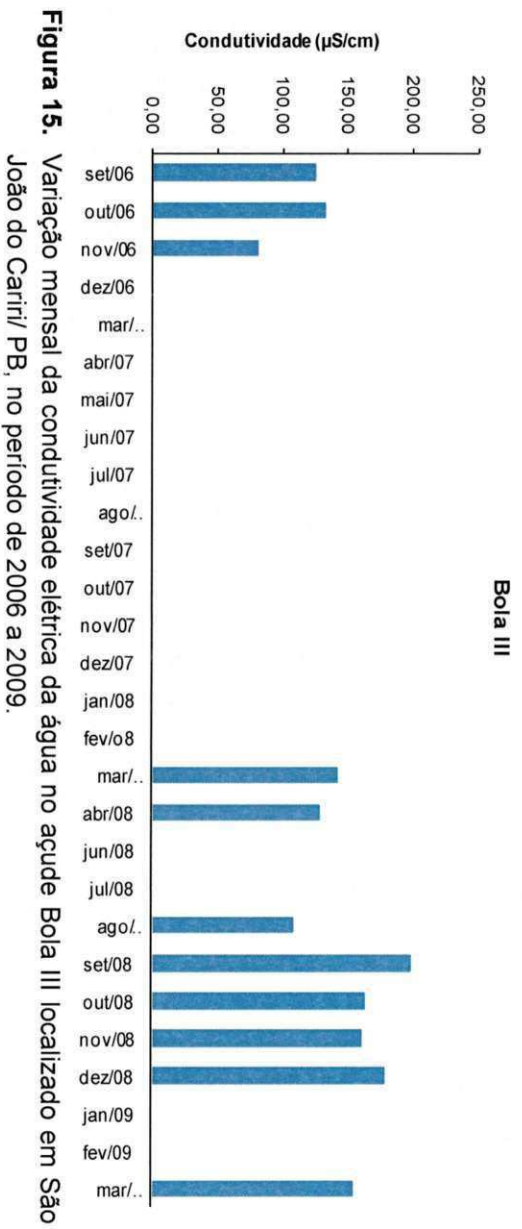


Figura 15. Variação mensal da condutividade elétrica da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

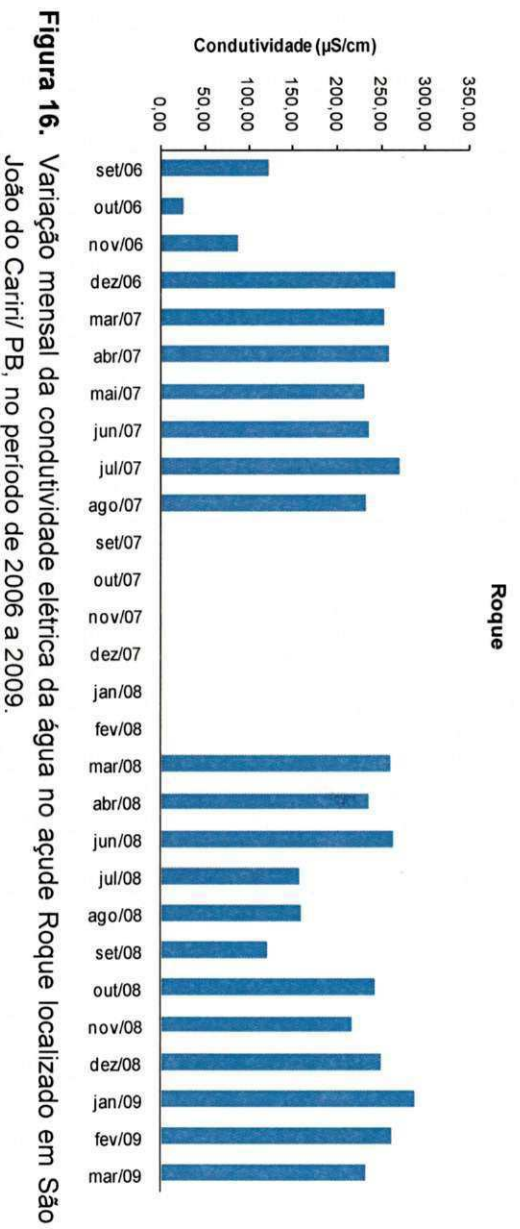


Figura 16. Variação mensal da condutividade elétrica da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

As variações da condutividade elétrica dependem dos aportes externos e das concentrações e diluições dos sais internos ao corpo de água. No início das chuvas o carreamento de íons para o reservatório eleva os valores de condutividade elétrica, logo em seguida com maior volume de água armazenada ocorre diluição. Durante a estiagem a evaporação reduz o volume acumulado e se concentram os íons, portanto, aumentando a condutividade elétrica.

Barbosa *et al.*, (2006) verificaram na Lagoa Panati/PB, no Cariri paraibano, valor máximo de 190 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante os meses de agosto, outubro e dezembro de 2004, sem chuvas e mínimo de 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em fevereiro abril e junho de 2005, com chuvas. Arruda (2009), monitorando o reservatório de Acauã, no Agreste paraibano, formado pela barragem de dois rios poluídos por esgotos parcialmente tratados e impactado pelas entradas difusas de efluentes domésticos das comunidades próximas observou no período de agosto de 2007 a agosto de 2008, variação dos valores médios de condutividade elétrica de 1.220,43 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na estiagem até 715,41 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso, ou seja, uma diferença aproximada de 50% entre ambas as épocas.

A condutividade elétrica aumentou na medida em que houve diminuição do volume de água acumulada nos açudes. Observa-se nos quatro açudes o aumento da condutividade elétrica no início das chuvas em 2008. O material alóctone, rico em sais, transportado com o escoamento superficial foi o responsável por essa alteração da condutividade elétrica durante as primeiras chuvas. Com a seca, o aumento observado foi superior ao do início das chuvas nos quatro açudes, repetindo-se no comportamento descrito por outros autores no semiárido brasileiro, como Lins (2006) e Carvalhal-Luna (2008) em Acauã/Itatuba/PB, Ceballos(1995) nos açudes Epitácio Pessoa - Boqueirão, Bodocongó e Açude Velho – Campina Grande Leite (2000), na represa São Salvador – Sapé, todos na Paraíba e o mesmo foi confirmado por Pacheco (2009) no açude Acarape do Meio/CE.

Nos pequenos açudes sob estudo, a origem dos íons pode ser explicada pelos ciclos alternados de chuva e seca, aos quais são submetidos os açudes no semiárido: durante a chuva, o escoamento superficial carrega para o corpo hídrico materiais diversos, acumulados no ano anterior na bacia de drenagem. No caso particular de açudes em cascata ou em série, nos anos em que há transbordamento de água o valor de condutividade elétrica do último pode ser maior, pelo arrasto de

matérias de montante para jusante. Entretanto, Luiz Heleno, o último da série estudada, não apresentou a maior condutividade elétrica e sim Bola I, que recebeu os aportes de Bola III e de Roque. O transbordamento (sangramento) dos açudes ocorreu em março com formação de pequenos córregos efêmeros conectando-os. Entretanto não foi possível fazer a amostragem nesse período pelo corte das vias de acesso, pelas chuvas intensas.

Segundo Wetzel (1993) e APHA (1998) a alcalinidade é a medida da capacidade de uma água de neutralizar os ácidos. É a somatória de todas as bases que podem ser medidas por titulação. Os principais constituintes são os bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos. Participam da alcalinidade total, as bases fortes, as bases fracas, os de ácidos fracos, tais como bicarbonatos, boratos, silicatos e fosfatos e os sais de ácidos orgânicos (SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994).

Os quatro açudes (Figuras 17, 18, 19 e 20) apresentaram valores mais elevados de alcalinidade na época seca, quando estavam com os menores volumes acumulados, principalmente em 2007. Com as chuvas de março de 2008 houve uma redução dos valores com a diluição e posteriormente aumento, pela concentração de carbonatos e bicarbonatos, ou seja, o mesmo comportamento que elevou a condutividade elétrica, o qual era esperado visto que alcalinidade assim como a dureza contribuem para a condutividade elétrica.

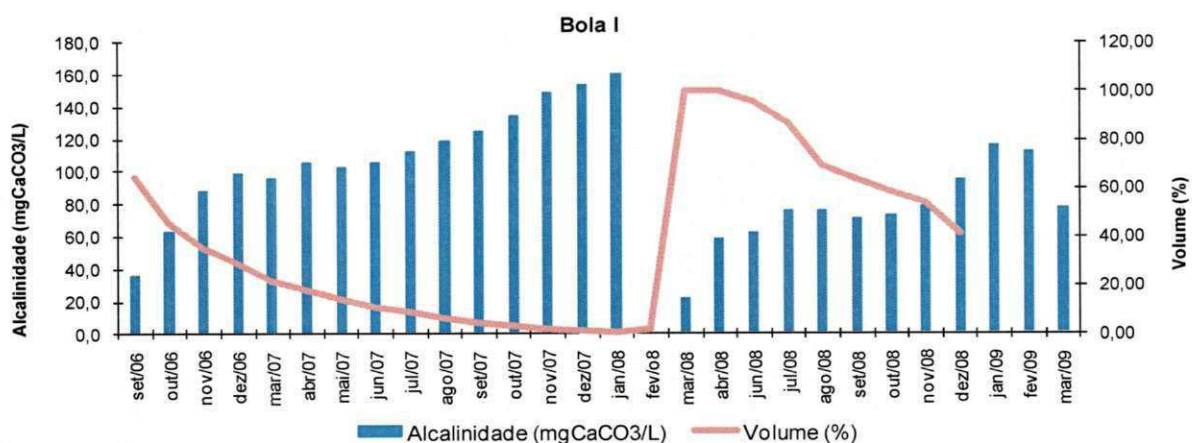


Figura 17. Variação mensal da alcalinidade da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

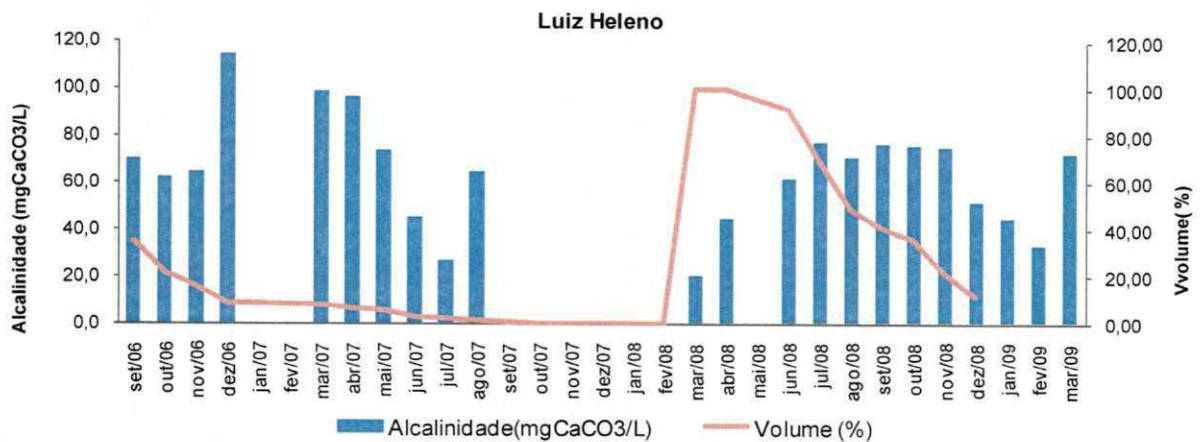


Figura 18. Variação mensal da alcalinidade da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

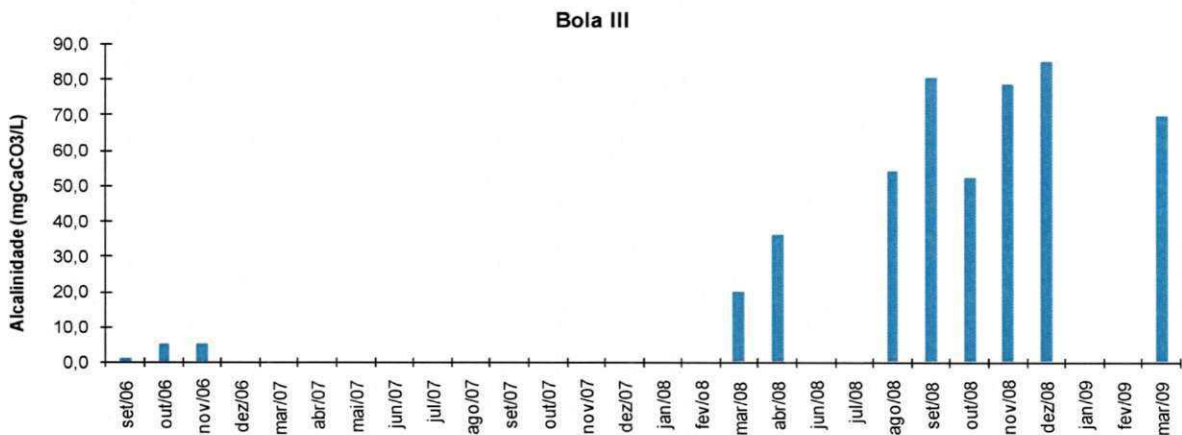


Figura 19. Variação mensal da alcalinidade da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

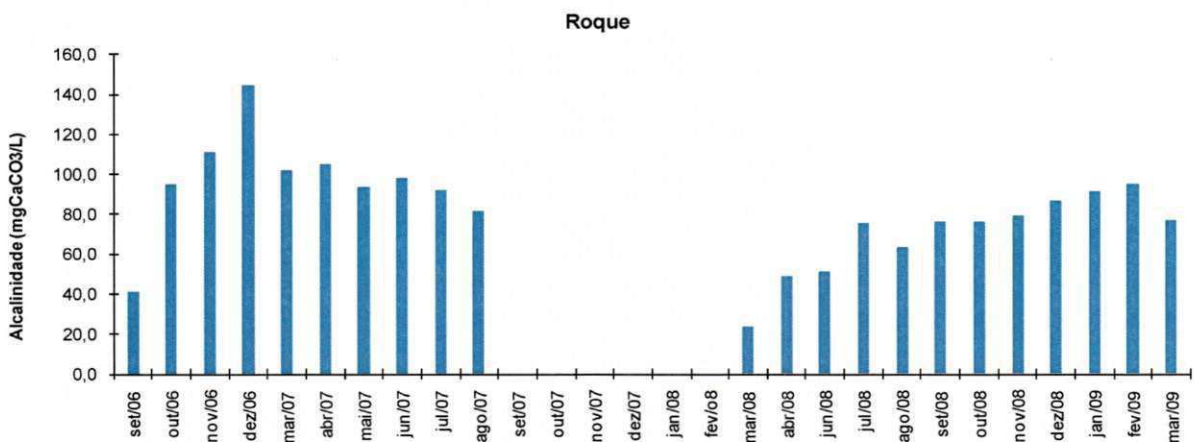


Figura 20. Variação mensal da alcalinidade da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

O mesmo comportamento foi verificado por Macedo (2009) em 20 açudes paraibanos destinados ao abastecimento humano e Ceballos (1995), nos açudes Eptácio Pessoa – Boqueirão e os açudes Velho e Bodocongó – Campina Grande, no estado da Paraíba. No reservatório de Boa Esperança MA/PI, Antonello (2006) verificou também menor concentração da alcalinidade e dureza nas épocas de chuvas com aumentos ao longo da estiagem.

A dureza é definida como a capacidade de uma água de precipitar o sabão, devido à presença de íons de cálcio e de magnésio na água (APHA, 1998). Para Wetzel (1993), o termo dureza de uma água depende do conteúdo de sais de cálcio e magnésio, em parte combinados com bicarbonato e carbonato. A dureza ou grau de dureza expressa a quantidade de carbonatos de cálcio e magnésio, bicarbonatos, sulfatos e cloretos presentes na água. Reflete, em geral, a natureza da formação geológica com a qual a água está em contato (SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994).

A dureza apresentou comportamento muito semelhante ao da alcalinidade. Em março e abril de 2008, com as fortes chuvas foram encontrados os menores valores, e com o avanço da estiagem houve aumento, como mostram as Figuras 21, 22, 23 e 24 .

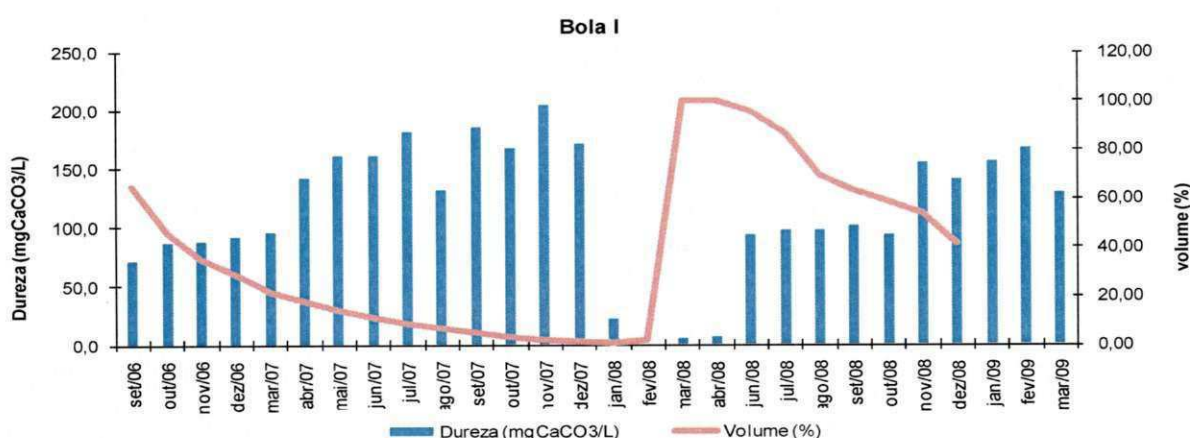


Figura 21. Variação mensal da dureza da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

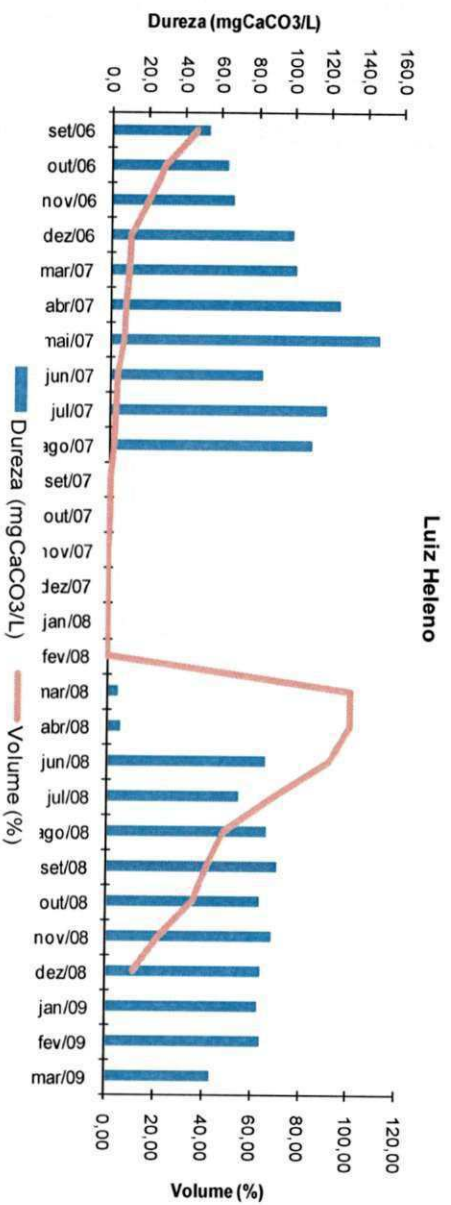


Figura 22. Variação mensal da dureza da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

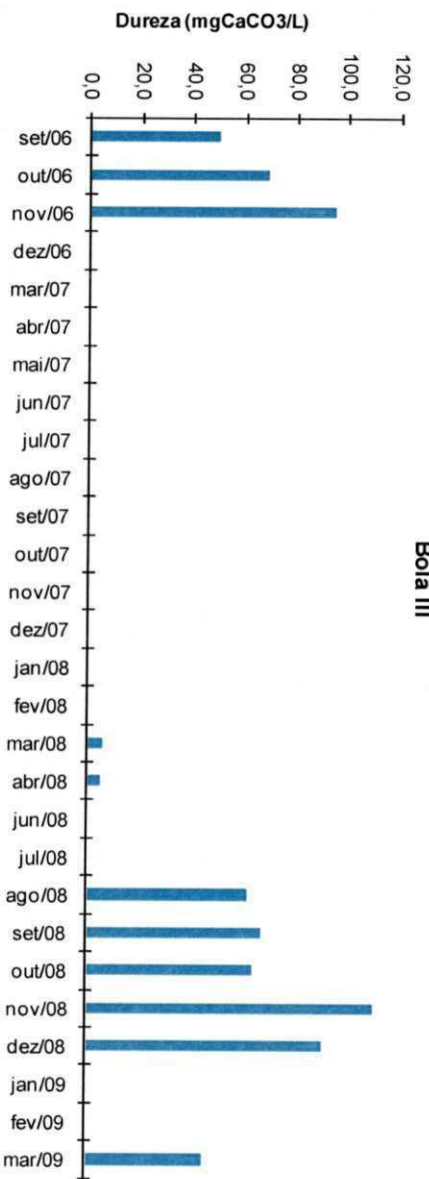


Figura 23. Variação mensal da dureza da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

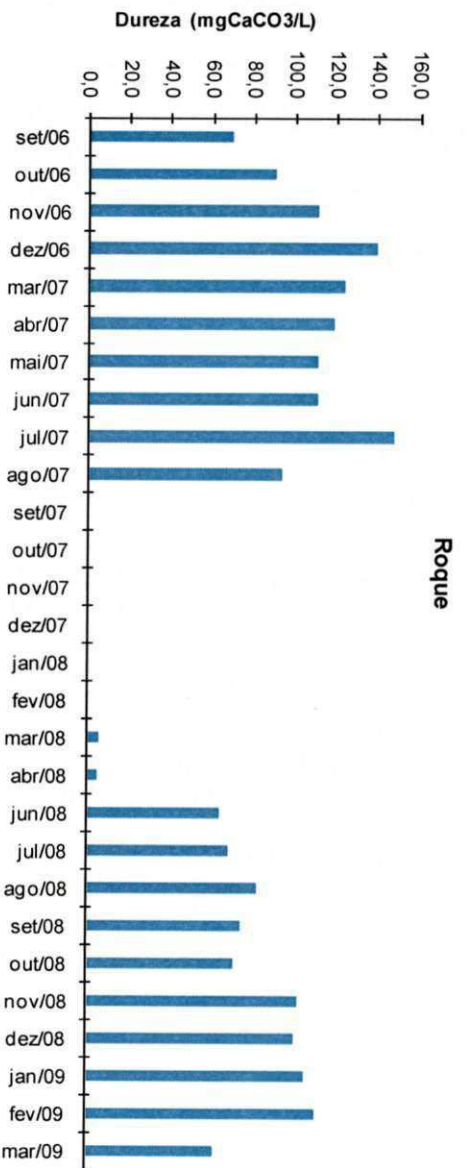


Figura 24. Variação mensal da dureza da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

A presença de sólidos suspensos na água está associada com partículas que podem sedimentar ou permanecerem em suspensão, de natureza orgânica (sólidos voláteis) ou inorgânica (não voláteis ou fixos) (APHA, 1998; SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994).

As variáveis sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais foram monitoradas, neste trabalho, somente nos meses de abril de 2008 até março de 2009. O mesmo padrão de comportamento destes parâmetros, como condutividade elétrica e dureza, ocorreu com os sólidos suspensos totais, com maiores valores na época da estiagem (Figuras 25, 26, 27 e 28).

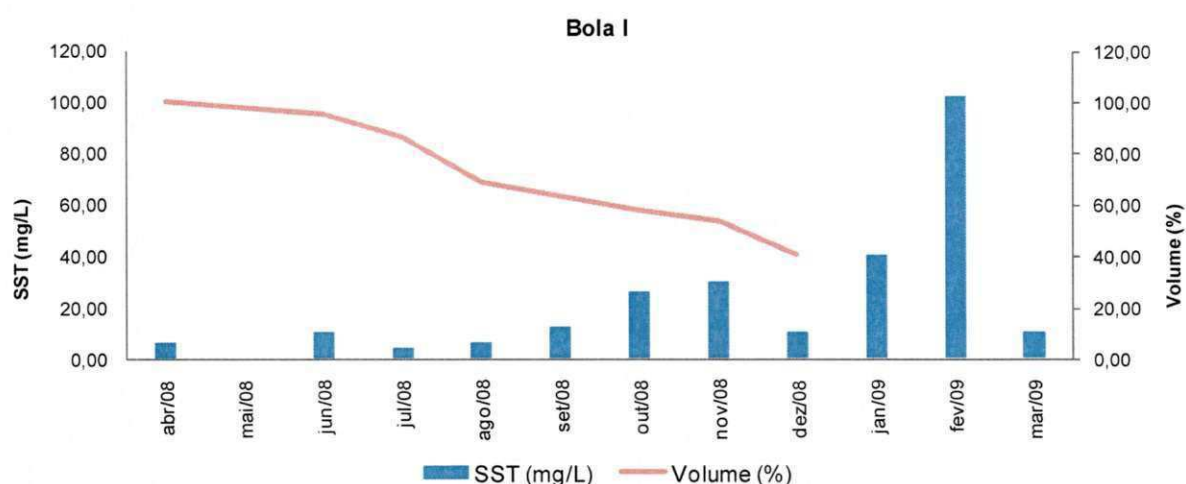


Figura 25. Variação mensal dos sólidos suspensos totais da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

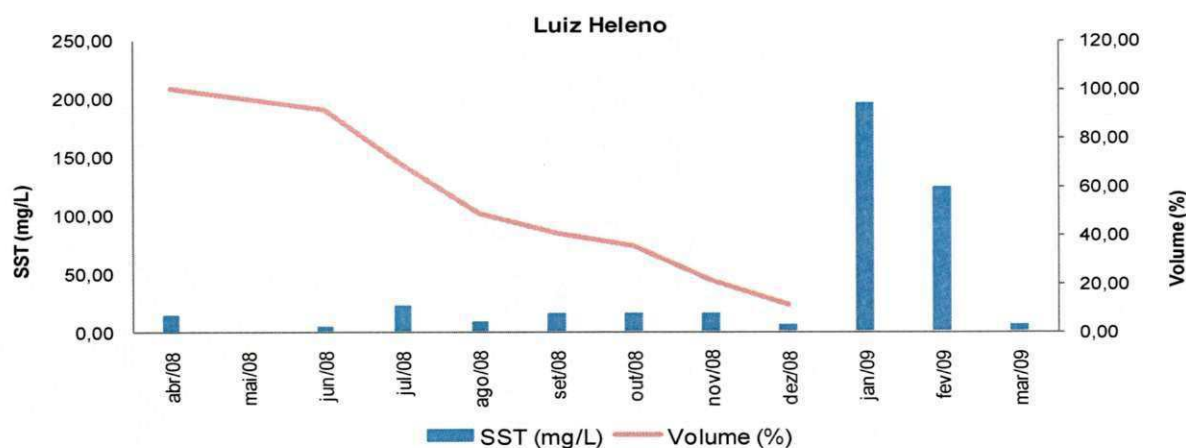


Figura 26. Variação mensal dos sólidos suspensos totais da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

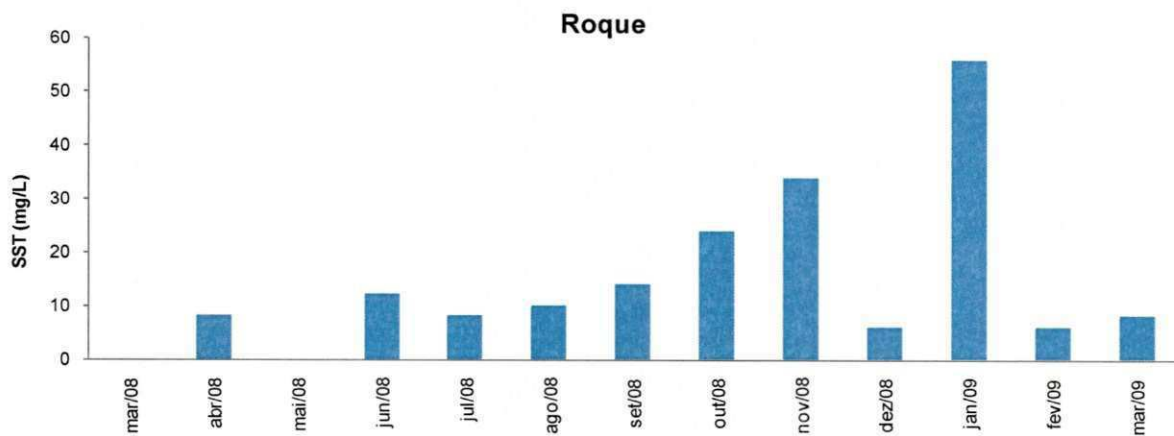


Figura 27. Variação mensal dos sólidos suspensos da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

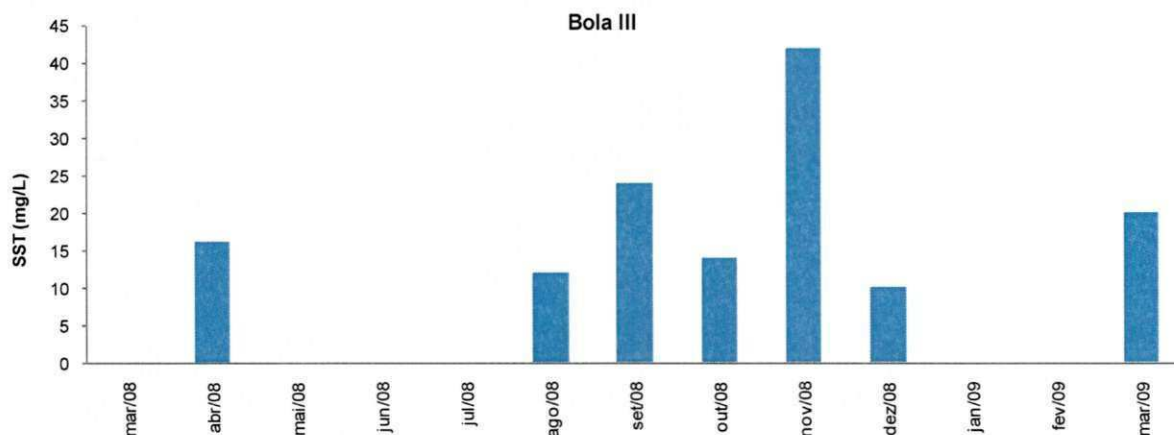


Figura 28. Variação mensal dos sólidos suspensos da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

Em geral, houve aumento dos sólidos suspensos totais com a diminuição do volume acumulado nos açudes, o qual se associou com a diminuição da transparência, ou seja, com o aumento da turbidez.

