



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
ÀREA: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

AMANDA LAURENTINO TORQUATO

ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
DO AÇUDE VELHO NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE/PB

CAMPINA GRANDE – PB  
2017

AMANDA LAURENTINO TORQUATO

ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
DO AÇUDE VELHO NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE/PB

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Profa Mônica de Amorim Coura e Profa Patrícia Hermínio Cunha  
Feitosa

CAMPINA GRANDE – PB  
2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- T687e      Torquato, Amanda Laurentino.  
              Estimativa do assoreamento e avaliação da qualidade das águas do açude velho na cidade de Campina Grande/PB / Amanda Laurentino Torquato. – Campina Grande, 2017.  
              102 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.  
              "Orientação: Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura, Profa. Dra. Patrícia Herminio Cunha Feitosa".  
              Referências.
1. Levantamento Batimétrico. 2. Qualidade de Águas de Açudes. 3. Açude Urbano. 4. Assoreamento. I. Coura, Mônica de Amorim. II. Feitosa, Patrícia Herminio Cunha. III. Título.

CDU 628.16(043)

AMANDA LAURENTINO TORQUATO

ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
DO AÇUDE VELHO NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE/PB

Dissertação apresentada em 29 de Agosto de 2017

---

Profa Mônica de Amorim Coura  
*Universidade Federal de Campina Grande*  
Orientadora

---

Profa Patrícia Hermínio Cunha Feitosa  
*Universidade Federal de Campina Grande*  
Co-orientadora

---

Prof. Rui de Oliveira  
*Universidade Federal de Campina Grande*  
Examinador Interno

---

Profa Ruth Silveira do Nascimento  
*Universidade Estadual da Paraíba*  
Examinador Externa

CAMPINA GRANDE – PB  
2017

## **Ofereço**

*Ao meu maior exemplo de vida, minha avó Maria do Carmo Eloi de Oliveira, que sempre esteve ao meu lado, torcendo e vibrando com as minhas vitórias.*

*“in memoriam”*

## **Dedico**

*Aos meus pais, Marco Antônio Torquato e Micheline Laurentino da Silva e ao meu irmão, Felipe Laurentino Torquato.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus e à Virgem Maria, por terem me guiado em todos os momentos da minha caminhada, principalmente nos momentos felizes em que me conduziram pela mão e nos momentos difíceis em que me carregaram em seus braços.

Aos meus pais Marco Antônio Torquato e Micheline Laurentino da Silva, e ao meu irmão Felipe Laurentino Torquato, por todo amor, apoio e incentivos, mesmo distantes. Obrigada por não medirem esforços para eu conseguir alcançar os meus objetivos. Amo vocês.

A todos os meus familiares, de modo geral, que, de alguma maneira, contribuíram na minha caminhada até aqui, principalmente a minha madrinha Maria Edna e minha prima Camila Macedo pela grande ajuda no laboratório.

Ao meu namorado Hellton Costa, principalmente pela paciência durante o período da pesquisa e pelo companheirismo diário sempre me motivando a persistir.

Aos meus velhos e bons amigos, George, Marcos, Jaqueline e a todos os amigos que ganhei do PPGECA, principalmente Yascara, Matheus, Luísa e Nayara. Obrigada pelo companheirismo durante a convivência em sala de aula.

Ao grande amigo Whelton Brito que esteve ao meu lado em todos os momentos, sendo eles felizes ou não. Obrigada pelo apoio, conselhos, auxílio nas coletas do açude, auxílio no laboratório e principalmente pela AMIZADE verdadeira. Nunca esquecerei o quanto fizeste por mim. Amo você.

À minha orientadora Mônica de Amorim Coura principalmente pelos ensinamentos e confiança. Obrigada pelo enorme carinho e sabedoria com que me conduziu durante a pesquisa.

À minha co-orientadora Patrícia Hermínio Cunha Feitosa pela grande amizade e companheirismo na condução desta pesquisa. Obrigada por todo o conhecimento transferido sempre com muita serenidade.

Aos membros da banca examinadora pela dedicação em contribuir com este trabalho, principalmente ao professor Rui de Oliveira pelos ensinamentos desde a minha graduação até aqui.

Ao querido professor William de Paiva pelas contribuições e direcionamentos no estudo estatístico.

A todos os professores e funcionários do Laboratório de Saneamento, Tiquinho, Cris e Savana, pelo apoio nas atividades realizadas e, principalmente, a Val, tanto pelo auxílio no laboratório, como pelo carinho.

Ao técnico do laboratório de Hidráulica Ismael, pela realização da batimetria e da aluna Hidaiane, pelo auxílio na interpretação dos dados.

A todos os alunos que, de forma voluntária, me ajudaram nas coletas no açude, bem como nas análises laboratoriais, em especial Lizandra, Sinara, Mailson e Ian.

A todos os professores do PPGECA que tive a oportunidade de conhecer. Obrigada pelos ensinamentos.

À Capes, pelo apoio financeiro.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte da minha caminhada. Obrigada a todos!

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo sobre o processo de assoreamento e sobre a qualidade das águas do Açude Velho em Campina Grande/PB. Para o diagnóstico da qualidade da água, foram determinados indicadores físico-químicos e microbiológicos em 10 pontos amostrais, espacialmente distribuídos pelo reservatório, durante o período compreendido entre março a setembro de 2016. O levantamento batimétrico foi realizado com intuito de estimar os volumes de água e sedimento no interior do reservatório, além de permitir a identificação das áreas mais afetadas pelo processo de assoreamento. Os resultados obtidos apresentaram um volume útil da água de 475.677,49 m<sup>3</sup>. Foi constatado que aproximadamente 23% do volume total do açude estão ocupados por sedimentos e, quando comparados com os dados apresentados por Castro (1994) para o ano de 1990, o Açude Velho teve sua capacidade de armazenamento reduzida em 7,7%. De acordo com os indicadores analisados, os pontos marginais do açude apresentaram uma qualidade inferior em relação aos pontos centrais. Segundo comparativos com a Resolução 357/2005 do CONAMA, a água do Açude Velho no período não chuvoso apresentou DBO compatível com água de classe 3 (10 mg/L). No entanto, no período de chuva, a DBO promoveu uma queda na qualidade da água apresentando valores superiores ao permitido na referida classe. De maneira geral, o Açude Velho apresenta características de um corpo aquático eutrofizado e com qualidade comprometida para a maioria dos usos preponderantes.

**Palavras-chave:** Levantamento batimétrico, Qualidade de águas de açudes, Açude urbano, Assoreamento.



## ABSTRACT

The present work had as objective to carry out a study on the sedimentation process and on the water quality of the Açude Velho in Campina Grande / PB. For the diagnosis of water quality, physico-chemical and microbiological indicators were determined in 10 sample points, spatially distributed by the reservoir, during the period from March to September 2016. The bathymetric survey was carried out with the purpose of estimating the volumes of water and sediment inside the reservoir, besides allowing the identification of the areas most affected by the silting process. The results obtained presented a useful water volume of 475,677.49 m<sup>3</sup>. It was verified that approximately 23% of the total volume of the dam is occupied by sediments and, when compared with the data presented by Castro (1994) for the year 1990, Açude Velho had its storage capacity reduced by 7.7%. According to the analyzed indicators, the marginal points of the dam were inferior in quality to the central points. According to comparisons with the Resolution 357/2005 of CONAMA, the water of the Old Açude in the non-rainy period presented BOD compatible with water of class 3 (10 mg / L). However, in the rainy period, the BOD promoted a decrease in water quality presenting higher values than allowed in the mentioned class. In general, the Açude Velho features characteristics of a compromised quality eutrophic aquatic body for most of the prevailing uses.

**Keywords:** Bathymetric survey, Water quality of dams, Urban dams, Sedimentation

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais usos múltiplos da água no País .....	18
Figura 2 – Registro de inundações, no período de 5 anos, por macrorregiões .....	20
Figura 3 – Localização dos principais açudes e hidrelétricas do Nordeste e suas capacidades .....	23
Figura 4 – Planta da bacia hidráulica de um açude .....	40
Figura 5 – Açude Velho .....	45
Figura 6 – Açude Novo .....	45
Figura 7 – Açude Velho sendo cenário de competições esportivas nas décadas de 1950 e 1970, respectivamente .....	46
Figura 8 – Açude Velho no ano de 1960 (A) e atualmente (B) .....	48
Figura 9 – Etapas metodológicas .....	49
Figura 10 – Localização do Açude Velho .....	50
Figura 11 – Bacia do Riacho do Prado .....	51
Figura 12 – Vista aérea do Açude Velho .....	52
Figura 13 – Pontos de amostragem .....	54
Figura 14 – Pontos de amostragem (1 a 7) referentes às margens do açude .....	54
Figura 15 – Amostradores .....	55
Figura 16 – Procedimentos de coleta .....	56
Figura 17 – Colônias de coliformes termotolerantes .....	57
Figura 18 – Equipamentos .....	59
Figura 19 – Esboço da malha batimétrica .....	60
Figura 20 – Levantamento dos dados batimétricos .....	62
Figura 21 – Pontos de contribuição afluente ao açude .....	63
Figura 22 – Tubulações afluentes ao açude .....	64
Figura 23 – Resíduos sólidos nas águas do Açude Velho .....	64
Figura 24 - Variação espaço temporal da temperatura nas águas do Açude Velho .....	66
Figura 25 – Variação espaço-temporal do pH nas águas do Açude Velho .....	67
Figura 26 – Variação espaço temporal de oxigênio dissolvido nas águas do Açude Velho .....	69
Figura 27 – Variação da concentração de oxigênio dissolvido e temperatura das águas ao longo de um dia de monitoramento .....	70

Figura 28 – Variação espaço temporal da demanda bioquímica de oxigênio nas águas do Açude Velho .....	72
Figura 29 – Variação espaço temporal da demanda química de oxigênio nas águas do Açude Velho .....	73
Figura 30 – Variação espaço temporal de turbidez nas águas do Açude Velho.....	74
Figura 31 – Variação espaço temporal de condutividade elétrica nas águas do Açude Velho .....	76
Figura 32 – Variação espaço temporal dos sólidos dissolvidos totais nas águas do Açude Velho .....	77
Figura 33 – Variação espaço temporal dos sólidos suspensos totais nas águas do Açude Velho .....	78
Figura 34 – Variação espaço temporal dos coliformes termotolerantes nas águas do Açude Velho .....	79
Figura 35 – Distribuição espacial dos pontos no espelho d'água .....	83
Figura 36 – Planta batimétrica da variação de lâmina d'água no Açude Velho .....	88
Figura 37 – Ponto de recebimento das águas do Canal das Piabas .....	89
Figura 38 – Planta batimétrica da variação de lâmina de sedimentos no Açude Velho .....	90
Figura 39 – Perfis transversais .....	91
Figura 40 – Perfil 10 .....	92
Figura 41 – Bancos de sedimento ao lado do Museu dos três pandeiros .....	92
Figura 42 – Localidade do Museu dos Três Pandeiros, após limpeza.....	93
Figura 43 – Margem em frente ao Monumento aos 150 anos de Campina Grande .	94
Figura 44 – Margem do açude próximo aos quiosques .....	94
Figura 45 – Margem em frente ao Restaurante Bar do Cuscuz.....	95
Figura 46 – Perfil AA .....	95
Figura 47 – Perfil 2 .....	96
Figura 48 – Perfil 10 .....	96
Figura 49 – Transbordamento do Açude Velho .....	97

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Ocorrência de enchentes e inundações no período de cinco anos segundo faixa populacional .....	20
Tabela 2 – Distância entre as seções transversais.....	41
Tabela 3 – Estatística descritiva dos indicadores físico-químicos e microbiológico monitorados.....	80
Tabela 4 – Matriz de correlação .....	82
Tabela 5 – Estatística descritiva das profundidades dos pontos amostrais .....	84
Tabela 6 – Estimativas dos volumes de água e sedimento e área do espelho d'água .....	86
Quadro 1 – Medidas preventivas do controle de sedimentos e do assoreamento do reservatório .....	34
Quadro 2 – Medidas corretivas do controle de sedimento e do assoreamento do reservatório .....	35
Quadro 3 – Exemplos de aplicações de equipamentos de dragagem.....	38
Quadro 4 – Pontos de amostragem.....	53
Quadro 5 – Análises físico-químicas realizadas no Açude Velho.....	56

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	Objetivo geral .....	16
1.1.1	Objetivos específicos .....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	Recursos Hídricos no Brasil .....	17
2.2	Drenagem Urbana.....	18
2.3	Reservatórios artificiais .....	21
2.4	Qualidade das águas dos reservatórios urbanos .....	24
2.4.1	Eutrofização de corpos d'água .....	26
2.4.2	Indicadores de qualidade de água.....	29
2.5	Assoreamento de reservatórios.....	32
2.6	Dragagem de reservatórios .....	36
2.7	Batimetria .....	39
2.8	Açude Velho – Contexto histórico .....	43
3	METODOLOGIA .....	49
3.1	Primeira Etapa.....	49
3.1.1	Caracterização da área de estudo .....	49
3.1.2	Identificação dos pontos de contribuição de efluentes no entorno do açude .....	52
3.1.3	Pontos de amostragem.....	52
3.2	Segunda Etapa.....	55
3.2.1	Coleta de amostras.....	55
3.2.2	Análises físico-químicas .....	56
3.2.3	Análise microbiológica .....	57
3.2.4	Análises estatísticas .....	57
3.3	Terceira Etapa.....	58

3.3.1	Planejamento do estudo batimétrico.....	58
3.3.2	Esboço da malha batimétrica.....	60
3.3.3	Levantamento das alturas da lâmina d'água e de sedimento .....	60
3.3.4	Processamento dos dados .....	62
3.3.5	Elaboração da planta batimétrica .....	62
4	RESULTADOS.....	63
4.1	Fontes poluidoras.....	63
4.2	Parâmetros físico-químicos e microbiológico .....	65
4.2.1	Temperatura .....	65
4.2.2	pH.....	67
4.2.3	Oxigênio dissolvido (OD) .....	68
4.2.4	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	71
4.2.5	Demanda química de oxigênio (DQO) .....	73
4.2.6	Turbidez.....	74
4.2.7	Condutividade elétrica (CE).....	75
4.2.8	Sólidos dissolvidos totais (SDT) .....	76
4.2.9	Sólidos suspensos totais (SST) .....	77
4.2.10	Coliformes termotolerantes (CTT) .....	78
4.2.11	Análises estatísticas .....	79
4.3	Batimetria .....	83
4.3.1	Distribuição espacial dos pontos no espelho d'água .....	83
4.3.2	Detalhamento das medidas de profundidade .....	84
4.3.3	Estimativa dos volumes de água e sedimento.....	85
4.3.4	Planta batimétrica .....	87
4.3.5	Análise dos perfis .....	91
4.3.6	Proposta de remoção de sedimento .....	96
4.4	Abordagem da situação atual do Açude Velho.....	98

5 CONCLUSÕES.....	101
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	102

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, diversos fatores vêm contribuindo para a redução da qualidade da água para abastecimento humano, irrigação, lazer, entre outros usos. Pesquisas relacionadas a esta problemática, vêm crescendo cada vez mais com o intuito de investigar os problemas relacionados à deterioração das águas, a identificação das fontes poluidoras e a elaboração de planos e propostas para o controle de sua qualidade e quantidade.

A escassez desse recurso, tanto na sua forma quantitativa quanto qualitativa, tem resultado em grandes preocupações, sendo necessárias gestões mais eficientes para assegurar a sua disponibilidade, tanto nos dias atuais como para as gerações futuras. Na região Nordeste do Brasil, a escassez de água já faz parte do cenário que caracteriza essa região. Na tentativa de reduzir a escassez e minimizar essa triste realidade, foram construídos açudes, com o objetivo de acumular e reservar essas águas para a estação de estiagem

Porém, o desenfreado crescimento populacional juntamente com a realidade do saneamento básico, na maioria das vezes precário, vem acarretando diversos problemas sociais e de saúde pública nos centros urbanos, nos quais fica notório o aumento progressivo da poluição das águas superficiais dos açudes, causado principalmente pelos despejos clandestinos de efluentes domésticos, resultando no esgotamento desses recursos hídricos.

A qualidade das águas superficiais dos corpos aquáticos localizados nos centros urbanos encontra-se cada vez mais comprometida. Entende-se que as alterações dessas águas dependem diretamente das características da bacia de drenagem no qual se encontra o reservatório, como das ações antrópicas, tipos de solos e cobertura vegetal (PEDROSO *et al.*, 1988). Sendo assim, a avaliação da bacia hidrográfica se torna essencial para uma melhor compreensão dos fenômenos que ocorrem no meio aquático, já que o mesmo depende da interação direta com o ambiente terrestre.

O processo de assoreamento dos corpos aquáticos, proveniente do acúmulo de sedimento no leito dos reservatórios, também integra uma das consequências negativas decorrentes da ação antrópica dentro da bacia hidrográfica, qual



intensifica esse fenômeno natural nos grandes centros urbanos. Dentre os efeitos negativos do processo de assoreamento dos corpos aquáticos, pode ser citada a redução do armazenamento do volume de água do manancial, podendo, assim, causar inundações em suas proximidades. Para manter o escoamento hídrico natural, é necessário fazer a limpeza periódica desses reservatórios, desassoreamento através de dragagem, que terá como objetivo, retirar todo o material acumulado no leito do curso d'água e às suas margens.

Os serviços de drenagem urbana e o manejo das águas pluviais apresentam um importante papel no controle das enchentes nas grandes cidades. Quando estes serviços de saneamento básico funcionam de maneira eficaz, as águas drenadas são afastadas dos centros urbanos para localidades periféricas. A Lei 11.445/2007 define este sistema como sendo um “conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas” (BRASIL, 2007).

Na maioria das vezes, esse sistema não funciona como prevê a lei, servindo de transporte para esgoto doméstico *in natura* e efluente o que traz diversas consequências negativas para o meio ambiente, devido aos poluentes que são carregados para os reservatórios e canais, principalmente os de origem fecal, que oferecem alto risco de contaminação às populações localizadas próximas a esses lançamentos (HENRIQUES, 2014).

Desta maneira, esses reservatórios, submetidos a variadas fontes de poluição, necessitam de monitoramento mais rigoroso dos seus parâmetros físico-químicos e biológicos para fornecer subsídios de avaliação da qualidade dessas águas, além de propiciar informações para a tomada de decisões no contexto do gerenciamento dos recursos hídricos.

Com base nessas informações, surge a necessidade de monitorar a qualidade das águas do Açude Velho, localizado na cidade de Campina Grande/PB, sabendo-se que o mesmo, diariamente vem recebendo lançamento de águas residuárias por conexões clandestinas, bem como a avaliação do aporte de sedimentos que vem causando o seu assoreamento e redução da capacidade de armazenar água. Sendo assim, a proposta de realizar a batimetria do açude, tem

como finalidade promover um diagnóstico atualizado em termos quantitativos de água e sedimento, podendo servir de subsídio na gestão do açude por parte dos órgãos competentes e, por fim, avaliar os impactos de uma possível dragagem do reservatório em estudo.

## **1.1 Objetivo geral**

Realizar um estudo sobre o processo de assoreamento e da qualidade das águas do Açude Velho em Campina Grande/PB.

### ***1.1.1 Objetivos específicos***

- ✓ Analisar as características físico-químicas e microbiológicas das águas do Açude velho;
- ✓ Realizar ensaios de batimetria, a fim de estimar o volume de água e de sedimentos no açude;
- ✓ Avaliar o nível de assoreamento do Açude Velho;
- ✓ Propor alternativas de retirada de sedimento para melhoria do reservatório.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Recursos Hídricos no Brasil

O Brasil retém 12% da água doce disponível no planeta Terra. No entanto, a distribuição dessa água em seu território ocorre de forma irregular devido à ampla faixa de variedade climática em que se encontra localizado (RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL, 2014).

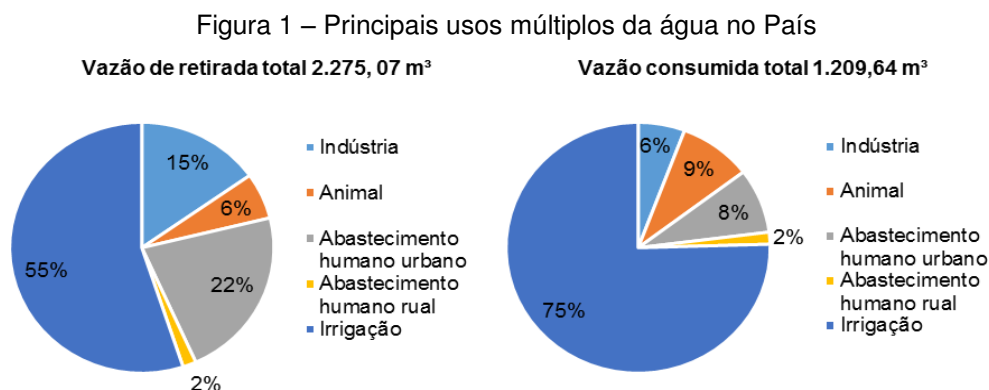
A disponibilidade hídrica superficial no país é de 91.300 m<sup>3</sup>/s embora a vazão média equivalha a 180.000 m<sup>3</sup>/s. Vale salientar que a distribuição dessas águas é bastante heterogênea. Enquanto nas bacias junto ao Oceano Atlântico, que concentram 45,5% da população total, estão disponíveis apenas 2,7% dos recursos hídricos, na região Norte, onde vivem apenas cerca de 5% da população brasileira, estes recursos são abundantes (aproximadamente 81%) (ANA, 2015).

Segundo dados da ANA (2015), a disponibilidade hídrica subterrânea (reserva explorável) no país corresponde a 11.430 m<sup>3</sup>/s e as vazões específicas representam a disponibilidade de água nas diferentes bacias hidrográficas do Brasil, reforçando a diversidade da distribuição. O relatório da ANA (2011) enfatiza que “apesar de o Brasil possuir grande oferta de água em termos globais, existe uma distribuição desigual dos recursos hídricos”. Existem regiões com grande disponibilidade, como o aquífero Guarani, no Sul do país, e regiões com baixa disponibilidade, como os aquíferos das rochas cristalinas no Nordeste. Em relação aos aquíferos sedimentares, os mesmos chegam a ocupar aproximadamente 48% de todo o território brasileiro.

De acordo com os dados históricos (1962-2007) da ANA (2011) a precipitação anual média no Brasil é de 1.765 mm, variando de 500 mm/ano no Nordeste a 3.000 mm/ano na região Amazônica. A irregularidade e os baixos índices de precipitação na região Nordeste, aliados ao contexto hidrogeológico, contribuem para os reduzidos valores de disponibilidade hídrica notadamente no semiárido brasileiro. Dentro desse contexto, uma das práticas implementadas para garantir a oferta de água na região Nordeste é a construção de açudes, os quais desempenham

relevante papel na gestão de recursos hídricos, pela capacidade de estocar e atender a diversos usos da água sejam eles consuntivos ou não (ANA, 2015).

Os múltiplos usos da água no Brasil estão relacionados ao desenvolvimento social, agrícola e industrial, nas 12 regiões hidrográficas e dependem da disponibilidade superficial e/ou subterrâneas, segundo a ANA (2011) (Figura 1).



Fonte: Adaptado de ANA (2011).

Assim, pode ser observado que a irrigação constitui a maior demanda de água no país. Segundo Bilhalva (2013), devido ao maior uso hídrico para esta atividade, deve haver cuidados de ordem legal, técnica e ambiental sobre o uso racional desse recurso natural e não renovável.

## 2.2 Drenagem Urbana

A drenagem urbana é o conjunto de atividades que têm como objetivo reduzir os riscos, dos quais a população está exposta frente às inundações resultando no equilíbrio harmonioso e sustentável para o desenvolvimento urbano (TUCCI, 2001). De acordo com a Lei 11.445/2007 a definição de sistema de drenagem de águas pluviais urbanas é a seguinte:

“Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.” (Brasil, 2007).

Há registros de que os primeiros sistemas de drenagem urbana surgiram em 3.000 a.C, com a finalidade de, inicialmente, serem utilizados como um complemento da irrigação para recuperar áreas alagadas, ajustar a umidade do solo

e afastar água do subsolo nas regiões designadas à construção civil (FERNANDES, 2002).

Na Itália, em meados do século XVIII, constatou-se que as áreas alagadas e águas acumuladas para banhado, teriam alguma relação com a mortalidade de pessoas e animais. Posteriormente, outros países como Alemanha, Inglaterra e França confirmaram a hipótese dessas águas influenciarem negativamente na saúde da população e extinguiram a atividade de banhados como medida de saúde pública. A partir do século XIX, houve uma grande expansão da população urbana e um aumento nos estudos de Microbiologia e Epidemiologia, que comprovaram a importância do papel sanitário das águas pluviais no combate à transmissão de doenças. Assim, preconizou-se a evacuação rápida das águas pluviais e servidas, a partir da impermeabilização de áreas e sistemas de condutos artificiais (SOUZA, et al, 2007).

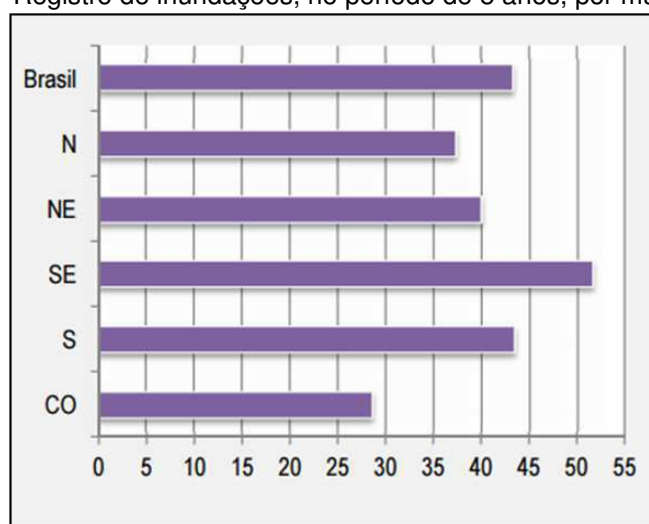
Segundo Butler e Davies (2011), os romanos foram os primeiros a construir sistemas de drenagem para conduzir água ao interior das cidades, através de aquedutos. Com isso eles não só promoviam a drenagem das águas, como também a engenharia de saúde pública. Dessa forma foi implantada a Cloaca Máxima, conhecida como um dos primeiros sistemas de coleta e transporte de esgoto de todo o mundo e que ainda hoje se encontra em uso.

No Brasil, surge no final do Século XIX, o engenheiro Saturnino de Brito defendendo argumentos a favor do sistema separador absoluto (redes de condutos separados para águas pluviais e residuárias), adequando técnicas da drenagem ao comportamento da precipitação em regiões tropicais (SOUZA et al, 2007). Ainda sobre as contribuições de Saturnino neste setor, destaca-se uma das mais importantes obras realizadas pelo engenheiro, a construção dos canais de Santos em 1912, que tinham a finalidade de drenar áreas alagadas do perímetro urbano.

Segundo Tsuyuguchi (2015), o crescimento populacional associado ao processo de urbanização vem trazendo mudanças significativas, tanto na quantidade e qualidade das águas pluviais escoadas, como na capacidade de escoamento dos canais de drenagem. Essas mudanças ocorrem devido a fatores, como: adensamento populacional, impermeabilização do solo, retirada de matas ciliares, obstrução e canalização de riachos e ocupação das margens.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008 (IBGE, 2008) levantou, em 5.204 dos 5.565 municípios brasileiros, em um período de cinco anos, dados sobre a ocorrência de inundações. Dentre estes municípios, 43% tiveram problemas com enchentes ou inundações sendo a região Sudeste a que apresentou o maior número desses registros, com 52% dos municípios. Em contrapartida as regiões Norte e Centro-Oeste apresentaram as menores proporções de municípios que declararam problemas, 37 e 29%, respectivamente (BRASIL, 2013). A Figura 2 ilustra a proporção de municípios com inundações no período de cinco anos por macrorregião.

Figura 2 – Registro de inundações, no período de 5 anos, por macrorregiões



Fonte: PNSB (IBGE, 2008).

Os municípios que apresentaram o maior número de inundações segundo o PNSB, 2008, foram os de maior densidade demográfica das cidades de médio e grande porte (Tabela 1).

Tabela 1 – Ocorrência de enchentes e inundações no período de cinco anos segundo faixa populacional

FAIXA POPULACIONAL DOS MUNICÍPIOS	TOTAL DE MUNICÍPIOS QUE PARTICIPARAM DA PNSB 2008	MUNICÍPIOS COM OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES	
Até 5.000 hab	1279	279	22%
De 5.001 a 20.000 hab	2505	998	40%
De 20.001 a 100.000 hab	1196	770	64%
De 100.001 a 500.000 hab	192	178	93%
Mais de 500.000 hab	32	32	100%
<b>TOTAL</b>	<b>5.204</b>	<b>2.257</b>	<b>43%</b>

Fonte: PNSB (IBGE, 2008).

Fatores como a falta de planejamento urbano, a urbanização descontrolada, a impermeabilização em larga escala do solo urbano, a ocupação dos fundos de vale e a falta de instrumentos legais de controle na fonte do impacto da impermeabilização do solo urbano encontram-se dentre as raízes dos problemas decorrentes das inundações urbanas (BRASIL, 2013).

É importante salientar a relevância da bacia hidrográfica no planejamento urbano e nos estudos dos recursos hídricos para identificar as possíveis causas desses problemas e, assim, planejar medidas de controle necessárias ao manejo adequado das águas pluviais. Assim como o escoamento não deve ocorrer de forma rápida, a ponto de causar danos a jusante e desprendimento de materiais constituintes do canal, ele também não pode ocorrer de forma lenta, a fim de evitar a retenção e, por conseguinte, o acúmulo das águas drenadas.

Nesse contexto, os açudes localizados nas áreas urbanas também desempenham importante papel no sistema de drenagem, pois possuem capacidade de reter as águas escoadas da drenagem pluvial, prevenindo problemas de inundações.

### **2.3 Reservatórios artificiais**

As barragens têm servida muitas civilizações ao longo dos últimos 5 mil anos. Inicialmente, os reservatórios eram projetados para atender à demanda de água, especialmente onde a agricultura dependia de irrigação e controle de enchentes. Essa época foi sucedida por atividades relativas a sistemas necessários para o crescimento das cidades (especialmente no Império Romano e na América Central), para fins de agricultura, piscicultura e para melhoria do comércio, hidrovias artificiais apareceram por todo o mundo (ICOLD, 2008).

Embora passos decisivos para um enfoque racional da construção estivessem finalmente sendo guiados cientificamente, a partir da Renascença, o início da era industrial (expansão da mineração no Reino Unido) e, mais importante, a hidreletricidade (França, Itália, EUA, Suíça) levaram a uma eclosão de construção de barragens pelo mundo no fim do Século XIX e no Século XX (ICOLD, 2008).

A Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB) informa que, ao longo dos últimos 5 mil anos, houve a necessidade da construção de mais de 50 mil grandes barragens em todo o mundo, com intuito de satisfazer a demanda por água. Essas grandes barragens e seus reservatórios regulam aproximadamente 3.500 km por ano. Assim, os reservatórios contribuem significativamente para os recursos hídricos disponíveis no mundo, com cerca de 30% de participação (ICOLD, 2008).

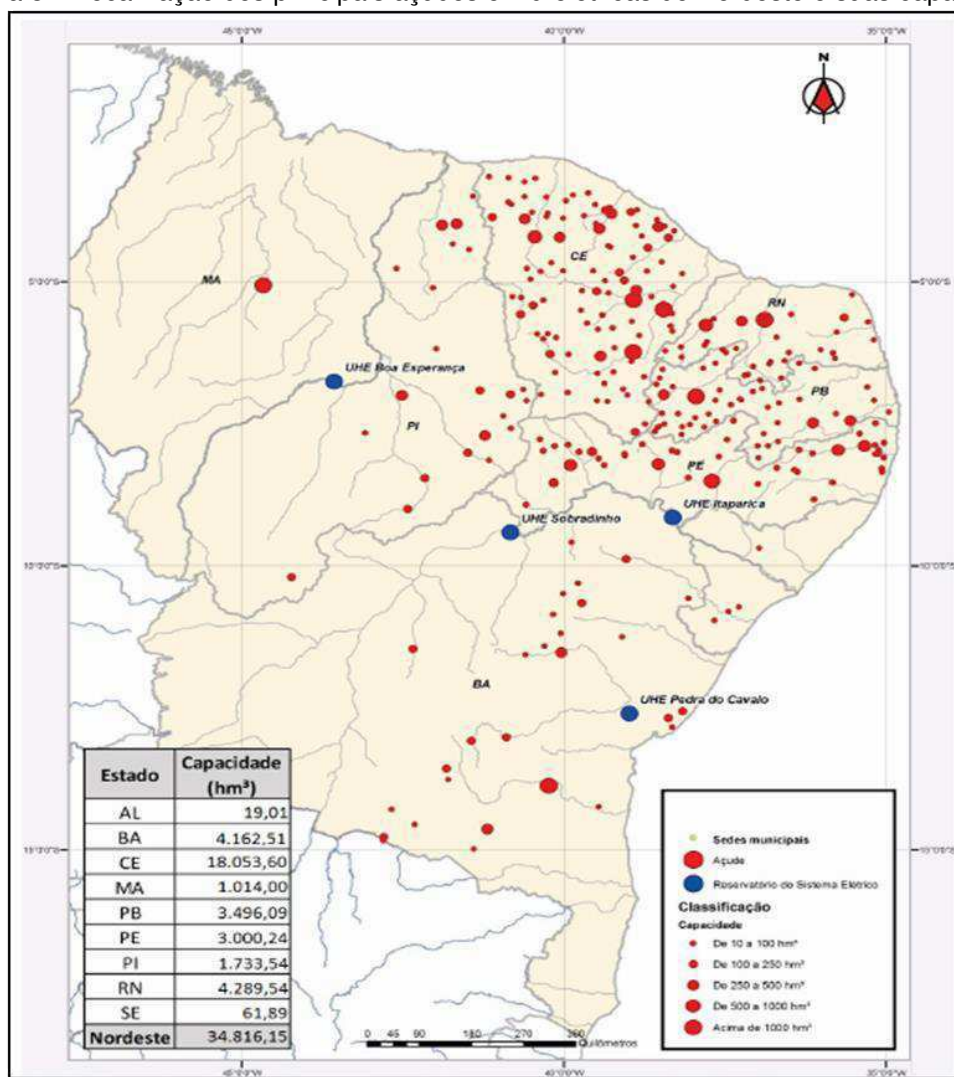
Os reservatórios podem ser classificados como represas ou açudes. Denomina-se represa quando a barragem é construída em um rio perene e açude, quando o barramento é feito em um rio de regime intermitente ou efêmero (captação da água da chuva), o que representa a maioria dos casos nas propriedades rurais (DAKER, 1987).

A construção de reservatórios possui as finalidades de acumulação, quando a demanda de água é maior que a oferta proporcionada pelo corpo hídrico (rio, arroio, nascente) e de derivação quando a demanda pode ser suprida pelo manancial, mas necessita de elevação do nível da água para alimentar um canal (canal de derivação) que conduz a água para atender a um determinado tipo de aproveitamento (irrigação) (ROBAINA, 2007).

Devido às grandes secas no Nordeste, principalmente na região semiárida, os açudes surgem como soluções para atender as demandas crescentes de consumo. Além de armazenar água nos períodos úmidos, podem liberar parte do volume armazenado nos períodos de estiagem, contribuindo, deste modo, para a garantia da oferta de água para abastecimento e irrigação. (ANA, 2016). A Figura 3 mostra a localização e a capacidade dos principais reservatórios do Nordeste (com capacidade superior a 10 hm<sup>3</sup>).



Figura 3 – Localização dos principais açudes e hidrelétricas do Nordeste e suas capacidades



Fonte: ANA (2016).

Os reservatórios são dimensionados de acordo com os usos previstos.

Segundo Hradilek *et al.*, (2002), eles são classificados em:

- ✓ Pequenos, com volume variando entre 10.000 e 100.000 m³ e profundidade entre 3 e 5 m;
- ✓ Médios, de 100.000 a 500.000 m³, com profundidades entre 5 e 10 m e;
- ✓ Grandes, com capacidade suficiente para enfrentar secas severas.

Para TUNDISI (1996), os reservatórios são detectores sensíveis dos impactos antropogênicos. Isso acontece pelo fato deles serem considerados ecossistemas artificiais que integram as consequências do uso e ocupação do solo dentro dos limites da sua bacia de drenagem.

De acordo com Moraes (2016), os açudes urbanos são de grande importância na dinâmica das cidades, além da bela paisagem, figurando, muitas vezes, como cartão postal e patrimônio cultural local. Eles podem representar importante papel no sistema de drenagem de águas pluviais urbanas e, para tanto, necessitam de planejamento e gerenciamento para servirem à comunidade e não se tornarem prejudiciais aos cidadãos e ao ambiente local.

No meio urbano o açude pode perder sua finalidade devido a diversas atividades antropogênicas no seu entorno que comprometem a qualidade de suas águas. Figueiredo (2008), afirma que a crescente urbanização reduz a capacidade de infiltração das águas no terreno e as partículas de solo tendem a atingir o corpo hídrico. A sedimentação dessas partículas resulta no assoreamento do açude devido às baixas velocidades de escoamento horizontal, diminuindo o volume útil do corpo d'água. De acordo com Von Sperling (1996) esta situação torna-se favorável para o crescimento de vegetais fixos de maiores dimensões (macrófitas), ocasionando deterioração no aspecto visual do corpo d'água.

## **2.4 Qualidade das águas dos reservatórios urbanos**

A qualidade da água dos açudes urbanos é resultante do processo de uso e ocupação do solo de toda sua bacia hidrográfica, com repercussões que geram interferências na fauna e na flora desse ecossistema. Assim, para garantir a qualidade dessas águas é necessária uma gestão eficiente da bacia hidrográfica na qual eles se encontram inseridos.

A preservação desses mananciais se faz indispensável e exige uma maior atenção por parte das autoridades e consumidores, principalmente quando a água for destinada ao consumo humano, tendo em vista que sua contaminação por microrganismos patogênicos, de origem entérica, animal ou humana, pode torná-la um veículo de transmissão de agentes de doenças infecciosas e parasitárias (D'AGUILA et al., 2000).

Segundo Moraes (2016), a ausência de um Plano de Saneamento e a precariedade dos serviços prestados, faz com que a sociedade seja prejudicada com a presença de águas poluídas no ambiente urbano. A contaminação das águas de

drenagem por esgotos promove grandes dificuldades na gestão das águas urbanas. Em muitos municípios brasileiros as prefeituras autorizam o lançamento de esgotos nos sistemas de drenagem, isso ocorre principalmente pela ausência do sistema de esgotamento sanitário, conforme apresentado no PNSB (BRASIL, 2013).

Nesse contexto, sabe-se que, ao longo do processo de urbanização, diversas dificuldades nos sistemas de esgotamento sanitário e pluvial se acumularam, fazendo com que o aporte de esgoto sanitário seja uma realidade na maioria dos corpos hídricos no meio urbano. Dentre os principais obstáculos técnicos dos sistemas de esgoto, destaca-se a interconexão, situação indesejável de lançamento de efluentes sanitários no sistema de drenagem pluvial e vice-versa que, por sua extensão e intensidade, torna os sistemas extremamente vulneráveis. Esta situação, além de contaminar os sistemas de drenagem pluvial e de seus corpos receptores, lesa os ecossistemas e submete as populações a riscos epidemiológicos (DIAS e ROSSO, 2011).

Segundo Trata Brasil (2016), mais de 100 milhões de brasileiros nas 100 maiores cidades do país despejam esgoto irregularmente, mesmo tendo redes coletoras disponíveis. A região Nordeste possui o pior índice de tratamento dos esgotos, com apenas 32,11% de sua totalidade. Essa realidade faz com que a maioria dos municípios brasileiros, inclusive Campina Grande/PB, reduza a qualidade das águas dos seus açudes urbanos e periurbanos. O aporte dos esgotos domésticos nos corpos aquáticos, além de comprometer a água para determinados usos, faz com que o excesso de nutrientes produza a eutrofização dos corpos hídricos, comprometendo a salubridade local e causando um aspecto negativo a paisagem urbana.

Ainda no mesmo contexto, os autores Dias e Rosso (2011), analisaram a problemática das interconexões entre os sistemas de esgotamento sanitário, de drenagem pluvial e seus impactos sobre os corpos hídricos da cidade do Rio de Janeiro, verificando até que ponto o tipo de sistema oficialmente concebido - separador absoluto - de fato contempla suas funções sanitárias e ambientais de coleta, transporte e destino final adequado dos esgotos sanitários. Os autores levantaram a hipótese de que muitas das soluções adotadas para a despoluição dos corpos hídricos estão gradualmente descaracterizando e desqualificando as

vantagens desse sistema, o que indica a necessidade de mudança de direção e da trajetória das intervenções de controle da poluição no Rio de Janeiro, por uma inadiável questão de responsabilidade socioambiental.

#### **2.4.1 Eutrofização de corpos d'água**

Eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, em um determinado ecossistema aquático, que tem como consequência o aumento da produtividade de diversos de seus compartimentos e alterações sobre seu funcionamento (ESTEVEZ, 2011). Segundo o mesmo autor, a eutrofização natural é um processo lento e contínuo resultante do aporte de nutrientes carregados pelas chuvas e águas superficiais. A eutrofização artificial é decorrente da ação antrópica, sendo os nutrientes oriundos dos efluentes domésticos, industriais e agropastoris.

Segundo Figueirêdo et al. (2007), devido ao processo de eutrofização, diversos reservatórios e corpos d'água no mundo já perderam sua capacidade de abastecimento humano, de manutenção da vida aquática e de recreação. Valente et al. (1997), ainda salienta que a eutrofização pode causar um enorme desequilíbrio ecológico, resultando na redução do número e diversidade biológica aquática, muitas vezes tornando o meio impróprio para diversas atividades.