Sólidos dissolvidos totais são constituídos por substâncias que permanecem em solução após a filtração através de um filtro padrão, de fibra de vidro (APHA 1998). A presença de íons dissolvidos está associada com a condutividade elétrica, ou seja, parte do material dissolvido é formada por íons como por exemplo os cloretos. Nos quatro açudes a variável sólidos dissolvidos totais (Figuras 29, 30, 31 e 32), apresentou a mesma tendência durante a estiagem, ou seja, valores mais elevados no período de seca.

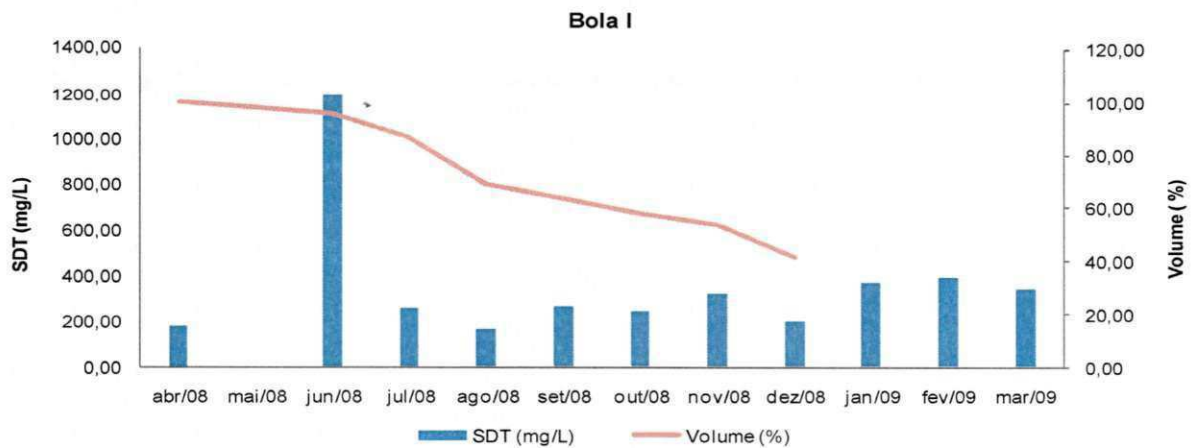


Figura 29. Variação mensal dos sólidos dissolvidos totais da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

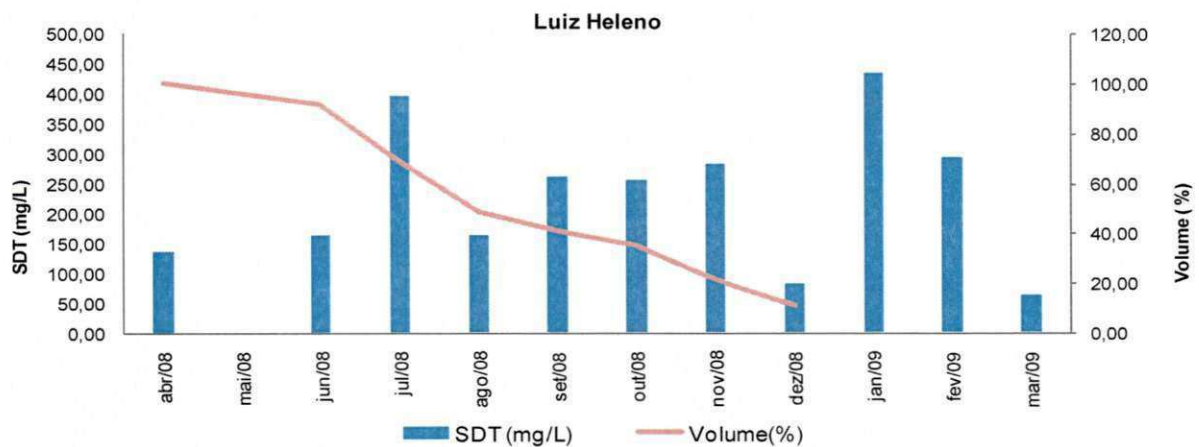


Figura 30. Variação mensal dos sólidos dissolvidos totais da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

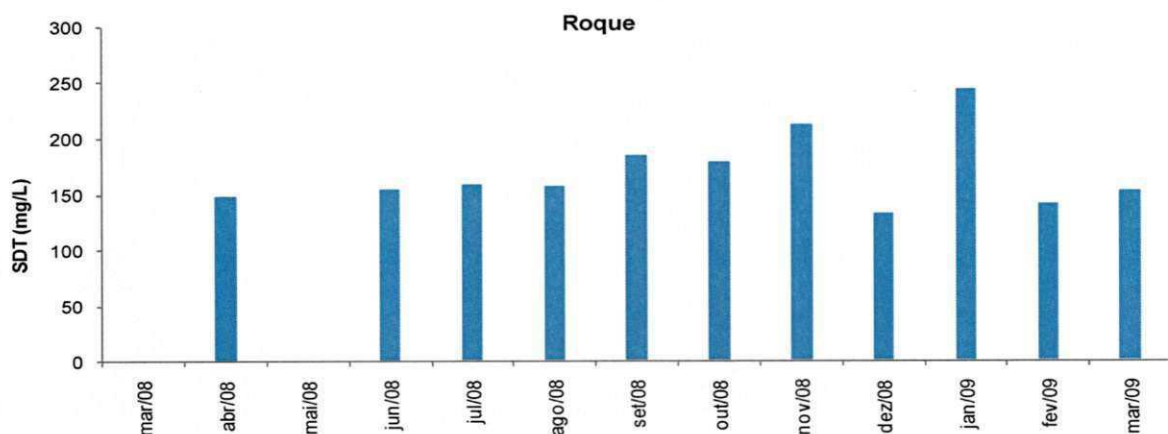


Figura 31. Variação mensal dos sólidos dissolvidos totais da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

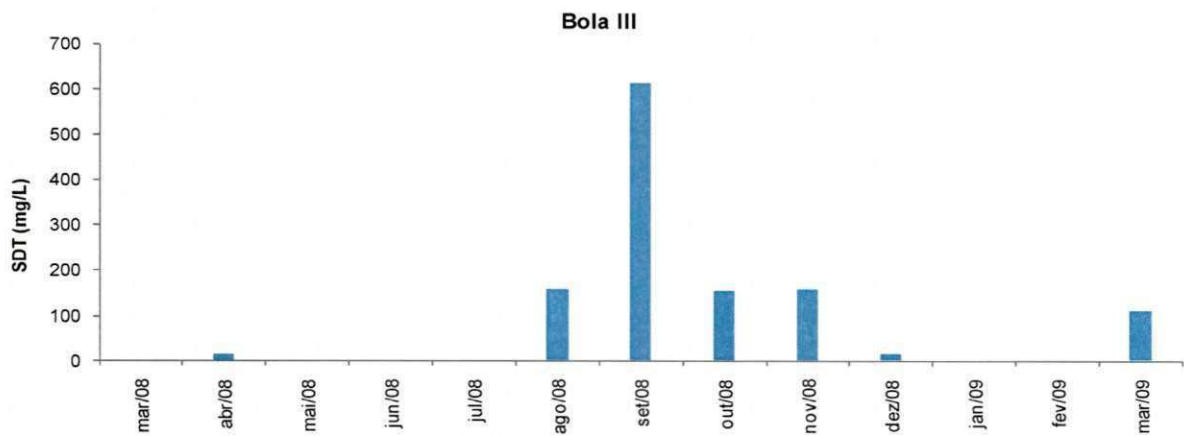


Figura 32. Variação mensal dos sólidos dissolvidos totais da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009

Antonello (2006), avaliando sólidos dissolvidos totais no reservatório de Boa Esperança PI/MA, também observou essa tendência. Além da concentração de acordo com o volume acumulado Tavares (1999) observou, em três lagoas naturais no Rio Grande do Norte, que a concentração de sólidos assim como a variação de dureza, alcalinidade e condutividade elétrica evidenciavam o aporte de material da bacia para dentro do manancial.

Nos quatro açudes, o pH variou entre neutro e básico (Figuras 33,34,35 e 36). O valor máximo, de 9,9 ocorreu em setembro e novembro de 2006 no açude Luiz Heleno e o menor, de 6,77 em março de 2008 também no Luiz Heleno.

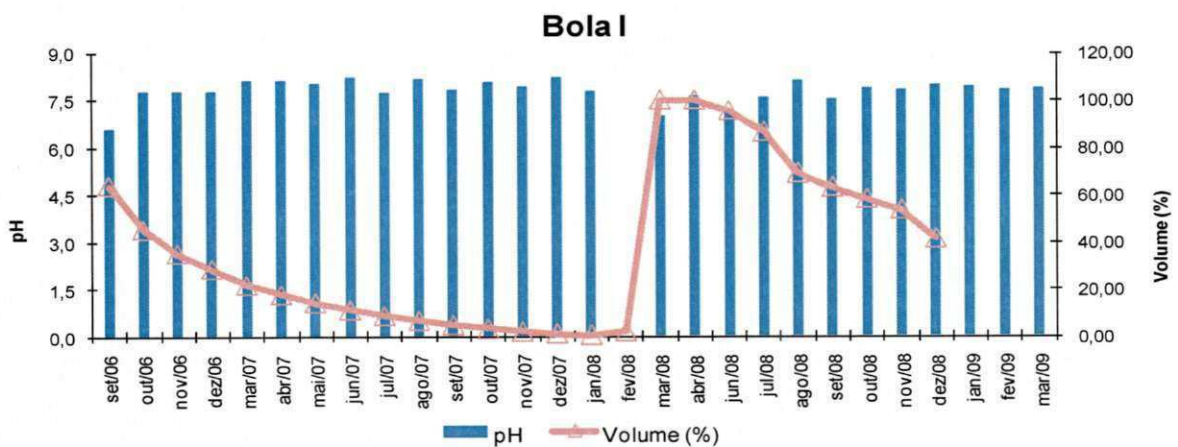


Figura 33. Variação mensal do pH da água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

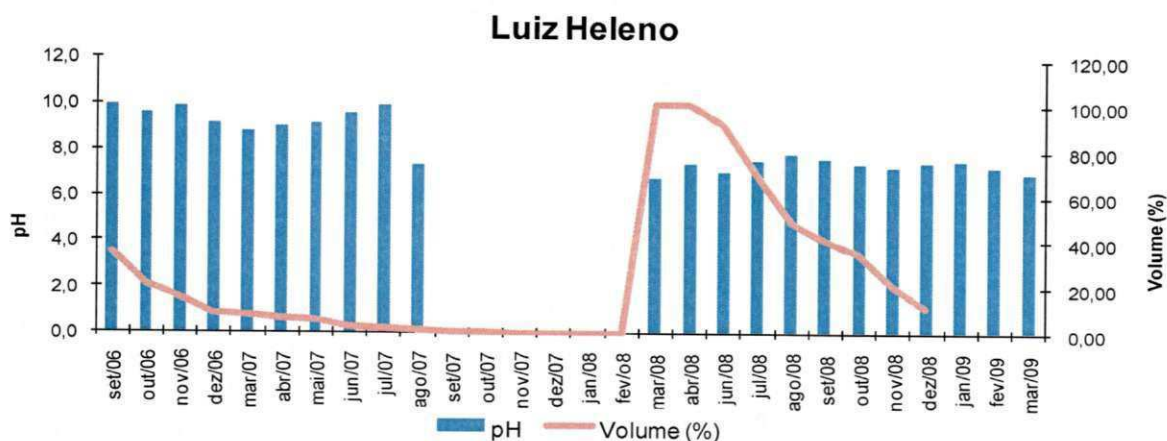


Figura 34. Variação mensal do pH da água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

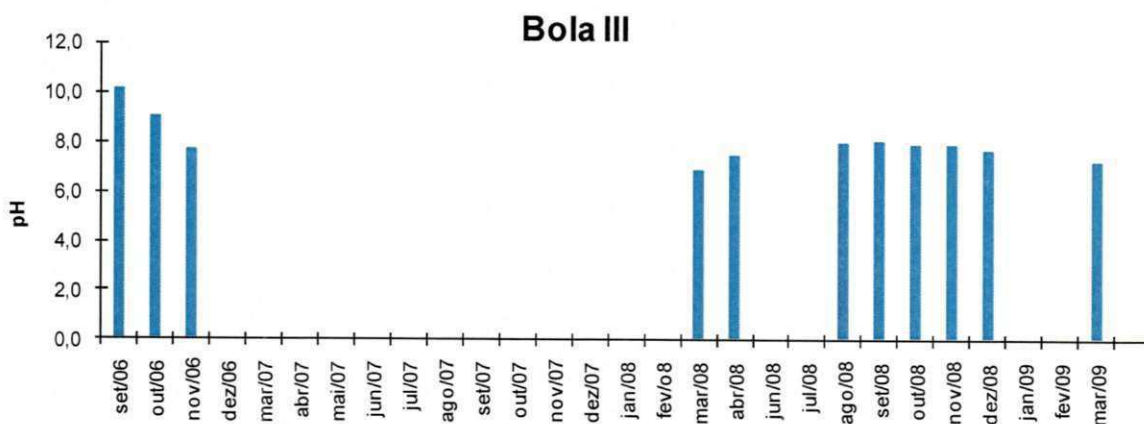


Figura 35. Variação mensal do pH da água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

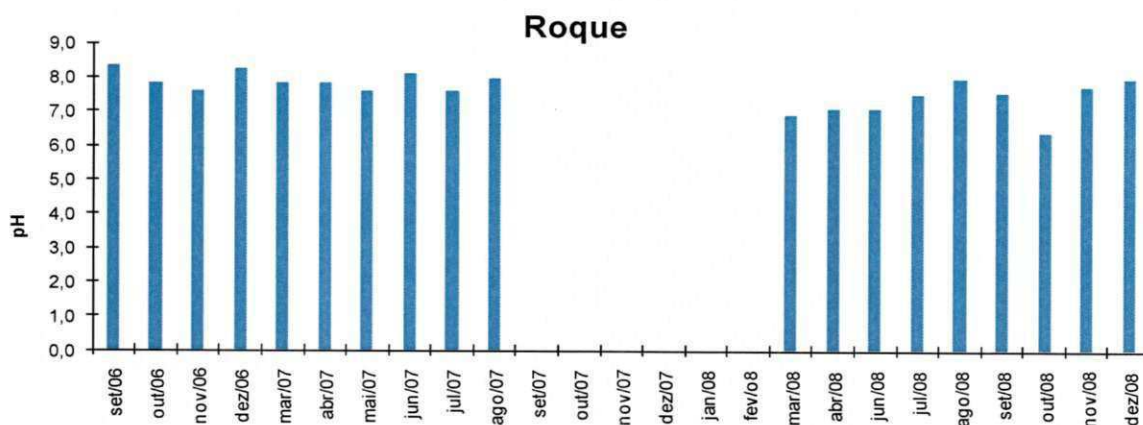


Figura 36. Variação mensal do pH da água no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

Lins (2006) e Arruda (2009) verificaram no reservatório de Acauã/PB valores de pH na faixa básica, com média de 8,34 e 8,62 respectivamente e, associados ao estado eutrofizado de suas águas, com elevada concentração de biomassa fitoplânctônica e relacionaram esses altos valores de pH com a elevada produtividade. Pacheco (2009) também verificou no açude Aracape do Meio/CE, valores elevados de pH e associado com a biomassa algal, com valores mínimo e máximo de 59 e 129 µg/L respectivamente.

A concentração de oxigênio dissolvido em um corpo aquático depende diretamente de processos físicos, químicos e bioquímicos que nele ocorrem (APHA, 1998), ou seja, a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) na água é resultado do balanço entre o oxigênio que entra na massa de água pela aeração mecânica superficial (ventos) mais aquele que é produzido na fotossíntese menos o consumido pelos organismos aeróbios em seus processos metabólicos e o consumido nos processos de oxidação química. A respiração de todos os seres aeróbios incluída a atividade bacteriana e a oxidação química são fontes de perdas de oxigênio dissolvido (SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994).

Os valores de oxigênio dissolvido nos quatro açudes variaram ao longo do tempo sem mostrar um padrão definido. Em março e maio de 2008, meses chuvosos, a concentração de oxigênio dissolvido diminuiu nos quatro açudes (valores mínimos em Bola I de 3,2 mg/L, em Luiz Heleno de 2,0 mg/L, em Bola III de 0,9 mg/L e em Roque de 2,1 mg/L) possivelmente devido à biodegradação do material orgânico alóctone introduzido (Figuras 37, 38,39 e 40).

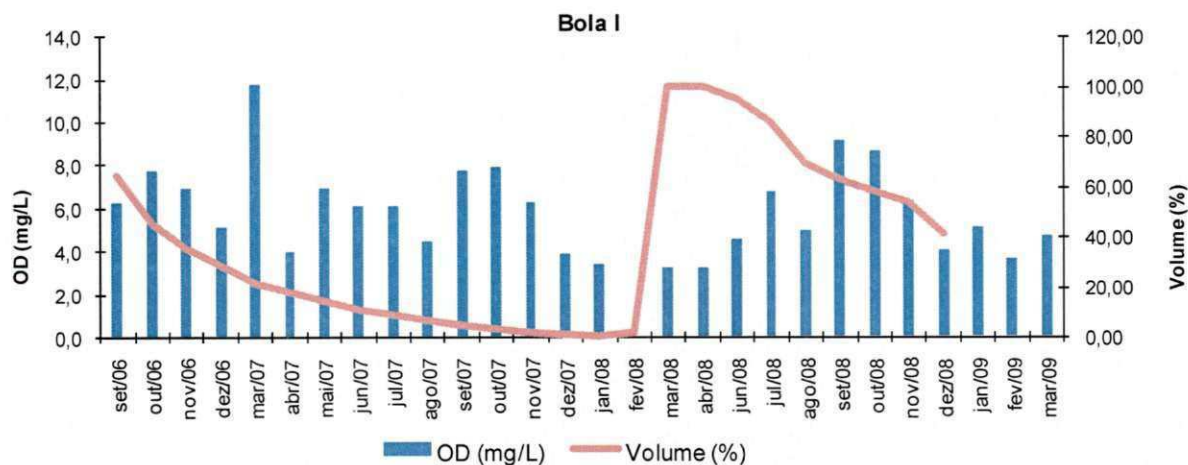


Figura 37. Variação mensal do oxigênio dissolvido na água e volume acumulado no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

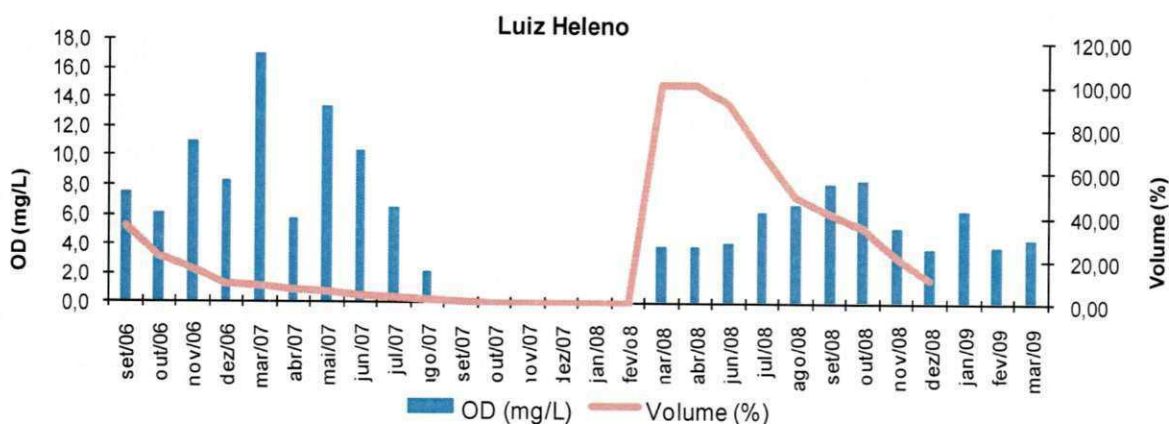


Figura 38. Variação mensal do oxigênio dissolvido na água e volume acumulado no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

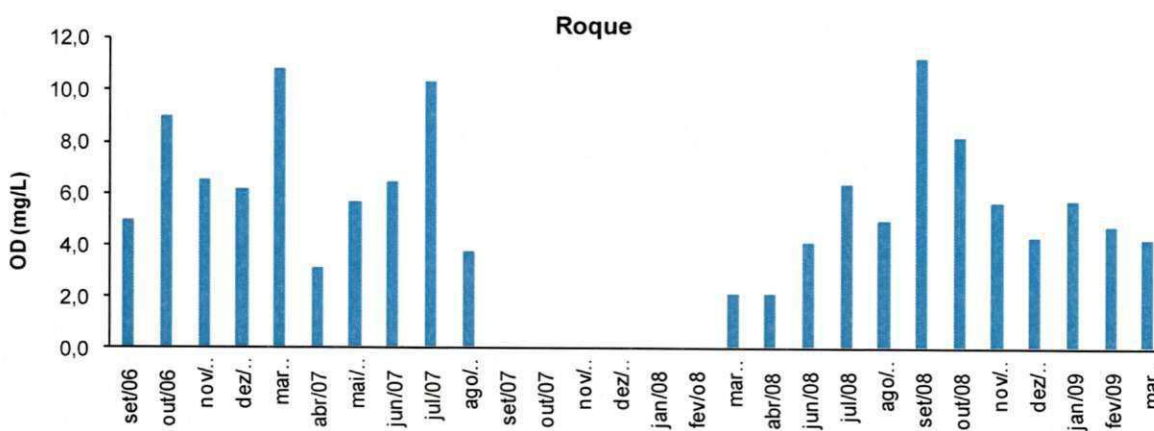


Figura 39. Variação mensal do oxigênio dissolvido na água no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

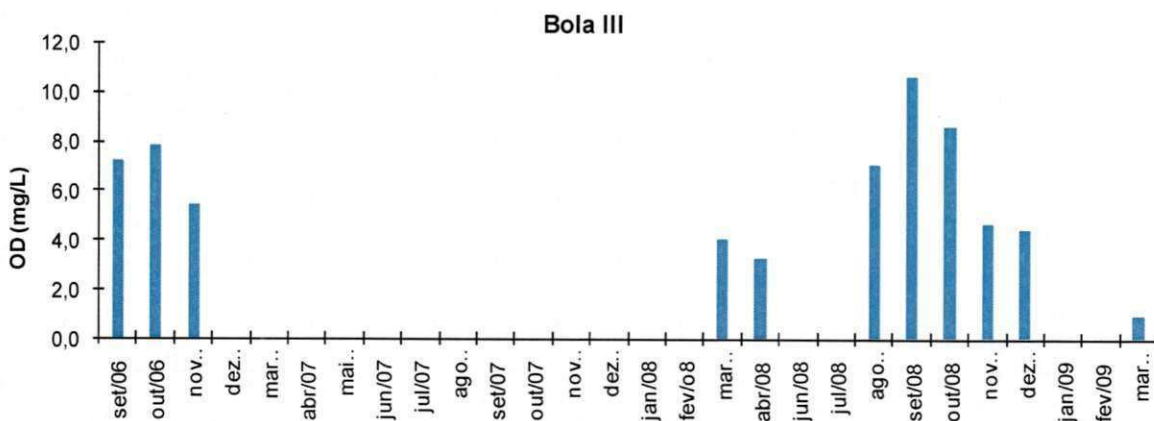


Figura 40. Variação mensal do oxigênio dissolvido na água no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

Leite (1998), estudando o reservatório de Salto Grande/SP, verificou a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido durante o período chuvoso e foi associada com a descarga de sólidos em suspensão pelo escoamento superficial. Já Macedo (2009) verificou em 20 reservatórios da Paraíba destinados a usos múltiplos, dentre eles o abastecimento humano, na seca (setembro a novembro de 2007) e na chuva (maio a julho de 2008) concentrações elevadas de oxigênio dissolvido, que foram associadas com o longo período de exposição à luz solar que favoreceu a maior produção de oxigênio pelos organismos fotossintetizantes. Lins (2006) também relacionou as elevadas concentrações de oxigênio dissolvido com a atividade fotossintética do fitoplâncton na zona eufótica no açude de Acauã/PB. Em todos esses açudes, o consumo de oxigênio dissolvido foi inferior à sua produção.