De acordo com Arceivala (1981), Thomann e Mueller (1987) e Von Sperling (1996) os principais efeitos indesejáveis da eutrofização, são:

- ✓ **Problemas estéticos e recreacionais:** Diminuição do uso da água para recreação, balneabilidade e redução geral na atração turística devido às frequentes florações de algas e cianobactérias; crescimento excessivo da vegetação; distúrbios com mosquitos e outros insetos; eventuais mortandades de peixes e maus odores.
- ✓ **Condições anaeróbias no fundo do corpo d'água:** A crescente produtividade de um corpo hídrico causa elevação na concentração de bactérias heterotróficas, que se alimentam da matéria orgânica das algas e de outros microrganismos mortos, consumindo oxigênio dissolvido do meio líquido. No fundo do corpo d'água predominam condições anaeróbias, devido

à sedimentação da matéria orgânica e à reduzida difusão do oxigênio a estas profundidades, bem como à ausência de fotossíntese (ausência de luz). Com a anaerobiose, predominam condições redutoras, com compostos e elementos no estado reduzido, a exemplo:

- O ferro e o manganês encontram-se na forma solúvel, trazendo problemas ao abastecimento de água;
- O fosfato encontra-se também na forma solúvel, representando uma fonte interna de fósforo para as algas;
- O gás sulfídrico causa problemas de toxicidade e maus odores.

- ✓ **Ocasionais condições anaeróbias no corpo d'água como um todo:** Dependendo do grau de crescimento bacteriano, pode ocorrer, em períodos de mistura total da massa líquida (inversão térmica) ou de ausência de fotossíntese (período noturno), mortandade de peixes e reintrodução dos compostos reduzidos em toda a massa líquida, com grande deterioração da qualidade da água.
- ✓ **Eventuais mortandades de peixes:** A mortandade de peixes pode ocorrer em função da anaerobiose (já comentada no tópico anterior) ou da toxicidade por nitrogênio amoniacal que, em condições de pH elevado (frequentes durante os períodos de elevada fotossíntese), apresenta-se, em grande parte, na forma de amônia livre ( $\text{NH}_3$ ), tóxica aos peixes, ao invés de na forma ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ).
- ✓ **Maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água:** A presença excessiva de algas afeta substancialmente o tratamento da água captada no lago ou represa, devido à necessidade de remoção da própria alga, da cor, do sabor e do odor. Para isso, o tratamento exige um maior consumo de produtos químicos e lavagens mais frequentes dos filtros.
- ✓ **Toxicidade das algas:** Rejeição da água para abastecimento humano e animal em razão da presença de excreções tóxicas de certas algas.
- ✓ **Desaparecimento gradual do lago como um todo:** Em decorrência da eutrofização e do assoreamento, aumenta a acumulação de matérias e de vegetação, e o lago se torna cada vez mais raso, até vir a desaparecer. Esta tendência de desaparecimento de lagos (conversão a brejos ou áreas pantanosas) é irreversível, porém extremamente lenta. Com a interferência do

homem, o processo pode se acelerar abruptamente. Caso não haja um controle na fonte e/ou dragagem do material sedimentado, o corpo d'água pode desaparecer relativamente rápido.

No que se refere à região Nordeste, existem alguns estudos relacionados com a qualidade da água dos reservatórios e processos de eutrofização, que exemplificam a poluição desses reservatórios por receptarem águas residuárias.

LUNA (2008) analisou a representatividade do aporte de nutrientes no Açude Acauã em Pernambuco. Para isso, foram realizadas coletas bimestrais entre novembro de 2005 e dezembro de 2006, em um ponto da barragem, em quatro profundidades: subprofundidade 50%, 1% da extinção de luz, região mais profunda, e nas superfícies de seus afluentes. As variáveis observadas foram: transparência, profundidade, pH, temperatura, condutividade elétrica, alcalinidade, oxigênio dissolvido, fósforo total, ortofosfato, amônia, nitrito, nitrato, clorofila a, feofitina e diversidade fitoplanctônica. Analisando o Índice de Estado Trófico Modificado (IETM), o açude foi classificado como eutrófico a hipereutrófico.

ANDRADE (1999) avaliou a qualidade das águas do reservatório e do esgoto, do Riacho da Marcela em Itabaiana – SE. O estudo foi realizado em épocas de seca e de cheia, com base em indicadores físicos, químicos e hidrológicos. A água estudada é imprópria para irrigação de hortaliças, pelos riscos à saúde humana, ao solo e à vida aquática. Os níveis médios de cloreto, bicarbonatos, carbonatos, pH, dureza, DBO<sub>5</sub>, carbonato de sódio residual, mostraram-se acima dos valores máximos permitidos. Ainda no mesmo reservatório, FREITAS (2001), verificou a eutrofização do corpo hídrico e suas implicações ambientais. Concluiu que as águas eram impróprias para a irrigação de hortaliças.

Filho et al. (2012), na cidade de Campina Grande, avaliaram os processos de degradação ambiental do açude de Bodocongó, localizado na área urbana. Seu estudo objetivou avaliar essa degradação ambiental proveniente do processo intenso de urbanização, por meio de diagnóstico qualitativo, buscando definir as consequências decorrentes dos usos e ocupação do solo desordenado. O estudo foi realizado durante o período chuvoso na região, entre os meses de junho e agosto do ano de 2011, através do método de listagem descritiva “check-list”, o qual permitiu identificar e caracterizar qualitativamente os impactos ambientais da área. Foi

possível constatar a devastação da vegetação originária, deposição de resíduos sólidos, poluição das águas pelo despejo direto de esgotos, extração de areia, eutrofização da água, assoreamento dos taludes do riacho do açude, entre outros.

#### **2.4.2 Indicadores de qualidade de água**

Em um corpo hídrico, o pH exerce importante papel no controle da vida aquática, tendo em vista a influência que esse fator exerce nos processos biológicos e, principalmente, no controle da toxicidade de alguns compostos (NAIME e FAGUNDES, 2005). Valores muito extremos, distante da neutralidade podem ser prejudiciais aos seres vivos a exemplo dos peixes e dos microrganismos responsáveis por manter o equilíbrio do corpo aquático. Pedrozo e Kapusta (2010), citam que os ecossistemas naturais com baixos valores de pH (entre 4 e 5) podem indicar águas estagnadas, ricas em matéria orgânica (turfeiras, faixas de restinga), presença de ácidos sulfúrico, nítrico, oxálico, acético, carbônico. Ecossistemas que apresentam pH mais elevado, geralmente ocorrem em regiões onde a precipitação é menor do que a evaporação, por exemplo, alguns açudes nordestinos, com  $\text{pH} > 8$ .

A turbidez é uma medida da propriedade de reflexão de luz de uma solução contendo partículas suspensas e coloidais, podendo ser proveniente da matéria orgânica, plâncton e de outros organismos microscópicos (BRASIL, 2004). Nesse caso, a turbidez é um indicador de extrema importância na identificação das fontes poluidoras, tendo em vista que sua concentração pode ser intensificada pelo lançamento de esgoto, efluente industrial, erosão (devido ao desmatamento no entorno dos corpos hídricos), proliferação de microrganismos (devida à excessiva entrada de nutrientes) e por processos de dragagem (PEDROZO e KAPUSTA, 2010). Deve ser evidenciado que o aumento da turbidez influencia na penetração de luz, o que afeta a fotossíntese, resultando em um desequilíbrio na biodiversidade.

A temperatura das águas é um parâmetro essencial para o entendimento dos efeitos que sua variação pode causar, por exemplo, nas reações químicas, taxas de reação e vida aquática, e na adequabilidade da água para usos benéficos. A elevação da temperatura nos mananciais pode causar alteração nas espécies de peixes existentes, alteração na solubilidade (concentração de saturação) do oxigênio na massa líquida e, até mesmo, resultar em uma taxa elevada de mortalidade da

vida aquática, dependendo da mudança brusca desse fator (METCALF e EDDY, 2016). De acordo com Von Sperling (1996), a temperatura também tem grande influência no metabolismo microbiano, comprometendo as taxas de estabilização da matéria orgânica.

Esse indicador influencia a densidade, viscosidade e movimentos de convecção da água. Naturalmente, a temperatura pode ser afetada pela incidência de luz solar, sombreamento das árvores, profundidade da coluna d'água, além da transferência de calor por radiação, condução e convecção. Alterações de origem antropogênica são decorrentes da entrada de efluentes aquecidos, através das águas de resfriamento e de efluentes industriais (PEDROZO e KAPUSTA, 2010).

O oxigênio ( $O_2$ ) é um dos gases (dissolvidos na água) mais importante na caracterização e dinâmica dos ecossistemas aquáticos. A atmosfera e a fotossíntese são as principais fontes de oxigênio para o reservatório; por outro lado, a redução da concentração do oxigênio na água se faz pela oxidação bioquímica da matéria orgânica, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos, a exemplo do ferro e manganês (ESTEVEES, 2011).

Segundo Figueiredo (2008), a quantidade de oxigênio dissolvido na água naturalmente sofre alterações, uma vez que este depende da temperatura, salinidade, turbulência da água e pressão atmosférica (decrecente com altitude). A concentração de oxigênio dissolvido está sujeito a flutuações sazonais diurnas devidas, em parte, às variações de temperatura e atividade fotossintética.

As demandas química (DQO) e bioquímica (DBO) de oxigênio apresentam um importante papel como indicadores de poluição nos corpos hídricos. A poluição por esgoto doméstico pode ser indicada pela DBO. Isso ocorre como consequência da atividade respiratória das bactérias para a estabilização do material orgânico. Enquanto a DBO se refere exclusivamente à matéria orgânica mineralizada por atividade dos microrganismos, a DQO também engloba a estabilização da matéria orgânica ocorrida por processos químicos, ou seja, é o parâmetro de maior importância na detecção de efluentes com constituintes de difícil mineralização, a exemplo dos efluentes industriais (BRASIL, 2006).



A condutividade elétrica de uma solução é a capacidade desta de conduzir a corrente elétrica. Esse indicador constitui uma das variáveis mais importantes em Limnologia, visto que fornece importantes informações sobre o metabolismo do ecossistema aquático e dos fenômenos que ocorrem na sua bacia de drenagem. Em reservatórios com poluição proveniente de esgotos domésticos, a condutividade elétrica relaciona-se com a matéria orgânica de origem alimentar, fecal e dos resíduos em geral que atribuem sais às águas (BLUNDI, 1988 apud MAGALHÃES, 2006).

Segundo Esteves (2011), a atividade iônica depende tanto da temperatura de uma solução (aumenta cerca de 2% a cada °C) como do pH, principalmente em águas com baixos valores de sais solúveis e valores de pH inferiores a 5. Nessas condições o íon  $H^+$  torna-se o principal responsável pelos valores de condutividade elétrica, o que também ocorre em águas muito básicas (pH acima de 9) com a presença do íon  $OH^-$ . Nesse caso, entende-se que em águas com valores de pH fora da faixa de neutralidade (valores extremos), os valores de condutividade elétrica são devidos, na maioria das vezes, a elevadas concentrações de alguns íons, mais frequentemente,  $H^+$  e  $OH^-$ .

A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos) (BRASIL, 2006). De acordo com Von Sperling (2005), todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos, que podem ser classificados por tamanho e estados (em suspensão ou dissolvidos), pelas características químicas (voláteis ou fixos) e pela sua sedimentabilidade (em suspensão sedimentáveis ou não sedimentáveis). Os sólidos dissolvidos totais (SDT) também são considerados um bom indicador do nível de salinidade das águas, tendo fortes relações com a condutividade elétrica podendo, indiretamente indicar a poluição por esgoto doméstico.

Os coliformes termotolerantes são utilizados como indicadores bacteriológicos no atendimento de padrões para monitoramento da qualidade das águas ao consumo humano e também para a caracterização e análise da qualidade das águas em geral (LIRA, 2000).

As bactérias do grupo coliforme habitam normalmente o intestino de homens e de animais, servindo, portanto, como indicadoras da contaminação de uma amostra de água por fezes. Como a maior parte das doenças associadas com a água é transmitida por via fecal, isto é, os organismos patogênicos, ao serem eliminados pelas fezes, atingem o ambiente aquático, podendo vir a contaminar as pessoas que se abastecem de forma inadequada dessa água. Uma grande vantagem no uso de bactérias coliformes como indicadoras de contaminação fecal é sua presença em grandes quantidades nos esgotos domésticos, já que cada pessoa elimina bilhões dessas bactérias diariamente. Dessa forma, havendo contaminação da água por esgotos domésticos é muito grande a chance de coliformes serem encontrados em qualquer parte e em qualquer amostra de água (BRASIL, 2006).

## **2.5 Assoreamento de reservatórios**

O assoreamento de corpos d'água ocorre de forma lenta, natural ou pode ser intensificada por atividades antropogênicas que ampliam os efeitos da erosão pluvial. Práticas agrícolas inadequadas, acelerada urbanização sem planejamento e infra-estrutura e mudanças de velocidade dos cursos de água (desvios ou barramentos), são fatores que têm influência significativa no processo de assoreamento dos reservatórios (INFANTI e FORNASARI, 1998).

Fatores climáticos associados ao tipo de solo e relevo também contribuem para o assoreamento dos cursos d'água, através dos processos erosivos. O processo de assoreamento em uma bacia hidrográfica e os processos erosivos estão diretamente interligadas, tendo em vista que a erosão fornece o material que será transportado e depositado no fundo dos reservatórios, dando origem ao assoreamento (GUERRA, 1995).

De acordo com Campagnoli (1998), uma das consequências negativas do assoreamento é a turbidez que as águas adquirem após o processo, pois a mesma impede a entrada de luz que diminui a fotossíntese do corpo aquático, fato este que resulta na redução do oxigênio dissolvido necessário para as espécies aquáticas. Portanto, se faz necessário controlar a degradação do solo e da água, bem como o processo erosivo fazendo uma análise contínua dos níveis de assoreamento dos reservatórios, pois a taxa de assoreamento depende das ações preventivas e

corretivas aplicadas na bacia hidrográfica, que visam à mitigação dos processos de erosão.

Os corpos d'água interceptam a maior parte dos sedimentos transportados pela rede fluvial. A determinação do volume dos sólidos no reservatório pode fornecer informações valiosas e decisivas sobre a produção de sedimentos na bacia hidrográfica. Geralmente a maneira de obter essas informações é pelo método de comparação entre os levantamentos topobatimétricos realizados antes da construção da barragem e depois de um tempo de operação do reservatório, com o uso de um ecobatímetro (TUCCI, 1993).

Faz-se necessário controlar esse acúmulo de sedimentos com o objetivo de mitigar os efeitos negativos que ele proporciona. A maioria das medidas é complexa, uma vez que o sedimento é derivado da erosão em toda a área de drenagem no local do reservatório. Muitas vezes, somente um plano de governo pode estabelecer e executar um programa de controle de erosão em toda a bacia hidrográfica (CARVALHO et al., 2000).

De acordo com Carvalho et al., (2000), são apresentadas, no Quadro 1, medidas preventivas no controle de sedimentos, tendo considerado para tal a escolha, a alternativa mais adequada do local da obra e do reservatório, do controle da erosão na bacia, da retenção do sedimento antes de entrar no sistema fluvial e a retirada de sedimentos.

Quadro 1 – Medidas preventivas do controle de sedimentos e do assoreamento do reservatório

<b>Medidas Preventivas</b>		
Seleção do local de aproveitamento	Se mais de um local for disponível para a barragem e formação do reservatório, selecionar aquele que tiver menor aporte de sedimentos	A escolha do local vai depender dos custos financeiros que incluam a proteção da área mais desprotegida
No projeto do reservatório	Prever volume morto adequado	Aumento da altura da barragem
	Prever volume reservado para sedimento	Aumento da altura da barragem
	Prever descarregador de sedimento com comportas (para correntes de densidade e para sedimento do leito)	Usinas afastadas da barragem necessitam de desarenador após a tomada d'água
Controle de erosão na bacia (traz benefícios diversos, sendo o mais eficiente, mas de difícil aplicação pelo barrageiro; necessário pedir apoio de outras entidades para o gerenciamento da bacia)	Conservação e manejo do solo na agricultura	Práticas vegetativas: - Florestamento e reflorestamento - Pastagens - Plantas de cobertura - Culturas em faixas - Cordões de vegetação
		Práticas edáficas: - Controle do fogo - Adubação verde - Adubação química - Adubação orgânica
		Práticas mecânicas: - Distribuição racional dos caminhos - Plantio em contorno - Terraceamento - Sulcos e camalhões - Canais escoadouros
	Controle de sedimento em estradas, em cidades, em obras diversas, controle de erosão urbana e rural:	- Contenção ou proteção de taludes - Obras de drenagem - Controle de erosão em ravinas e voçorocas
Controle de erosão nos cursos d'água e margens de reservatórios	Controle de erosão nas calhas e desbarrancamentos	- proteção com vegetação ciliar - proteção estrutural (enrocamento espigões etc.)
Controle da afluência de sedimento já na calha	Barragens a montante (pode ser submersa, se for conveniente)	Retirar periodicamente o sedimento retido
	Rede de vegetação	
	Canais de derivação em by-pass	- Canal - Conduto
	Desvio de enchentes para área de inundação	Bacias de decantação
Controle de deposição de sedimentos	Descarregador com comporta (operação planejada)	- Correntes de densidade - Sedimento de fundo
	Depleção do reservatório	Uma grande depleção do reservatório provoca o escorregamento dos depósitos para o volume morto
	Operação planejada do reservatório	Existem programas de computador para essa operação visando acomodação do sedimento

Fonte: CARVALHO et al. (2000).

No entanto, na fase de controle corretivo do assoreamento, caso não haja monitoramento periódico dos reservatórios, podem ocorrer surpresas em relação ao

tamanho e quantidade dos depósitos de sedimentos. Objetiva-se recuperar o volume do reservatório perdido pelo assoreamento com medidas mitigadoras, caras e repetitivas (CARVALHO et al., 2000). O Quadro 2 resume medidas de controle corretivo, conforme descrito pelo autor (Ibid.)

Quadro 2 – Medidas corretivas do controle de sedimento e do assoreamento do reservatório

<b>Medidas Corretivas</b>		
Remoção do sedimento do reservatório	Dragagem (local de deposição é importante)	Eventual
		Quase permanente
	Obras de derivação <i>by-pass</i>	Canal
		Conduto
	Sifonagem	Por cima da barragem ou às vezes retirando sedimento de mais distante através do descarregador de fundo
Descarregador de fundo	Às vezes sendo necessário construir já com barragem pronta	
Alteamento da barragem	Dimensionar adequadamente	Quando possível porque aumentará o nível e o espelho d'água

Fonte: CARVALHO et al. (2000).

Um estudo do Banco Mundial (MAHMOOD, 1987), constatou que alguns processos de assoreamento se têm desenvolvido muito mais rapidamente que o previsto e que a vida útil média dos reservatórios existentes em todos os países do mundo decresceu de 100 para 22 anos nos últimos 50 anos, tendo sido avaliado, em 6 bilhões de dólares anuais o custo para promover a remoção dos volumes que vão sendo assoreados. Ficou demonstrado também que a perda média anual de volume dos reservatórios devido ao depósito de sedimentos era de 1%, sendo variável de país para outro, bem como de região para outra. A partir de estudo realizado pela Eletrobrás/IPH (1991) pode-se concluir que a perda anual de capacidade de armazenamento dos reservatórios do nosso país é de aproximadamente 0,5% ou um pouco mais nestes anos (CARVALHO, 1994). Essa taxa pode corresponder a perdas de capacidade de armazenamento de  $2.000 \times 10^6$  m<sup>3</sup> por ano o que corresponde a um volume maior do que muitos dos médios reservatórios existentes (Estreito, Jaguari, Moxotó, Salto Osório, Porto Colômbia etc.).

No Brasil, existem alguns estudos relacionados à questão do assoreamento em reservatórios. Segundo Machado et al. (1998), a batimetria realizada no reservatório do Rio Santo Anastácio que abastece a cidade de Presidente Prudente -

SP, com área alagada de 75,6 ha, mostrou que o volume do reservatório em 1993 era de 1.962.000 m<sup>3</sup> e em 1998 de 1.698.515 m<sup>3</sup>, causando uma redução de 13,42% no volume de água.

A represa do Balneário da Amizade, localizada na Bacia Hidrográfica do Alto Limoeiro, entre os municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, tem uma área de 399.426 m<sup>2</sup> e um volume de água de aproximadamente 1.988.208 m<sup>3</sup>. A sedimentação junto à foz do Rio Limoeiro, em 3 meses, aumentou 16.123 m<sup>2</sup> em área e 14.852 m<sup>3</sup> em volume. A represa perdeu cerca de 0,74% do seu volume num período de 3 meses (ELIAS, 1997).

Em 2001 foi realizada batimetria no reservatório do Vacacaí-Mirim no Rio Grande do Sul, comparada com levantamento topográfico de 1972 e batimetria realizada em 1997. Foi constatado um assoreamento de 29,45% em 29 anos de operação do reservatório (DILL, 2002).

No estado da Paraíba, a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado – AESA, monitora 122 reservatórios artificiais, variando de pequenos açudes a grandes barragens. Como esse monitoramento é feito para o armazenamento superficial das águas, há extrema necessidade de informações com relação ao assoreamento dos reservatórios (MEDEIROS, 2008).

O mesmo autor realizou na cidade de Campina Grande/PB, no ano de 2007, um estudo de degradação do açude de Bodocongó ao longo dos anos. Foram comparados os dados relativos aos anos de 1989 e 2007, buscando compreender a dinâmica e a sistemática da bacia na qual o açude estava inserido. Os resultados demonstraram que a área ao longo da bacia encontra-se altamente degradada por atividades antrópicas, com um alto índice de assoreamento comprometendo a existência futura do açude.

## **2.6 Dragagem de reservatórios**

A dragagem tem por objetivo retirar o material acumulado no leito do curso de água e às suas margens, decorrentes de processo de assoreamento e carreamento de material sólido, interferindo no seu escoamento natural. O processo de retirada de sedimento tem um elevado custo, o que, em muitas situações, o inviabiliza.

Tomaz (2013) aborda que a dragagem é, na maioria das vezes, realizada em reservatórios de pequeno porte.

Além do valor oneroso para realização da dragagem existe a problemática da disposição do material escavado. Raramente esse material pode ser utilizado, devido à dificuldade de transporte para as fontes de aproveitamento. A disposição final do material dragado quase sempre resulta em questões econômicas e de meio ambiente. A simples colocação do sedimento na margem do reservatório, na área mais próxima do local dragado ou no depósito no canal a jusante da barragem, pode vir a se tornar uma solução inadequada. No primeiro caso, a maior parte do sedimento pode retornar em curto prazo para o reservatório logo nas primeiras chuvas e no segundo caso poderá criar outros problemas incluindo o assoreamento do canal (CARVALHO et al., 2000).

De acordo com Castiglia (2006), várias alternativas devem ser consideradas na disposição dos resíduos resultantes da dragagem. Quando os resíduos forem dispostos em corpos hídricos abertos, oceanos, estuários, rios e lagos, devem estar limpos ou moderadamente contaminados. Especificamente em mar aberto, duas opções devem ser consideradas: em água profunda além da plataforma continental e na própria plataforma continental. Também os resíduos podem ser descartados em locais confinados em corpos hídricos, de pressões na região costeira ou entre diques, e em terra. Esta última é destinada ao sedimento contaminado.

Há diversos tipos de equipamentos para retirada desses sedimentos, sendo basicamente, o sistema pneumático (*air-lift*), o sistema mecânico (*drag-line* ou *clamshell*) e as dragas de sucção e recalque que utilizam bombas centrífugas para executar o transporte hidráulico do material (ENGEVIX, 1980). Para obter uma maior economia é necessário analisar o equipamento mais adequado para cada situação.

Segundo Lima (2008), a escolha desse equipamento é bastante complexa e necessita de um estudo aprofundado para examinar os seguintes elementos:

- ✓ Características físicas do material a ser dragado;
- ✓ Volume do material a ser dragado;
- ✓ Profundidade de dragagem;
- ✓ Distância da área de disposição do material;

- ✓ Condições ambientais da área a ser dragada e do local de disposição;
- ✓ Nível de contaminação do material a ser dragado;
- ✓ Métodos de disposição do material dragado;
- ✓ Produção estimada dos equipamentos empregados;
- ✓ Tipos de dragas disponíveis.

O Quadro 3 indica alguns exemplos de aplicação de diferentes equipamentos em obras de dragagem. No entanto, cada obra deve ser avaliada separadamente com intuito de identificar as soluções mais adequadas.

Quadro 3 – Exemplos de aplicações de equipamentos de dragagem

Serviços de Dragagem	Equipamentos indicados
Limpeza de área – retirada de entulho	Caçamba de mandíbulas
Saneamento – abertura de calhas fluviais em mangue	Pé de arrasto ( <i>dragline</i> )
Manutenção portuária – materiais moles	Draga autotransportadora de arrasto Draga de alcatruzes
Aterro hidráulico	Draga de sucção e recalque Draga autotransportadora de arrasto
Dragagem de materiais duros	Draga de sucção e recalque Escavadeira frontal Retroescavadeira
Cortes de dragagem de rochas brandas	Draga de sucção e recalque
Mineração	Draga de sucção e recalque Caçamba de mandíbulas Draga de alcatruzes
Remoção de rochas fragmentadas	Draga de sucção e recalque Caçamba de mandíbulas Draga autotransportadora de arrasto Retroescavadeira
Dragagem ambiental	Dragas pneumáticas

Fonte: GOES FILHO (2004).

Alguns países possuem leis que regulam a qualidade da água, impedindo o despejo de sedimento dragado no próprio curso d'água. China e Formosa são exemplos de países com carência de locais para barragens, com isso eles têm melhorado as terras agrícolas por meio da disposição do material selecionado proveniente de dragagens efetuadas, ao mesmo tempo em que é recuperada a capacidade de armazenamento de água dos reservatórios. O material pode servir



também para formação de diques marginais aos rios onde há necessidade de proteção contra enchentes (ICOLD, 1989).

Lima (2008) em seu estudo de dragagem, transporte e disposição dos sedimentos da calha do Rio Tietê, com o intuito de diminuir os problemas frequentes de enchentes, removeu cerca de 7 milhões de metros cúbicos de sedimento (areia, lixo e outros materiais), com o objetivo de garantir a capacidade de vazão. Como a calha do Tietê está confinada entre vias marginais e pontes de intenso movimento de veículos (aproximadamente 700.000 por dia), houve certa dificuldade na operação dos equipamentos para retirada do sedimento, com isso o trecho foi separado em 4 lotes e escolhido o processo de dragagem por escavação submersa, visando interferir o mínimo possível no tráfego de veículos nas marginais. Logo no início, houve restrição no uso da rodovia para o transporte do material escavado até os bota-foras, tendo que construir um porto em lugar estratégico na margem do Tietê e utilização do transporte rodoviário com a ocupação das marginais para o transporte do material dragado até o local de destinação, teve horários restritos pela Companhia de Engenharia de Tráfego (22 às 5 h). Toda a problemática na execução do processo de dragagem desse estudo se intensificou porque o rio situa-se em perímetro urbano, fazendo com que fossem avaliadas diversas alternativas para se encontrar a melhor diante das intervenções locais.

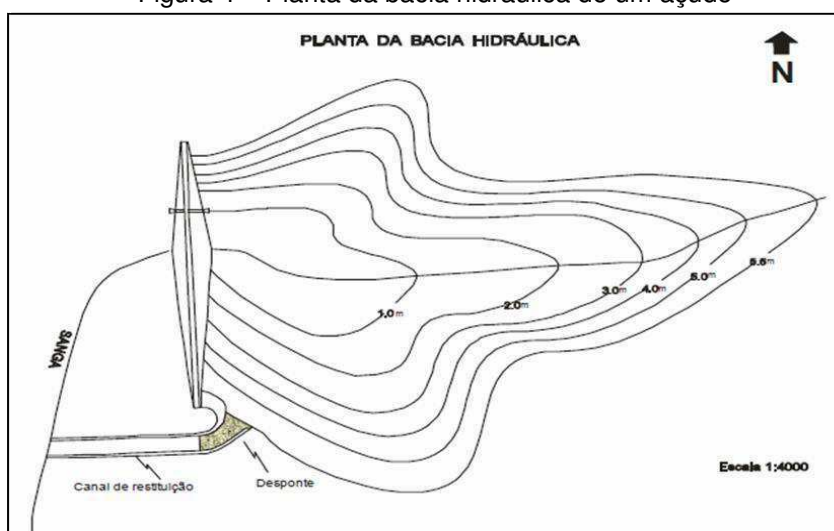
Assim, para se conhecer o volume de sedimentos no reservatório e melhor planejar a execução da dragagem nestes corpos hídricos, faz-se necessário realizar o levantamento batimétrico para obter uma melhor gestão dos procedimentos de retirada do sedimento no fundo dos reservatórios.

## **2.7 Batimetria**

A palavra batimetria tem origem na língua inglesa Bathmeter (batho + meter) que significa medida de profundidade. O levantamento batimétrico é a obtenção dos valores topográficos de posicionamento (X, Y e Z) de lugares submersos, a fim de representar o relevo e determinar o volume hídrico, quando isso for necessário e possível (PEREIRA E BARACUHY, 2008).

O levantamento batimétrico de acordo com os dados de posição (x,y) e da profundidade (-z), proporciona a elaboração de um modelo do fundo do reservatório e permite o desenvolvimento da planta da bacia hidráulica de um determinado açude, assim como ilustra a Figura 4.

Figura 4 – Planta da bacia hidráulica de um açude



Fonte: Robaina (2007).

De acordo com Von Sperling (1999), a batimetria consiste na determinação do relevo de fundo de um corpo d'água e de sua respectiva representação gráfica e possui diversas finalidades como o fornecimento de dados para construção de obras civis, como pontes, canais, etc., manutenção de hidrovias e portos, dragagens e gestão de reservatórios.

Conhecendo-se as coordenadas de pontos no espelho d'água e a sua respectiva profundidade, é possível não só elaborar a planta da bacia de um açude, como determinar o volume de água nele existente, procedimento popularmente conhecido como "cubagem" do reservatório (BILHALVA, 2013).

Para a medição de profundidade, eram utilizados alguns instrumentos simples, como varas e cordas calibradas, com peso na extremidade. Hoje em dia o princípio de funcionamento é baseado na propagação de ondas sonoras emitidas por sensores, a exemplo de ecobatímetros, acoplados em embarcações, a uma velocidade conhecida de um ponto conhecido até o leito do corpo hídrico, onde são refletidas e retornam ao equipamento (SANTOS et al., 2001).

Os métodos mais comuns para a realização de levantamentos sedimentométricos em reservatórios serão descritos a seguir, segundo CARVALHO et al. (2000):

✓ **Método de levantamento de contornos do reservatório**

Este método utiliza procedimentos de mapeamento topográfico por aerofotogrametria, a qual resulta em fotos do reservatório nos seus diferentes níveis. Ele é adequado para o levantamento original do reservatório, ou seja, antes de sua formação. A partir das áreas correspondentes às diferentes curvas de nível e das diferenças de elevação entre elas, é possível estimar o volume do reservatório.

✓ **Método de levantamento de linhas topobatimétricas**

Neste método o objetivo é definir e determinar em campo as seções transversais de monitoramento. Sua maior vantagem é de poder ser utilizado em todos os tipos de reservatórios, porém, este método é mais comumente utilizado em reservatórios alongados, pois é mais óbvia a definição das seções transversais. Caso o reservatório possua muitos braços secundários, o levantamento deve ser feito separadamente para cada braço.

✓ **Espaçamento delimitado em função da escala de representação do mapa**

Este método sugere a utilização de linhas auxiliares longitudinais ao reservatório, sendo, a partir delas, traçadas no mapa as seções transversais distantes 1 cm entre si, no mapa. Caso o leito não apresente variações significativas, é possível adotar espaçamentos maiores no mapa (2 a 3 cm) entre as seções transversais. Assim, forma-se o detalhamento do levantamento relacionado à escala do mapa (CARVALHO et al., 2000), como é ilustrada no Tabela 2.

Tabela 2 – Distância entre as seções transversais

Escala do Mapa	Distância entre seções (m)	Tipo de reservatório	Observações
1 : 2.000	20	Pequeno	Permite o desenho de seções a cada 1,0 cm no mapa
1 : 5.000	50	Médio	
1 : 10.000	100	Médio a grande	
1 : 20.000	200	Grande	
1 : 25.000	250	Grande	

Fonte: CARVALHO et al. (2000)

✓ **Utilização de equações para determinação da distância entre seções**

Para a determinação do espaçamento e do número mínimo de seções, alguns autores, a partir de experimentos, desenvolveram relações empíricas.

Santos et al. (2001), com base em dados de 57 reservatórios com áreas entre 30 e 15000 hectares, definiram que, em média, o número ideal de seções transversais ao eixo principal igualmente espaçadas pode ser obtido pela Equação (1):

$$N_{ST} = 2,942 \times A^{0,3652} \quad (1)$$

Onde:

$N_{ST}$ : Número de seções topobatimétricas;

A: Área do reservatório [ha].

Ainda de acordo com os autores, esta relação deve ser utilizada apenas para estimar, de antemão, o número de seções topobatimétricas, pois elas devem representar satisfatoriamente o volume do reservatório, o qual depende diretamente de sua geometria.

#### ✓ **Espaçamento fixo entre seções de levantamento**

O espaçamento entre as seções deve ser compatível com o nível de detalhamento exigido. A distância recomendada é de 90 m entre as seções transversais ao eixo principal do reservatório, podendo ser ajustada em relação ao detalhamento de acordo com os dados obtidos em campo, sendo aconselhável que, em regiões que apresentam acentuados relevos, o espaçamento deve ser diminuído. Em relação a reservatórios pequenos, recomendam-se distâncias de 30 a 60 metros e para maiores reservatórios com relevo de fundo suave, deve-se utilizar espaçamento de 150, 180 ou até 600m.

Apesar da grande importância de estudos nessa área, não é observado na literatura um método padronizado para realização de estudos batimétricos; autores e organizações apresentam métodos diferentes quanto à quantidade e disposição dos dados. Neste caso, existem vários métodos para os levantamentos batimétricos, porém as características específicas dos reservatórios e seu entorno, assim como os equipamentos disponíveis, vão dizer qual é a metodologia mais adequada ao objeto de estudo.

Etigoni (2012) no estudo “*influência da quantidade e disposição de dados na modelação de terrenos aplicada a batimetria de reservatórios*” propôs no estudo de caso do reservatório UHE Três Irmãos (SP), um método para a determinação do espaçamento entre as seções, o qual foi capaz de representar com boa precisão trechos dos braços (diferença máxima encontrada de 5,01%) e um assoreamento de 3,91% no reservatório em estudo.

Por outro lado, Cabral et al. (2009), na avaliação do estado de assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada (GO/MG), realizou o levantamento com equipamentos mais sofisticados a exemplo da ecossonda e do GPS acoplados ao computador, teve o processamento e armazenamento dos dados com o auxílio do software Fugawi 3, os quais puderam ser exportados em formatos de quadros para outros softwares. Em comparação com os dados topográficos da época da construção do reservatório, com os dados batimétricos levantados, o reservatório de Cachoeira Dourada perdeu cerca de 40% da sua capacidade de armazenamento original.

Para o acompanhamento espaço-temporal do processo de sedimentação da Represa Velha localizada em Pirassununga (SP), avaliada por Venâncio (2009), o levantamento topográfico foi realizado pelo método trigonométrico a partir de uma referência de nível (RN), que forneceu as coordenadas que auxiliaram na determinação e amarração dos pontos batimétricos por irradiação. Neste estudo, foi de fundamental importância a comparação dos antigos levantamentos batimétricos realizados no reservatório com os resultados e, assim, obter um melhor entendimento da evolução do assoreamento no decorrer do tempo.

## **2.8 Açude Velho – Contexto histórico**

A importância das águas pode ser verificada na história do município de Campina Grande desde os seus primeiros povoamentos, assim como ocorreu em todo o processo de ocupação do atual estado da Paraíba, onde os rios constituíram as principais vias de colonização do seu interior. Como ocorreu em muitas localidades do atual semiárido brasileiro, o abastecimento de água, para atender às demandas da cidade em crescente expansão, foi comprometido pelo adensamento populacional e a conseqüente urbanização, somados às características naturais da

região (LIMA et al., 2013). A política de construção de açudes, como fonte de água para abastecimento humano e animal no atual semiárido, teve início no Século XIX, segundo Rebouças (1997) apud Lima et al. (2013), mais precisamente a partir das secas de 1825, 1827 e 1830.

No caso de Campina Grande, com o intuito de minimizar o problema de abastecimento de água, foi construído, em 1828, pelo Governo Provincial da Paraíba, o Açude Velho na Vila Nova da Rainha, pois esta possuía, até então, riachos como fonte de abastecimento (LIMA et al., 2013).

O Açude Velho foi o primeiro reservatório a atender o referido município, construído onde antes havia o “Riacho das Piabas”, no atual centro da cidade (Figura 5). Sua inauguração ocorreu em 1830, mas só veio a ser concluído em 1844, tornando-se, naquele momento, o maior reservatório público do Planalto da Borborema. Sua construção foi motivada pela necessidade de atender à demanda de água a partir do crescimento demográfico e pelas estiagens prolongadas, que a região Nordeste enfrentou, principalmente a que ocorreu entre 1824 e 1828 (BRITO, 2013).

De acordo com Lima et al. (2013), após sua inauguração, o Açude Velho exerceu um importante papel como fonte de água para a população não só da “Rainha da Borborema”, mas também das regiões circunvizinhas. O Açude começou pequeno, mas foi ampliado, até adquirir as proporções que possui hoje. Dois anos depois, em 1830, outro açude foi construído para auxiliar o primeiro, este ficou conhecido como Açude Novo (Figura 6). Ambos os açudes ajudaram a população a atravessar o período da prolongada estiagem, ocorrida entre os anos de 1845 e 1877. Por quase um século, estes dois açudes foram as únicas fontes de abastecimento de água da população de Campina Grande e dos municípios adjacentes.

Figura 5 – Açude Velho



Fonte: Retalhos Históricos de Campina Grande.

Figura 6 – Açude Novo



Fonte: Retalhos Históricos de Campina Grande.

Até o começo do Século XX, o Açude Velho serviu à população campinense que utilizava suas águas para banho, lavagem de roupa, lazer e pesca, cumpridos estas funções até 1927 (RETALHOS HISTÓRICOS DE CAMPINA GRANDE, 2016).

A Figura 7 ilustra o Açude Velho na década de 1950 (A) e final dos anos 1970 (B),

quando a qualidade da água permitia a prática de competições de natação e pedalinho.

Figura 7 – Açude Velho sendo cenário de competições esportivas nas décadas de 1950 e 1970, respectivamente



Fonte: Retalhos Históricos de Campina Grande.

A degradação da capacidade produtiva destas duas fontes hídricas, somada ao crescimento demográfico urbano e à expansão das atividades econômicas de Campina Grande, agravaram os problemas de escassez de água para atender à demanda, conduzindo a um quadro preocupante em relação ao suprimento das necessidades de abastecimento público.

Esse crescimento demográfico urbano mais acentuado e a complexidade das atividades industriais acabaram estimulando uma elevada demanda hídrica na cidade. Porém, o processo de degradação dos mananciais, contaminação e desperdício de água, conduziram a cidade a um quadro preocupante, em relação à sustentabilidade do abastecimento hídrico. Assim, em 1928, Campina Grande passou a contar com um novo sistema de abastecimento, o de Puxinanã, captando água do açude João Suassuna. Este açude foi construído entre os anos de 1925 e 1926, com ele, a cidade passou a contar com um sistema de abastecimento de água encanada, o primeiro do complexo da Borborema (LIMA et al., 2013).

No período de 1935 a 1939, Vergniaud Wanderley assumiu a Prefeitura, com o desafio de mudar a fisionomia de Campina Grande, implantando um sistema de esgotamento sanitário e de abastecimento de água (SOUSA, 2001).



Dentro do mesmo contexto, em 1939, foi necessário construir outro reservatório para atender ao abastecimento de Campina Grande, também por meio de transposição. Trata-se do açude Vaca Brava, localizado na região do Agreste-Brejo a cerca de 40 km de Campina Grande, cuja microbacia hidrográfica abrange partes dos territórios de Areia e Remígio. Com o tempo, outros municípios como Esperança, Matinhas e Lagoa Seca foram sendo incorporados ao sistema de abastecimento de Vaca Brava. O reservatório de Vaca Brava passou a enfrentar um período crítico levando os municípios atendidos por ele a um colapso de abastecimento, recorrendo-se à distribuição de água por meio de carros pipa (BRITO, 2013).

Portanto, depois de passar por diversas fases, sempre marcadas por soluções que logo se tornavam insuficientes, o sistema de abastecimento de água de Campina Grande e de outras localidades da região, passou a ser suprido pelo Açude Público Epitácio Pessoa (Boqueirão). Este reservatório foi construído entre 1952 e 1956, no Rio Paraíba, no local denominado de Boqueirão de Cabaceiras, em plena região dos Cariris Velhos, que apresenta os menores índices pluviométricos do Brasil. A partir de 1958, Campina Grande e, posteriormente, outros municípios por ela polarizados, passaram a ser abastecidos com águas transportadas por adutoras do açude Epitácio Pessoa (LIMA et al., 2013).

Após Campina Grande receber abastecimento encanado de água, a finalidade inicial do Açude Velho se perdeu e, desde então, é considerado um cartão postal e patrimônio histórico para a cidade. Atualmente, o Açude Velho recebe despejos de esgotos que correm por canais que vêm do centro da cidade e dos bairros circunvizinhos. As atividades humanas vêm influenciando negativamente a qualidade da água do reservatório devido à entrada contínua e elevada de matéria orgânica e poluentes que promovem o processo de eutrofização do corpo aquático.

As consequências da mudança de estado trófico do reservatório ocasionam sérios problemas ambientais, pois as águas com baixa qualidade alteram a biodiversidade local. Essa poluição do Açude Velho vem provocando aumento de microrganismos decompositores, que consomem o oxigênio dissolvido na água, causando a morte de peixes, o que torna o local inapropriado até para passeio, devido aos ocasionais maus odores.

Ao longo dos anos, foram nítidas as transformações pelas quais o Açude Velho passou, tanto na característica de suas águas, como no aspecto de uso e ocupação do seu entorno. A Figura 8 ilustra as transformações do Açude Velho desde a década de 1960 (A) até os dias atuais (B).