No presente trabalho, em alguns meses, tais como no final do período da seca e antes da evaporação de toda a água do açude e no início das chuvas, as concentrações de oxigênio dissolvido atingiram valores próximos a 37% do valor de saturação, considerando para os açudes da bacia um valor de 7,9 mg/L como a concentração de saturação média de oxigênio dissolvido. Esses baixos valores se associaram então com a elevada temperatura, pois a dissolução do oxigênio atmosférico e fotossintético é inversamente proporcional à temperatura, e aos baixos volumes da água justamente no período quando ocorre a maior concentração do material orgânico e inorgânico na água.

O fósforo presente na água pode ter origem natural, devido à dissolução de compostos do solo, o intemperismo das rochas e decomposição de matéria orgânica autóctone e origem exógena ou antropogênica, devido a despejos de esgotos domésticos (material fecal, resíduos sólidos diversos e detergentes), industriais, e fertilizantes químicos utilizados na agricultura (WETZEL, 1993). O elemento fósforo está presente em quantidade elevada nos lodos dos esgotos e nos sedimentos dos lagos e rios, devido a sua precipitação sob diferentes condições de pH e de oxigenação e, a partir dessas matrizes ambientais pode-se dissolver e retornar para a coluna de água se o ambiente é anaeróbio e levemente ácido (MANAHAM, 2000).

O fósforo é importante para o crescimento dos todos os seres vivos, dentre eles as algas e as cianobactérias por fazer parte das membranas e paredes celulares, do DNA e do RNA, dos compostos associados com o armazenamento de energia (ATP e ADP), por participar de moléculas de endoenzimas e exoenzimas celulares entre outros componentes (BLACK, 2002). Entre as diversas formas de fósforo (ortofosfato, fosfato condensado – piro, meta e outros polifosfatos), a maior

parte do fosfato inorgânico está na forma de ortofosfato (PO_4^{-3}) (ESTEVES, 1998; APHA 1998), também denominado de fósforo inorgânico reativo e é a forma mais facilmente assimilável pelos vegetais aquáticos, pelas algas e cianobactérias.

Nos quatro açudes, no período de 2006-2007, as concentrações de fósforo total não apresentaram grandes variações entre os meses de chuva e estiagem. No entanto, em março de 2008, com as fortes chuvas, houve entrada de fósforo nos reservatórios, mas como o volume de água armazenada era elevado, ocorreu a diluição, não sendo possível avaliar de quanto foi a entrada de fósforo nesse evento. Posteriormente ocorreu aumento de fósforo total em alguns meses, que foi associado com a diminuição do volume da água dos açudes e que seguiu aumentando com o avanço da seca, acompanhado pelo aumento da biomassa.

As Figuras 41, 42, 43 e 44 mostram as variações do fósforo total nos açudes analisados. Sodré – Neto e Araújo (2008) observaram no reservatório de Armando Ribeiro Gonçalves/RN, a variação do fósforo total entre 41,3 $\mu\text{g/L}$ e 91,3 $\mu\text{g/L}$ no período chuvoso e concentração de 99,7 $\mu\text{g/L}$ para 108,0 $\mu\text{g/L}$ na estiagem.

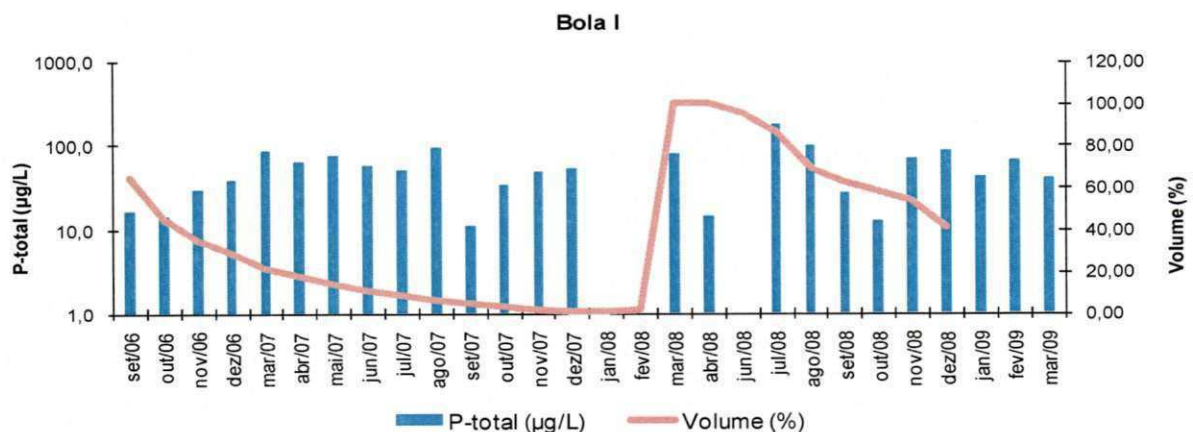


Figura 41. Variação mensal do fósforo total no açude Bola I localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

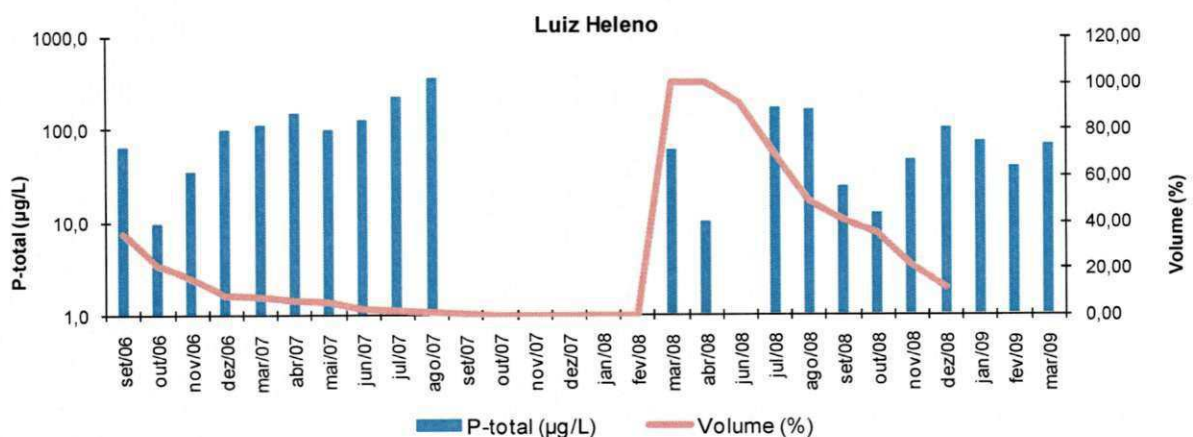


Figura 42. Variação mensal do fósforo total no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

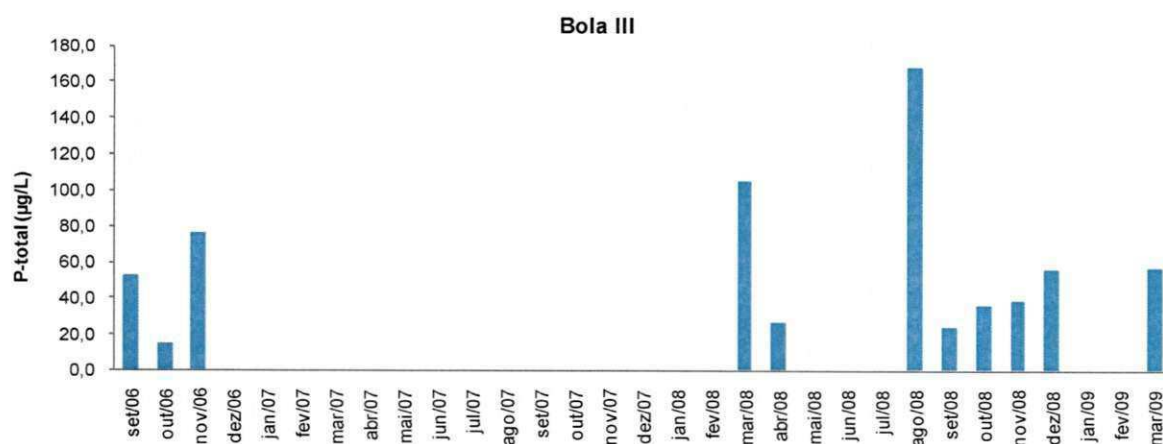


Figura 43. Variação mensal do fósforo total no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

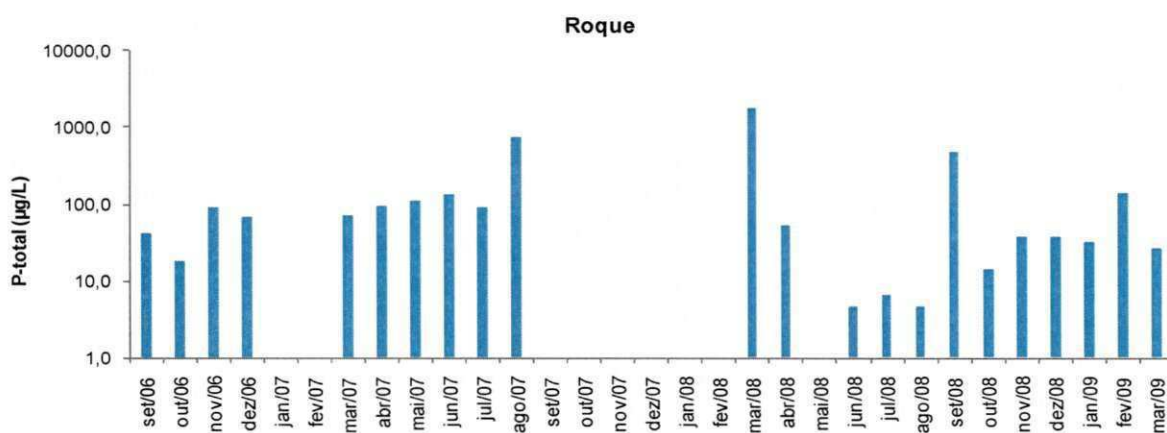


Figura 44. Variação mensal do fósforo total no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

Nas figuras acima observa-se que no período de estiagem houve aumento gradual de fósforo total com a diminuição do volume dos açudes, até secarem. No mês de agosto de 2007, mês com menor volume acumulado, o fósforo armazenado e concentrado no sedimento foi elevado, e com o esvaziamento dos açudes, ficou depositado no sedimento. Com o início das chuvas, em março de 2008, as águas ressuspenderam e dissolveram o fósforo do sedimento e nas amostras desse mês se fez a medição desse fósforo mais aquele carregado com o escoamento superficial, ou seja, o alto valor de fósforo total nos quatro açudes em maio de 2008 pode ser a somatória do P-total restante no fundo mais o novo, transportado. Não foi possível assegurar que as chuvas de março de 2008 foram a causa dos valores medidos nesse mês. De fato, pode haver pelo menos três fontes de fósforo: o fósforo acumulado no sedimento do fundo dos açudes, o fósforo transferido de montante

para jusante nos açudes em cascata durante o transbordamento em março de 2008 e o fósforo transportado pelas chuvas da bacia de drenagem. Neste estudo não foi viável conhecer de forma diferenciada quanto foi aportado a partir de cada um desses eventos. Nos meses seguintes, de chuvas, houve diluição pela elevação do volume acumulado.

A concentração de ortofosfato solúvel foi bastante variável nos quatro açudes sem se estabilizar nos meses chuvosos e nos de estiagem (Figuras 45, 46, 47 e 48). O escoamento superficial pode ter contribuído com a entrada desse nutriente e dos outros também.

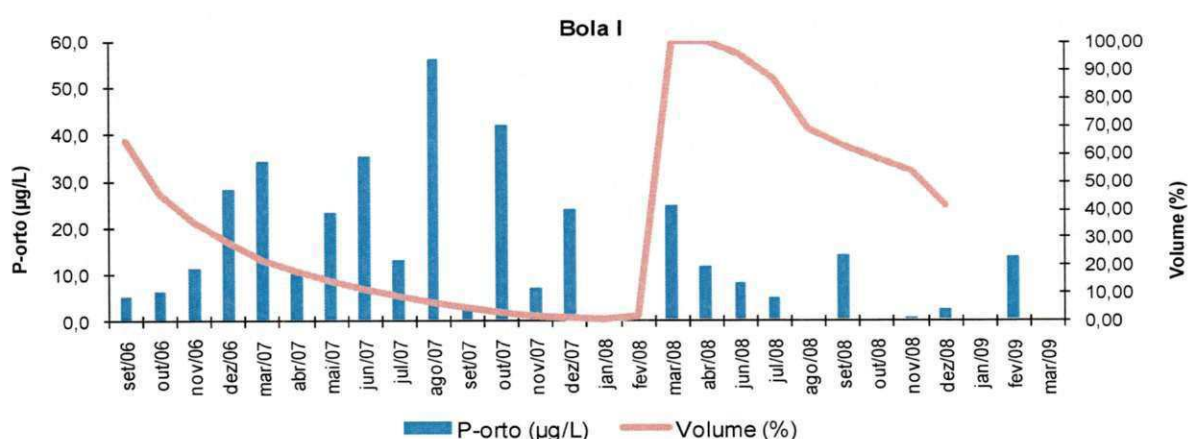


Figura 45. Variação mensal do ortofosfato solúvel no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

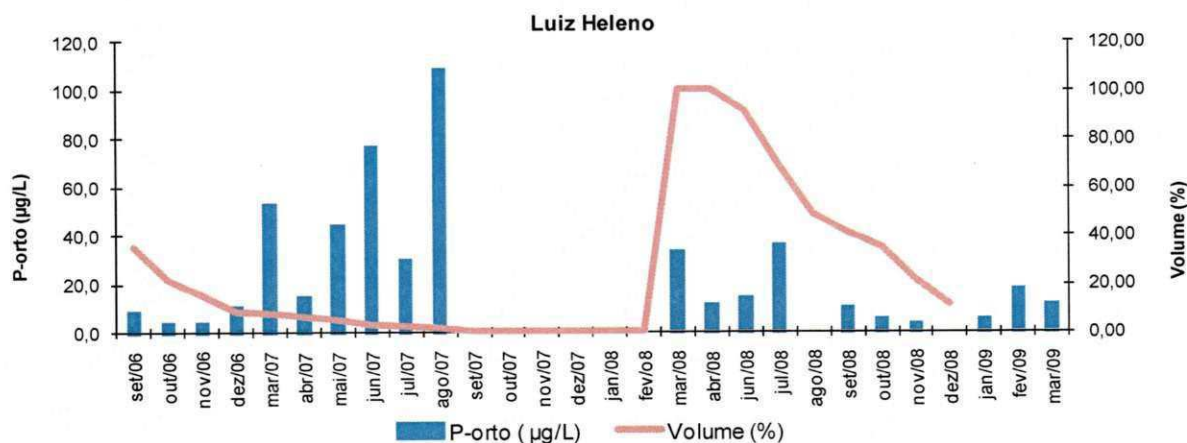


Figura 46. Variação mensal do ortofosfato solúvel no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

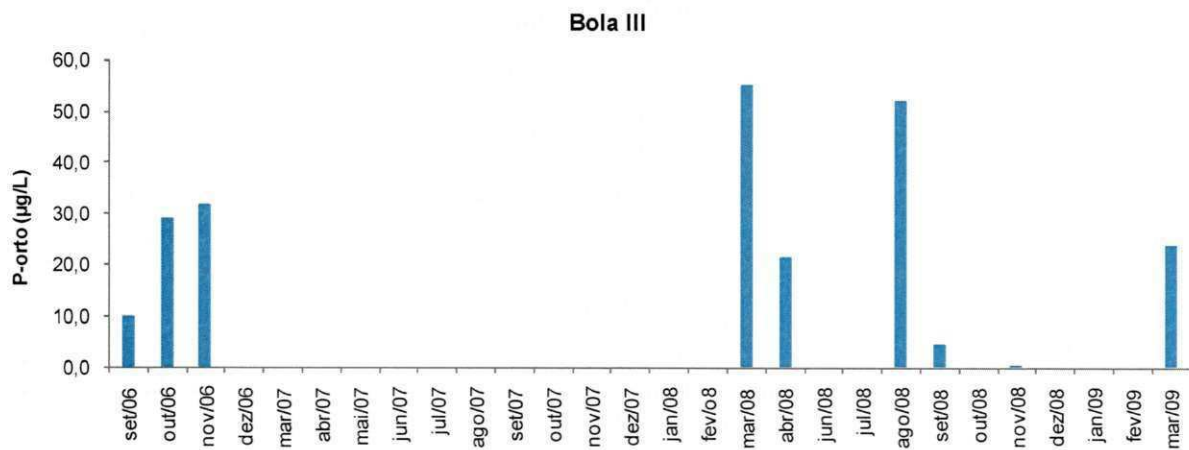


Figura 47. Variação mensal do ortofosfato solúvel no açude Bola III localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

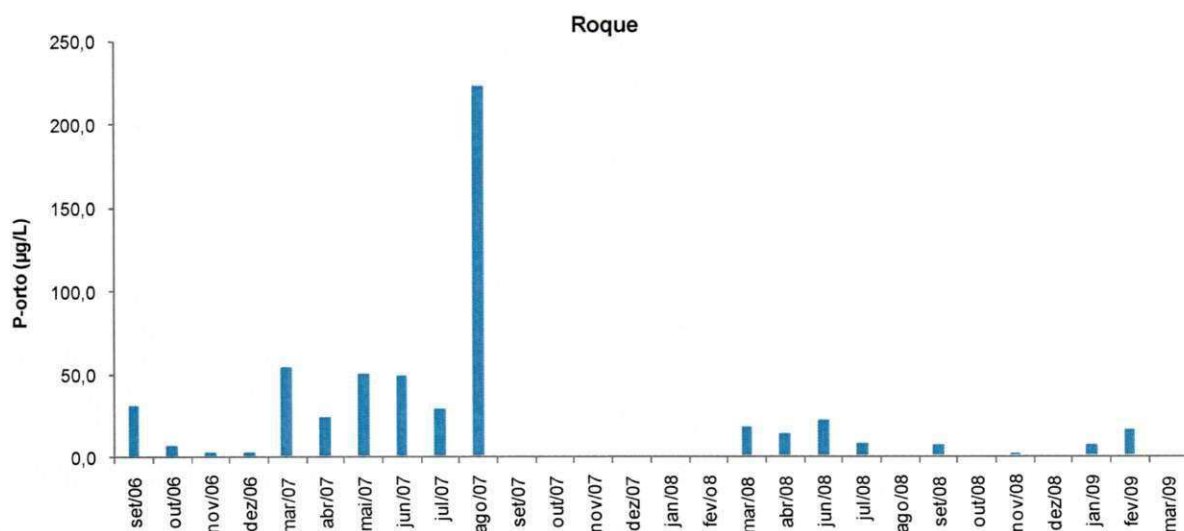


Figura 48. Variação mensal do ortofosfato solúvel no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

Lins (2006) verificou baixos valores de ortofosfato no açude de Acauã/PB, reservatório definido como hipereutrófico ao observar elevadas concentrações de fósforo total e de biomassa algal (clorofila *a*) e que podem estar associadas com a assimilação biológica do ortofosfato pelo fitoplâncton. Tavares (2000), verificou no reservatório de São Salvador, Sapé/PB, no período de estiagem a concentração de ortofosfato de 0,0 a 0,30 µg/L com valor de fósforo total de 0,2 µg/L e de 5,9 µg/l de clorofila *a*. Pacheco (2009) observou no açude Acarape do Meio/CE variação no período chuvoso de 0,005 µg/L a 0,037 µg/L e no período seco de 0,004 a 0,023 µg/L. Bouvy *et al.*, (2003), observaram no reservatório de Tapacurá/PE que os

valores mais altos de ortofosfato encontravam-se no período chuvoso através da entrada externa pelo escoamento superficial e das influências antropogênicas na bacia de drenagem.

O nitrogênio é um dos elementos importantes no metabolismo dos ecossistemas aquáticos. É indispensável ao crescimento de todas as células vivas por formar parte das proteínas e enzimas, bases púricas e pirimídicas que constituem as moléculas dos ácidos nucleicos, entre outras moléculas vitais (BLACK, 2002; MADIGAM, *et al.*, 2004). Pode ser o fator limitante da produção primária. Na forma de amônia, pode ser tóxica em determinadas condições ambientais para os organismos aquáticos, em particular os peixes (APHA, 1998; SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994; PEREIRA e MERCANTE, 2005).

O nitrato apresentou valores em torno de 100 µg/L ao longo de 2007 e parte de 2008, antes dos açudes secarem. Com as chuvas de março desse ano a concentração, na nova água acumulada, foi menor que no último mês com água armazenada, e ao longo dos meses seguintes em nenhum dos quatro açudes se atingiu valores próximos aos anteriores, como se observa nas Figuras 49, 50, 51 e 52.

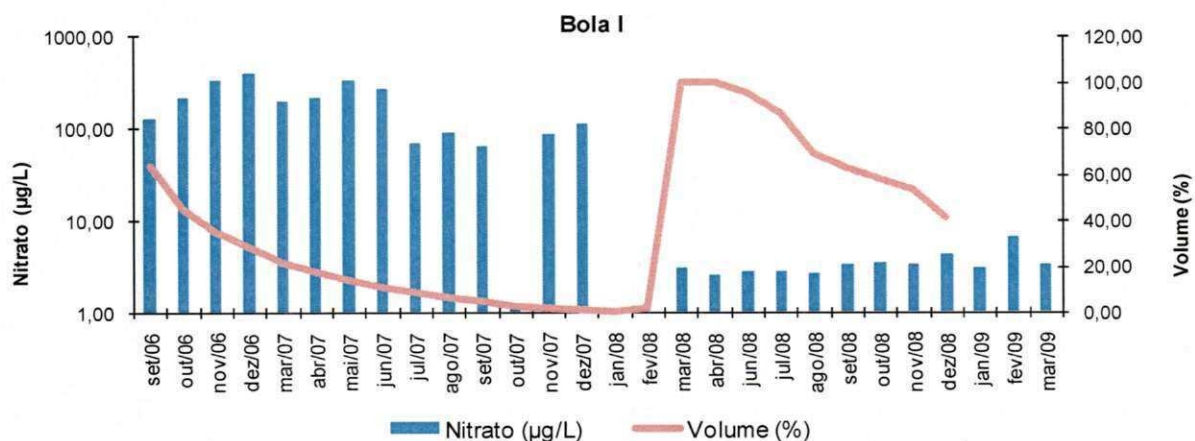


Figura 49. Variação mensal do nitrato no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

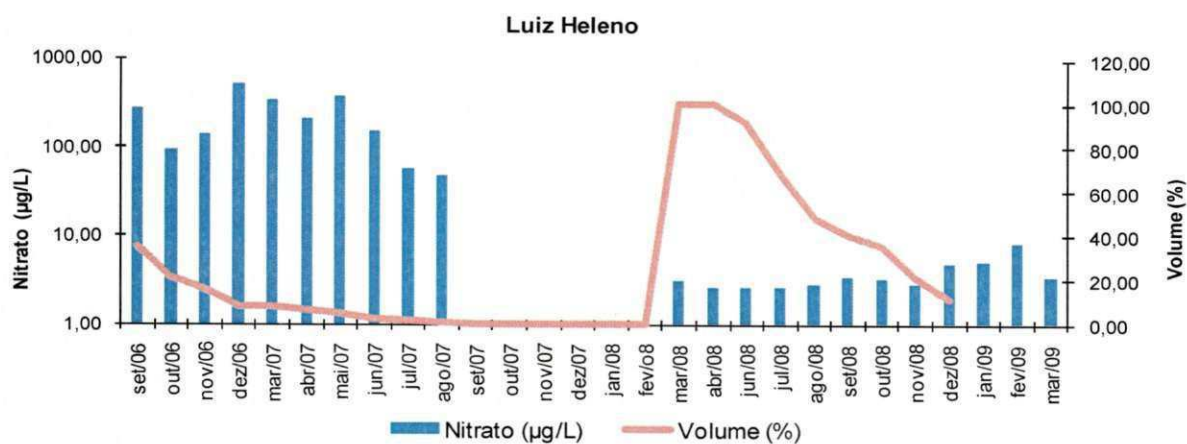


Figura 50. Variação mensal do nitrato no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

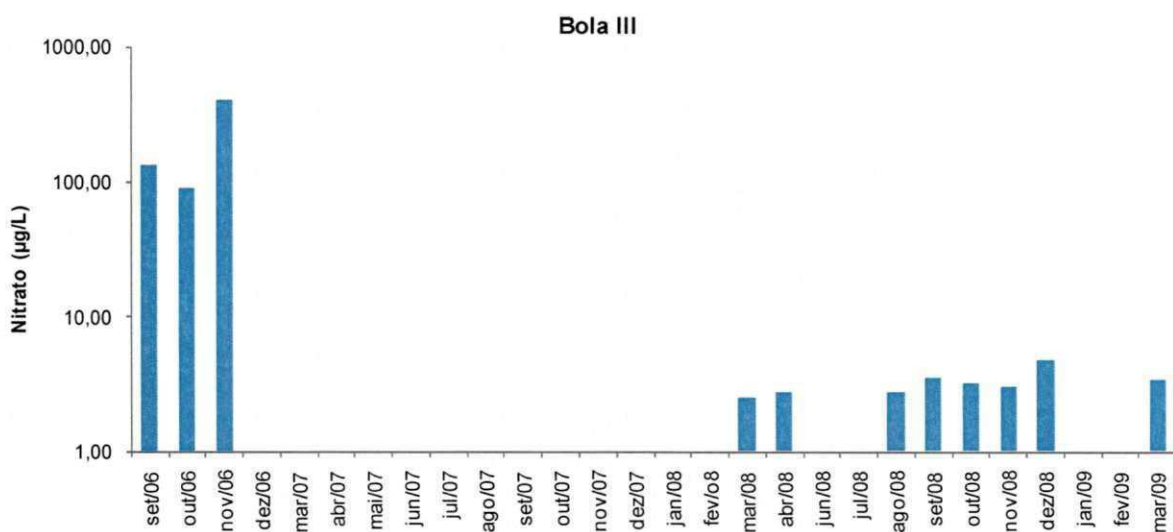


Figura 51. Variação mensal do nitrato no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

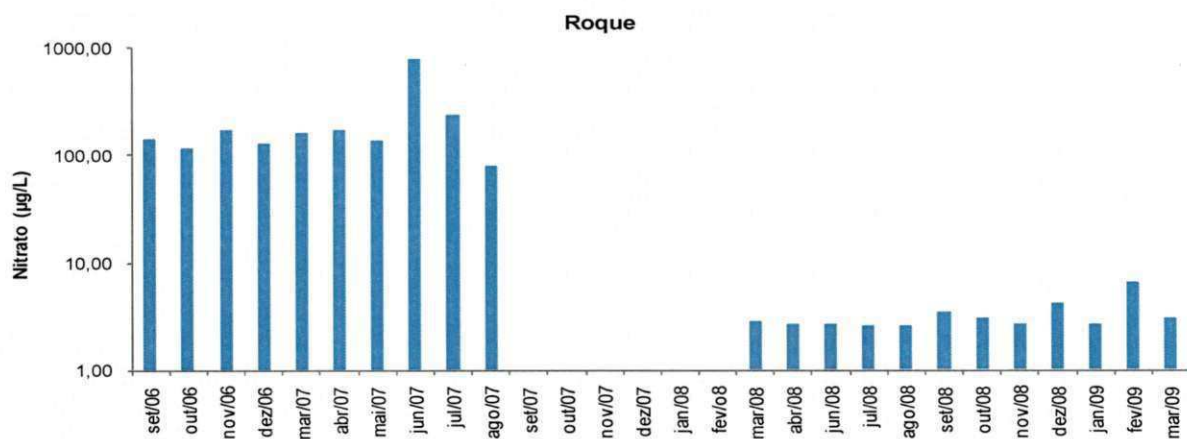


Figura 52. Variação mensal do nitrato no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

Pacheco (2009) verificou no açude Acarape do Meio /CE aumentos de nitrato na seca: de 0,074 µg/L para 0,294 µg/L, ou seja um aumento de cerca de 4 vezes. Tavares (2000) na represa de São Salvador (12.099.900 m³) em Sapé/PB, observou a variação do nitrato na seca de 0,0 a 0,30 µg/L. Gomes (2008) no reservatório de Vargem das Flores/MG, observou variação de 0,0 µg/L a 0,80 µg/L na estiagem.

Nos quatro açudes o nitrato apresentou aumento durante as fortes chuvas de março e de abril de 2008, e redução nos meses de estiagem (Figuras 53, 54, 55 e 56).

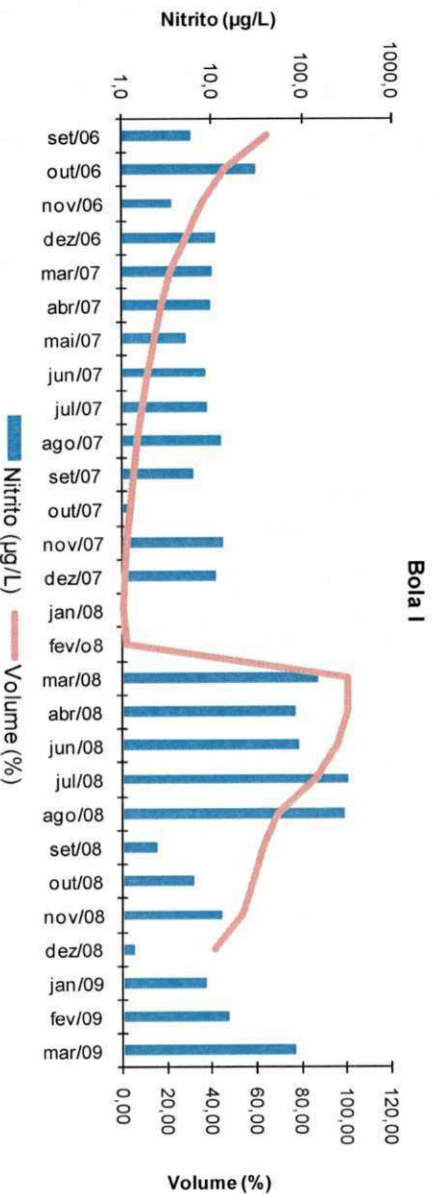


Figura 53. Variação mensal do nitrito no açude Bola I localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

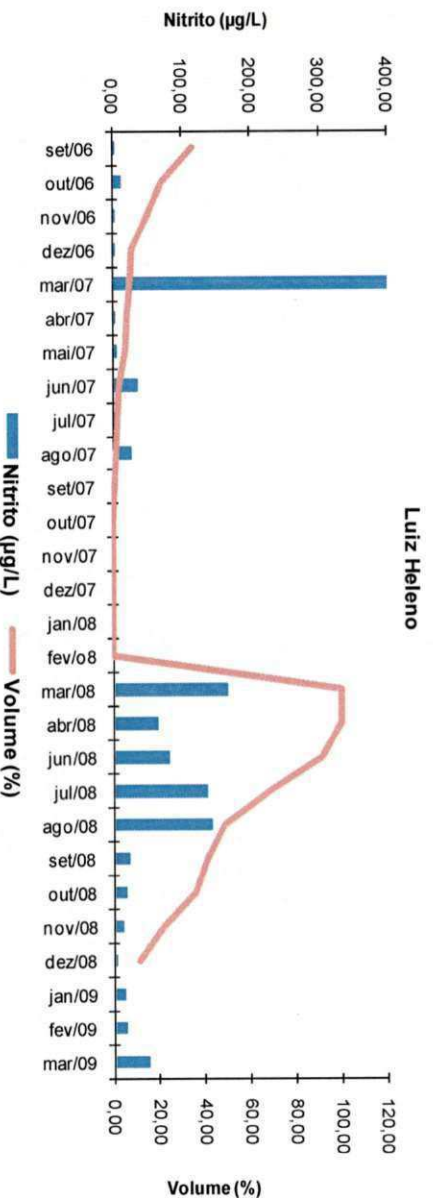


Figura 54. Variação mensal do nitrito no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

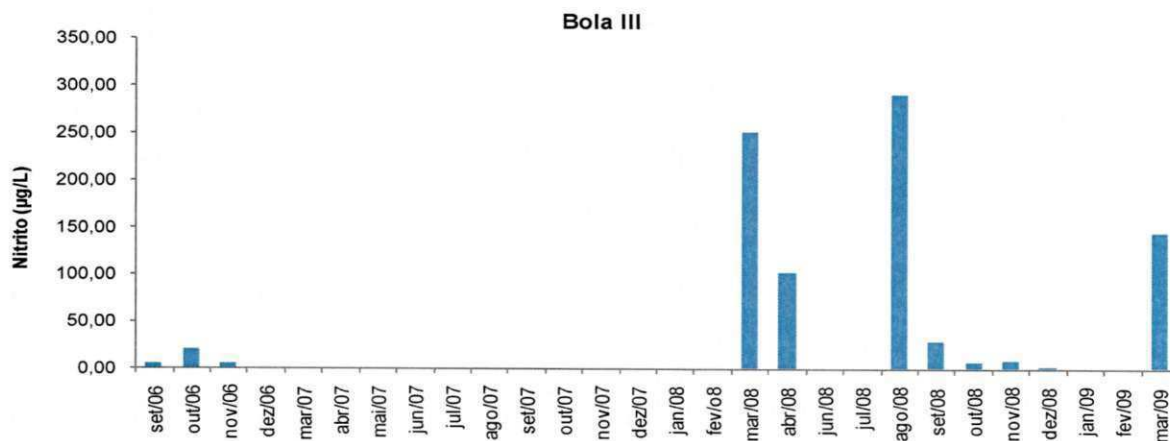


Figura 55. Variação mensal do nitrito no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

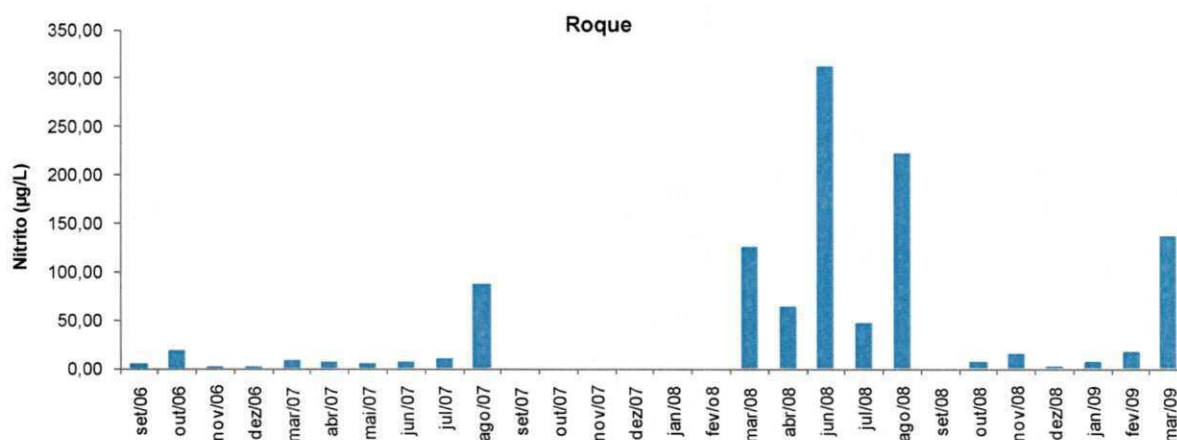


Figura 56. Variação mensal do nitrito no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

Lira, Bittencourt-Oliveira e Moura (2007) verificaram no reservatório de Botafogo/PE aumento de nutrientes no período chuvoso pelo aporte externo. Arruda (2009) no reservatório de Acauã/PB registrou aumento de nutrientes no período chuvoso pelo carreamento de materiais que entraram no reservatório. Gomes (2008) no reservatório de Vargem das Flores/MG, observou variação de nitrito de 0,007 µg/L a 0,050 µg/L na estiagem e no período chuvoso a variação foi de 0,01 µg/L a 0,10 µg/L.

N-amoniaco representa a forma mais reduzida de nitrogênio, e pode estar na forma de NH_4^+ ou NH_3 dependendo do pH (SAWYER, McCARTY & PARKIN, 1994). O íon amônio (NH_4^+) na água está presente como NH_4^+ e NH_4OH não dissociado e é gerado como produto primário final da decomposição de matéria orgânica por bactérias heterotróficas diretamente de proteínas ou de outros compostos nitrogenados (WETZEL, 1993). A importância do íon amônio NH_4^+ nos organismos

fitossintetizadores está na sua assimilação mais rápida pelo fitoplâncton e as plantas em geral, com menor gasto energético que a assimilação de nitrato, o que requer ainda presença de enzimas redutoras (WETZEL, 1993).

O íon amônio NH_4^+ não é tóxico para vida aquática, especialmente para os peixes enquanto que a forma não ionizada, NH_3 (amônio) pode ser tóxica para peixes e plantas aquáticas dependendo da concentração em que se encontra. Valores de amônia em torno de $0,2 \mu\text{g/L}$ é fatal para peixes e em geral, aceita-se o valor máximo de $0,02 \mu\text{g/L}$ de NH_3 nas águas receptoras de águas de descarte, sejam indústrias ou domésticas municipais.

Nos quatro açudes sob análise, Bola I e Luiz Heleno foram os mais propensos a apresentar N-amoniacal e dentre as duas formas, Luiz Heleno teria gerado mais NH_3 , por apresentar os valores mais elevados de pH ao longo do período de secagem do açude (pH entre 8 a 10, nos anos de 2006, 2007 e 2008, antes das chuvas de março desse ano). O gás amônio NH_3 se dissolve muito facilmente na água e forma hidróxido de amônia (NH_4OH), o qual dissocia produzindo amônio (NH_4^+) e íons hidroxila (OH^-). A predominância na formação de NH_3 ou de NH_4^+ depende do pH. e, segundo Goldman e Horne (1994), depende também da temperatura e do conteúdo de sais na água.

Pacheco (2009) no açude Acarape do Meio (CE) verificou que o N-amoniacal apresentou variação de $0,055$ a $0,441 \mu\text{g/L}$ na estiagem, período de maior concentração de N-amoniacal, comportamento semelhante ao ocorrido nos quatro açudes deste estudo, como se observa nas Figuras 57, 58, 59 e 60.

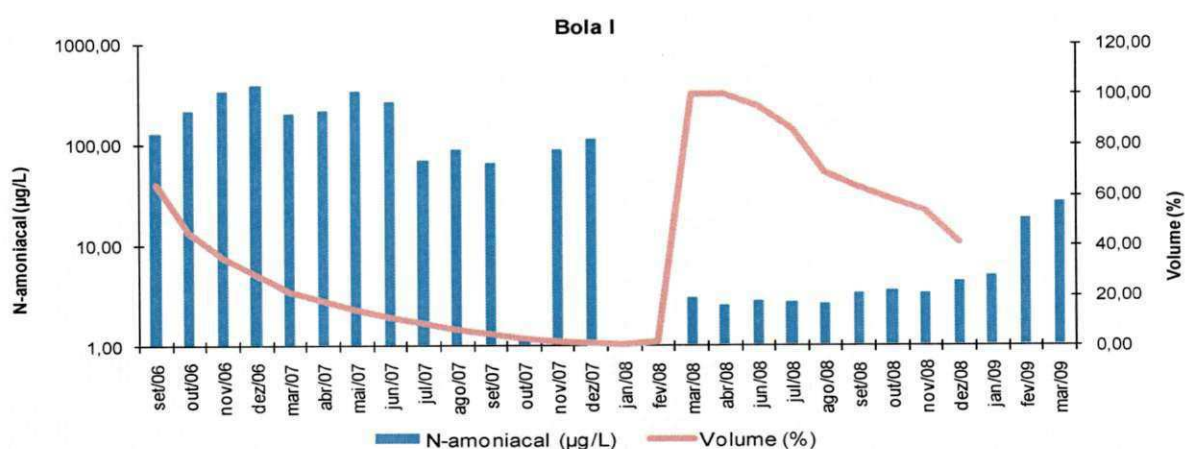


Figura 57. Variação mensal do N-amoniacal no açude Bola I localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

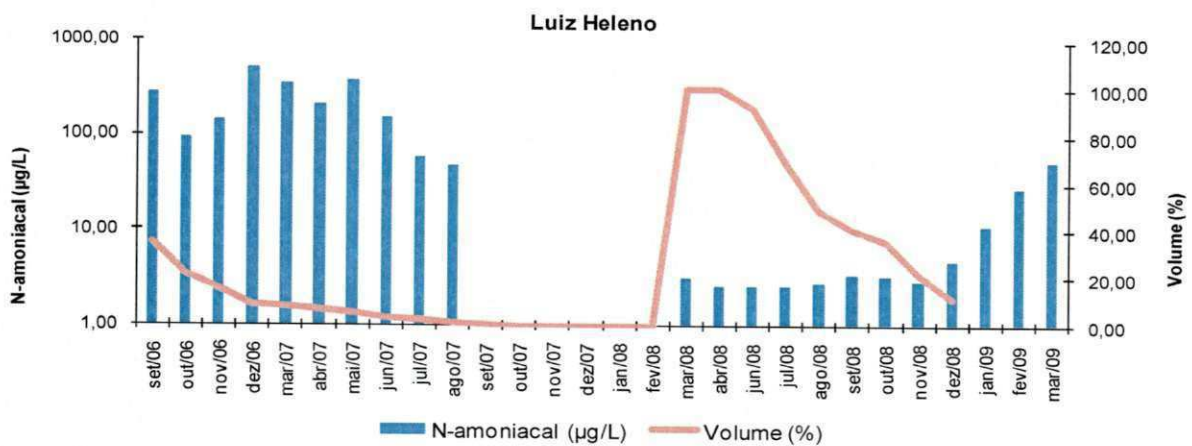


Figura 58. Variação mensal do N-amoniacoal no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

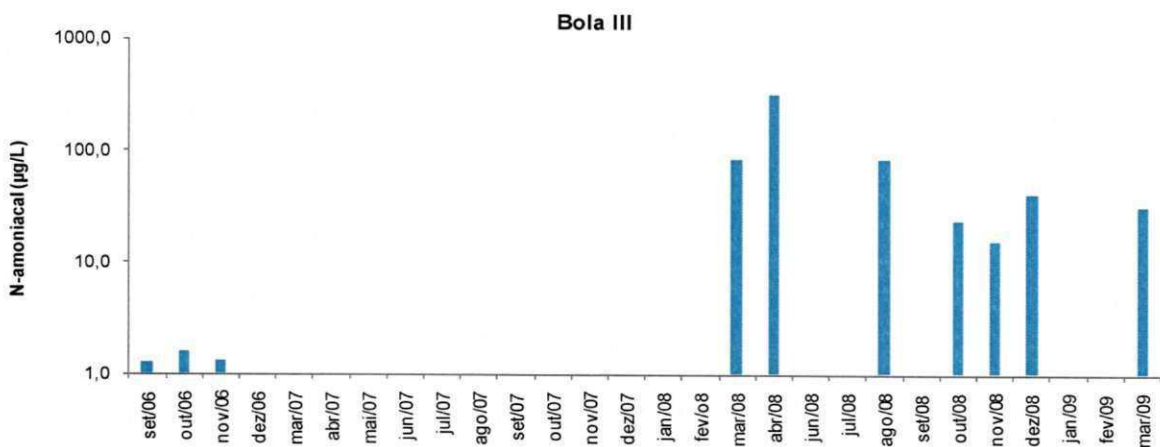


Figura 59. Variação mensal do N-amoniacoal no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

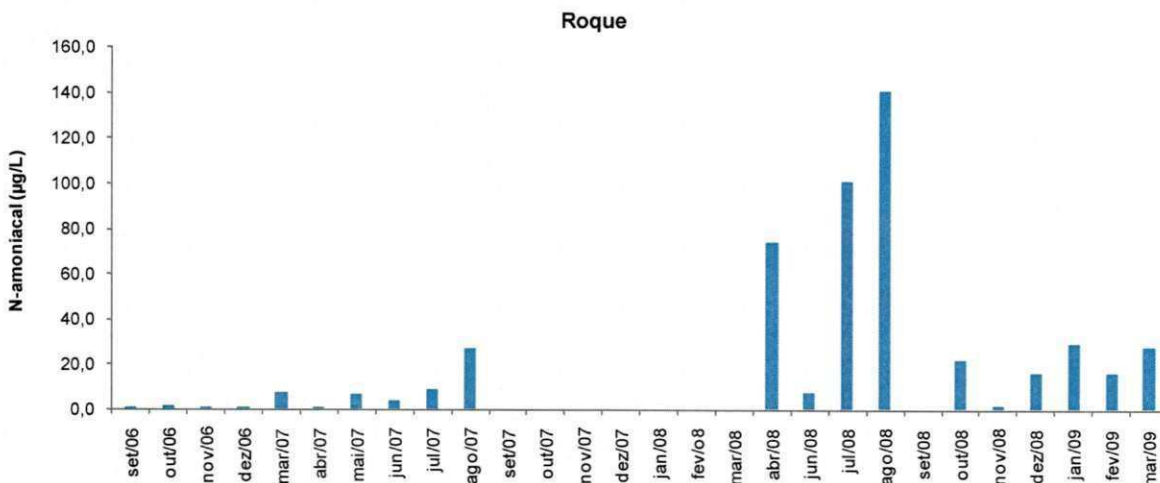


Figura 60. Variação mensal do N-amoniacoal no açude Roque localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

A nitrificação do amônio e a nitratação do nitrito (oxidação do amônio para nitrito e do nitrito para nitrato, respectivamente) ocorre na zona superior iluminada do reservatório ou epilímnio devido ao abundante oxigênio produzido na atividade fotossintética de algas e cianobactérias. Durante o período de setembro de 2006 a dezembro de 2007 no açude Bola I e de setembro de 2006 até julho de 2007 para os demais açudes foi observado que a forma do nitrogênio que apresentava os maiores valores era o nitrato e as menores concentrações eram de N-amoniacal, ou seja, nesse período os açudes estavam em processo de nitrificação, que foi interrompido com as chuvas de março de 2008, que apresentou os maiores valores de nitrito para os quatro açudes e nos meses seguintes ocorreu uma alternância entre os valores mais altos de nitrito e N-amoniacal. Não houve o retorno ao estado de nitrificação até março de 2009.

O monitoramento da variável clorofila *a*, pigmento responsável pela fotossíntese e da feofitina que é produto da degradação da clorofila, permite avaliar de maneira indireta a biomassa do fitoplâncton presente no corpo aquático. Segundo Lamparelli (2004) a clorofila *a* pode corresponder entre 0,1 a 9,7% do peso das algas e das cianobactérias, isso significa que diferentes espécies podem apresentar concentrações diferentes de clorofila *a*. Entretanto seu uso é apropriado para se ter uma indicação da biomassa gerada.

As Figuras 61, 62, 63 e 64 mostram as concentrações de clorofila *a*, nos quatro açudes, e observa-se que as concentrações foram mais elevadas durante os meses de estiagem.

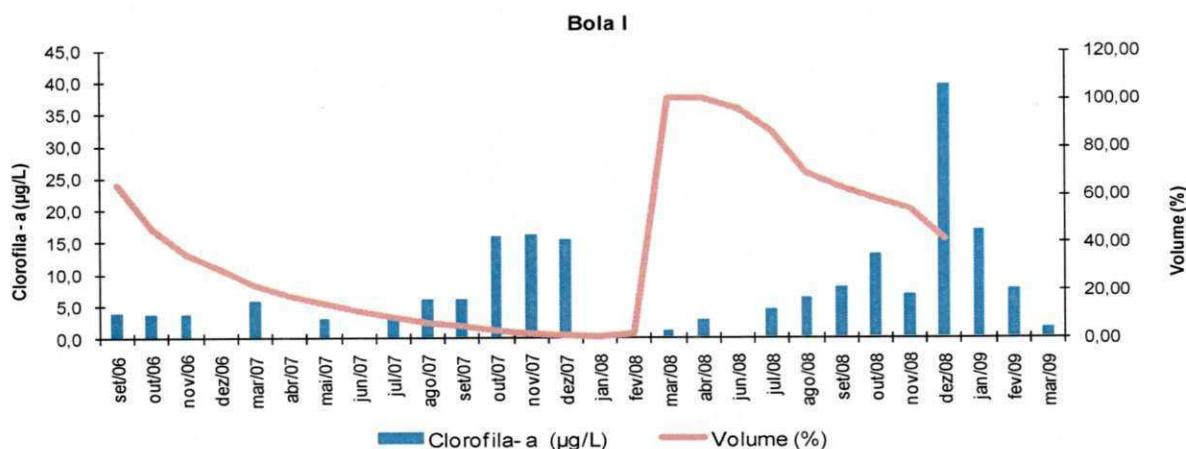


Figura 61. Variação mensal da clorofila *a* no açude Bola I localizado em São João do Cariri/ PB, no período de 2006 a 2009.

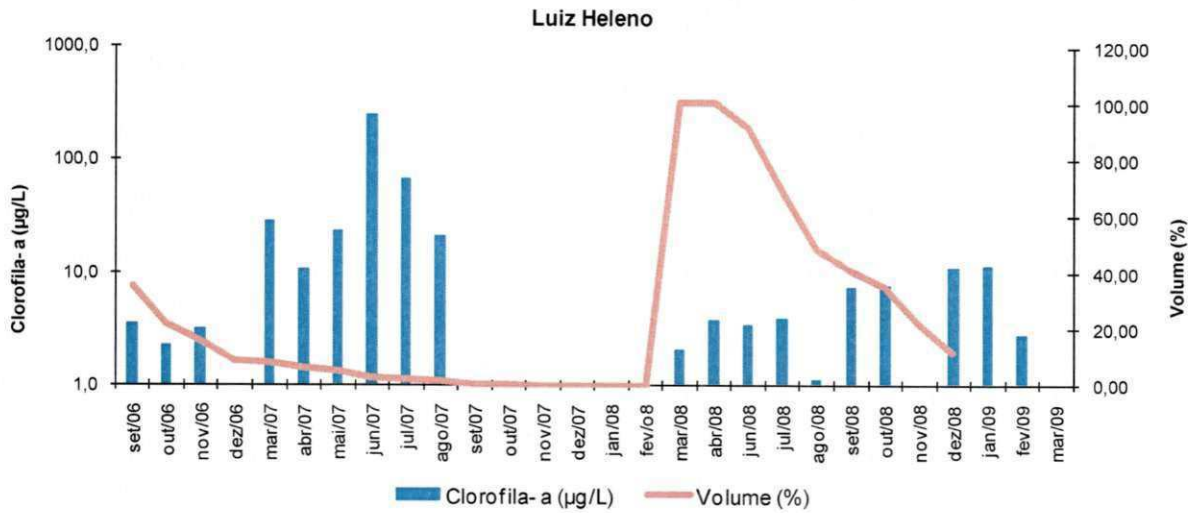


Figura 62. Variação mensal da clorofila a no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

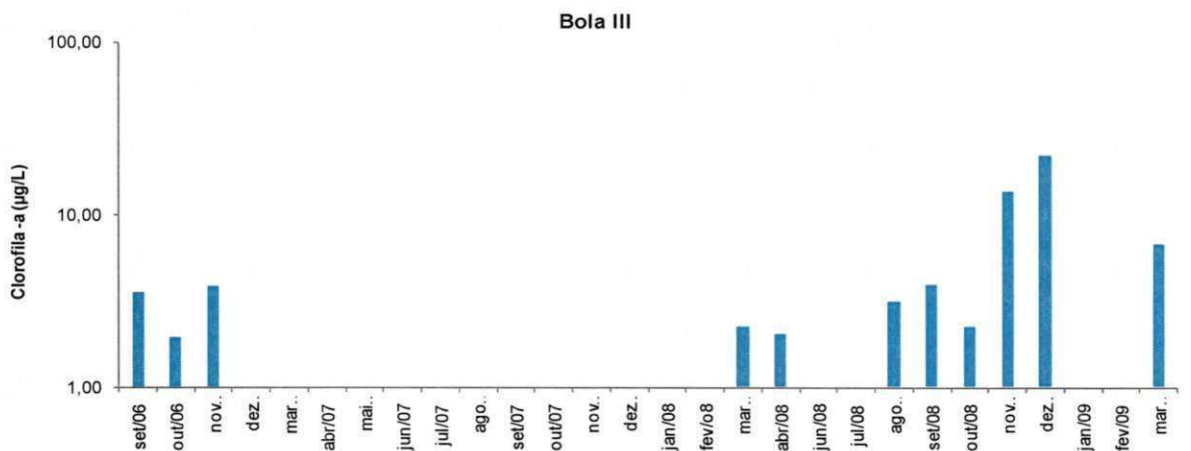


Figura 63. Variação mensal da clorofila a no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

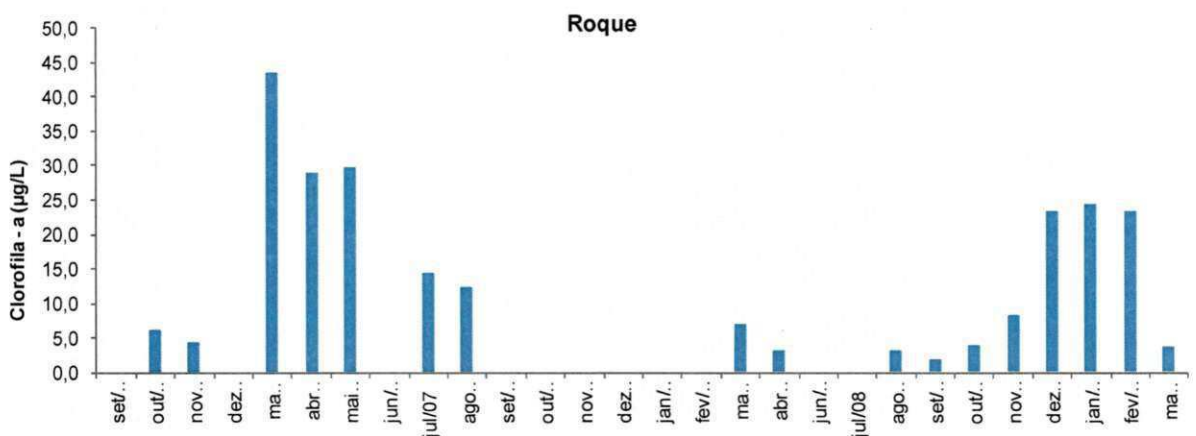


Figura 64. Variação mensal da clorofila a no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

Na estiagem os maiores valores de clorofila *a* se associam com as maiores concentrações de nutrientes, em particular com as formas de fósforo e de nitrogênio. Freire, Calijuri e Santaella (2009) observaram distribuição temporal de clorofila *a* no reservatório de Pacajus/CE, com valores médios na estiagem entre 56,91 µg/L e nas chuvas de 256,32 µg/L. Lins (2006) em Acauã /PB registrou os valores mais altos de clorofila-*a* na época da estiagem. O mesmo verificaram Bouvy *et al.*, (2003) no reservatório de Tapacurá/PE: aumento progressivo da concentração da clorofila *a* durante o período de redução do volume. No período seco apresentou valor máximo de 116,3 µg/L enquanto que no de chuvas foi de 5 µg/L.

Observou-se nos quatro açudes baixa biomassa fitoplanctônica que pode ter sido consequência da alta turbidez nesses ambientes. A variação da coloração da água pela concentração de sedimento suspenso pode ter um papel importante sobre a profundidade da zona eufótica e a disponibilidade de luz para o fitoplâncton (PIERSON, MARKENSTEN e STROMBECK, 2003).