Figura 8 – Açude Velho no ano de 1960 (A) e atualmente (B)

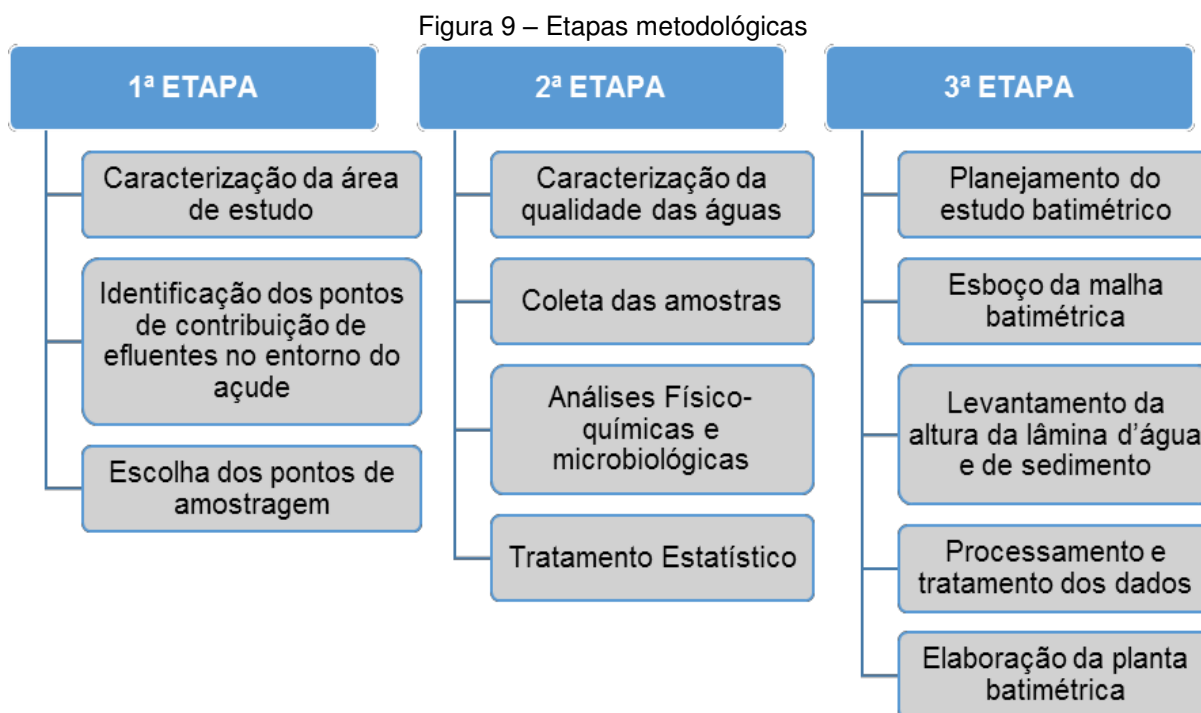


Fonte: Retalhos Históricos de Campina Grande.

Atualmente, o reservatório, além de compor a paisagem local, também serve como estrutura de drenagem, atuando como bacia de retenção, além de cenário para queima de fogos em festejos locais, fotografias de turistas, cartões postais, caminhadas, corridas e passeios.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em 3 etapas metodológicas, conforme apresentadas no fluxograma da Figura 9 e discutidas nas seções seguintes.

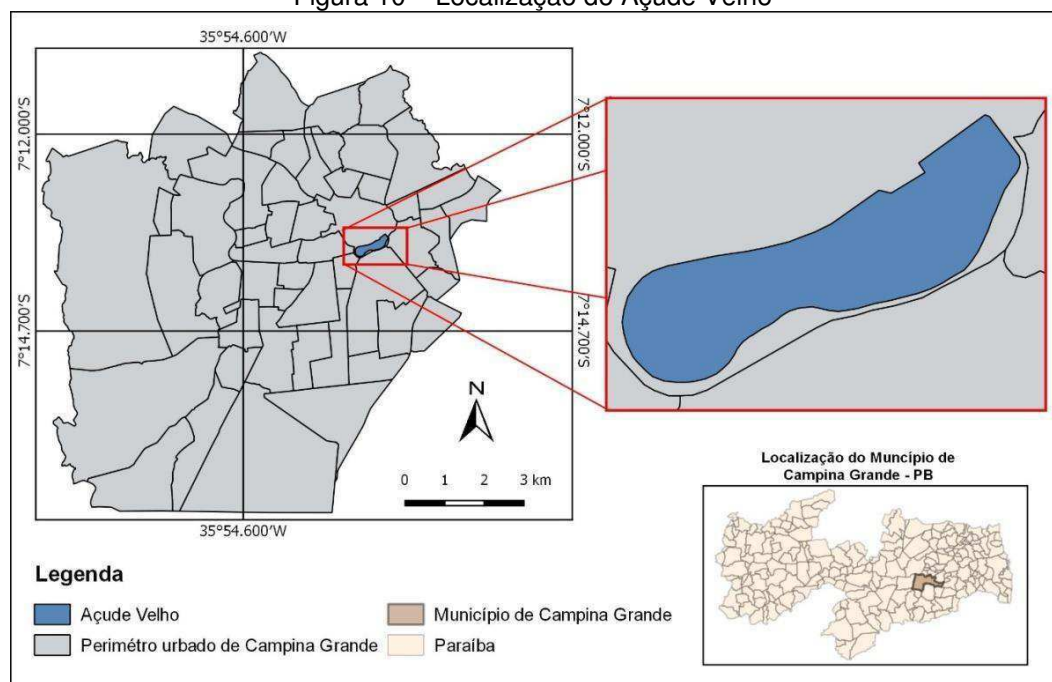


#### 3.1 Primeira Etapa

##### 3.1.1 Caracterização da área de estudo

O corpo aquático em estudo é o Açude Velho (Figura 10), situado na cidade de Campina Grande-PB, sede do município homônimo, localizada na Mesorregião do Agreste Paraibano. De acordo com o IBGE (2014), o município possui uma população de aproximadamente 400.000 habitantes, área de 594,182 km<sup>2</sup> e encontra-se a 120 km da capital do estado, João Pessoa.

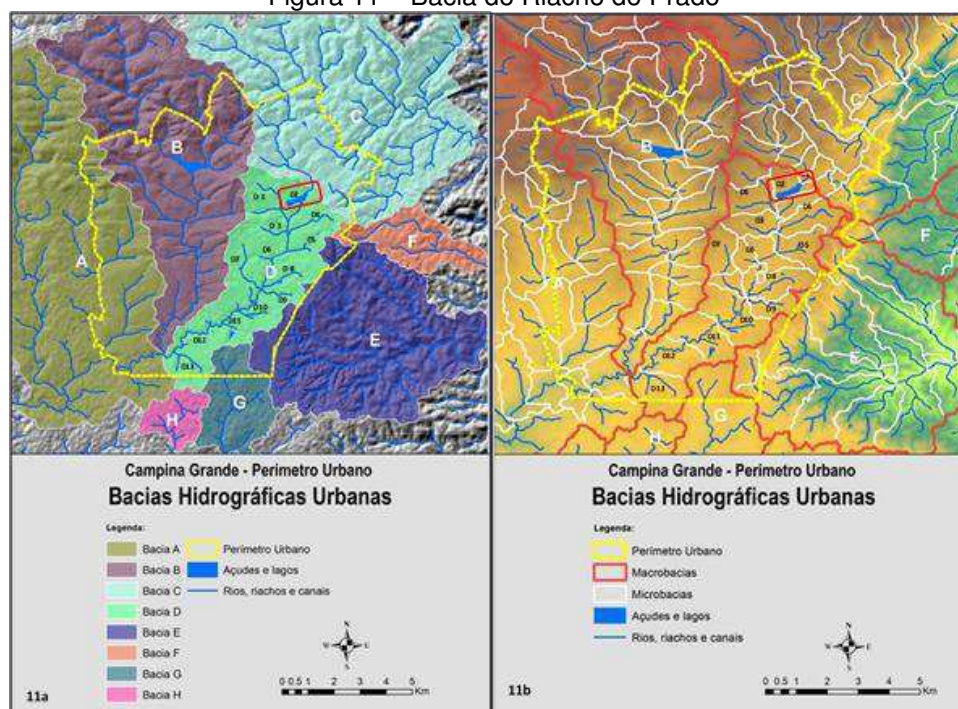
Figura 10 – Localização do Açude Velho



O clima predominante é o semi-árido, quente e seco, com chuvas de verão. Os índices de precipitação estão dentre os mais baixos do estado, com média anual de 600 a 700mm; a evaporação potencial anual é de 1500mm anual; umidade da estação chuvosa se encontra na faixa de 75 a 85%; a umidade da estação seca varia de 70 a 75% e a temperatura média anual é de 26°C (ALVES, 2012).

O Açude Velho, localizado a 7° 13' 35,8" Sul e 35° 52' 47,7" Oeste, está integrado à bacia do Riacho do Prado, sub-bacia D2, cuja localização pode ser vista na Figura 11a. As sub-bacias de D1 a D7 apresentam uma alta taxa de impermeabilização (74 a 83%), sendo localizadas na área central da cidade (TSUYUGUCHI, 2015). De acordo com a rede de drenagem ilustrada na (Figura 11b), além das águas da rede de drenagem da bacia do Riacho do Prado, o Açude Velho também recebe parte das águas drenadas pelo Riacho das Piabas provenientes da Bacia C, em eventos de chuvas atípicas em que sua intensidade é muito forte, caracterizada por áreas urbanas e rurais.

Figura 11 – Bacia do Riacho do Prado



Fonte: Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico (2014) de Campina Grande.

A bacia hidrográfica do reservatório tem 103 há e este possui um espelho de água de 177.248,00 m<sup>2</sup>, armazenando um volume máximo de 515.510 m<sup>3</sup> de água, com profundidade variando de 2,5 a 4,5m (Florentino e Sousa, 1990 apud Castro, 1994). A bacia recebe contribuições tanto de galerias pluviais quanto de ligações clandestinas de esgotos. O reservatório está situado dentro dos limites urbanos de Campina Grande.

Atualmente, o açude atua como reservatório de detenção, contribuindo com o sistema de drenagem de Campina Grande nos picos de chuva, permitindo o armazenamento das águas recebidas pelas galerias pluviais a montante do reservatório, reduzindo e/ou retardando o volume do fluxo de água nas bacias a jusante. O açude recebe ainda uma parcela das águas pluviais vindas do Canal das Piabas, além de ligações clandestinas de esgotos.

Em virtude de falhas na operação e manutenção, o Açude Velho encontra-se em fase de assoreamento. É visível o acúmulo de sedimentos em vários pontos do reservatório, principalmente nas proximidades das bordas. A Figura 12 ilustra uma visão aérea do corpo hídrico em estudo.

Figura 12 – Vista aérea do Açude Velho



Fonte: Google Earth, 2016.

### **3.1.2 Identificação dos pontos de contribuição de efluentes no entorno do açude**

No período de março a setembro de 2016, foram observados e identificados os pontos de contribuição afluentes ao açude. Esses pontos encontram-se distribuídos nas margens de todo o reservatório.

As localizações dos pontos de contribuição afluentes ao açude foram identificadas visualmente através de observações *in loco*, a partir de caminhadas ao redor do açude e observações pela balsa nos dias de coleta dos pontos internos. Após a identificação dos pontos de contribuição, foram determinadas as coordenadas geográficas de cada ponto com o auxílio do GPS (Garmin modelo GPSMAP 76CSx).

### **3.1.3 Pontos de amostragem**

Para a avaliação da qualidade da água do açude foram selecionados dez pontos de coleta, sendo sete deles na margem e três no centro, no sentido longitudinal. Foram pontos espacialmente distribuídos representativos de todo o corpo hídrico. A distribuição destes pontos de coleta permitiu avaliar se haviam diferenças significativas das características das águas nos diferentes pontos próximos das margens e das margens para as áreas mais centrais.

A escolha dos pontos marginais levou em consideração a proximidade com as tubulações de drenagem e a representação do contorno do açude. Já os pontos

internos foram escolhidos de forma a representar as áreas mais centrais do açude.

O

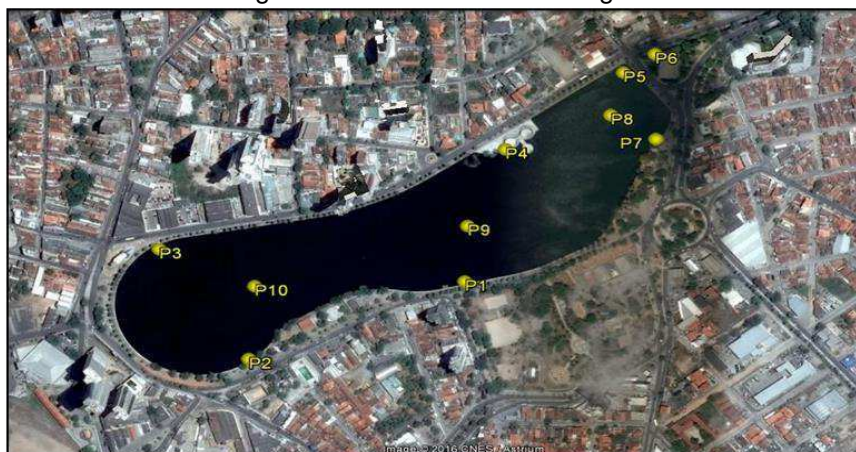
Quadro 4 descreve a localidade dos pontos de amostragem e suas respectivas características.

Quadro 4 – Pontos de amostragem

Pontos	Coordenadas geográficas	Descrição
P1	(7°13'35.31"S / 35°52'46.72"O)	Localizado antes do vertedouro
P2	(7°13'39.79"S / 35°52'57.36"O)	Situado após a curva (em frente ao Sesc), localidade com bastante sombra e aparentemente com estagnação das águas
P3	(7°13'33.21"S / 35°53'1.75"O)	Na maioria das vezes apresenta uma camada de óleo, peixes mortos, odor forte e lixo submerso, além de situar-se próximo a uma tubulação de drenagem. Sua localidade física encontra-se de frente ao monumento "tropeiros da Borborema"
P4	(7°13'27.58"S / 35°52'44.58"O)	Localiza-se no monumento dos pandeiros, local bastante assoreado, com sombra e próximo a contribuições de tubulações de drenagem
P5	(7°13'25.4"S / 35°52'40.33"O)	Entrada/saída do Canal das Piabas (dependendo do fluxo), local parcialmente assoreado, eventualmente apresenta camada de óleo na superfície, recebe bastante luminosidade nos horários de coleta, apresenta odor forte de peixe e situa-se em frente ao Bar do Cuscuz;
P6	(7°13'22.60"S / 35°52'38.85"O)	Localizado no início do canal das Piabas, na maioria das coletas apresentaram peixes mortos. Tem sempre cor bastante esverdeada e em dias sem chuva apresenta águas estagnadas
P7	(7°13'26.81"S / 35°52'37.42"O)	Próximo aos quiosques, o ponto de amostragem localiza-se ao lado da rampa, onde comerciantes informaram que o local serve muitas vezes de banho para cavalos e que alguns quiosques despejam clandestinamente seus efluentes no corpo aquático. Apresenta cor bastante esverdeada e sua localidade tem bastante influência da luminosidade nas horas das coletas
P8	(7°13'28.33"S / 35°52'41.79"O)	Localiza-se na extremidade do açude, entre os pontos P5 e P7
P9	(7°13'32.62"S / 35°52'49.32"O)	Este ponto situa-se no centro do açude, entre os pontos P1 e P4
P10	(7°13'35.92"S / 35°52'58.29"O)	Localiza-se na outra extremidade, entre os pontos P2 e P3.

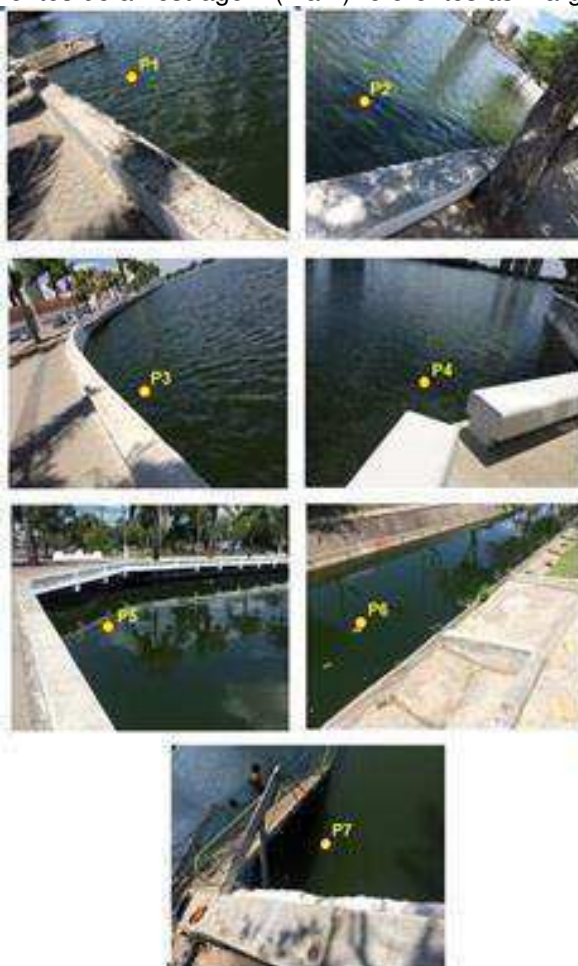
A Figura 13 ilustra a distribuição espacial dos pontos de amostragem no açude e a Figura 14 apresenta os pontos das margens do açude individualmente.

Figura 13 – Pontos de amostragem



Fonte: Adaptado do Google Earth (2016).

Figura 14 – Pontos de amostragem (1 a 7) referentes às margens do açude





## 3.2 Segunda Etapa

### 3.2.1 Coleta de amostras

As coletas de amostras para as análises físico-químicas e microbiológicas foram iniciadas no mês de março e encerradas no mês de setembro de 2016, contabilizando 7 meses. A frequência de coleta foi quinzenal, totalizando 14 campanhas, realizadas sempre no período matutino de 07h30min às 10h.

Dois amostradores (Figura 15) foram utilizados nas coletas. O amostrador, apresentado na Figura 15a foi utilizado em coletas físico-químicas e microbiológicas. Esse amostrador permitia a coleta de 1 metro de coluna d'água (Figura 16a), sendo as amostras homogeneizadas no próprio amostrador antes de serem dispostas em recipientes específicos, frascos previamente identificados referentes a cada ponto. Para as amostras das análises microbiológicas, os frascos eram esterilizados anteriormente em autoclave e acondicionados em caixa térmica isolada dos outros frascos, a fim de evitar a contaminação das amostras.

O amostrador, apresentado na Figura 15b, foi destinado às amostras de oxigênio dissolvido, sua imersão era realizada a uma profundidade de 30 cm (Figura 16b), conforme recomendada pela literatura pertinente para representar a camada superficial do corpo aquático e de forma que não houvesse turbulência no momento da coleta. Após esse procedimento, era realizada a medida de temperatura da água.

Figura 15 – Amostradores



Figura 16 – Procedimentos de coleta



Após coletadas e dispostas nos frascos, as amostras eram acondicionadas em caixas térmicas e com gelo para manutenção da temperatura em torno de 4° C.

Ao término das coletas, as amostras eram encaminhadas ao Laboratório de Saneamento da unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), para realização das análises.

### 3.2.2 Análises físico-químicas

Todas as análises físico-químicas realizadas neste trabalho seguiram técnicas padrões do Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2012). O Quadro 5 apresenta as análises e métodos utilizados.

Quadro 5 – Análises físico-químicas realizadas no Açude Velho

PARÂMETRO	MÉTODO
DBO	Método da diluição em frascos padrões
DQO	Método da refluxação fechada
Oxigênio dissolvido	Método de winkler
Sólidos suspensos totais	Método gravimétrico
Sólidos suspensos voláteis	Método gravimétrico
Sólidos suspensos fixos	Método gravimétrico
Sólidos dissolvidos totais	Método gravimétrico
Sólidos dissolvidos voláteis	Método gravimétrico
Sólidos dissolvidos fixos	Método gravimétrico
pH	Determinação por pH-metro
Turbidez	Método nefelométrico
Condutividade elétrica	Método instrumental
Temperatura	Termômetro

### **3.2.3 Análise microbiológica**

O indicador utilizado para a quantificação microbiológica de contaminação foram os coliformes termotolerantes (Figura 17). A metodologia utilizada foi a de membrana filtrante e seguiram os procedimentos descritos em APHA, AWWA, WEF (2012).

Figura 17 – Colônias de coliformes termotolerantes



### **3.2.4 Análises estatísticas**

Os dados físico-químicos e microbiológicos foram submetidos à análise exploratória, e posteriormente foi aplicada a estatística descritiva (média, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação) para todas as variáveis determinadas.

Os dados pluviométricos e de temperaturas máxima e mínima (de 16 de março a 21 de setembro de 2016) foram adquiridos junto à AESA.

Depois de aplicada a estatística descritiva, foi construída a matriz de correlação, aplicada para indicar a dependência de uma variável em relação a outra, ou seja, a existência de correlações significativas entre diferentes conjuntos de dados.

A análise descritiva foi realizada com o auxílio do software ActionStat 3.1, que pode ser adquirido pelo Portal Action, que funciona no Excel do Pacote Microsoft Office 2013 for Windows, como uma espécie de plugin.

### **3.3 Terceira Etapa**

#### ***3.3.1 Planejamento do estudo batimétrico***

Dentre as metodologias apresentadas na literatura, o método do espaçamento fixo foi o que mais se adaptou às características do reservatório em estudo.

Inicialmente, na definição do afastamento entre as linhas, foi cogitada a possibilidade de se utilizar o método do espaçamento delimitado em função da escala de representação do mapa, porém, o Açude Velho é considerado um reservatório pequeno, a escala a ser utilizada seria 1/2000, o que resultaria em seções equidistantes em 20 metros. Esse distanciamento foi considerado inviável de se executar, pois seria dispendioso e consumiria um tempo elevado. Foi também considerada a possibilidade de executar o método baseado em equações para determinação da distância entre seções, no entanto, foi descartado, pois o mesmo resultaria num número de seções insuficientes para a análise do relevo de fundo do reservatório.