A concentração de feofitina aumentou na seca da mesma forma que a clorofila *a* (Figuras 65 a 68). A feofitina é o pigmento que representa o envelhecimento da biomassa assim como sua degradação. Macedo (2009) observou o mesmo comportamento da clorofila *a* e da feofitina nos 20 açudes de usos múltiplos, entre eles o abastecimento humano na Paraíba. A determinação da feofitina separada da clorofila *a* deve ser feita para que não haja superestimativa do IET, não sendo recomendado o uso de pigmentos totais (LAMPARELLI, 2004).

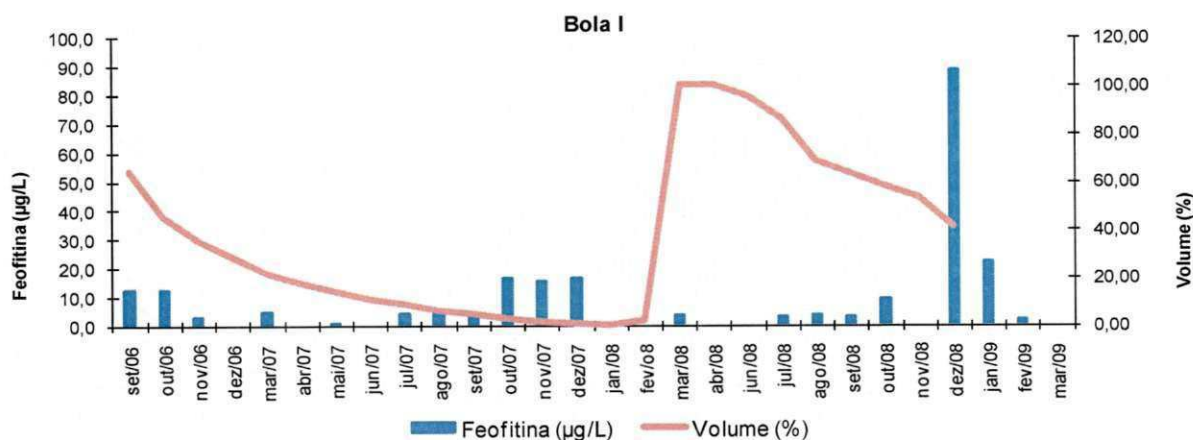


Figura 65. Variação mensal da feofitina no açude Bola I localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

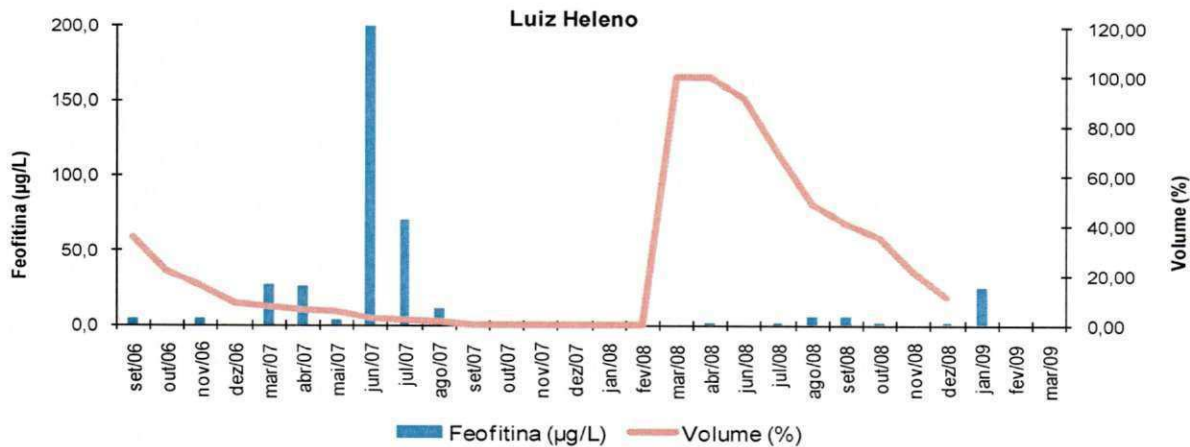


Figura 66. Variação mensal da feofitina no açude Luiz Heleno localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

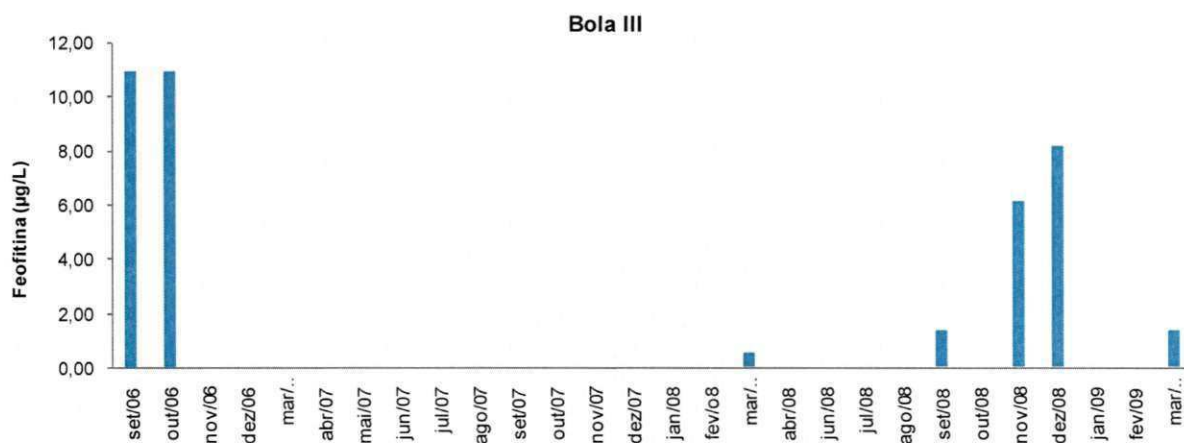


Figura 67. Variação mensal da feofitina no açude Bola III localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

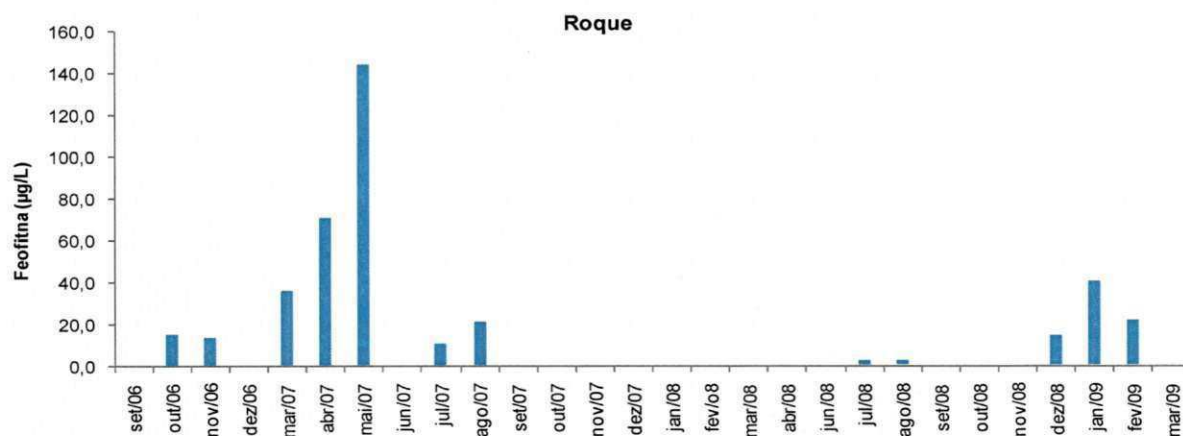


Figura 68. Variação mensal da feofitina no açude Roque localizado em São João do Cariri/PB, no período de 2006 a 2009.

Guimarães (2006) formulou um modelo teórico para a previsão da qualidade da água em reservatórios de abastecimento no semiárido paraibano. Esse modelo relata o efeito concentrador do período estiagem sobre alguns parâmetros de qualidade e que com as primeiras chuvas, ao contrário de diluir, ocorria aumento devido ao processo de lavagem da bacia. Só após as primeiras chuvas é que o reservatório apresenta melhora na qualidade de água armazenada porque ocorre rápida redução da concentração desses parâmetros quando o volume acumulado está elevado. O efeito diluidor de alguns parâmetros é efeito da entrada direta de água pela precipitação pluviométrica, enquanto que a evaporação provoca a concentração de diversas variáveis qualitativas no reservatório.

Após a análise do comportamento dos quatro açudes, esse modelo também foi observado neste trabalho: durante estiagem houve aumento da condutividade elétrica, dureza, alcalinidade, nutrientes e sólidos. No início das chuvas ocorreu aumento dos nutrientes e íons que logo nos meses seguintes foram menores, por efeito da diluição provocada pelo aumento do volume de água.

5.2 Avaliação da qualidade sanitária da água dos açudes em cascata

Para a avaliação das condições sanitárias da água foram quantificadas as bactérias do grupo coliforme, em especial os coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, seguindo as recomendações da legislação brasileira, a Resolução CONAMA 357/2005, que classifica as águas do território nacional em função de seus usos.

A presença de coliformes termotolerantes indica possível contaminação fecal e para se proceder a confirmação da contaminação fecal por animais homeotérmicos se deve identificar *E. coli*. Se *E. coli* estão presentes em um corpo hídrico se confirma então a presença de fezes de animais de sangue quente e quanto maior seu número maior será a possibilidade de haver enteropatogênicos humanos (BRASIL, 2005; BRASIL, 2004).

Coliformes termotolerantes foram detectados em todos os açudes, com maiores densidades em Bola I (9.200 NMP/100 mL) no mês de dezembro de 2008 indicando contaminação fecal de animais homeotérmicos (Figura 69).

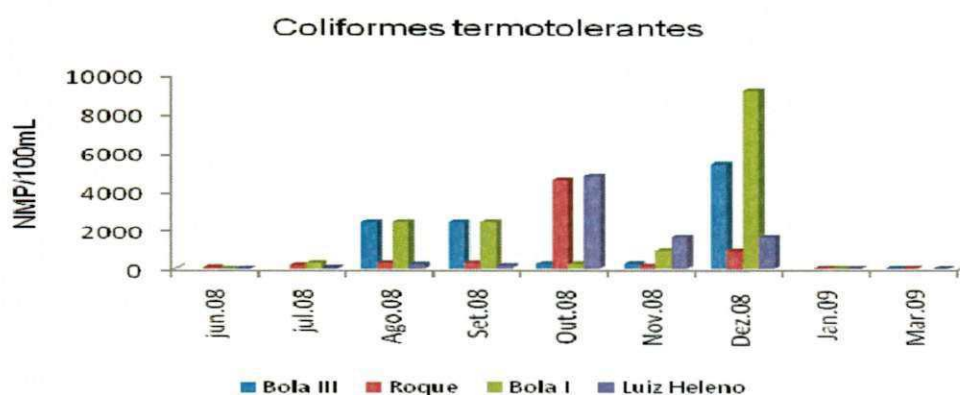


Figura 69. Concentração de coliformes termotolerantes nos açudes Bola III, Roque, Bola I, Luiz Heleno localizados em São João do Cariri no período de junho de 2008 a março de 2009

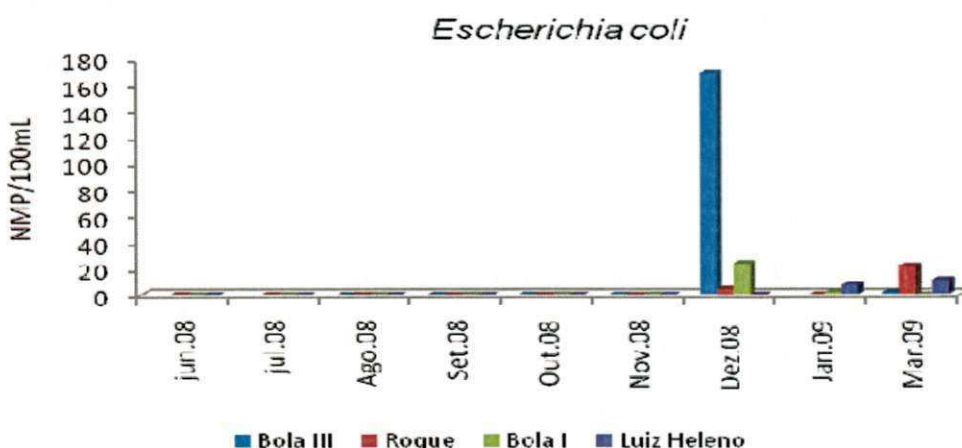


Figura 70. Concentração de *Escherichia coli* nos açudes Bola III, Roque, Bola I, Luiz Heleno localizados em São João do Cariri no período de junho de 2008 a março de 2009

Escherichia coli é uma espécie membro do grupo coliforme que indica contaminação fecal por animais de sangue quente (APHA, 1998). A presença de *E. coli* foi detectada apenas em dezembro de 2008 (Roque - 170 NMP/ 100mL, maior valor entre os açudes) e janeiro e março de 2009 nos quatro açudes, ou seja em alguns meses de estiagem e no início das chuvas. Esses microrganismos ao serem detectados confirmaram a presença de material fecal de animais homeotérmicos e, portanto, sugere-se a possível presença de bactérias enteropatogênicas (APHA, 1998; CEBALLOS, 2001).

Em geral, nos corpos aquáticos sob estudo a concentração de microrganismos indicadores de contaminação fecal foi baixa, porém, não indicou necessariamente que a contaminação com fezes de animais homeotérmicos tenha sido escassa.

Guerra (2009) estudando os mesmos corpos de água analisados neste estudo observou a presença de ovos de helmintos e de cistos de protozoários nessas águas, embora as densidades de coliformes termotolerantes e de *E.coli* terem sido baixas. Pacheco (2009) obteve resultados semelhantes no açude Acarape do Meio/CE: a concentração de coliformes termotolerantes foi baixa e variou no período de chuva de 7 a 47 NMP/100mL e no período de seca de 1,8 a 46 NMP/100mL, enquanto que era reconhecida a presença de animais nas suas margens.

Diversos estudos demonstraram efeitos deletérios da radiação solar sobre os coliformes e outras bactérias, devido à própria radiação solar e ao efeito sinérgico com os altos valores de pH que podem ocorrer nesses corpos de água tropicais junto com as elevadas temperaturas e altas concentrações de oxigênio dissolvido, produto da fotossíntese, que favorece a formação de radicais livres. Trabalhos diversos mostram os efeitos bactericidas da associação desse conjunto de fatores (PARHARD & RAO, 1974. FUJIOKA *et al.*, 1981 *apud* CEBALLOS 1995; BLACK, 2002; MADIGAN *et al.*, 2004).

O efeito sinérgico entre a luz solar, altas temperaturas ambiental e da água com o oxigênio dissolvido na destruição de bactérias é usado atualmente na metodologia SODIS, consagrada mundialmente para desinfetar água para consumo humano em comunidades carentes de água potável (SODIS, 2010). A metodologia é aprovada pela OMS e no Brasil existem desde 2005 programas oficiais para sua aplicação na Bahia e em Mato Grosso (<http://www.inmed.org.br/newsletter/news-outubro.htm>). O método SODIS é também aplicado para desinfetar efluentes de esgotos domésticos (PATERNIANI e SILVA, 2005).

5.3 Evolução do estado de trófico dos açudes em cascata

Segundo Margalef (1983) as características para ambientes oligotróficos e eutróficos são: nos oligotróficos ocorre penetração elevada da radiação luminosa, ou seja, apresentam elevada transparência, escasso material em suspensão, baixa concentração de nutrientes, baixa biomassa fitoplanctônica ou baixa clorofila *a*. Nos eutrófico ocorre baixa penetração da radiação solar ou seja escassa transparência devido as altas densidades de material em suspensão, elevada concentração de

nutrientes – especialmente compostos de nitrogênio e de fósforo, abundante fitoplâncton expresso em altos valores de clorofila *a*. Os ambientes mesotróficos apresentam características intermediárias entre os dois anteriores.

Para realizar a avaliação do estado trófico, Vollenweider (1981), com base em dados coletados em mais de 2.000 lagos ao redor do mundo utilizou valores limites para cada categoria e, são aplicados com bastante êxito em países de clima temperado.

Entretanto, a maioria dos pesquisadores de países tropicais considera esses valores muito restritivos. Trabalhos da OECD (1981) (Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento) e do CEPIS (SALAS E MARTINO, 2001) utilizaram médias geométricas para padronizar os resultados e obter uma metodologia mais adequada os ambientes tropicais (LAMPARELLI, 2004).

Nesse contexto, Carlson (1977) criou o IET (Índice do Estado Trófico) para ambientes temperados, utilizando os valores de variáveis consideradas fundamentais para analisar o grau de eutrofização: transparência, concentração de fósforo total e de clorofila *a*, observando que as amostragens devem ser feitas na superfície ou na subsuperfície da água, nas horas iluminadas do dia. O IET de Carlson (1977) foi modificado por Toledo Junior *et al.*, (1983) que incorporaram as variáveis ortofosfato ou fósforo solúvel reativo. Segundo Calazans Duarte (1999), a limitação desse índice (IETm) se relacionam com as diferenças de clima existentes entre as regiões que influenciam nas resposta dos organismos, como também nas reações químicas que são mais aceleradas nos ambientes tropicais.

Para diagnosticar o nível de eutrofização nos açudes em cascata estudados neste trabalho, foram utilizados os valores propostos por Vollenweider (1981) o IET de Dobson (1981), o IET de Carlson (1977) modificado por Kratzer & Brezonik KRATZER & BREZONIK (1981), Rosich *et al.*, (1981), IET de Carlson (1977), modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983), e os da OECD (1988), que são apresentados nas Tabelas de 12 a 23.

De acordo com Vollenweider (1981) os quatro ambientes foram classificados como eutróficos para P-total e como oligotróficos para as concentrações das diferentes formas de nitrogênio (Tabelas 12 e 13).

Tabela 7. Classificação trófica dos açudes Bola I e Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com níveis de trofia de Vollenweider (1981)

Açude	Vollenweider (1968)										Açude	Vollenweider (1968)										Volume (%)
	P-total (µg/L)		Parâmetro N-amoniacoal (mg/L)		Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Total	Volume (%)		P-total (µg/L)		Parâmetro N-amoniacoal (mg/L)		Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Total	Volume (%)	
	Valor	IET	Valor	IET	Valor	IET	Valor	IET				Valor	IET	Valor	IET	Valor	IET	Valor	IET			
Bola I											Luiz Heleno											
set/06	16,0	M	0,001	O	0,006	O	0,127	O	O	64,05	set/06	64,3	E	0,001	O	0,271	O	0,002	O	O	34,86	
out/06	14,3	M	0,001	O	0,031	O	0,209	O	O	45,32	out/06	9,3	O	0,001	O	0,092	O	0,013	O	O	21,42	
nov/06	29,3	M	0,001	M	0,004	O	0,331	O	O	35,18	nov/06	34,3	E	0,001	O	0,142	O	0,000	O	O	15,46	
dez/06	37,7	E	0,002	M	0,011	O	0,387	O	O	28,50	dez/06	97,7	E	0,001	O	0,5	O	0,000	O	O	8,36	
mar/07	86,0	E	0,000	O	0,010	O	0,198	O	O	21,65	mar/07	109,3	E	0,004	O	0,341	O	0,564	M	O	7,68	
abr/07	62,7	E	0,001	M	0,009	O	0,210	O	O	17,59	abr/07	149,3	E	0,001	O	0,211	O	0,004	O	O	6,15	
mai/07	74,3	E	0,010	M	0,005	O	0,330	O	O	14,08	mai/07	96,0	E	0,027	O	0,367	O	0,005	O	O	5,30	
jun/07	57,7	E	0,001	M	0,008	O	0,260	O	O	11,01	jun/07	126,0	E	0,006	O	0,15	O	0,035	O	O	2,79	
jul/07	49,3	E	0,012	O	0,009	O	0,070	O	O	8,69	jul/07	221,0	E	0,011	O	0,058	O	0,002	O	O	2,16	
ago/07	92,7	E	0,006	O	0,012	O	0,090	O	O	6,48	ago/07	344,3	E	0,111	O	0,047	O	0,025	O	O	1,39	
set/07	11,0	M	0,003	O	0,006	O	0,064	O	O	4,65	set/07										0,33	
out/07	32,7	E	0,001	O	0,000	O	0,000	O	O	3,10	out/07										0,06	
nov/07	47,7	E	0,001	O	0,010	O	0,090	O	O	1,85	nov/07										0,00	
dez/07	52,7	E	0,001	O	0,010	O	0,110	O	O	1,05	dez/07										0,00	
mar/08	77,2	E	0,001	O	0,150	O	0,000	O	O	100,00	mar/08	58,1	E	0,107	O	0,003	O	0,166	O	O	100,00	
abr/08	14,5	M	0,030	O	0,080	O	0,000	O	O	100,00	abr/08	9,9	O	0,024	O	0,003	O	0,062	O	O	100,00	
jun/08	1,0	O	0,001	O	0,089	O	0,003	O	O	95,47	jun/08	1,0	O	0,164	O	0,003	O	0,079	O	O	91,41	
jul/08	177,2	E	0,030	O	0,312	O	0,003	O	O	86,41	jul/08	165,4	E	0,174	O	0,003	O	0,136	O	O	68,75	
ago/08	98,1	E	0,167	O	0,286	O	0,003	O	O	69,06	ago/08	156,3	E	0,084	O	0,003	O	0,142	O	O	48,49	
set/08	27,2	M	0,397	O	0,002	O	0,003	O	O	63,14	set/08	23,6	M	0,000	O	0,003	O	0,022	O	O	40,90	
out/08	12,4	M	0,294	O	0,006	O	0,003	O	O	58,14	out/08	12,4	O	0,107	O	0,003	O	0,016	O	O	35,26	
nov/08	67,4	E	0,027	O	0,012	O	0,003	O	O	53,59	nov/08	46,1	E	0,024	O	0,003	O	0,012	O	O	21,42	
dez/08	83,6	E	0,034	O	0,001	O	0,004	O	O	41,19	dez/08	101,1	E	0,164	O	0,005	O	0,002	O	O	11,26	
jan/09	41,1	E	0,010	O	0,008	O	0,003	O	O		jan/09	72,4	E	0,174	O	0,005	O	0,015	O	O		
fev/09	63,6	E	0,020	O	0,015	O	0,007	O	O		fev/09	38,6	E	0,084	O	0,008	O	0,017	O	O		
mar/09	39,4	E	0,005	O	0,081	O	0,003	O	O		mar/09	66,3	E	0,000	O	0	O	0,05	O	O		
Total	52,6	E	0,040	O	0,045	O	0,096	O	O		Total	91,0	E	0,050	O	0,01	O	0,06	O	O		

O: oligotrófico; M: mesotrófico, E: eutrófico. (limites ver Tabela 2)

Tabela 8. Classificação trófica dos açudes Roque e Bola III (São João do Cariri/PB), de acordo com níveis de trofia de Vollenweider (1981)

Açude	Parâmetro									Açude	Parâmetro								
	P-total (µg/L)		N-amoniacoal (mg/L)		Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Total		P-total (µg/L)		N-amoniacoal (mg/L)		Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)		total
Roque	Valor	IET	Valor	IET	Valor	IET	Valor	IET	Total	Bola III	Valor	IET	Valor	IET	Valor	IET	Valor	IET	total
set/06	41,0	E	0,001	O	0,00	O	0,14	O	O	set/06	52,7	E	0,001	O	0,01	O	0,132	O	O
out/06	17,7	M	0,001	O	0,02	O	0,114	O	O	out/06	14,3	M	0,002	O	0,02	O	0,088	O	O
nov/06	87,7	E	0,001	O	0,00	O	0,168	O	O	nov/06	76,	E	0,001	O	0,01	O	0,392	O	O
dez/06	67,7	E	0,001	O	0,00	O	0,126	O	O	dez/06									
mar/07	69,3	E	0,007	O	0,01	O	0,16	O	O	mar/07									
abr/07	91,0	E	0,001	O	0,01	O	0,171	O	O	abr/07									
mai/07	107,7	E	0,006	O	0,01	O	0,138	O	O	mai/07									
jun/07	131,0	E	0,004	O	0,01	O	0,786	O	O	jun/07									
jul/07	87,7	E	0,009	O	0,01	O	0,238	O	O	jul/07									
ago/07	734,3	E	0,027	O	0,09	O	0,079	O	O	ago/07									
set/07										set/07									
out/07										out/07									
nov/07										nov/07									
dez/07										dez/07									
mar/08	1747,2	E	0	O	0,13	O	0,003	O	O	mar/08	105,4	E	0,084	O	0,25	O	0,003	O	O
abr/08	52,6	E	0,074	O	0,06	O	0,003	O	O	abr/08	26,3	M	0,314	M	0,1	O	0,003	O	O
jun/08	4,5	O	0,007	O	0,31	O	0,003	O	O	jun/08									
jul/08	6,3	O	0,1	O	0,05	O	0,003	O	O	jul/08									
ago/08	4,5	O	0,14	O	0,22	O	0,003	O	O	ago/08	169,	O	0,084	O	0,29	O	0,003	O	O
set/08	463,6	E	0	O	0,00	O	0,003	O	O	set/08	23,5	M	0	O	0,03	O	0,003	O	O
out/08	13,6	M	0,021	O	0,01	O	0,003	O	O	out/08	36,2	E	0,024	O	0,01	O	0,003	O	O
nov/08	36,1	E	0,001	O	0,01	O	0,003	O	O	nov/08	38,7	E	0,016	O	0,01	O	0,003	O	O
dez/08	36,1	E	0,016	O	0,00	O	0,004	O	O	dez/08	56,2	E	0,041	O	0	O	0,005	O	O
jan/09	32,4	E	0,029	O	0,01	O	0,003	O	O	jan/09									
fev/09	136,1	E	0,016	O	0,02	O	0,006	O	O	fev/09									
mar/09	26,7	M	0,028	O	0,14	O	0,003	O	O	mar/09	56,8	E	0,032	O	0,15	O	0,003	O	O
Total	181,6	E	0,022	O	0,05	O	0,098	O	O	Total	59,5	E	0,054	O	0,08	O	0,58	O	O

O: oligotrófico; M: mesotrófico, E: eutrófico. (limites ver Tabela 2)

Tabela 9. Classificação trófica os açudes Bola I e Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com níveis de trofia de Dobson (1981).

Açude	Parâmetro			Açude	Parâmetro						
	P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)		P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)				
Bola I	Valor	IET	Valor	IET	volume %	L. Heleno	Valor	IET	Valor	IET	volume %
set/06	16	M	3,9	M	64,05	set/06	64,3	E	3,5	M	34,86
out/06	14,3	M	3,5	M	45,32	out/06	9,3	O	2,2	M	21,42
nov/06	29,3	M	3,5	M	35,18	nov/06	34,3	E	3,2	M	15,46
dez/06	37,7	E	1	O	28,50	dez/06	97,7	H	1	O	8,36
mar/07	86	E	5,8	M	21,65	mar/07	109,3	H	29	H	7,68
abr/07	62,7	E	1	O	17,59	abr/07	149,3	H	10,7	E	6,15
mai/07	74,3	E	2,8	M	14,08	mai/07	96	H	23	H	5,30
jun/07	57,7	E	1	O	11,01	jun/07	126	H	252,5	H	2,79
jul/07	49,3	E	2,8	M	8,69	jul/07	221	H	66	H	2,16
ago/07	92,7	H	5,9	M	6,48	ago/07	344,3	H	21,1	H	1,39
set/07	11	M	5,9	M	4,65	set/07					0,33
out/07	32,7	E	15,7	E	3,10	out/07					0,06
nov/07	47,7	E	16,1	E	1,85	nov/07					0,00
dez/07	52,7	E	15,4	E	1,05	dez/07					0,00
mar/08	77,2	E	1,1	O	100,00	mar/08	58,1	E	2	O	100,00
abr/08	14,5	M	2,7	M	100,00	abr/08	9,91	O	3,7	M	100,00
jun/08	1	U	1	O	95,47	jun/08	1	U	3,4	M	91,41
jul/08	177,18	H	4,3	M	86,41	jul/08	165,4	H	3,8	M	68,75
ago/08	98,1	H	6,3	E	69,06	ago/08	156,3	H	1,1	O	48,49
set/08	27,2	M	7,9	E	63,14	set/08	23,5	M	7,3	E	40,90
out/08	12,4	M	12,9	E	58,14	out/08	12,4	M	7,6	E	35,26
nov/08	67,4	E	6,7	E	53,59	nov/08	46,1	E	1	O	21,42
dez/08	83,6	E	39,6	H	41,19	dez/08	101,1	H	11	E	11,26
jan/09	41,13	E	16,85	E		jan/09	72,38	E	11,52	E	
fev/09	63,6	E	7,58	E		fev/09	38,6	E	2,81	M	
mar/09	39,37	E	1,4	O		mar/09	66,25	E	1	O	
Total	52,6	E	7,4	E		Total	91	E	21	H	

U: ultraoligotrófico; O: oligotrófico; M: mesotrófico; E: eutrófico; H: hipereutrófico; U: 0 a 3,3; O: 3,3 a 10; M (10 a 30); E (30 a 90); H > 90 Clor a U: 0 a 0,7; O: 0,7 a 2; M: (2 a 6); E: (6 a 18) H > 18

Tabela 10. Classificação trófica dos açudes Bola III e Roque (São João do Cariri/PB), de acordo com níveis de trofia de Dobson (1981).

Açude	Parâmetro				Açude	Parâmetro			
	P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)			P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)	
Bola III	Valor	IET	Valor	IET	Roque	Valor	IET	Valor	IET
set/06	52,7	E	3,53	M	set/06	41	E	0	U
out/06	14,3	M	1,93	O	out/06	17,7	E	6,1	E
nov/06	76,0	E	3,85	M	nov/06	87,7	E	4,2	M
dez/06					dez/06	67,7	E	0	U
mar/07					mar/07	69,3	E	43,4	H
abr/07					abr/07	91	H	28,9	H
mai/07					mai/07	107,7	H	29,7	H
jun/07					jun/07	131	H	0	U
jul/07					jul/07	87,7	E	14,3	E
ago/07					ago/07	734,3	H	12,1	E
set/07					set/07				
out/07					out/07				
nov/07					nov/07				
dez/07					dez/07				
mar/08					mar/08	1747,2	H	6,8	E
abr/08					abr/08	52,64	E	2,92	M
jun/08					jun/08	4,45	O	0	U
jul/08					jul/08	6,27	O	0	U
ago/08	105,4	H	2,2	M	ago/08	4,5	O	2,9	M
set/08	26,27	M	2,02	M	set/08	463,5	H	1,7	O
out/08	169	H	3,1	M	out/08	13,6	M	3,7	M
nov/08	23,5	M	3,9	M	nov/08	36,1	E	8,1	E
dez/08	36,1	E	2,2	M	dez/08	36,1	E	23,3	H
jan/09	38,63	E	13,5	E	jan/09	32,38	E	24,16	H
fev/09	56,13	E	22,2	H	fev/09	136,1	H	23,31	H
mar/09	56,76	E	6,74	E	mar/09	26,72	E	3,37	M
Total	64	E	7	E	Total	181,6	H	10,9	E

U: ultraoligotrófico; O: oligotrófico; M: mesotrófico, E: eutrófico. H: hipereutrófico U 0 a 3,3; O 3,3 a 10; M (10 a 30); E (30 a 90); H > 90 Clor a U 0 a 0,7; O 0,7 a 2 M (2 a 6); E (6 a 18) H > 18 (limites ver Tabela 2)

Tabela 11. Classificação trófica dos açudes Bola I e Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET de Carlson (1977) modificado por Kratzer & Brezonik (1981)

Açude	Parâmetro			Açude	Parâmetro						
	P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)		P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)				
Bola I	Valor	IET	Valor	IET	volume %	L. Heleno	Valor	IET	Valor	IET	volume %
set/06	16	M	3,9	M	64,05	set/06	64,3	H	3,5	M	34,86
out/06	14,3	M	3,5	M	45,32	out/06	9,3	O	2,2	O	21,42
nov/06	29,3	E	3,5	M	35,18	nov/06	34,3	E	3,2	M	15,46
dez/06	37,7	E	1	O	28,50	dez/06	97,7	H	1	O	8,36
mar/07	86	H	5,8	M	21,65	mar/07	109,3	H	29	H	7,68
abr/07	62,7	H	1	O	17,59	abr/07	149,3	H	10,7	E	6,15
mai/07	74,3	H	2,8	M	14,08	mai/07	96	H	23	H	5,30
jun/07	57,7	H	1	O	11,01	jun/07	126	H	252,5	H	2,79
jul/07	49,3	H	2,8	M	8,69	jul/07	221	H	66	H	2,16
ago/07	92,7	H	5,9	M	6,48	ago/07	344,3	H	21,1	H	1,39
set/07	11	O	5,9	M	4,65	set/07					0,33
out/07	32,7	E	15,7	E	3,10	out/07					0,06
nov/07	47,7	E	16,1	E	1,85	nov/07					0,00
dez/07	52,7	H	15,4	E	1,05	dez/07					0,00
mar/08	77,2	H	1,1	O	100,00	mar/08	58,1	H	2	O	100,00
abr/08	14,5	M	2,7	M	100,00	abr/08	9,91	M	3,7	M	100,00
jun/08	1	U	1	O	95,47	jun/08	1	U	3,4	M	91,41
jul/08	177,18	H	4,3	M	86,41	jul/08	165,4	H	3,8	M	68,75
ago/08	98,1	H	6,3	M	69,06	ago/08	156,3	H	1,1	O	48,49
set/08	27,2	E	7,9	E	63,14	set/08	23,5	M	7,3	E	40,90
out/08	12,4	M	12,9	E	58,14	out/08	12,4	M	7,6	E	35,26
nov/08	67,4	H	6,7	E	53,59	nov/08	46,1	H	1	O	21,42
dez/08	83,6	H	39,6	H	41,19	dez/08	101,1	H	11	E	11,26
jan/09	41,13	H	16,85	E		jan/09	72,38	H	11,52	E	
fev/09	63,6	H	7,58	M		fev/09	38,6	M	2,81	M	
mar/09	39,37	E	1,4	O		mar/09	66,25	H	1	O	
Total	52,6	E	7,4	M		Total	91	H	21	H	

U: ultraoligotrófico; O: oligotrófico; M: mesotrófico, E: eutrófico. H: hipereutrófico (limites ver Tabela 2)

Tabela 12. Classificação trófica dos açudes Bola III e Roque (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET de Carlson (1977) modificado por Kratzer & Brezoni (1981)

Açude	Parâmetro				Açude	Parâmetro			
	P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)			P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)	
Bola III	Valor	IET	Valor	IET	Roque	Valor	IET	Valor	IET
set/06	52,7	H	3,53	M	set/06	41	E	0	U
out/06	14,3	M	1,93	O	out/06	17,7	M	6,1	M
nov/06	76,0	H	3,85	M	nov/06	87,7	H	4,2	M
dez/06					dez/06	67,7	H	0	U
mar/07					mar/07	69,3	H	43,4	H
abr/07					abr/07	91	H	28,9	H
mai/07					mai/07	107,7	H	29,7	H
jun/07					jun/07	131	H	0	U
jul/07					jul/07	87,7	H	14,3	E
ago/07					ago/07	734,3	H	12,1	E
set/07					set/07				
out/07					out/07				
nov/07					nov/07				
dez/07					dez/07				
mar/08	105,4	H	2,2	O	mar/08	1747,2	H	6,8	E
abr/08	26,27	E	2,02	O	abr/08	52,64	H	2,92	M
jun/08					jun/08	4,45	O	0	U
jul/08					jul/08	6,27	O	0	U
ago/08	169	H	3,1	M	ago/08	4,5	O	2,9	M
set/08	23,5	M	3,9	M	set/08	463,5	H	1,7	O
out/08	36,1	E	2,2	O	out/08	13,6	M	3,7	M
nov/08	38,625	E	13,5	E	nov/08	36,1	E	8,1	E
dez/08	56,125	H	22,2	E	dez/08	36,1	E	23,3	E
					jan/09	32,38	E	24,16	E
					fev/09	136,1	E	23,31	E
mar/09	56,76	H	6,74	E	mar/09	26,72	E	3,37	M
Total	64	H	7	E	Total	181,6	H	10,9	E

U: ultraoligotrófico; O: oligotrófico; M: mesotrófico, E: eutrófico. H: hipereutrófico (limites ver Tabela 2)

Tabela 13. Classificação trófica dos açudes Bola I e Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET de Rosich *et al.*, (1981).

Açude	Parâmetro			Açude	Parâmetro						
	P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)		P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)				
Bola I	valor	IET	valor	IET	volume %	L. Heleno	valor	IET	valor	IET	volume %
set/06	16	M	3,9	M	64,05	set/06	64,3	E	3,5	M	34,86
out/06	14,3	M	3,5	M	45,32	out/06	9,3	M	2,2	O	21,42
nov/06	29,3	M	3,5	M	35,18	nov/06	34,3	E	3,2	M	15,46
dez/06	37,7	E	1	O	28,50	dez/06	97,7	E	1	M	8,36
mar/07	86	E	5,8	M	21,65	mar/07	109,3	E	29	E	7,68
abr/07	62,7	E	1	O	17,59	abr/07	149,3	E	10,7	M	6,15
mai/07	74,3	E	2,8	O	14,08	mai/07	96	E	23	E	5,30
jun/07	57,7	E	1	O	11,01	jun/07	126	E	252,5	E	2,79
jul/07	49,3	E	2,8	O	8,69	jul/07	221	E	66	E	2,16
ago/07	92,7	E	5,9	M	6,48	ago/07	344,3	E	21,1	E	1,39
set/07	11	M	5,9	M	4,65	set/07					0,33
out/07	32,7	E	15,7	E	3,10	out/07					0,06
nov/07	47,7	E	16,1	E	1,85	nov/07					0,00
dez/07	52,7	E	15,4	E	1,05	dez/07					0,00
mar/08	77,2	E	1,1	O	100,00	mar/08	58,1	E	2	O	100,00
abr/08	14,5	M	2,7	O	100,00	abr/08	9,91	M	3,7	M	100,00
jun/08	1	O	1	O	95,47	jun/08	1	O	3,4	M	91,41
jul/08	177,18	E	4,3	M	86,41	jul/08	165,4	E	3,8	M	68,75
ago/08	98,1	E	6,3	M	69,06	ago/08	156,3	E	1,1	O	48,49
set/08	27,2	M	7,9	M	63,14	set/08	23,5	M	7,3	M	40,90
out/08	12,4	M	12,9	M	58,14	out/08	12,4	M	7,6	M	35,26
nov/08	67,4	E	6,7	M	53,59	nov/08	46,1	E	1	O	21,42
dez/08	83,6	E	39,6	E	41,19	dez/08	101,1	E	11	M	11,26
jan/09	41,13	E	16,85	E		jan/09	72,38	E	11,52	M	
fev/09	63,6	E	7,58	M		fev/09	38,6	E	2,81	O	
mar/09	39,37	M	1,4	O		mar/09	66,25	E	1	O	
Total	52,6	E	7,4	M		Total	91	E	21	E	

O: oligotrófico; M: mesotrófico, E: eutrófico PT- O: 5; M (5 a 30) E: 1000 Clor a O: 0,3 a 3; M: 3 a 15; E (15 a 500) (limites ver Tabela 2)

Tabela 14. Classificação trófica dos açudes Bola III e Roque (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET de Rosich *et al.*, (1981).

Açude	Parâmetro				Açude	Parâmetro			
	P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)			P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)	
Bola III	valor	IET	valor	IET	Roque	valor	IET	valor	IET
set/06	52,7	E	3,53	M	set/06	41	E	0	O
out/06	14,3	M	1,93	O	out/06	17,7	M	6,1	M
nov/06	76,0	E	3,85	M	nov/06	87,7	E	4,2	M
dez/06					dez/06	67,7	E	0	O
mar/07					mar/07	69,3	E	43,4	E
abr/07					abr/07	91	E	28,9	E
mai/07					mai/07	107,7	E	29,7	E
jun/07					jun/07	131	E	0	O
jul/07					jul/07	87,7	E	14,3	M
ago/07					ago/07	734,3	E	12,1	M
set/07					set/07				
out/07					out/07				
nov/07					nov/07				
dez/07					dez/07				
mar/08	105,4	E	2,2	O	mar/08	1747,2	E	6,8	M
abr/08	26,27	E	2,02	O	abr/08	52,64	E	2,92	O
jun/08					jun/08	4,45	O	0	O
jul/08					jul/08	6,27	M	0	O
ago/08	169	E	3,1	O	ago/08	4,5	O	2,9	O
set/08	23,5	M	3,9	M	set/08	463,5	E	1,7	O
out/08	36,1	E	2,2	O	out/08	13,6	M	3,7	M
nov/08	38,625	E	13,5	M	nov/08	36,1	E	8,1	M
dez/08					dez/08	36,1	E	23,3	E
jan/09					jan/09	32,38	E	24,16	E
fev/09	56,125	E	22,2	E	fev/09	136,1	E	23,31	E
mar/09	56,76	E	6,74	M	mar/09	26,72	M	3,37	M
Total	64	E	7	M	Total	181,6	E	10,9	M

O: oligotrófico; M: mesotrófico, E: eutrófico PT- O: 5; M (5 a 30) E: 1000 Clor a O: 0,3 a 3; M: 3 a 15; E (15 a 500)

Tabela 15. Classificação trófica dos açudes Bola I e Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET da OECD (1988).

Açude	Parâmetro					Açude	Parâmetro				
	P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)		volume %		P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)		volume %
Bola I	valor	IET	valor	IET		L. Heleno	valor	IET	valor	IET	
set/06	16	M	3,9	O	64,05	set/06	64,3	E	3,5	O	34,86
out/06	14,3	M	3,5	O	45,32	out/06	9,3	M	2,2	U	21,42
nov/06	29,3	M	3,5	O	35,18	nov/06	34,3	M	3,2	O	15,46
dez/06	37,7	E	1	U	28,50	dez/06	97,7	E	1	U	8,36
mar/07	86	E	5,8	O	21,65	mar/07	109,3	H	29	E	7,68
abr/07	62,7	E	1	U	17,59	abr/07	149,3	H	10,7	M	6,15
mai/07	74,3	E	2,8	O	14,08	mai/07	96	E	23	M	5,30
jun/07	57,7	E	1	U	11,01	jun/07	126	H	252,5	H	2,79
jul/07	49,3	E	2,8	O	8,69	jul/07	221	H	66	E	2,16
ago/07	92,7	E	5,9	O	6,48	ago/07	344,3	H	21,1	M	1,39
set/07	11	M	5,9	O	4,65	set/07					0,33
out/07	32,7	M	15,7	M	3,10	out/07					0,06
nov/07	47,7	E	16,1	M	1,85	nov/07					0,00
dez/07	52,7	E	15,4	M	1,05	dez/07					0,00
mar/08	77,2	E	1,1	U	100,00	mar/08	58,1	E	2	U	100,00
abr/08	14,5	M	2,7	O	100,00	abr/08	9,91	O	3,7	O	100,00
jun/08	1	U	1	U	95,47	jun/08	1	U	3,4	O	91,41
jul/08	177,18	H	4,3	O	86,41	jul/08	165,4	H	3,8	O	68,75
ago/08	98,1	E	6,3	O	69,06	ago/08	156,3	H	1,1	U	48,49
set/08	27,2	M	7,9	O	63,14	set/08	23,5	M	7,3	O	40,90
out/08	12,4	M	12,9	M	58,14	out/08	12,4	M	7,6	O	35,26
nov/08	67,4	E	6,7	O	53,59	nov/08	46,1	E	1	U	21,42
dez/08	83,6	E	39,6	H	41,19	dez/08	101,1	H	11	M	11,26
jan/09	41,13	E	16,85	M		jan/09	72,38	E	11,52	M	
fev/09	63,6	E	7,58	O		fev/09	38,6	E	2,81	O	
mar/09	39,37	E	1,4	U		mar/09	66,25	E	1	U	
Total	52,6	E	7,4	O		Total	91	E	21	M	

U: ultraoligotrófico; O: oligotrófico; M: mesotrófico, E: eutrófico. H: hipereutrófico PT : U<4; O<10; M (10 a 35); E (35 a 100); H> 100 Clor a U< 1 < 2,54 ; O < 8; M (8 a 25); E(25 a 75) H >75

Tabela 16. Classificação trófica dos açudes Bola III Roque (São João do Cariri/PB), de acordo com o IET da OECD (1988).

Açude	Parâmetro				Açude	Parâmetro			
	P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)			P-total (µg/L)		Clorofila a (µg/L)	
Bola III	valor	IET	valor	IET	Roque	valor	IET	valor	IET
set/06	52,7	E	3,53	M	set/06	41	E	0	U
out/06	14,3	M	1,93	O	out/06	17,7	M	6,1	O
nov/06	76,0	E	3,85	M	nov/06	87,7	E	4,2	O
dez/06					dez/06	67,7	E	0	U
mar/07					mar/07	69,3	E	43,4	E
abr/07					abr/07	91	E	28,9	E
mai/07					mai/07	107,7	H	29,7	E
jun/07					jun/07	131	H	0	U
jul/07					jul/07	87,7	E	14,3	M
ago/07					ago/07	734,3	H	12,1	M
set/07					set/07				
out/07					out/07				
nov/07					nov/07				
dez/07					dez/07				
mar/08	105,4	H	2,2	U	mar/08	1747,2	H	6,8	O
abr/08	26,27	M	2,02	U	abr/08	52,64	E	2,92	O
jun/08					jun/08	4,45	O	0	U
jul/08					jul/08	6,27	O	0	U
ago/08	169	H	3,1	O	ago/08	4,5	O	2,9	O
set/08	23,5	M	3,9	O	set/08	463,5	H	1,7	U
out/08	36,1	E	2,2	U	out/08	13,6	M	3,7	O
nov/08	38,625	E	13,5	M	nov/08	36,1	E	8,1	O
dez/08	56,125	E	22,2	M	dez/08	36,1	E	23,3	M
jan/09					jan/09	32,38	E	24,16	M
fev/09					fev/09	136,1	H	23,31	M
mar/09	56,76	E	6,74	O	mar/09	26,72	M	3,37	O
Total	64	E	7	O	Total	181,6	H	10,9	M

U: ultraoligotrófico; O: oligotrófico; M: mesotrófico, E: eutrófico. H: hipereutrófico PT : U<4 ; O<10; M (10 a 35); E (35 a 100); H> 100 Clor a U< 1 < 2,54 ; O < 8; M (8 a 25); E (25 a 75) H > 75 (limites ver Tabela 2)

Tabela 17. Classificação trófica do açude Bola I (São João do Cariri/PB), de acordo com IET Carlson (1977) modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983).

Bola I	Valor	IET (S)	Valor	IET (P-total)	Valor	IET (PO4)	Valor	IET (CL)	Valor	IET médio	volume %
set/06	50,8	M	36,7	O	38,8	O	44,1	M	85	E	64,05
out/06	55,3	E	35,1	O	41,5	O	43,2	O	89,5	E	45,32
nov/06	66,8	E	45,5	M	50,2	M	43,2	O	106,4	E	35,18
dez/06	69,1	E	49,1	M	63,7	E	1,0	O	101,4	E	28,50
mar/07	74,7	E	61,0	E	66,5	E	48,3	M	124,9	E	21,65
abr/07	66,3	E	56,4	E	48,8	M	1,0	O	96,4	E	17,59
mai/07	69,1	E	58,9	E	60,9	E	40,9	O	115	E	14,08
jun/07	62,6	E	55,2	E	66,9	E	1,0	O	97,5	E	11,01
jul/07	69,7	E	53,0	M	52,6	M	40,9	O	111,5	E	8,69
ago/07	70,2	E	62,1	E	73,7	E	48,4	M	122,8	E	6,48
set/07	70,0	E	31,3	O	31,5	O	48,4	M	102,5	E	4,65
out/07	74,0	E	47,0	M	69,6	E	58,2	E	123,9	E	3,10
nov/07	72,6	E	52,5	M	43,7	O	58,4	E	116,8	E	1,85
dez/07	74,7	E	53,9	M	61,5	E	58,0	E	124,3	E	1,05
mar/08	62,6	E	59,4	E	61,9	E	31,7	O	108,7	E	100,00
abr/08	64,7	E	35,3	O	50,7	E	40,5	O	82,2	E	100,00
jun/08	60,8	E	26,7	O	15,6	O	30,6	O	71,0	E	95,47
jul/08	62,9	E	71,4	E	37,9	O	45,1	M	135,3	E	86,41
ago/08	60,8	E	62,9	E	15,6	O	49,0	M	107,1	E	69,06
set/08	61,1	E	44,4	M	53,5	O	51,3	M	85,5	E	63,14
out/08	66,8	E	33,0	O	15,6	O	56,2	E	80,0	E	58,14
nov/08	69,1	E	57,5	E	9,0	O	49,7	M	105,0	E	53,59
dez/08	68,1	E	60,6	E	27,6	O	67,5	E	110,0	E	41,19
jan/09	70,2	E	50,3	M	15,6	O	58,9	E	96,6	E	
fev/09	70,8	E	56,6	E	53,3	M	50,9	M	109,0	E	
mar/09	62,3	E	49,7	E	15,6	O	34,0	O	88,0	E	
Total	66,9	E	50,0	E	44,4	M	42,5	O	104,4	E	

O: oligotrófico < 44; M: mesotrófico 44 a 54, E: eutrófico >54

Tabela 18. Classificação trófica do açude Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), de acordo com IET Carlson (1977) modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983).

Luiz Heleno	Valor	IET (S)	Valor	IET (P-total)	Valor	IET (PO4)	Valor	IET (CL)	Valor	IET médio	volume %
set/06	52,9	M	56,8	E	45,6	M	43,2	O	94,6	E	34,86
out/06	40,9	O	29,0	O	31,5	O	38,7	O	69,2	E	21,42
nov/06	46,9	M	47,7	M	31,5	O	42,3	O	81,5	E	15,46
dez/06	48,8	M	62,8	E	48,8	M	59,3	E	80,3	E	8,36
mar/07	75,5	E	64,5	E	72,6	E	64,3	E	133,1	E	7,68
abr/07	70,8	E	69,0	E	53,7	M	54,3	E	121,3	E	6,15
mai/07	72,6	E	62,6	E	69,9	E	62,0	E	128,2	E	5,30
jun/07	81,4	E	66,5	E	78,1	E	86,0	E	147,3	E	2,79
jul/07	91,2	E	74,6	E	64,2	E	72,6	E	151,8	E	2,16
ago/07	97,2	E	81,0	E	83,2	E	61,1	E	161,6	E	1,39
set/07											0,33
out/07											0,06
nov/07											0,00
dez/07											0,00
mar/08	81,4	E	55,3	E	65,7	E	37,6	O	122,95	E	100,00
abr/08	59,9	E	29,8	O	49,6	M	43,7	O	74,27	E	100,00
jun/08	64,4	E	2,6	O	52,6	M	42,8	O	69,23	E	91,41
jul/08	62,3	E	70,4	E	66,8	E	44,0	M	139,56	E	68,75
ago/08	63,3	E	69,6	E	15,6	O	31,7	O	128,1	E	48,49
set/08	64,4	E	42,3	O	47,1	M	50,5	M	85,69	E	40,90
out/08	68,1	E	33,0	O	37,7	O	50,9	M	82,43	E	35,26
nov/08	76,3	E	52,0	M	27,6	O	30,6	O	105,02	E	21,42
dez/08	77,2	E	63,3	E	15,6	O	54,6	E	124,48	E	11,26
jan/09	89,1	E	58,5	E	36,7	O	55,1	E	127,75	E	
fev/09	85,5	E	49,4	M	56,2	E	40,9	O	115,42	E	
mar/09	73,3	E	57,2	E	49,7	M	30,6	O	111,59	E	
Total	70,2	E	54,4	E	50,0	M	49,9	M	111,6	E	

O: oligotrófico < 44; M: mesotrófico 44 a 54, E: eutrófico >54

Tabela 19. Classificação trófica do açude Bola III (São João do Cariri/PB), de acordo com IET Carlson (1977) modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983).

Bola III	Valor	IET (S)	Valor	IET (P-total)	Valor	IET (PO4)	Valor	IET (CL)	Valor	IET médio
set/06	61,4	E	53,9	M	48,8	M	30,6	O	94,7	E
out/06	67,2	E	35,1	O	64,2	E	48,7	M	89,6	E
nov/06	89,1	E	59,2	E	65,6	E	45	M	136,9	E
dez/06										
mar/07										
abr/07										
mai/07										
jun/07										
jul/07										
ago/07										
set/07										
out/07										
nov/07										
dez/07										
mar/08	82,61	E	63,91	E	73,56	E	38,68	O	146,83	E
abr/08	74,72	E	43,87	O	59,77	E	37,63	O	100,86	E
jun/08										
jul/08										
ago/08	65,5	E	70,73	E	72,67	E	42,06	O	148,9	E
set/08	67,2	E	42,26	O	37,84	O	44,29	M	87,32	E
out/08	70,2	E	48,47	M	15,62	O	38,68	O	94,65	E
nov/08	70,2	E	49,43	M	19,4	O	56,65	E	95,73	E
dez/08	69,13	E	54,82	E	15,62	O	61,64	E	101,11	E
jan/09										
fev/09										
mar/09	73,98	E	54,99	E	61,38	E	49,7	E	112,72	E
Total	71,69	E	53,56	E	44,48	O	46,17	M	111,21	E

O: oligotrófico < 44; M: mesotrófico 44 a 54, E: eutrófico >54

Tabela 20. Classificação trófica do açude Roque (São João do Cariri/PB), de acordo com IET Carlson (1977) modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983).

Roque	Valor	IET (S)	Valor	IET (P-total)	Valor	IET (PO4)	Valor	IET (CL)	Valor	IET médio
set/06	53,63	M	50,3	M	65,17	E	46,79	M	86,6	E
out/06	52,13	M	38,15	O	43,7	O	48,7	M	89	E
nov/06	64,73	E	61,26	E	31,37	O	44,89	M	104	E
dez/06	67,66	E	57,53	E	31,37	O	66,34	E	93,1	E
mar/07	79,13	E	57,88	E	73,17	E	68,37	E	136,1	E
abr/07	79,66	E	61,8	E	61,47	E	64,31	E	133,3	E
mai/07	82,61	E	64,23	E	72,06	E	64,55	E	140	E
jun/07	91,36	E	67,06	E	71,77	E	56,4	E	131	E
jul/07	101,36	E	61,26	E	64,2	E	57,26	E	153,6	E
ago/07	101,36	E	91,93	E	93,63	E	55,55	E	170,2	E
set/07										
out/07										
nov/07										
dez/07										
mar/08	81,36	E	104,43	E	56,64	E	49,79	M	615,29	E
abr/08	68,14	E	53,9	M	53,52	M	41,32	O	102,53	E
jun/08	66,33	E	18,28	M	60,33	E	30,57	O	79,16	E
jul/08	62,94	E	23,21	O	45,62	M	30,57	O	73,65	E
ago/08	61,06	E	18,28	O	15,62	O	41,24	O	67,84	E
set/08	58,38	E	85,29	E	42,25	O	35,8	O	217	E
out/08	65,11	E	34,4	O	15,62	O	43,56	O	79,12	E
nov/08	71,36	E	48,47	M	19,41	O	51,6	M	95,9	E
dez/08	66,76	E	48,47	M	15,62	O	62,14	E	91,22	E
jan/09	75,51	E	46,89	M	42,18	O	62,5	E	99,95	E
fev/09	75,51	E	67,61	E	55,59	E	62,14	E	138,28	E
mar/09	63,99	E	44,12	M	15,62	O	42,75	O	84,51	E
Total	72,27	E	54,73	E	47,54	M	51,23	M	135,53	E

O:oligotrófico<44;M:mesotrófico44a54;E:eutrófico>54

Na classificação trófica segundo o IETm - Índice de Carlson modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983), os valores aceitos são resultados da combinação de diversas variáveis (transparência de Secchi, P-Total, P-orto, e clorofila a) . Os valores limites são: oligotrófico ≤ 44 , mesotrófico $44 \leq \text{IET} \leq 54$ e eutrófico ≥ 54 .