Optou-se, então, pelo método do espaçamento fixo entre seções de levantamento, utilizando o distanciamento de 30 metros entre as seções, como aconselha o método de Ferrari & Collins (2006). Este método resultou em uma malha de pontos suficiente e viável para realização da batimetria do Açude Velho.

O estudo de batimetria do Açude Velho teve seu desenvolvimento embasado no seguinte roteiro:

- ✓ Esboço da malha batimétrica;
- ✓ Levantamento da altura da lâmina d'água e de sedimento;
- ✓ Processamento dos dados;
- ✓ Elaboração da planta batimétrica.

Os equipamentos utilizados (Figura 18) no levantamento foram:

- ✓ Haste graduada para determinação da profundidade total (altura de água + altura de sedimentos) (Figura 18a);
- ✓ Disco de pvc com corda e trena acoplados, desenvolvido para a determinação da lâmina d'água (Figura 18b);
- ✓ Trena de 30 metros (Figura 18c);
- ✓ Receptor GPS de navegação portátil (Garmin modelo GPSMAP 76CSx) (Figura 18d);
- ✓ Corda (Figura 18e);
- ✓ Barco (Figura 18f).

Figura 18 – Equipamentos

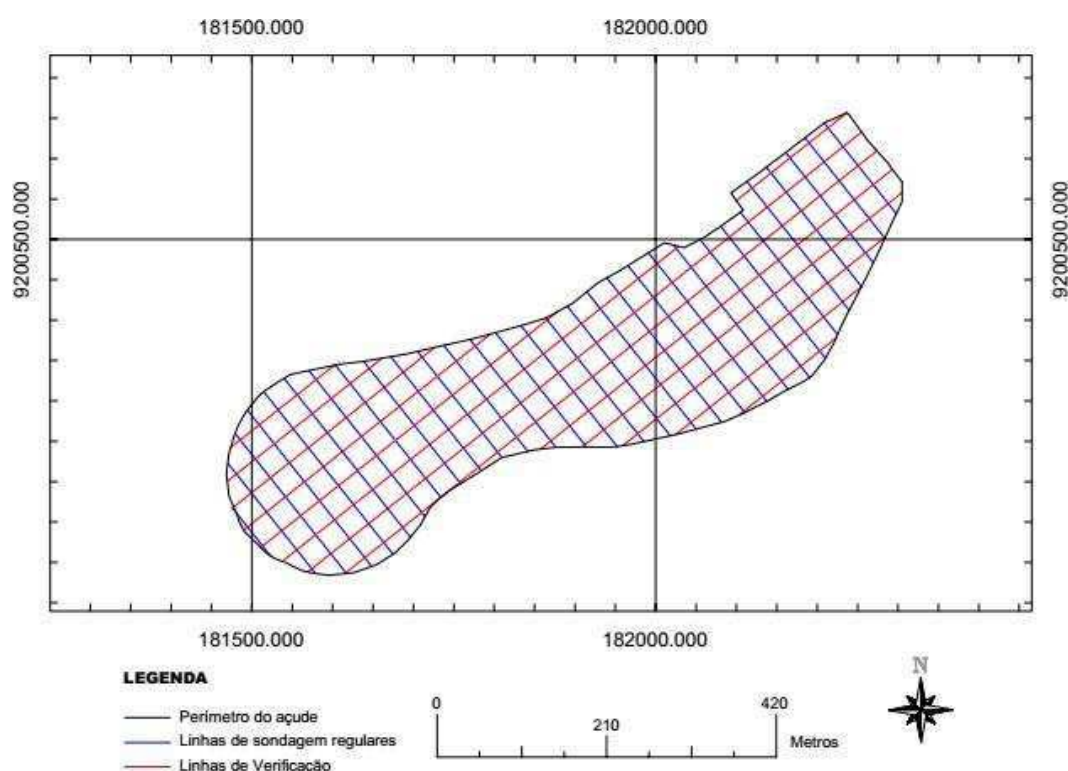


### 3.3.2 Esboço da malha batimétrica

Com o auxílio do software AutoCad Civil 3D, foram planejadas linhas de sondagem regulares e de verificação. Essas linhas foram usadas para definir a precisão do levantamento batimétrico, pois através das mesmas foram fixados os pontos de coleta das profundidades. As linhas regulares de sondagem foram projetadas de forma aproximadamente perpendicular ao eixo principal (mais alongado) do açude.

As linhas de verificação foram planejadas cruzando as linhas regulares de sondagem ortogonalmente. Para o afastamento entre as mesmas, optou-se por adotar os mesmos 30 metros das linhas regulares, pois assim resultaria numa quantidade viável de pontos de coleta de dados para o nível de detalhamento requerido no estudo. Um esboço da malha de pontos é apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Esboço da malha batimétrica



### 3.3.3 Levantamento das alturas da lâmina d'água e de sedimento

Inicialmente, a coleta dos dados batimétricos do Açude Velho seria realizada por um ecobatímetro disponível da AESA, porém o mesmo não permitia a leitura

referente à lâmina de sedimento. Assim, foi preciso adaptar uma metodologia, criando um equipamento que permitisse a obtenção dos dados de lâmina de água e de sedimentos nos pontos previamente fixados.

Procedimento:

- ✓ Demarcar os pontos de apoio ao redor do açude de 30 em 30m para auxiliar no posicionamento das linhas regulares e de sondagem (Figura 20a);
- ✓ Determinar as coordenadas geográficas de todo o perímetro do açude com um receptor GPS, para definir o contorno do reservatório;
- ✓ Posicionar a linha de verificação com uma corda de um lado a outro das margens do açude nos pontos de apoio (Figura 20b);
- ✓ Marcar com a fita métrica a cada 30m na linha de verificação, os pontos em que serão coletados os dados;
- ✓ Anotar as coordenadas geográficas de cada ponto estabelecido no item anterior;
- ✓ Inserir na massa líquida o disco de PVC com a fita métrica acoplada, de maneira que o instrumento afunde lentamente, sem turbulência e mantendo uma verticalização, até atingir a camada de sedimento. Anotar a altura correspondente à coluna d'água e repetir este procedimento em todos os pontos de cruzamento;
- ✓ Inserir na massa líquida a haste graduada, até encontrar o nível de situação primitiva do açude (solo firme). Anotar a profundidade correspondente à profundidade total (lâmina d'água + lâmina de sedimento);
- ✓ Subtrair os valores de profundidade de água com a profundidade total de cada ponto para conhecer a altura do sedimento.

Todos esses procedimentos foram realizados para os 250 pontos amostrais, organizados em uma tabela com os resultados obtidos (Apêndice A).

Figura 20 – Levantamento dos dados batimétricos



### **3.3.4 Processamento dos dados**

Os dados obtidos no estudo de batimetria foram submetidos a uma análise exploratória, na qual foi realizada a correção de alguns dados relacionados às coordenadas geográficas e às profundidades. Logo em seguida, foi aplicada a estatística descritiva.

Após o tratamento estatístico, os dados seguiram para a elaboração dos perfis, planta batimétrica e estimativa dos volumes de água, sedimento e área do espelho d'água.

A estimativa dos volumes e a área do espelho d'água do reservatório foram determinadas com o auxílio do software AutoCad Civil 3D. Para isso, foram geradas duas superfícies através das coordenadas X e Y dos pontos obtidos com o GPS e as profundidades Z medidas: uma para a lâmina d'água e outra para a lâmina total. O AutoCad Civil 3D utiliza o método da triangulação para interpolar os dados dos pontos não levantados e gerar as superfícies.

### **3.3.5 Elaboração da planta batimétrica**

Os perfis do Açude Velho, bem como a planta batimétrica foram elaboradas pelo software AutoCad Civil 3D, a partir dos pontos georreferenciados pelo GPS com seus respectivos valores de lâmina de água e sedimento.



## 4 RESULTADOS

Para um melhor entendimento desta pesquisa este capítulo é dividido em quatro subcapítulos. O primeiro diz respeito à identificação das fontes poluidoras, o segundo trata da apresentação dos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas, bem como dos testes estatísticos, o terceiro refere-se à batimetria do açude e, por fim, o quarto apresenta uma discussão geral do trabalho.

### 4.1 Fontes poluidoras

Em uma pesquisa exploratória das prováveis fontes de poluição afluentes ao Açude Velho, foram identificados 15 pontos de contribuição distribuídos ao longo das margens de todo o reservatório. Após a identificação desses pontos, foram determinadas as coordenadas geográficas de cada ponto com o auxílio de um sistema de posicionamento global GPS (Garmin modelo GPSMAP 76CSx), conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Pontos de contribuição afluentes ao açude



Fonte: Adaptado do Google Earth (2016)

Após as identificações dos pontos de contribuições afluentes, foram observados quais dessas fontes apresentavam escoamento em dias não chuvosos,

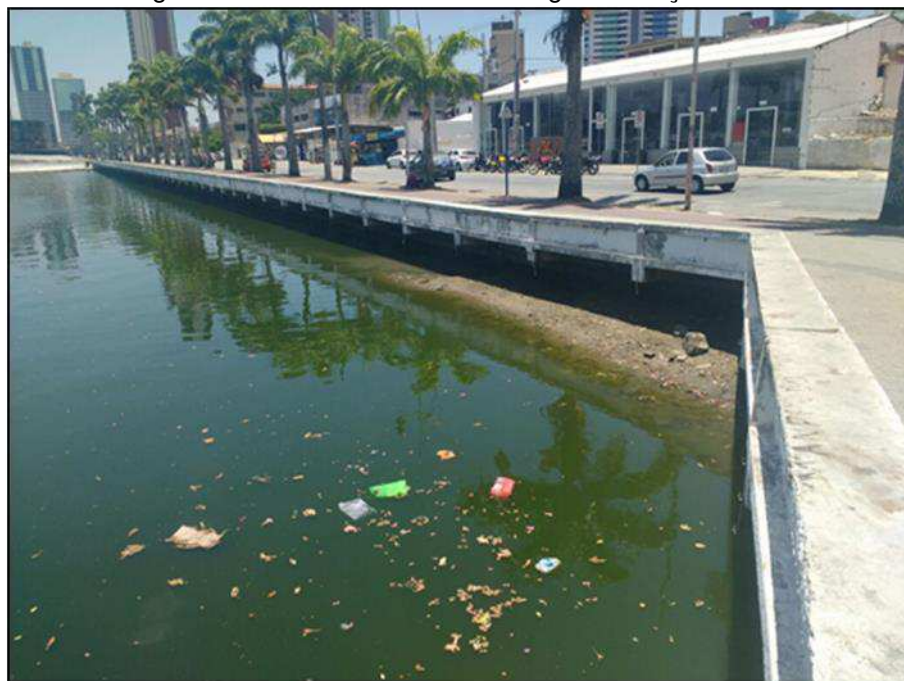
o que seria um forte indicativo de ligações clandestinas conectadas ao sistema de drenagem da cidade. A Figura 22 exemplifica alguns desses pontos.

Figura 22 – Tubulações afluentes ao açude



A contaminação do reservatório não se resume somente às ligações clandestinas conectadas às galerias pluviais, que adentram o açude, mas também do Canal das Piabas que recebe efluentes de sua bacia de contribuição e resíduos sólidos lançados clandestinamente pela população e que são carregados juntamente com as águas para o Açude Velho em épocas de grandes fluxos de águas. A Figura 23 ilustra o ponto de recebimento das águas do Canal das Piabas no Açude, com alguns resíduos sólidos submersos.

Figura 23 – Resíduos sólidos nas águas do Açude Velho



O Açude Velho não apresenta um aspecto estético totalmente indesejável porque rotineiramente funcionários da Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente (SESUMA) recolhem com peneiras o material grosseiro e submerso, das margens do açude.

Durante a rotina de coleta, a representante dos proprietários de quiosques localizados nas margens do Açude Velho explicou que a maioria dos efluentes dos quiosques é lançado clandestinamente nas águas.

Assim, fica evidente que as águas do Açude Velho são constituídas de águas pluviais e águas residuárias diversas provenientes de fontes pontuais e difusas. Dessa forma, o Açude Velho pode ser considerado uma grande lagoa de estabilização. Essa situação não é única no Brasil, considerando que vários ecossistemas aquáticos de águas doces, lênticos e lóticos, situados em centros urbanos e nos seus arredores, se encontram nas mesmas condições.

Também é importante enfatizar que a situação não é mais precária devido ao processo de autodepuração e serviços ecológicos que ocorrem nessas águas. No entanto, esses ambientes aquáticos se tornam eutrofizados, o que acarreta degradação da qualidade das águas. Vale salientar que muitos desses corpos de água são usados pela população, especialmente em épocas de seca para o abastecimento doméstico.

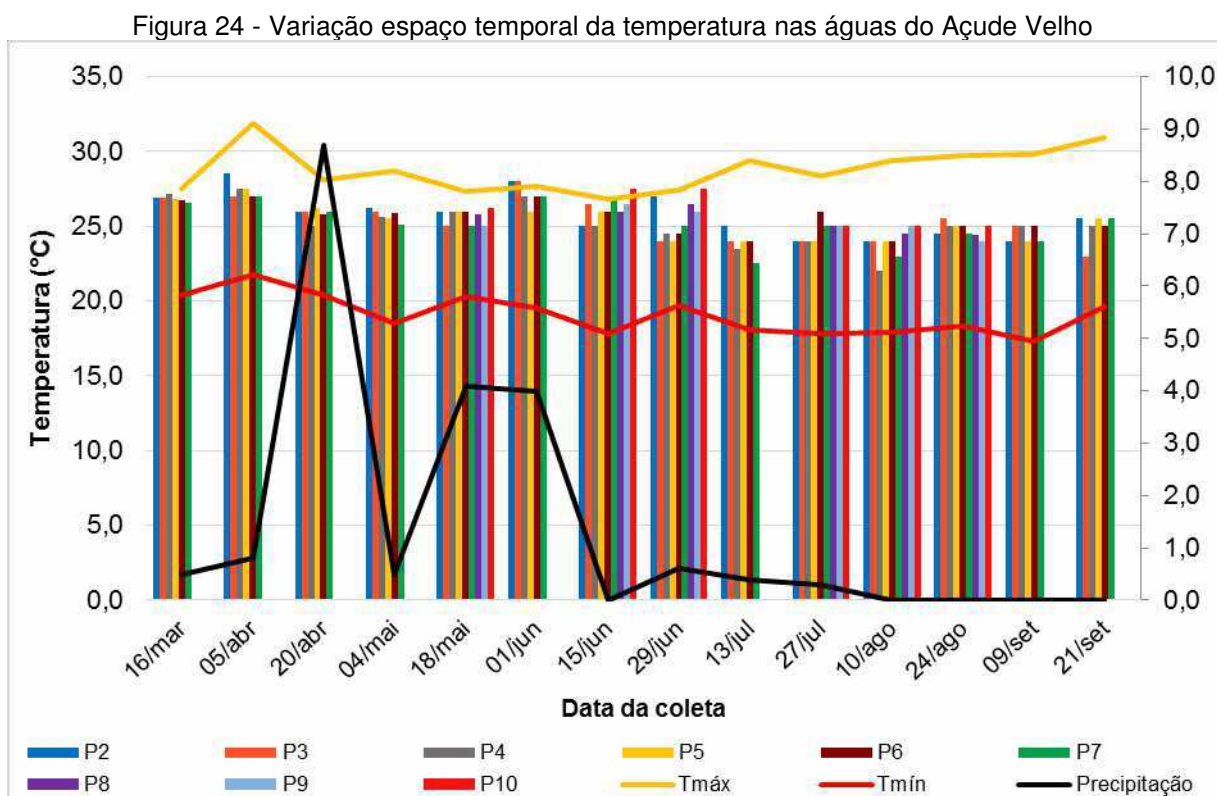
## **4.2 Parâmetros físico-químicos e microbiológico**

Com o objetivo de analisar o comportamento dos indicadores de qualidade das águas em relação à pluviosidade, foi utilizada, em cada coleta, a média aritmética da precipitação de três dias, o dia da coleta e os dois que o antecederam, permitindo uma melhor visualização de sua influência sobre os indicadores de qualidade.

### **4.2.1 Temperatura**

A temperatura das águas do Açude Velho, para todos os pontos analisados (Figura 24), variou na faixa de 22,0°C (P4) a 29,0°C (P1), com média de 25,5 °C. Na

Figura 24 é apresentada com linhas sólidas a variação espaço temporal da temperatura ambiente. A linha amarela ilustra a temperatura máxima e a vermelha a temperatura mínima. Assim, pode ser observado que a temperatura da água, na campanha de coletas, sempre se manteve acima da mínima ambiente e que apenas nos meses de junho e julho, em alguns pontos, foi superior à máxima.



Valores semelhantes foram obtidos por Castro (1994), no mesmo açude, sendo que a faixa de variação da temperatura da água foi de 23-29°C com média de 26 °C.

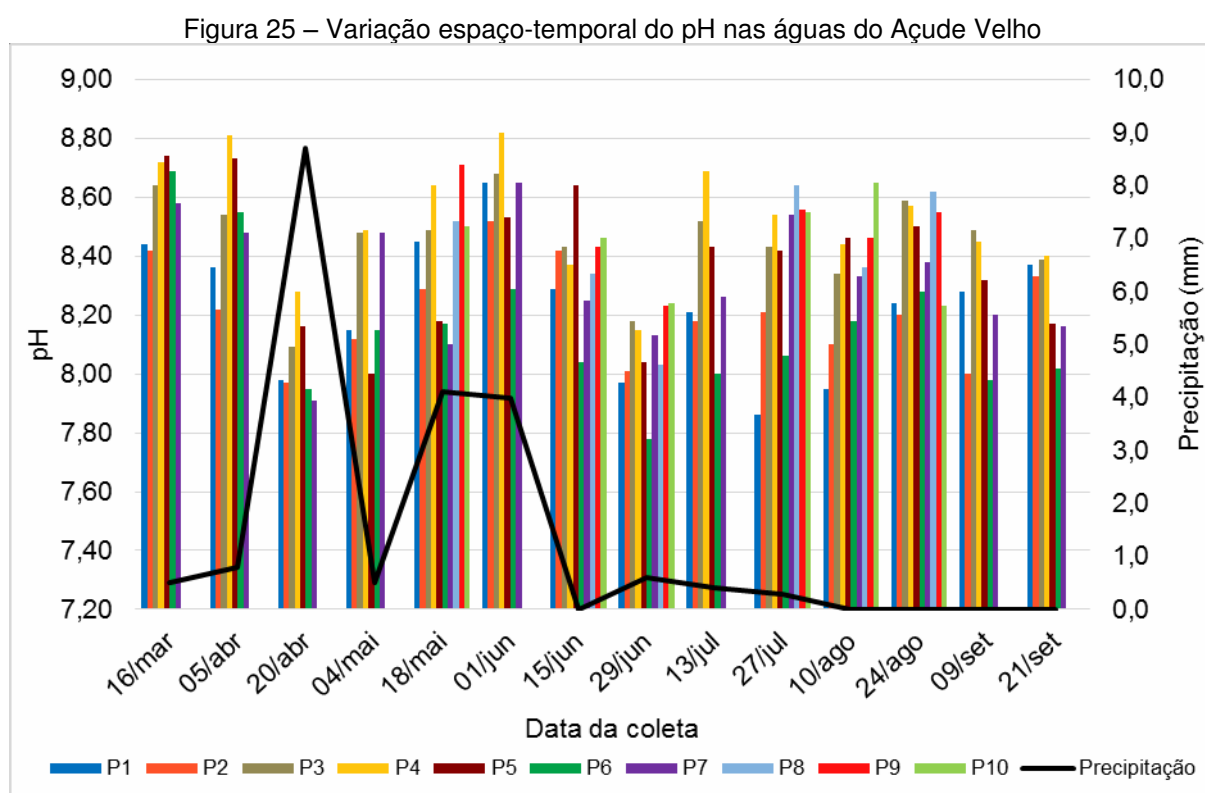
Segundo Esteves (2011), a temperatura da água exerce influência direta sobre o metabolismo dos organismos aquáticos e em vários indicadores da qualidade de água, especialmente na concentração do oxigênio dissolvido. Nos lagos, em dias mais quentes, em que a ação dos ventos é menos intensa, a camada superficial das águas se aquece e se torna menos densa que as demais. Essa camada, epilímnia, caracterizada por uma temperatura mais quente, em ambientes tropicais é quase sempre superior a 20°C. No entanto, nos dias de redução acentuada de radiação solar, os lagos perdem energia, sob a forma de calor para a atmosfera e a camada superficial da água esfria e torna-se densa.

O processo descrito por Esteves ocorreu nas águas do Açude Velho. No entanto, mesmo nos dias de menor radiação solar e eventos de chuva, a temperatura das águas da camada superior, sempre ultrapassou 20°C. Este fato, provavelmente está associado com a própria dificuldade das águas de perder calor, devido a esse fato que a temperatura não alcançou valores inferiores a 20°C.

A precipitação não apresentou influência nos resultados de temperatura durante o monitoramento.

#### 4.2.2 pH

A variação espaço-temporal do pH nas águas do Açude Velho, Figura 25, mostra que o mesmo se manteve na faixa de 7,8 a 8,8 com média de 8,3. Os maiores valores ocorreram no ponto P4, provavelmente pelo fato desse ponto se localizar ao lado de uma tubulação de drenagem, que carrega esgoto doméstico para o interior do açude. E os menores valores encontrados foram nos pontos P1 e P6.