O IET de Carlson modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983) classificou os quatro açudes como ambientes eutróficos considerando a transparência, que foi o parâmetro que mais influenciou na elevação do grau de trofia desses açudes e o P-total. As Tabelas 22 a 25 mostram que houve grande variabilidade segundo o parâmetro analisado, embora em todos os meses, o IET médio evidenciou águas eutróficas.

A comparação entre os índices utilizados permitiu observar o comportamento similar dos açudes em cascata com a concentração de fósforo total, parâmetro utilizado em todos os índices, e que mostraram que os quatro açudes estudados eram predominantemente ambientes eutrofizados.

Tabela 21. Classificação do estado trófico dos açudes em cascata de acordo com vários autores

Açude	Parâmetro	Vollenweider (1981)	OECD (TUNDISI <i>et al.</i> , 1988)	ROSICH <i>et al.</i> (1968);	DOBSON (1981)	IET Carlson(1977) modificado por KRATZER & BREZONIK (1981)	IET Carlson(1977) modificado por Toledo Jr <i>et al.</i> (1983)
Bola I	Secchi (m)	–	–	–	–	–	eutrófico
	p-total (µg/L)	eutrófico	eutrófico	eutrófico	eutrófico	hipereutrófico	eutrófico
	p-orto (µg/L)	–	–	–	–	–	mesotrófico
	clorofila a (µg/L)	–	oligotrófico	mesotrófico	eutrófico	mesotrófico	oligotrófico
	N-amoniacal (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–
	nitrato (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–
	nitrito (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–
Luiz Heleno	Secchi (m)	–	–	–	–	–	eutrófico
	p-total (µg/L)	eutrófico	eutrófico	eutrófico	eutrófico	hipereutrófico	eutrófico
	p-orto (µg/L)	–	–	–	–	–	mesotrófico
	clorofila a (µg/L)	–	mesotrófico	eutrófico	hipereutrófico	hipereutrófico	oligotrófico
	N-amoniacal (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–
	nitrato (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–
	nitrito (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–
Bola III	Secchi (m)	–	–	–	–	–	eutrófico
	p-total (µg/L)	eutrófico	eutrófico	eutrófico	eutrófico	hipereutrófico	eutrófico
	p-orto (µg/L)	–	–	–	–	–	oligotrófico
	clorofila a (µg/L)	–	oligotrófico	mesotrófico	eutrófico	eutrófico	mesotrófico
	N-amoniacal (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–
	nitrato (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–
	nitrito (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–
Roque	Secchi (m)	–	–	–	–	–	eutrófico
	p-total (µg/L)	eutrófico	hipereutrófico	eutrófico	hipereutrófico	hipereutrófico	eutrófico
	p-orto (µg/L)	–	–	–	–	–	mesotrófico
	clorofila a (µg/L)	–	mesotrófico	mesotrófico	eutrófico	eutrófico	mesotrófico
	N-amoniacal (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–
	nitrato (mg/L)	oligotrófico	–	–	–	–	–

nitrito (mg/L)

oligotrófico

-

-

-

-

-

Analisando o grau de eutrofização para cada um dos parâmetros envolvidos ao longo dos meses, houve variações do índice entre oligotrófico - mesotrófico e eutrófico em todos os açudes. Embora, em todos eles predominasse a condição de eutrofia, ao fazer a análise de todas as variáveis que compõem o índice, a transparência elevou a classificação para eutrófico. Pela observação direta das amostras verificou-se que a turbidez, na maioria dessas águas e na maioria dos meses era de natureza abiogênica, com coloração marrom, devido à argila em suspensão e não necessariamente à biomassa de algas ou cianobactérias. Para associar transparência com grau de eutrofização é necessário que a água tenha cor esverdeada, que é o fator que sugere o estado eutrófico associado com transparência, diferente do que ocorreu nos açudes analisados, onde a pouca transparência foi devido ao material em suspensão.

De forma geral os índices utilizados neste trabalho para os quatro açudes tiveram valores que variaram ao longo do tempo de acordo com o volume de água acumulada. Nas épocas com os menores volumes, os açudes foram classificados como eutrófico pelas classificações de Dobson (1981), de Carlson (1977) modificado por Kratzer & Brezonik (1981), Rosich *et al.*, (1981), IET de Carlson modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983), e da OECD (1988). Quando os volumes eram mais elevados, predominaram as classificações entre oligotrófica e mesotrófica segundo Dobson (1981) e Rosich *et al.*, (1981) para os parâmetros fósforo total e clorofila *a*.

Para o IET de Carlson modificado por Toledo Jr (1983) os quatro açudes se apresentaram eutrofizados, independente das épocas de seca ou de chuva, para as variáveis transparência de Secchi e fósforo total. Já para as duas variáveis restantes, fósforo reativo solúvel (ortofosfato) e clorofila *a*, houve alternância entre os três níveis de trofia, com predominância, ao final de todo o período, de características mesotróficas e oligotróficas. Entretanto, a avaliação do IET médio final indicou eutrofia.

Tavares (2000) na represa de São Salvador (12.099.900 m³) em Sapé/PB que recebe aporte do efluente final de uma lagoa de estabilização primária observou que o IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983) classificava esse corpo de água como eutrófico no período de setembro de 1997 a julho de 1998. A alta turbidez, devido ao transporte de material da bacia durante o período chuvoso diminuiu a transparência nessa represa. A alta biomassa fitoplanctônica, medida

como clorofila *a* também foi um parâmetro determinante da classificação do ambiente como eutrófico. Pacheco (2009) no reservatório de Acarape do Meio /CE verificou, através do IET_m, que o corpo hídrico foi eutrófico durante todo o ano de 2008. Destacou que clorofila *a* foi o parâmetro que mais influenciou nesse grau de trofia e observou a presença e predominância de cianobactérias potencialmente toxigênicas. Naselli-Flores (2003) verificou em um lago raso, o Lago Arancio na Itália, em região semiárida, que o elevado nível trófico desse reservatório era resultado da concentração do fósforo total que esteve sempre acima de 200 µg/L.

Calazans Duarte (1999) verificou em três lagoas naturais no Rio Grande do Norte que o IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr classificava os açudes como eutróficos com tendência a hipertrofia, enquanto que o IET de Carlson modificado por KRATZER & BREZONIK (1981) os caracterizava como lagoas mesotróficas. No presente trabalho para o IET_m Toledo Jr (1983) os açudes foram classificados como eutróficos e para IET de Carlson modificado por KRATZER & BREZONIK (1981) foram definidos como hipereutrófico os quatro açudes em cascata.

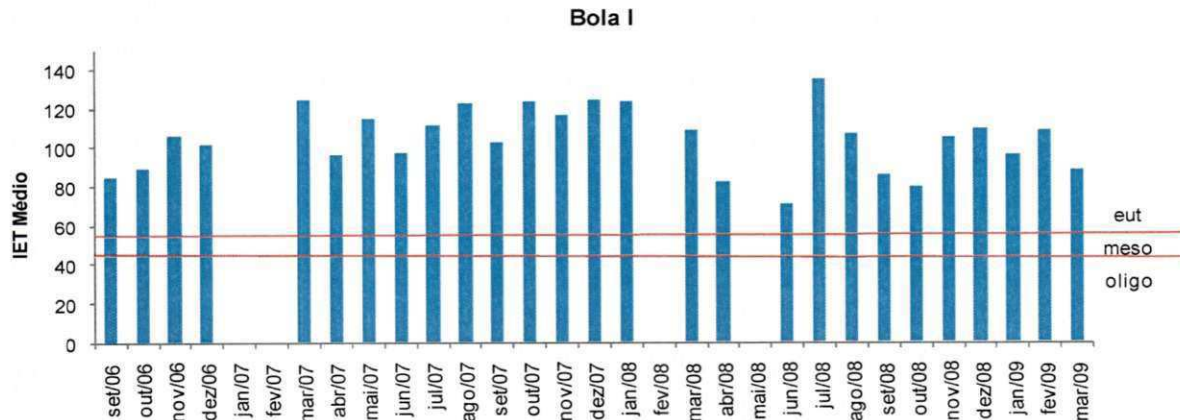


Figura 71. Classificação trófica do açude Bola I (São João do Cariri/PB), segundo de IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr *et al.*, (1983)

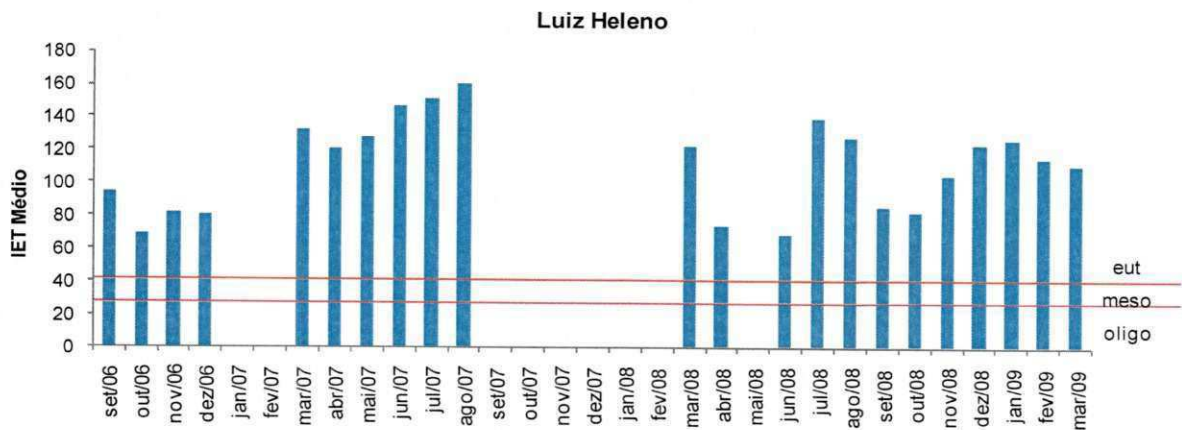


Figura 72. Classificação trófica do açude Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), segundo IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr et al., (1983)

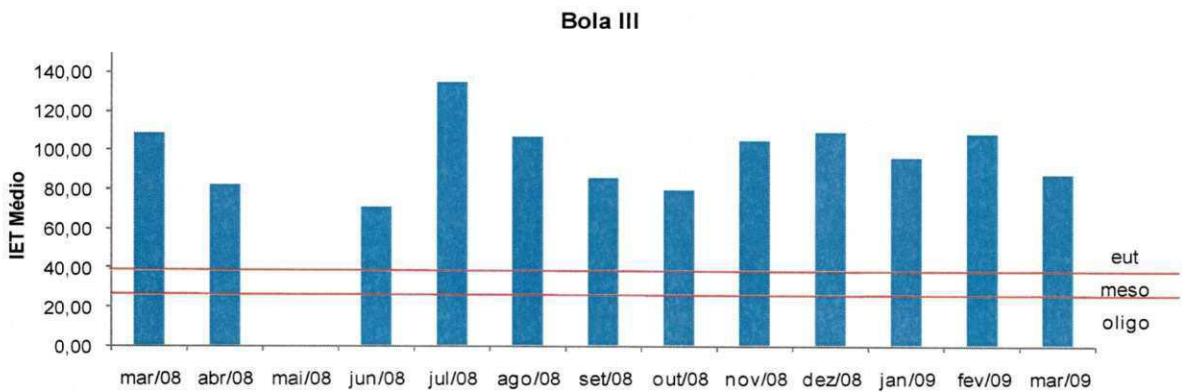


Figura 73. Classificação trófica do açude Bola III (São João do Cariri/PB), segundo IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr et al., (1983)

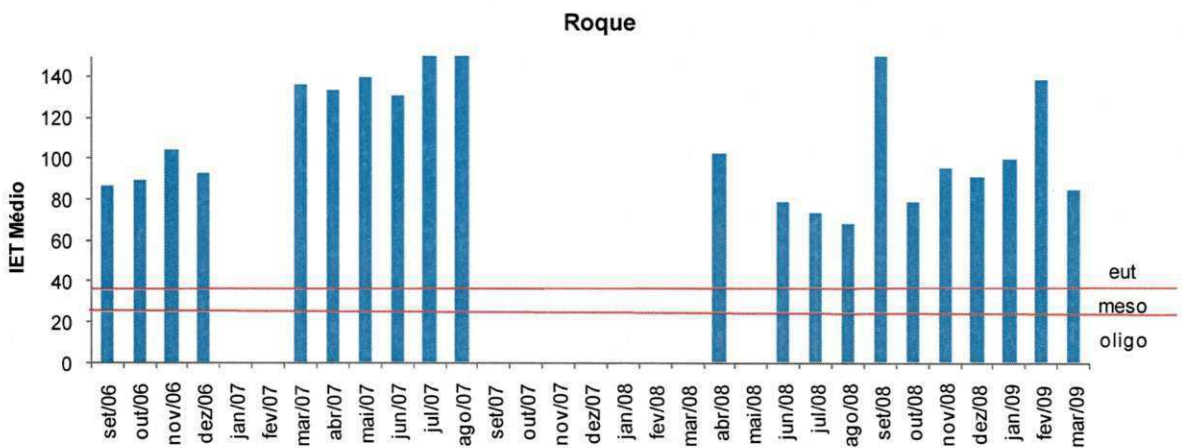


Figura 74. Classificação trófica do açude Roque (São João do Cariri/PB), segundo o IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr et al., (1983)

5.4 Classificação da qualidade da água dos açudes sob estudo segundo a Resolução CONAMA 357/2005

A Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, estabelece padrões para a qualidade da água e classifica os corpos aquáticos de acordo com seus fins ou usos múltiplos para assegurar que a qualidade esteja de acordo com o destino atribuído.

A Tabela 27 apresenta a classificação dos açudes em cascata considerando os VMP instituídos pelo CONAMA 357/2005. Nesta tabela se fez o estudo no período setembro de 2006 a dezembro de 2007, onde as chuvas foram escassas e os açudes foram secando ao longo do tempo, embora tivesse chovido mais, devido a elevada evaporação nesse período que superou a precipitação pluviométrica.

Tabela 22. Classificação segundo o CONAMA 357/2005 dos açudes em cascata no período de setembro de 2006 a dezembro de 2007

PARÂMETROS	CONAMA 357/2005			AÇUDES / VALORES MÉDIOS			
	CLASSE			Bola III	Luiz Heleno	Bola I	Roque
	1	2	3				
Clorofila a (µg/L)	10	30	60	3,1	41,2	6,0	13,9
P- Total (µg/L)	20	30	50	47,7	125,2	47,4	143,5
NO ₃ (mg/L)	10	10	10	0,20	0,21	0,17	0,21
NO ₂ (mg/L)	1,0	1,0	1,0	0,01	0,06	0,00	0,02
N-amoniaca ^l (mg/L)	2,0	3,7	5,6	1,4	0,00	0,01	0,00
OD (mg/L)	> 6,0	> 5,0	> 4,0	6,8	8,8	6,3	6,6
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	8,9	9,2	7,9	7,9
Coliformes termotolerantes UFC/100ml	200	1.000	2.500	< 200	< 200	< 200	< 200
<i>E. coli</i> UFC/100ml	200	200	200	< 200	< 200	< 200	< 200

Os quatro açudes se enquadraram na classe 3 segundo o parâmetro fósforo total, e para o açude Luiz Heleno a clorofila a também apresentou limites estabelecidos para essa classe, ou seja, que essas águas precisam de tratamento convencional ou avançado para se adequar ao consumo humano. Os demais parâmetros monitorados estiveram em conformidade com a classe 1, mas basta que

um parâmetro não satisfaça a classe correspondente para que essa água seja inserida em outra classe, em nível mais restritivo.

No período de 2008 a 2009, no qual as chuvas foram mais intensas e houve extravasamento de um para outro açude, estes se enquadraram também na classe 3 e, novamente, foi devido aos altos valores de fósforo total. Entretanto os valores de oxigênio dissolvido classificou os 4 açudes em classe 2. Nos açudes Bola III e Bola I as concentrações de coliformes termotolerantes impediram seu uso para irrigação irrestrita. Também não apresentaram qualidade sanitária apropriadas para o contato primário como estabelece o CONAMA 274/2000.

Tabela 23. Classificação segundo o CONAMA 357/2005 dos açudes em cascata no período de março de 2008 a março de 2009

PARÂMETROS	CONAMA 357/2005			AÇUDES / VALORES MÉDIOS			
	CLASSE			Bola III	Luiz Heleno	Bola I	Roque
	1	2	3				
Clo a (µg/L)	10	30	60	7,0	4,7	9,0	8,4
P- Total (µg/L)	20	30	50	64,0	62,6	58,5	213,3
NO ₃ (mg/L)	10	10	10	0,003	0,003	0,003	0,003
NO ₂ (mg/L)	1,0	1,0	1,0	0,10	0,05	0,08	0,07
N-amoniaca ^l (mg/L)	2,0	3,7	5,6	0,07	0,06	0,08	0,03
OD (mg/L)	> 6,0	> 5,0	> 4,0	5,4	5,4	5,3	5,3
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	7,6	7,3	7,67	7,45
Coliformes termotolerantes	200 UFC	1.000	2.500	1.781,66	938,88	1.931,75	721,8
<i>E. coli</i>	200 UFC	200	200	26,66	2,0	2,88	2,94

5.5 Estudo de correlação entre as variáveis da qualidade da água dos açudes em cascata na bacia de São João do Cariri/PB

O teste de Spearman (Statística 7.0) com 5% de significância foi utilizado para avaliar as correlações entre os parâmetros de qualidade da água com o volume acumulado ao longo do tempo. Esse teste foi escolhido visto que os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilk apontaram que apenas os parâmetros volume, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido, dureza

e fósforo total possuíam distribuição normal. O estudo foi realizado apenas com o açude Bola I (Tabela 27) (Anexo I).

O volume foi o parâmetro que mais se correlacionou com as demais variáveis no açude Bola I (Tabela 29). Os parâmetros alcalinidade e volume apresentaram correlação inversa e a mais alta ($r = - 0,95$; $p < 0,05$). Também houve correlações significativas e negativas pH ($r = - 0,79$; $p < 0,05$), nitrato ($r = - 0,43$; $p < 0,05$). N-amoniaco ($r = 0,43$; $p < 0,05$) e transparência ($r = 0,76$; $p < 0,05$) tiveram correlações significativas e positivas com o volume.

O mesmo ocorreu em Luiz Heleno com acréscimo dos parâmetros clorofila *a*: correlação inversa para a transparência e clorofila *a* ($r = - 0,46$; $p < 0,05$), volume e dureza ($r = - 0,67$; $p < 0,05$); nitrato ($r = - 0,70$; $p < 0,05$); clorofila *a* ($r = - 0,60$; $p < 0,05$) feofitina ($r = - 0,58$; $p < 0,05$); P-total ($r = - 0,67$; $p < 0,05$). As correlações positivas de clorofila e feofitina ($r = - 0,78$; $p < 0,05$), fósforo total e clorofila *a* ($r = 0,43$; $p < 0,05$), pH e oxigênio dissolvido ($r = - 0,78$; $p < 0,05$), o oxigênio dissolvido e nitrato ($r = 0,51$; $p < 0,05$) (Tabela 30).

Nas análises de correlação para os açudes Bola III e Roque não foram incorporados os valores de volume porque não constam no banco de dados utilizado (Tabelas 31 e 32).

No açude Bola III as correlações positivas foram pH e o oxigênio dissolvido ($r = 0,83$; $p < 0,05$) alcalinidade e clorofila *a* ($r = 0,70$; $p < 0,05$). As correlações negativas foram entre pH e N-amoniaco ($r = - 0,67$; $p < 0,05$) e o oxigênio dissolvido e N-amoniaco ($r = - 0,67$; $p < 0,05$), nitrato e nitrito ($r = - 0,72$; $p < 0,05$) e nitrato e N-amoniaco ($r = - 0,76$; $p < 0,05$) (Tabela 31).

No açude Roque, o pH se correlacionou positivamente com alcalinidade ($r = 0,43$; $p < 0,05$) e com nitrato ($r = 0,44$; $p < 0,05$), e a clorofila *a* com a feofitina ($r = 0,79$; $p < 0,05$) fósforo total e ortofosfato ($r = - 0,54$; $p < 0,05$). As correlações negativas foram entre a transparência e a clorofila *a* ($r = - 0,53$; $p < 0,05$).

As interações entre os parâmetros com as reações químicas ocorridas nos ambientes e outros fatores como volume acumulado nos reservatórios são expressas na correlação de Spearman, utilizada para conjunto de dados que não possuam distribuição normal. O volume acumulado foi o parâmetro que influenciou

na maioria dos valores encontrados correlacionando-se com a maior parte dos parâmetros. As formas do nitrogênio também se correlacionaram entre si pelo processo de transformações do nitrato, nitrito e N-amoniacal. A transparência e a clorofila *a* se associaram negativamente em três dos açudes confirmando a interferência da quantidade de biomassa na transparência da água.

O conjunto das análises estatísticas evidenciaram as associações e interrelações entre as variáveis descritas ao longo do trabalho.

Tabela 24. Correlação de postos de Sperman do açude Bola I (São João do Cariri/PB), com 5% de significância.

Variáveis	Correlação de Spearman Bola I correlação em destaque são significantes para $p < 0,05$																
	transp	pH	cond	temp	OD	alc	dur	p-total	p-orto	nitrito	nitrato	N-amonia	clor a	feof	SDT	SST	Volum
transp	1,0000																
pH	-0,5067	1,0000															
cond	-0,5726	0,4255	1,0000														
temp	0,0535	0,1315	-0,0078	1,0000													
OD	-0,0597	-0,0285	-0,2914	-0,0292	1,0000												
alc	-0,8335	0,6641	0,5446	-0,2286	-0,0092	1,0000											
dur	-0,6564	0,5220	0,5912	-0,4007	0,0545	0,8630	1,0000										
p-total	-0,2147	0,4275	0,0502	-0,0023	-0,2527	0,1945	0,1715	1,0000									
p-orto	-0,3322	0,2025	-0,1308	0,1037	-0,0488	0,2804	0,0661	0,1735	1,0000								
nitrito	0,2632	-0,2057	-0,0365	-0,0133	-0,4735	-0,2947	-0,2828	0,2496	-0,1305	1,0000							
nitrato	-0,1437	0,2636	-0,2745	0,4082	0,1765	0,2690	0,0748	0,0071	0,3445	-0,3425	1,0000						
N-amoniac	0,3245	-0,2457	-0,0892	-0,5440	-0,0307	-0,3107	-0,0680	-0,0290	-0,4435	0,1961	-0,5453	1,0000					
clora	-0,4782	0,2815	0,5186	-0,3077	0,2251	0,3833	0,4181	0,1120	-0,2566	-0,3380	-0,2860	0,0775	1,0000				
feof	-0,3658	0,2105	0,3673	-0,1380	0,2305	0,3092	0,2194	0,0000	-0,1073	-0,3680	-0,0584	-0,2937	0,7391	1,0000			
SDT	-0,2186	-0,4236	0,2727	0,0091	-0,0454	0,3181	0,4363	-0,3187	0,1767	-0,0187	0,3000	-0,4090	-0,1727	-0,3497	1,0000		
SST	-0,6843	0,1152	0,5563	0,3926	0,1057	0,5517	0,6851	-0,2253	-0,0070	-0,6065	0,7034	-0,7862	0,5241	0,1108	0,5835	1,0000	
Volume	0,7697	-0,6752	-0,4882	0,0677	-0,1404	-0,9547	-0,7988	-0,0548	-0,3905	0,3964	-0,4378	0,4340	-0,2954	-0,3867	-0,0476	-0,6386	1,0000

Transp (m), pH, Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Temp. ($^{\circ}\text{C}$), OD (mg/l), Alc (mgCaCO_3/l), Dureza (mgCaCO_3/l), P. total ($\mu\text{g}/\text{l}$), P-orto ($\mu\text{g}/\text{l}$), Nitrito ($\mu\text{g}/\text{l}$), Nitrato ($\mu\text{g}/\text{l}$), N-Amônia ($\mu\text{g}/\text{l}$), Clorofila a ($\mu\text{g}/\text{l}$), Feofitina ($\mu\text{g}/\text{l}$), SDT (mg/L), SST (mg/L), volume (%)

Tabela 25. Correlação de postos de Spearman do açude Luiz Heleno (São João do Cariri/PB), com 5% de significância.

Variável	Correlação de Spearman Luiz Heleno correlação em destaque são significantes para $p < 0,05$																
	trans	pH	cond	temp	OD	alc	dur	p-total	p-orto	nitrito	nitrato	N-amonia	clora	feof	SDT	SST	Volume
trans	1.0000																
pH	0.3520	1.0000															
cond	-0.5361	-0.4992	1.0000														
temp	-0.2238	-0.1972	0.0841	1.0000													
OD	0.3190	0.6870	-0.2526	-0.3636	1.0000												
alc	0.4368	0.1937	0.0626	-0.1463	0.4778	1.0000											
dur	-0.3040	0.1926	0.3467	-0.1458	0.2222	0.4022	1.0000										
p-total	-0.4288	0.2699	0.1022	0.1717	0.0661	0.1524	0.4625	1.0000									
p-orto	-0.4222	-0.0452	-0.1655	0.1379	0.0356	-0.0327	0.2461	0.4050	1.0000								
nitrito	-0.1723	-0.5381	0.0079	0.1709	-0.1843	-0.0807	-0.2045	0.0208	0.3873	1.0000							
nitrato	0.0025	0.6666	-0.1236	0.1966	0.5128	0.2274	0.3649	0.2637	0.2384	-0.5502	1.0000						
N-amoniacal	-0.3390	-0.6612	0.2180	-0.0211	-0.5428	-0.2796	-0.1141	0.1846	0.2483	0.5511	-0.6062	1.0000					
clora	-0.4615	0.3551	0.0028	-0.1266	0.2688	-0.1091	0.3969	0.4313	0.4971	-0.0107	0.3194	-0.0944	1.0000				
feof	-0.3065	0.5550	-0.0292	-0.0516	0.4520	0.0602	0.3948	0.5984	0.2876	-0.0195	0.3587	-0.3128	0.7829	1.0000			
SDT	-0.2579	0.3234	0.1913	-0.6241	0.3789	0.0958	0.1643	0.1959	0.2123	-0.1184	0.0981	-0.2687	0.2602	0.3194	1.0000		
SST	-0.3913	0.2283	0.3333	-0.2328	0.2837	-0.0549	0.0114	0.1872	0.0755	-0.3379	0.3203	-0.5159	0.1899	0.2593	0.8832	1.0000	
Volume	0.4642	-0.4890	-0.1632	-0.2740	-0.2642	-0.1140	-0.6766	-0.5765	-0.3732	0.4319	-0.7063	0.2730	-0.6040	-0.5887	-0.0479	-0.2275	1.0000

Transp (m), pH, Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Temp. ($^{\circ}\text{C}$), OD (mg/l), Alc (mgCaCO₃/l), Dureza (mgCaCO₃/l), P. total ($\mu\text{g}/\text{l}$), P-orto ($\mu\text{g}/\text{l}$), Nitrito ($\mu\text{g}/\text{l}$), Nitrato ($\mu\text{g}/\text{l}$), N-Amoniaca ($\mu\text{g}/\text{l}$), Clorofila a ($\mu\text{g}/\text{l}$), Feofitina ($\mu\text{g}/\text{l}$), SDT (mg/L), SST (mg/L), volume (%)

Tabela 26. Correlação de postos de Spearman do açude Bola III (São João do Cariri/PB), com 5% de significância.

Variável	Correlação de Spearman Bola III correlação em destaque são significantes para $p < 0,05$															
	transp	pH	cond	temp	OD	alc	dur	p-total	p-orto	nitrito	nitrato	N-amoniaca	clora	feof	SDT	SST
transp	1.0000															
pH	0.8238	1.0000														
cond	0.0867	-0.0956	1.0000													
temp	-0.3729	-0.0796	-0.3416	1.0000												
OD	0.5890	0.8337	0.1545	-0.1685	1.0000											
alc	0.0410	-0.2505	0.7272	-0.6833	-0.1272	1.0000										
dur	0.1004	0.3507	0.2000	0.0683	0.3818	0.2727	1.0000									
p-total	-0.2374	-0.4328	-0.4181	-0.0592	-0.4454	0.0090	-0.1454	1.0000								
p-orto	-0.2448	-0.1986	-0.6970	0.3972	-0.2551	-0.5056	-0.3596	0.5148	1.0000							
nitrito	-0.0823	-0.2785	-0.1457	-0.1210	-0.2642	0.0455	-0.6013	0.2414	0.6255	1.0000						
nitrato	0.2602	0.5056	-0.1272	0.2186	0.4000	-0.2545	0.5272	-0.1906	-0.1867	-0.7243	1.0000					
N-amoniaca	-0.3386	-0.6757	-0.1184	-0.1917	-0.6742	0.1594	-0.5235	0.3872	0.2511	0.5022	-0.7653	1.0000				
clora	0.0502	-0.1002	0.4272	-0.3462	-0.1636	0.7000	0.5000	0.2363	-0.4783	-0.3872	0.2727	-0.2551	1.0000			
feof	0.5304	0.4496	0.2977	0.3217	0.1814	-0.0232	0.3070	-0.3954	-0.2727	-0.3660	0.4605	-0.4639	0.2233	1.0000		
SDT	0.1621	0.5585	-0.1071	-0.2857	0.4642	-0.2857	-0.2142	-0.5714	0.3964	0.4285	-0.4642	-0.1071	-0.5714	-0.3706	1.0000	
SST	-0.2883	0.1081	0.1428	0.5714	0.0714	0.0714	0.1785	-0.4285	0.1081	0.1428	-0.1071	-0.6428	0.0714	0.1853	0.4285	1.0000

Transp (m), pH, Cond. ($\mu\text{S/cm}$), Temp. ($^{\circ}\text{C}$), OD (mg/l), Alc (mgCaCO_3/l), Dureza (mgCaCO_3/l), P. total ($\mu\text{g/l}$), P-orto ($\mu\text{g/l}$), Nitrito ($\mu\text{g/l}$), Nitrato ($\mu\text{g/l}$), N-Amoniacal ($\mu\text{g/l}$), Clorofila a ($\mu\text{g/l}$), Feofitina ($\mu\text{g/l}$), SDT (mg/L), SST (mg/L), volume (%)

Tabela 27. Correlação de postos de Spearman do açude Roque (São João do Cariri/PB), com 5% de significância.

Variável	Correlação de Spearman Roque correlação em destaque são significantes para $p < 0,05$															
	transp	pH	cond	temp	OD	alc	dur	p-total	p-orto	nitrito	nitrato	N-amoniac	cloa	feof	SDT	SST
transp	1.0000															
pH	-0.085	1.0000														
cond	-0.592	0.052	1.0000													
temp	-0.029	0.292	-0.113	1.0000												
OD	0.204	-0.025	-0.223	-0.189	1.0000											
alc	-0.312	0.430	0.163	0.228	0.401	1.0000										
dur	-0.472	0.464	0.290	0.135	0.445	0.877	1.0000									
p-total	-0.608	0.153	0.107	0.023	-0.065	0.269	0.334	1.0000								
p-orto	-0.580	0.154	0.134	-0.255	-0.050	0.116	0.240	0.547	1.0000							
nitrito	-0.064	-0.260	0.074	-0.306	-0.481	-0.436	-0.490	-0.269	0.088	1.0000						
nitrato	-0.377	0.444	0.067	0.095	0.329	0.695	0.709	0.543	0.506	-0.492	1.0000					
N-amoniacal	-0.007	-0.043	0.135	-0.024	-0.156	-0.231	-0.234	-0.503	-0.225	0.441	-0.505	1.0000				
cloa	-0.539	0.058	0.293	0.296	-0.039	0.403	0.468	0.324	0.210	-0.122	0.268	0.038	1.0000			
feof	-0.349	0.239	0.113	0.132	0.064	0.537	0.539	0.189	0.323	-0.138	0.325	0.144	0.794	1.0000		
SDT	0.095	-0.287	-0.218	0.018	0.718	0.045	0.218	-0.109	-0.107	-0.296	-0.344	-0.109	-0.022	-0.114	1.0000	
SST	-0.025	-0.374	0.013	0.064	0.510	-0.018	0.151	-0.159	-0.120	-0.211	-0.302	-0.197	0.046	-0.255	0.924	1.0000

Transp (m), pH, Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Temp. ($^{\circ}\text{C}$), OD (mg/l), Alc (mgCaCO_3/l), Dureza (mgCaCO_3/l), P. total ($\mu\text{g}/\text{l}$), P-orto ($\mu\text{g}/\text{l}$), Nitrito ($\mu\text{g}/\text{l}$), Nitrato ($\mu\text{g}/\text{l}$), N-Amoniacaal ($\mu\text{g}/\text{l}$), Clorofila a ($\mu\text{g}/\text{l}$), Feofitina ($\mu\text{g}/\text{l}$), SDT (mg/L), SST (mg/L), volume (%)

6. CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo mostram a influência dos fatores climáticos e hidrológicos sobre as características físicas, químicas e biológicas nos quatro ambientes. O volume de água acumulado nos açudes foi a variável de maior força sobre as variáveis qualitativas, e esse volume refletiu as épocas de estiagem e de chuva na região. Nesse contexto, o volume acumulado foi o resultado da precipitação pluviométrica, da temperatura do ar e dos ventos que foram decisivos para a caracterização do comportamento dos açudes durante o período analisado. Todos os açudes foram caracterizados como ambientes eutróficos segundo os diferentes IETs utilizados, com forte influência da transparência e da concentração de fósforo total. Este último parâmetro teve melhor poder discriminador do nível de trofia porque o valor da turbidez não expressou sua origem, e quando predominou material inorgânico em suspensão em vez de fitoplâncton, os resultados foram falsos.

As águas de todos os açudes foram classificadas na classe 3, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, pelo valor máximo permitido para fósforo total. Essas águas podem, portanto, ser usadas para consumo humano somente após de tratamento convencional ou avançado e para irrigação, embora não irrestrita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Levantamento batimétrico automatizado dos açudes Namorados, L. Heleno, Bola I e Bola II** – Bacia Escola de São João do Cariri – Paraíba, Brasil. Relatório Final. 2006.

ANTONELLO, A. **Influência das variações sazonais e espaciais nas variáveis limnológicas do reservatório de Boa Esperança, Rio Parnaíba, PI - MA.** Dissertação, UFRPE, Recife, 2006, 63p

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21^aed. Washington, APHA/WEF/AWWA, 1998

ARRUDA, P. C. **Comunidade fitoplanctônica e condicionantes limnológicos no diagnóstico da eutrofização e capacidade suporte do reservatório de Acauã, Paraíba - Brasil.** Dissertação, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba, PRODEMA, Campina Grande, 2009, 78p

BARBOSA, F.A.R. **Programa brasileiro para a conservação e manejo de águas interiores: síntese das discussões.** Minas Gerais. ICB/UFMG, 1992.

BARBOSA, J. E. L.; ANDRADE, R. S.; LINS, R. P.; DINIZ, C. R. Diagnóstico do estado trófico e aspectos limnológicos de sistemas aquáticos da bacia Hidrográfica do rio Taperoá semi-árido Brasileiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, suplemento especial, nº1 -2º semestre 2006

BICUDO, D.C; FERRAGUT, C; CROSSETTI, L.O.; BICUDO, C.E.M. **Efeitos do represamento sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Rosana, baixo Rio Paranapanema, estado de São Paulo. Cap.15** In: Nogueira, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A (orgs). **Ecologia de Reservatórios – Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata.** RiMa, São Carlos, 83-125, 2005

BLACK, J. G. **Microbiologia: Fundamentos e perspectivas.** 2002. 4º ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

BOLLMANN, H.A. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações** In: MAIA, N.B.; MARTOS, H. L. & BARRELLA, W. (Org). São Paulo: EDUC/COMPED/ INEP, 2001, 285 p.

BOUVY, M.; NASCIMENTO, S. M.; MOLICA, R. J. R.; FERREIRA, A.; HUSZAR, V. AZEVEDO, S. M. F. O. Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. **Hydrobiologia**, nº 493, 2003, p115-130

BRASIL, 2005. Inmed introduz método SODIS de purificação de água em regiões carentes do Brasil. <http://www.inmed.org.br/newsletter/news-outubro.htm>. Acesso em 19 de maio de 2010.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004**. Brasília, 2004.

BRASIL, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE- **Resolução CONAMA nº 357 de 15 de março de 2005**, Brasília, 2005.

CALAZANS DUARTE, M. A. **Utilização dos Índices de Estado Trófico (IET) e de Qualidade da água (IQA) na caracterização limnológica e sanitária das Lagoas de Bonfim, Extremoz e Jiqui - RN**, Dissertação, UFPB, Campina Grande, 1999, 156p.

CARLSON, R.E. **A trophic state index for lakes**. *Limnology and Oceanography*. Mach, v22(2):361-369. 1977.

CARMICHAEL, W.W.; AZEVEDO, S.M.F.O.; AN, J.; MOLICA, R.J.R.; JOCHIMSEN, E.M.; LAU, S.; RINEHART, K.I.; SHAW, G.R.; EAGLESHAM, G.K. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. **Environmental Health Perspectives**, v. 109, n. 7, p. 663-668. 2001.

CARVALHAL-LUNA, B. J. **Características espaço-temporais do sistema do açude Acauã-PB, e seu atual Índice de Estado Trófico**. Dissertação, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba, PRODEMA, Campina Grande, 2008, 118p

CEBALLOS, B. S. O. **Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do trópico semi-árido**. Tese de doutorado, USP, São Paulo, 1995, 135p

CHELLAPPA, N.I.; CÂMARA, F.R.A.; ROCHA, O. Phytoplankton community: indicator of water quality in the Armando Ribeiro Gonçalves Reservoir and Pataxó Channel, Rio Grande do Norte, Brazil. **Braz. J. Biol.**, vol 69, nº2, p.241-251, 2009

CHORUS, I. & BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health, consequences, monitoring and management**. World Health Organization. London. 416p. 1999.

COSTA, I.A.S.; AZEVEDO, S.M.F.O.; SENNA, P.A.C.; BERNARDO, R.R.; COSTA, S.M.; CHELLAPPA, N.T. Occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a Brazilian semiarid reservoir. **Braz. J. Biol.** 66(1B): 211-219, 2006

DAJOZ, R. **Fundamentos de Ecologia**, 7ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2005, 520 p.

DINIZ, C.R. Aspectos Sanitários de Corpos Lênticos Temporários Utilizados para Consumo Humano, Dissertação de mestrado, em Engenharia Civil, área de Saneamento Ambiental, UFPB, 1994. 143p

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998, 602 p.

FREIRE, R. H. F.; CALIJURI, M. C.; SANTAELLA, S. T. Longitudinal and variations in water quality in a reservoir in the semiarid region of NE Brazil: responses to hidrological and climatic changes. **Acta Limnol. Bras.** vol.11, nº2, 2009

FONTES, A. S; OLIVEIRA, J. I. R.; MEDEIROS, Y. D. P. A evaporação em açudes no semi-árido nordestino do Brasil e a gestão das águas. **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2003.

FUJIOKA, R.; HASHIMOTO, H. H.; SIWAK, E. B.; YUNG, R. H. F. Effect of sunlight on survival of indicators in sea water. **Appl. Environ. Microbiol.**, 1981, 690-6

GARCEZ, L. N; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**, 2ª ed. São Paulo; Edgard Blücher, 2006

GOLDMAN, C. R.; HORNE, A. J.; **Limnology**, 2ª ed. USA: McGraw-Hill, 1994. 576p.

GOMES, A.M.A. **Impacto da atividade de piscicultura intensiva e da adição de nutrientes inorgânicos (N e P) na qualidade da água do Reservatório de Ribeirão das Lajes- RJ**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005

GOMES, L. N. L. **Estudo da associação entre parâmetros bióticos e abióticos e a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Vargem das Flores - MG**. Tese, Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2008

Guerra, A. B. **Coliformes termotolerantes e enteroparasitos em águas eutrofizadas de açudes em cascata (São João do Cariri/PB)**. Monografia, UEPB, Campina Grande, 2009, 52p

GUIMARÃES, A. O. **Formulação de um modelo de previsão da qualidade de água para gestão de reservatórios de abastecimento urbano no semi-árido**. Dissertação, UFCG, Campina Grande, 2006, 111p

GUIMARÃES, A. O. ; MELO, A. D. DE ; CEBALLOS, B. S. O. ; GALVÃO, C. O. ; RIBEIRO, M. M. R. . **Aspectos da gestão do Açude Epitácio Pessoa (PB) e variação da qualidade da água**. In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005, Campo Grande. XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005.

GUIMARÃES, A. O. ; GALVÃO, C. O. ; CEBALLOS, B. S. O. ; DINIZ, C. R. ; MELO, A. D. DE . A knowledge-based model for estimation of the impacts of diffuse pollution on reservoir water quality. In: 11th International Conference on Diffuse Pollution and the 1st Joint Meeting of the IWA Diffuse Pollution and Urban Drainage Specialist Groups, 2007, Belo Horizonte. Proceedings of the 11th International Conference on Diffuse Pollution and the 1st Joint Meeting of the IWA Diffuse Pollution and Urban Drainage Specialist Groups, 2007.

HENRY, R. **Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais**. Botucatu, FAPESQ/ FUNDIBIO, 800p, 1999

HENRY, R. The connectivity of the Paranapanema river with two lateral lakes in it's mouth zone into Jurumirim reservoir. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.17, nº1, p 57-69, 2005

HUSZAR, V.L.M.; SILVA, L.H.S.; MARINHO, M.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C.L. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. **Hydrobiologia**. 424: 67-77. 2000

JORCIN, A.; NOGUEIRA, M.G. Temporal and spatial patterns based on sediment and sediment-water interface characteristics along a cascade of reservoirs (Paranapanema River, south-east Brazil). **Lakes and Reservoirs: Research and Management** 10:1-12, 2005

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese de doutorado, USP, São Carlos, 2006, 247p

LARAQUE, A. **Estudo e previsão da qualidade da água de açudes do nordeste semi-árido brasileiro**. Recife: SUDENE/DPG/PRN, 1989. 95p.

LEITE, M. A. **Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana - SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema**. Dissertação, USP, São Carlos, 1998

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**, 2ª ed. São Paulo: Editora Átomo, 2008, 444 p.

LINS, R. P. **Limnologia da barragem de Acauã e codeterminantes socioeconômicos do seu entorno: uma nova interação do limnólogo com sua unidade de estudo**. Dissertação, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba, PRODEMA, João Pessoa, 2006, 135p

LIRA, G. A. S. T.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOURA, A. N. Caracterização ecológica da comunidade fitoplanctônica em um reservatório de abastecimento do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, vol 5 supl.2 2007, p 219-221.

LUCCA, J.V.; ALBUQUERQUE, A.L.S.; ROCHA, O. Spatial heterogeneity and temporal changes of abiotic factors, in Lake Caçó, Maranhão state, Brazil. **Acta Limnol Bras**. vol 20, nº2, p89-97, 2008

MALTCHIK, L.; FLORIN, M. Perspectives of hidrological disturbance as the driving force of Brazilian Semiarid stream ecosystems. **Acta Limnol. Bras**. 14 (3): 35-41, 2002.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. **Microbiologia de Brock**. 10º Ed. Prentice-Hall, 2004, 624 p.

MACEDO, D. R. G. **Microcistina na água e biomagnificação em peixes de reservatórios de abastecimento público do estado da Paraíba**. Dissertação, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba, PRODEMA, Campina Grande, 2009, 82p

MANAHAM, S. E. **Environmental Chemistry**. 7th ed. USA, Lewis Publishers, 2000, 876p

MARGALEF, R. **Limnologia**. Omega. S.A. Barcelona, 1010p. 1983

MARTINS, J. A. Evaporação e transpiração, capítulo 5. In: PINTO, N. L. S; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. 1ªed, São Paulo: Edgar Blücher, 2007, 278p

MINILLO, A. **Análise da distribuição, densidade e toxicidade de florações de cianobactérias e suas toxinas nos reservatórios do médio e baixo Rio Tietê (SP) e relação com as características limnológicas do sistema**. Tese (doutorado), USP, São Carlos, 2005.

MOLLE, F.; CADIER, E.; **Manual do pequeno açude**. SUDENE, DPG-PRN-DPP-APR, Recife, 1992

MORAIS, J.S.D.; CARNEIRO NETO, J. A.; FERREIRA, F.A.M; LIMA, G.P.B. O uso da métrica de batimetria para o gerenciamento hídrico dos açudes em áreas críticas no estado do Ceará, **I Simpósio de Geografia Física do Nordeste, Caderno de Cultura e Ciência**, vol.2. nº2, 2007

NASELLI-FLORES, L. Man-made lakes in Mediterranean semi-arid climate: the strange case of Dr Deep Lake and Shallow Lake. **Hydrobiologia**, 506-509, 2003, 13-21p

NOGUEIRA, M.G.; JORCIN,A.: VIANNA,N.C.; BRITTO, Y.C. Reservatórios em cascata e os efeitos na limnologia e organização das comunidades bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos)-um estudo de caso no rio Paranapanema (SP/PR) cap 4. IN: NOGUEIRA, M. G.: HENRY, R.; JORCIN, A. **Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata**. 2ª Ed, São Carlos- SP, RIMA, 2006, 472p

ODUM, E.P. **Ecologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 434p

PACHECO, C. H. A. **Estudo ecofisiológico do comportamento de cianobactérias no açude Acarape do Meio, (CE) sob impactos antropogênicos de sua bacia de drenagem**. Dissertação, Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campina Grande, 2009

PANOSSO, R; COSTA, I.A.S; SOUZA, N.R.; ATTAYDE, J.L.; CUNHA, S.R.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*) **Oecol. Bras.** 11(3): 433-449, 2007

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol.10 no.1 Rio de Janeiro. Jan./Mar. 2005

PEREIRA, L.P.F.; Mercante, C.T.J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água, uma revisão. **B. Inst. Pesca**. São Paulo, v.31, n.1, p81-88, 2005

PIERSON, D. C.; MARKENSTEN, H.; STROMBECK, N. Long and short term variations in suspended particulate material: the influence on light available to the phytoplankton community. **Hydrobiologia**, 494, 2003, 299-304

PARHARD, N. M; RAO, N. V. Effect of pH on survival of *E.coli*. **Water Pollut. Control Fed.**, 1974, 980-6

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (org). **Água doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação**. 3ª ed, São Paulo, Escrituras,2006, 748p

REBOUÇAS, A.C. **Água na região Nordeste: desperdício e escassez**. Estudos Avançados, 1997

RODGER, S; ESPÍNDOLA, E. L.G.; ROCHA, O; FRACÁCIO, R; PEREIRA, R.H.G.; RODRIGES, M. H .S. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê river (São Paulo). **Bras,J. Biol.** Vol65, n4 São Carlos, 2005

SAYWER, C. N.; McCARTY, P.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering**. 4ª ed. Singapura: McGRAW-HILL, 1994.658p

SILVA, L.F. **Distribuição longitudinal da comunidade de diatomáceas de sedimentos superficiais nos reservatórios em cascata do Rio Paranapanema**. Dissertação de mestrado, Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2008

SODIS 2-10. SODIS - Safe drinking water in 6 hours. http://www.sodis.ch/index_EN . Acesso em 19 de maio de 2010.

SODRÉ-NETO, L.; ARAÚJO, M. F. F. Spatial and temporal fluctuations in bacterioplankton and correlated abiotic variables in eutrophic environments of brazilian semi-arid region. **Acta Limnol. Bras**, vol.20, nº4, p325-3312008

SPERLING, E.; FERREIRA, A.C.S.; GOMES, L.N.L. Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. **Desalination**, 169-174, 2008

TAVARES, J. L. **Evolução da eutrofização em uma represa nordestina de recente formação**. Represa São Salvador-Sapé- PB. Dissertação, UFCG, Campina Grande, 2000, 141p

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J.C. **Fundamentos em Ecologia**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2006 TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI. T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos. 2008, 630p.

TORRES, I.C.; RESCK, R.P.; PINTO-COELHO, R.M. Mass balance estimation of nitrogen, carbon, phosphorus and total suspended solids in the urban eutrophic, Pampulha reservoir, Brazil. **Acta Limnol. Bras.** 19 (1): 79-91, 2007

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração, cap 5 In: TUCCI, C. E. M (Org) **Hidrologia; ciência e aplicação**. 4ª Ed, Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2007, 943p

TUNDISI, J.G; GENTIL, J.G.; DIRICKSON, C. Seasonal cycle of primary production of nano and microphytoplankton in a shallow tropical reservoir. **Rev. Bras. Bot.** p35-39, 1999

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI. T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos. 2008, 630p.

TUNDISI, J.G; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J.E.M. Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating and benefit in the neotropics. **Braz. J. Biol.** 68(4 suppl): 1133-1135, 2008

TUNDISI, J.G; STRASKRABA, M. **Theoretical reservoir ecology and its applications**. Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers 1999, p.505-52. In: NOGUEIRA, M.G.; RAOUL, H; JORCIN, A. **Ecologia de Reservatórios; Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistema em Cascata**. 2ª ed. São Paulo: RiMa, 2006. 472p.

VILAR, M.S.A. **Condições ambientais e da qualidade da água no processo de eutrofização de açudes em cascata no semi-árido paraibano**. Dissertação, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba, PRODEMA, Campina Grande, 2009

VIEIRA, V.P.P.B.; GONDIM FILHO, J.G.C.; Água doce no semi-árido capítulo 15 In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (org). **Água doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação**. 3ª ed, São Paulo, Escrituras, 2006, 748p

VILAR, M.S.A. **Condições ambientais e da qualidade da água no processo de eutrofização de açudes em cascata no semi-árido paraibano**. Dissertação, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba, PRODEMA, Campina Grande, 2009

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. 2ªed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975, 254p.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. 2ªed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993, 918p

VOLLENWEIDER, R. **Eutrophication: a global problem**. Water Qual. Bull. Canadá, v.6, n.3, p.56-62. 1981

A N E X O S

ANEXOS

Tabela 28. Teste de normalidade para o açude Bola I (São João do Cariri/PB)

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
volum	,14	2	,20 *	,90	2	,02
transparênci	,18	2	,04	,80	2	,00
pH	,22	2	,00	,85	2	,00
condutividad	,08	2	,20 *	,97	2	,71
temperatura	,10	2	,20 *	,97	2	,73
OD	,10	2	,20 *	,94	2	,27
alcalinidade	,08	2	,20 *	,98	2	,97
dureza	,15	2	,15	,93	2	,11
ptotal	,10	2	,20 *	,89	2	,02
porto	,20	2	,01	,86	2	,00
nitrito	,38	2	,00	,55	2	,00
nitrato	,23	2	,00	,82	2	,00
N-a moniacal	,41	2	,00	,48	2	,00
clofofila a	,26	2	,00	,68	2	,00
feofitina	,32	2	,00	,44	2	,00

* São significantes

Tabela 29. Estatística descritiva dos açúes em cascata em São João do Cariri/PB no período de setembro de 2006 a março de 2009

Bola I					Luiz Heleno				
	Média	D.padrão	Mínimo	Máximo		Média	D.padrão	Mínimo	Máximo
trans	0,36	0,17	0,19	1	trans	0,43	0,48	0,04	1,98
pH	7,77	0,37	6,6	8,2	pH	8,2	1,1	6,77	9,94
cond	333,29	138,42	101,4	570	cond	179,89	53,51	68,93	288,8
temp	27,09	1,82	23,7	30,9	temp	27,95	1,84	24,5	30,6
OD	5,94	2,04	3,2	11,73	OD	6,93	3,5	2,04	17,03
alc	92,26	31,79	21	153	alc	64,14	23,03	20	113,88
dur	121,55	50,42	5,1	204	dur	81,86	32,96	5,3	147
p-total	52,52	37,59	0	177,18	p-total	90,98	81,35	0	344,33
p-orto	14,46	14,75	0	56	p-orto	21,98	27,26	0	108
nitrito	45,37	82,82	1,29	312,33	nitrito	62,25	122,45	0,18	563,88
nitrato	96,93	122,54	1,2	386,94	nitrato	101,03	146,6	2,51	499,81
N-amoniacal	41,14	96,4	0	397	N-amoniacal	40,44	53,27	0	173,66
clor a	7,25	8,44	0	39,6	clor a	21,16	53,74	0	252,52
feof	8,74	17,48	0	88,73	feof	18,5	48,91	0	225,25
ST	357,27	288,45	168	1196	ST	228,9	120,49	62	432
SST	23,27	28,55	4	102	SST	47,09	64,79	4	196
Volume	40,44	33,79	1,04	100	Volume	32,79	33,85	1,39	100

Bola III					Roque				
	Média	Mínimo	Máximo	D. padrão		Média	Mínimo	Máximo	D.padrão
trans	0,25	0,07	0,48	0,11	trans	0,31	0,03	0,91	0,23
pH	7,98	6,8	10,1	0,88	pH	7,64	6,35	8,32	0,46
cond	143,01	80,92	199,2	33,41	cond	211,55	23,9	288	69,35
temp	27,4	23,9	32	2,39	temp	27,14	23,9	29,7	1,59
OD	5,79	0,9	10,6	2,75	OD	5,89	2,1	11,2	2,59
alc	44,29	1,06	85	32,53	alc	81,73	23,5	144,54	26,1
dur	60,23	4,5	111	33,65	dur	88,95	4,6	147,9	36,06
p-total	59,52	14,33	169	44,55	p-total	181,57	4,45	1747,18	388,59
p-orto	20,8	0	55,5	20,13	p-orto	25,59	0	223	47,28
nitrito	79,01	1,57	292,33	106,55	nitrito	49,89	0	312,33	82,04
nitrato	57,99	2,51	392,12	119,19	nitrato	98,04	2,51	785,64	171,71
N-amoniacal	53,75	0	313,66	91,52	N-amoniacal	22,21	0	140,33	36,39
clor a	5,93	1,92	22,19	6,34	clor a	10,85	0	43,37	12,41
feof	3,58	0	10,92	4,53	feof	17,78	0	144,1	33,29
ST	198,57	14	612	190,86	ST	168,9	132	244	33,51
SST	19,71	10	42	10,91	SST	16,9	6	56	15,57