A tendência do pH básico pode ser atribuída à atividade fotossintética das algas na hora da coleta, considerando o fato de que o Açude Velho é um ecossistema aquático eutrofizado. Um maior valor de pH pode ser devida às

contribuições de esgotos domésticos. No entanto, valores de pH muito elevados, são comuns em ambientes aquáticos similares.

Peixes mortos eram normalmente encontrados na hora da coleta no ponto P4, podendo este fato ser atribuído primeiramente a asfixia devido às baixas concentrações de oxigênio dissolvido e a toxicidade de algumas espécies químicas. A conversão da amônia ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ) para amônia livre ( $\text{NH}_3$ ), fenômeno que ocorre quando se tem altos valores de pH ou ao elevado consumo de oxigênio no ambiente eutrofizado durante a noite.

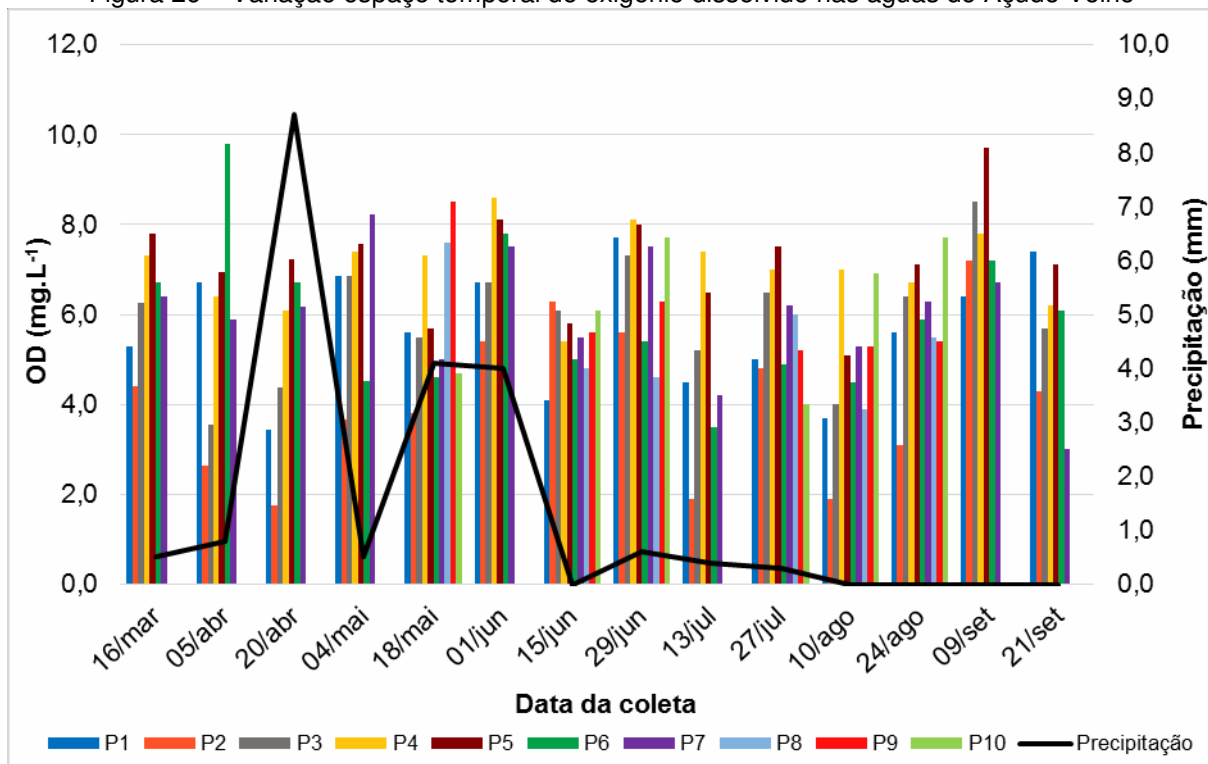
A precipitação um pouco mais elevada, no terceiro dia de coleta, em relação aos outros dias, parece ter promovido uma queda no pH que voltou a subir nos dias posteriores.

#### **4.2.3 Oxigênio dissolvido (OD)**

A concentração de oxigênio dissolvido variou na faixa de 1,8 (P2) a 9,8 (P6) mg  $\text{O}_2/\text{L}$  com média de 5,9 mg  $\text{O}_2/\text{L}$  (Figura 26). Vale salientar que essa faixa de variação pode ser bem maior, uma vez que ela expressou a concentração nas horas de coleta das amostras. Também é importante enfatizar que cada ponto de amostragem tinha condições ambientais peculiares. Por exemplo, no ponto P2, havia pouca circulação de água, acúmulo de folhas mortas, baixa profundidade e presença de garças, características associadas ao aumento da matéria orgânica no local. O ponto P6 que apresentou a maior concentração de OD, além de estar localizado no Canal das Piabas é característico por apresentar águas bastante esverdeadas e quase sem circulação.

Assim, pelo fato de o Açude Velho ser um ecossistema lântico e eutrofizado que recebe esgotos com vazões intermitentes e pela diversidade de fatores ambientais nos pontos de amostragem, a variação do OD apresentada na Figura 26 pode ser ultrapassada nos seus limites máximos e mínimos em cada ponto de coleta.

Figura 26 – Variação espaço temporal de oxigênio dissolvido nas águas do Açude Velho



Castro (1994) em uma pesquisa semelhante no Açude Velho encontrou uma faixa de variação de OD de 1,4 a 8,5 mg/L. Ela associou as mais baixas concentrações de O<sub>2</sub> nos pontos de coleta à proximidade de fontes de contribuição de esgotos. Entre os pontos analisados por ela, está o ponto P2 desta pesquisa que teve a sua faixa de variação de 1,8 a 7,2 mg/L, dentro da variação relatado naquele trabalho.

As concentrações de oxigênio em um corpo aquático são o resultado do balanço de oxigênio decorrente da aeração de origem atmosférica, fotossintética e consumo na respiração da biota. O fato é que nas zonas e horas de fotossíntese em ambientes eutróficos, segundo relata Von Sperling (1996), as algas podem produzir cerca de 15 vezes mais oxigênio do que consomem, produzindo um saldo positivo de OD no sistema, caso que pode ter ocorrido principalmente nos pontos P5 e P6.

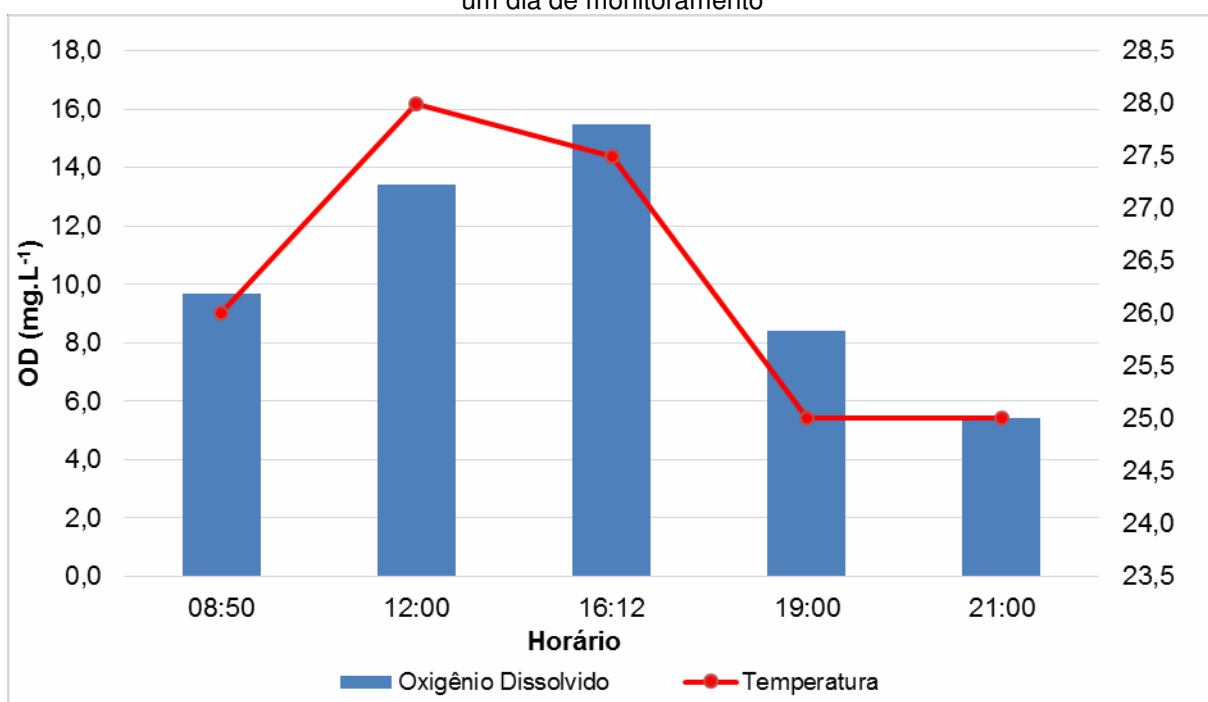
Ao longo do período amostral foi observada em alguns pontos, principalmente no ponto P3, a presença de peixes mortos boiando na superfície do açude. A mortandade dos peixes pode ocorrer pelo fato de existirem situações de hipoxia (baixa concentração de oxigênio) ou mesmo anoxia prolongadas, na maioria das vezes no período noturno. Essa situação favorece a formação de metano (CH<sub>4</sub>) e

gás sulfídrico ( $H_2S$ ), gases tóxicos para grande parte dos organismos, resultante da decomposição anaeróbica da matéria orgânica, ocasionando a mortandade dos peixes (ESTEVES, 2011).

No ponto P4, na maioria das coletas, foi observada uma grande quantidade de peixes na superfície das águas. Segundo Conceição *et al* (2009), a redução na concentração de OD provoca o fenômeno “Aiu”, como é denominado pelos pescadores, que é o adensamento de peixes na superfície da coluna d’água em busca de água mais oxigenada. De acordo com Kramer e McClure (1982) existem espécies capazes de obter oxigênio do ar ou da água, a escolha do tipo de respiração vai depender de fatores abióticos como, por exemplo, a variação de temperatura, aumento da atividade ou quando ocorre aumento do custo energético para extração de oxigênio da água.

A Figura 27 ilustra os resultados das concentrações de OD e temperatura da água ao longo de um dia no ponto de coleta P5. Observa-se que as maiores concentrações de  $O_2$  ocorreram nos horários de maior incidência solar, e à medida que se aproximava do fim da tarde, as concentrações de  $O_2$  apresentavam, gradativamente, concentrações menores. As concentrações mais baixas foram obtidas no período noturno.

Figura 27 – Variação da concentração de oxigênio dissolvido e temperatura das águas ao longo de um dia de monitoramento





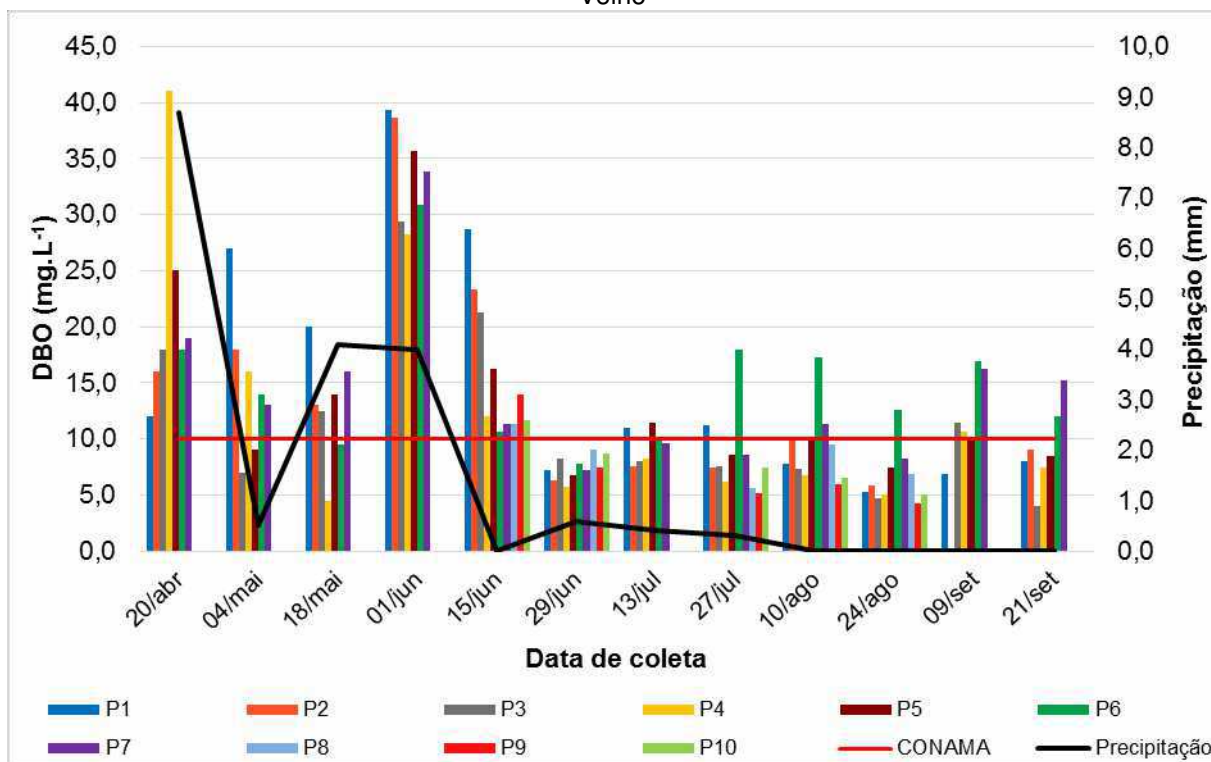
Segundo Esteves (2011) em ambientes aquáticos lânticos, como é o caso do Açude Velho, as maiores variações são observadas nas camadas superficiais, podendo a concentração de OD atingir valores muito baixos no período da madrugada ou início da manhã. Braun (1983) em um estudo semelhante de variação diária de OD, em tanques de piscicultura no estado do Amazonas, obteve resultados similares aos do Açude Velho, com decréscimo na concentração de OD durante todo o dia avaliado. A concentração de oxigênio às 20h correspondeu somente a cerca de 5% do valor máximo observado às 16h e a partir das 04h30min horas, o corpo hídrico permanecia anóxico até, aproximadamente, às 8h. Em nosso estudo não foi possível realizar análises durante a madrugada, porém, é possível observar a tendência do decaimento na concentração do OD (Figura 27) logo no início do período noturno.

#### **4.2.4 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)**

A variação de DBO ocorreu na faixa de 4 – 41 mg/L nos pontos P3 e P4 respectivamente com média de 13 mg/L. De forma geral a DBO foi baixa, porém nos dias de maiores índices de precipitação, a DBO apresentou os maiores valores. Este fato pode ser explicado tanto pelo maior carreamento de esgotos no período chuvoso como pelo carreamento das sujeiras das ruas nas primeiras chuvas.

Diante dos valores apresentados na Figura 28, é possível observar que os pontos P1, P2 e P4 alcançaram os maiores picos no período chuvoso, em especial o ponto P1 que, na maioria das coletas de maior precipitação, apresentou as maiores concentrações de DBO entre os pontos monitorados. Por outro lado, no período de menor índice de precipitação, os pontos P6 e P7 se destacaram com os maiores valores. Ao longo da pesquisa, os pontos localizados no centro do açude (P9 e P10) apresentaram as menores concentrações de oxigênio dissolvido.

Figura 28 – Variação espaço temporal da demanda bioquímica de oxigênio nas águas do Açude Velho



No início do monitoramento, o ponto P1 apresentou, mais frequentemente, valores maiores. No entanto, a partir do dia 27/07 o P6 foi o ponto que apresentou os maiores valores. Estas ocorrências podem estar associadas ao fato do ponto P1 estar localizado próximo à sangria do açude, que permite um maior fluxo de água para essa região no período chuvoso, carreando, de outros pontos do açude, uma maior quantidade de material orgânico. No caso do ponto P6, suas concentrações mais elevadas podem estar relacionadas às características deste ponto que, além de possuir pontos de recebimento de efluente, apresenta pouca diluição e movimentação de suas águas, concentrando uma maior quantidade de material biodegradável.

De acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA, a água do Açude Velho no período não chuvoso apresentou DBO compatível com água de classe 3 (10 mg/L). No entanto, no período de chuva, a DBO promoveu uma queda na qualidade da água apresentando valores superiores ao permitido na referida classe.

Na realidade, a precipitação deveria exercer um papel diluente na concentração de esgotos lançados no açude. Este fato não ocorreu devido ao

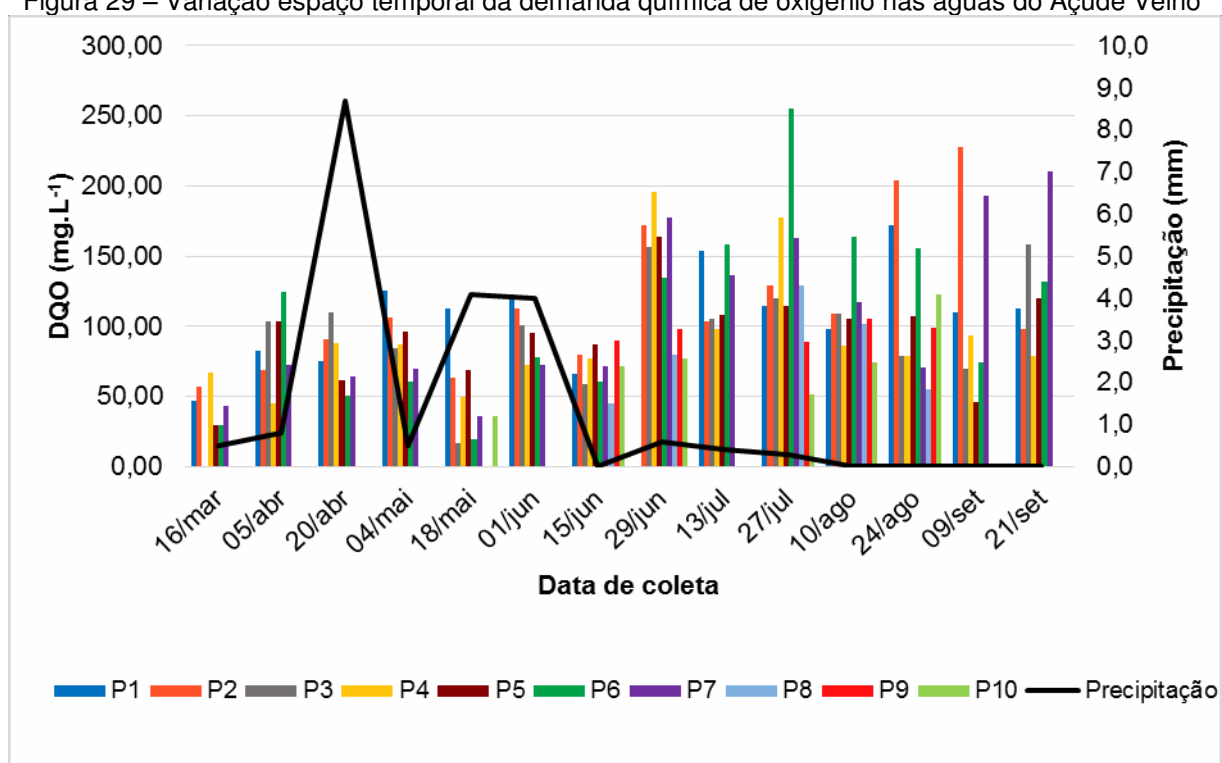
pequeno índice pluviométrico que serviu para carrear material orgânico aderido às tubulações. É importante enfatizar que, no período de amostragem, a cidade de Campina Grande encontrava-se sob regime de racionamento de água com esgotos mais concentrados e probabilidade menor de um carreamento mais efetivo.

Desta forma, as águas do Açude Velho, em relação à DBO, podem ser destinadas apenas à navegação e à harmonia paisagística.

#### 4.2.5 Demanda química de oxigênio (DQO)

A variação da DQO ocorreu na faixa de 17 - 255 mg/L nos pontos P3 e P6 respectivamente com média de 100 mg/L (Figura 29). De forma geral as concentrações de DQO variaram bastante entre os pontos, porém no período de menores índices de precipitação, a DQO apresentou valores mais elevados, caso inverso ao ocorrido na DBO.

Figura 29 – Variação espaço temporal da demanda química de oxigênio nas águas do Açude Velho



Observa-se que os pontos P2, P6 e P7 apresentaram os maiores valores, sendo todos eles no período menos chuvoso. Essas maiores concentrações podem ser associadas a uma característica em comum entre eles que são as profundidades dos pontos relativamente pequenas em comparação aos outros, fazendo com que



A grande variação espaço temporal ocorreu no ponto P6, podendo esta ser atribuída à pequena profundidade do ponto o qual é localizado no Canal das Piabas. Este canal, no período não chuvoso apresenta estagnação da massa líquida e profundidade de lâmina líquida inferior a 50 cm, concentrando material particulado na sua superfície.

As características das localizações dos pontos P2 e P7 contribuíram para os altos valores de turbidez no período não chuvoso. O ponto P2 localiza-se após uma curva o que dificulta a renovação das águas, apresentando uma área estagnada e baixa profundidade. O ponto P7 apresenta uma rampa que dá acesso às águas do Açude Velho e facilita a entrada de pessoas que se banham no açude, fazem suas necessidades e lavam roupas e animais. Estes fatos contribuem para uma maior concentração de partículas na superfície das águas.

Devido às condições ambientais mais homogêneas e à pequena turbulência, os pontos da região central do açude, P8, P9 e P10 apresentaram as menores variações espaço-temporais de turbidez.

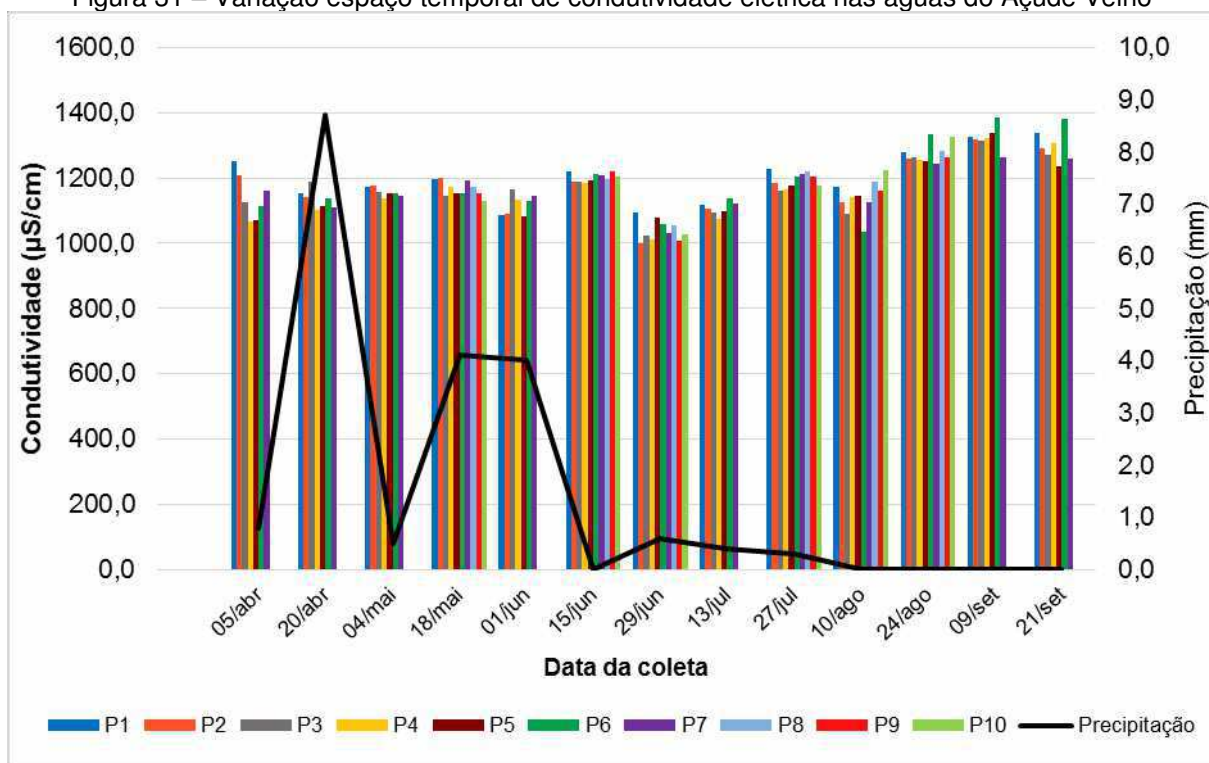
#### **4.2.7 Condutividade elétrica (CE)**

Os valores de condutividade elétrica se apresentaram elevados, na faixa de 1.000 (P2) a 1387 (P6)  $\mu\text{S}/\text{cm}$  com média aritmética de 1.176  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . As variações desses valores se apresentaram pequenas em todo o período amostral (Figura 31).

Os maiores valores ocorreram no período não chuvoso, a partir do dia 27/07/2017, especificamente no ponto P6, localizado no canal das Piabas, que não tem sua água renovada nesse período.

Não existe um valor limite na Resolução CONAMA 357/05 para este indicador, porém, atualmente, a CE vem ganhando um importante espaço na avaliação da qualidade das águas superficiais. Para a CETESB (2009) valores superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes impactados. Nesse caso, todos os pontos analisados durante a pesquisa estão com os valores 10 vezes maiores que o limite máximo, indicando que os pontos de coleta do Açude Velho representam ambientes bastante impactado em relação a esse indicador.

Figura 31 – Variação espaço temporal de condutividade elétrica nas águas do Açude Velho



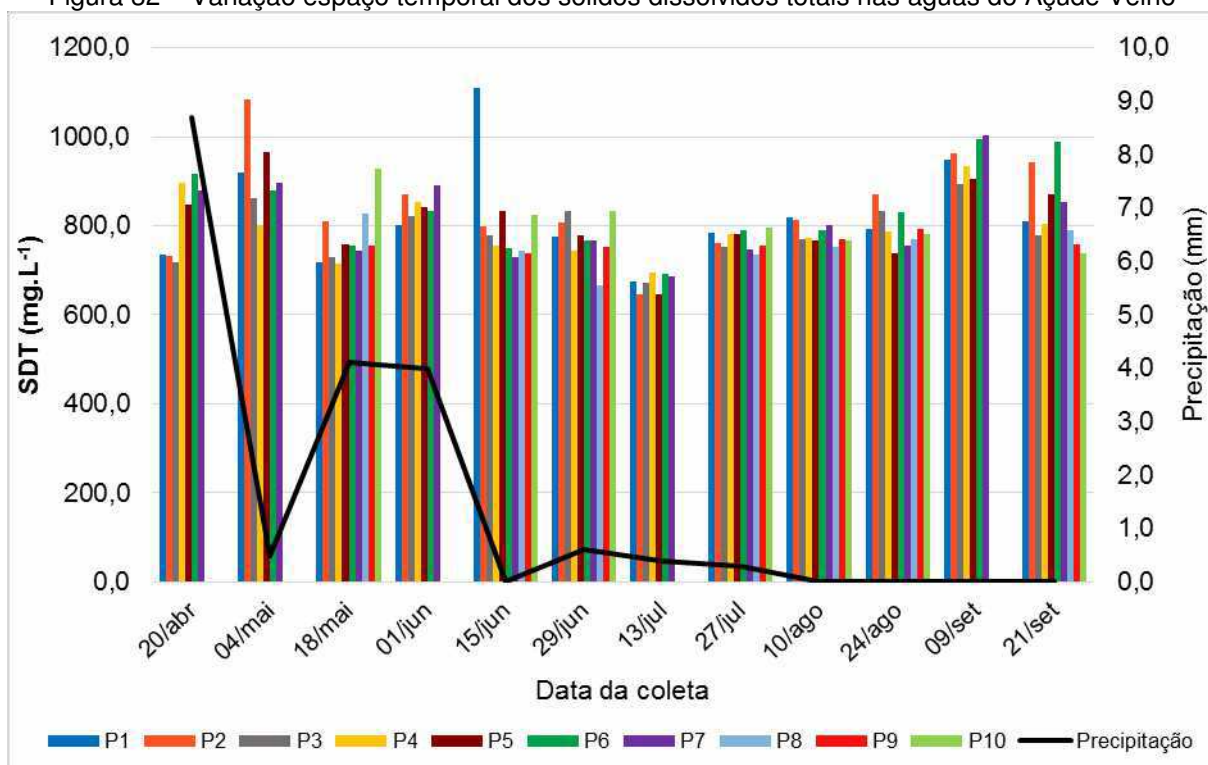
#### 4.2.8 Sólidos dissolvidos totais (SDT)

A variação espaço-temporal dos sólidos dissolvidos totais (Figura 32) se apresentou coerente com a da condutividade elétrica. Segundo APHA (2012) ela pode ser utilizada para estimar a concentração de SDT em uma amostra d'água. A maior concentração de SDT ocorreu no ponto P1 com 1.110 mg/L e a menor no ponto P5 com 372 mg/L.

De acordo com a Figura 32 pode ser observado que a pequena precipitação ocorrida no período de amostragem parece não ter influenciado nas concentrações de SDT das águas do Açude Velho.

Nesta pesquisa os altos valores de condutividade elétrica e SDT apontam para uma elevada salinidade da água. Os elevados valores de sólidos dissolvidos fixos (SDF) foram em média, superiores aos dos sólidos dissolvidos voláteis (SDV) (Tabela 3), indicando, provavelmente, carreamento de material de solos.

Figura 32 – Variação espaço temporal dos sólidos dissolvidos totais nas águas do Açude Velho



#### 4.2.9 Sólidos suspensos totais (SST)

A variação de sólidos suspensos totais (Figura 33) apresentou, no geral, comportamento semelhante, porém, notam-se alguns picos que destoaram da média, principalmente no ponto P7. A maior concentração de SST ocorreu no ponto P7 com 567 mg/L e a menor no ponto P4 com 2 mg/L.

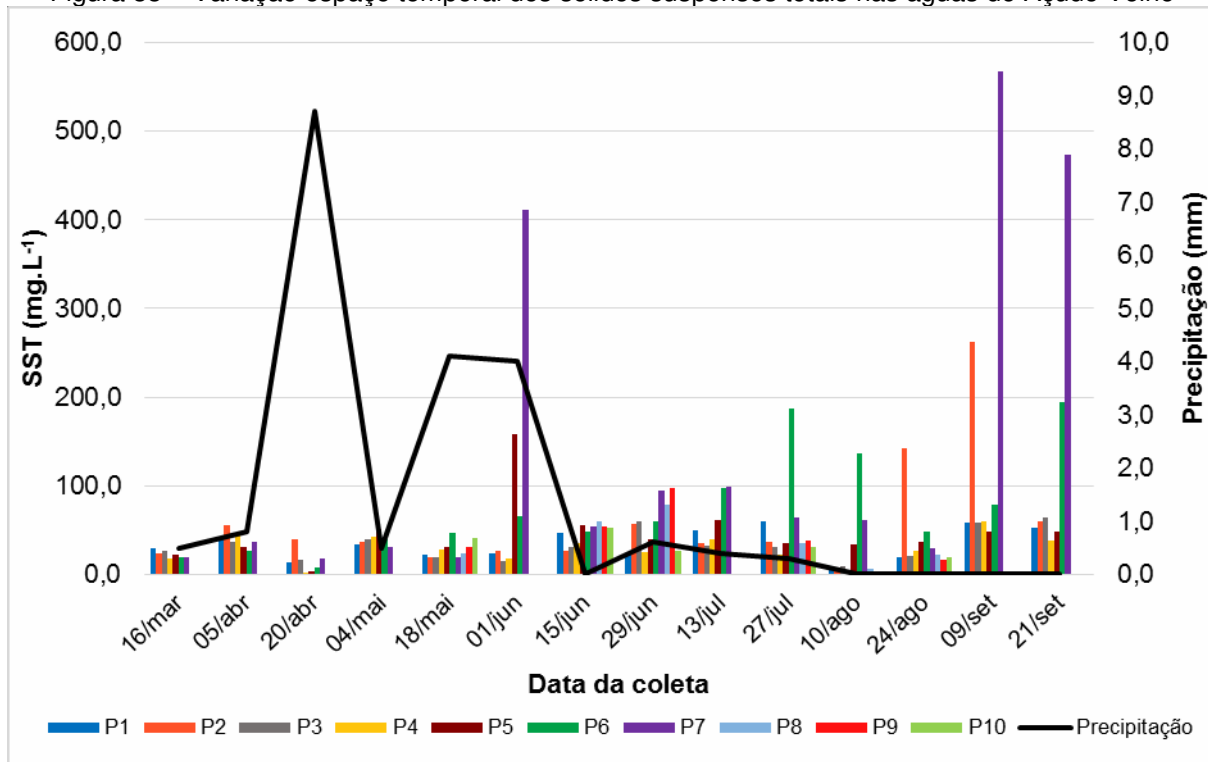
De acordo com a Figura 33, observa-se que a precipitação ocorrida no período de amostragem, aparentemente não exerceu influência nos dados de SST.

Os pontos P2, P6 e P7 apresentaram as maiores concentrações de sólidos, possivelmente devido à heterogeneidade de materiais existentes nesses pontos, tendo em vista que os sólidos suspensos são derivados de areia, silte, microrganismos e restos de pequenos animais e vegetais com diâmetro superior a 10  $\mu\text{m}$  (VON SPERLING, 1996).

As concentrações de sólidos suspensos fixos (SSF) apresentaram em média, valores superiores aos dos sólidos suspensos voláteis (SSV) (Tabela 3), indicando

que no Açude Velho a quantidade de material inorgânico se sobrepõe ao material orgânico.

Figura 33 – Variação espaço temporal dos sólidos suspensos totais nas águas do Açude Velho



#### 4.2.10 Coliformes termotolerantes (CTT)

Os coliformes termotolerantes estiveram presentes em todas as amostras coletadas. A variação de unidades formadoras de colônia por mL ocorreu na faixa de 161 UFC/mL (P6) a 1 UFC/mL (P7) (Figura 34). A significativa presença desses indicadores microbiológicos é justificada pelas contribuições de esgotos sanitários descarregadas no Açude Velho.

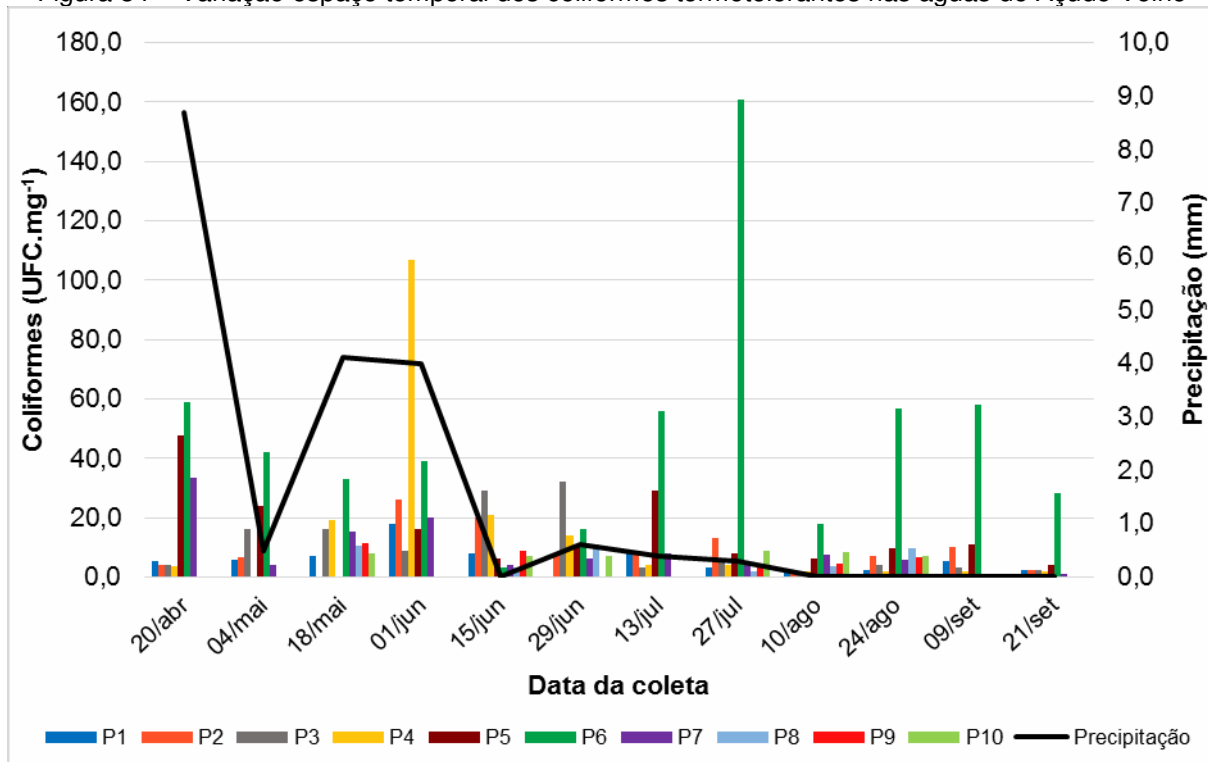
De acordo com os dados, a precipitação demonstrou não influenciar nos resultados de coliformes termotolerantes.

Os pontos P5 e P6 apresentaram os maiores números de UFC/mL, o que pode ser atribuído às características dos pontos amostrados, que além de se localizarem próximos, apresentam águas estagnadas e com altura da lâmina d'água relativamente pequena, resultando em águas mais concentradas. A contribuição de



despejos domésticos principalmente no Canal das Piabas (P6), pode ser um indicador da maior concentração nessa localidade.

Figura 34 – Variação espaço temporal dos coliformes termotolerantes nas águas do Açude Velho



Os pontos P8, P9 e P10, por estarem localizados no centro do açude, apresentaram em média, os menores valores de unidades formadoras de colônias, devido à homogeneidade das amostras de águas nos pontos centrais.

#### 4.2.11 Análises estatísticas

A estatística descritiva dos dados é apresentada na Tabela 3. Grande parte dos indicadores avaliados apresentou um coeficiente de variação elevado, acima de 30%, segundo os critérios de Paiva (2009).

A elevada dispersão apresentada pelos indicadores DBO, DQO, SST e CTT pode ser justificada pelas características do corpo hídrico que recebe lançamentos variados de efluentes e pelas condições ambientais que são diferentes em cada ponto analisado.

Tabela 3 – Estatística descritiva dos indicadores físico-químicos e microbiológico monitorados

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Temp. (°C)	N	14	14	14	14	14	14	14	6	6	6
	Max	29	28,5	28	27,5	27,5	27	27	26,5	26,5	27,5
	Min	23	24	23	22	24	24	22,5	24,4	24	25
	Med	25,6	25,8	25,4	25,2	25,3	25,6	25,2	25,4	25,3	26
C.V %	6,38	5,67	5,73	5,89	4,64	3,93	5,67	3,39	3,49	4,71	
pH	N	14	14	14	14	14	14	14	6	6	6
	Max	8,65	8,52	8,68	8,82	8,74	8,69	8,65	8,64	8,71	8,65
	Min	7,86	7,97	8,09	8,15	8	7,78	7,91	8,03	8,23	8,23
	Med	8,23	8,21	8,45	8,53	8,38	8,15	8,32	8,42	8,49	8,44
C.V %	2,75	2,05	1,93	2,31	2,89	2,96	2,54	2,71	1,89	2,01	
Cond. (µS/cm)	N	13	13	13	13	13	13	13	6	6	6
	Max	1340	1318	1316	1323	1338	1387	1263	1283	1264	1328
	Min	1088	1000	1023	1011	1070	1034	1032	1053	1009	1026
	Med	1118	1092	1085	1077	1078	1103	1087	1018	1003	1014
C.V %	7,33	7,89	7,39	8,51	7,3	10,37	6,19	7,43	8,8	9,92	
Turbidez (NTU)	N	14	14	14	14	14	14	14	6	6	6
	Max	44	216	47	41	56	142	246	29	25	24
	Min	21	16	19	17	17	18	18	20	19	19
	Med	28	44	24	21	30	53	68	25	22	21
C.V %	26,58	128,19	30,09	29,54	33,32	66,91	116,15	13,47	9,21	8,96	
OD (mg/L)	N	14	14	14	14	14	14	14	6	6	6
	Max	7,7	7,2	8,5	8,6	9,7	9,8	8,2	7,6	8,5	7,7
	Min	3,4	1,8	3,6	5,4	5,1	3,5	3	3,9	5,2	4
	Med	5,64	4,06	5,92	7,05	7,15	5,9	5,99	5,4	6,05	6,18
C.V %	24,31	41,87	22,57	12,02	16,19	27,87	22,81	24,09	20,87	25,15	
DBO (mg/L)	N	12	12	12	12	12	12	12	5	5	5
	Max	39	39	29	41	36	31	34	11	14	12
	Min	5	2	3	4	5	6	7	6	4	5
	Med	15	13	11	12	13	14	14	8	8	8
C.V %	70,88	76,56	70,03	90,79	66,63	45,24	52,94	23,99	45,97	29,19	
DQO (mg/L)	N	14	14	14	14	14	14	14	6	6	6
	Max	171,6	228	158	196	164	255	211	129	106	123
	Min	47	57	3	45	30	19	36	8	11	36
	Med	107	116	91	93	94	107	107	70	82	72
C.V %	58,37	44,63	48,78	46,28	35,97	60,77	54,59	61,61	43,08	40,95	
SST (mg/L)	N	14	14	14	14	14	14	14	6	6	6
	Max	60	262	64	60	158	195	567	79	98	53
	Min	8	8	9	2	3	8	18	6	3	3
	Med	34	59	33	29	47	75	141	38	40	29
C.V %	49,31	112,94	52,99	56,3	75,43	78,38	134,66	72,45	83,78	60,62	
SSV (mg/L)	N	14	14	14	14	14	14	14	6	6	6
	Max	40	159	41	47	47	93	253	63	82	29
	Min	5	4	5	2	2	6	8	5	2	1
	Med	21	37	20	18	24	35	52	23	26	14
C.V %	49,1	107,43	55,12	71,71	47,17	65,55	128,75	91,94	115,68	70,7	
SSF (mg/L)	N	14	14	14	14	14	14	14	6	6	6
	Max	32	103	42	30	111	149	437	52	45	45
	Min	2	3	1	0,5	1,5	0,5	2	1,5	0,5	2
	Med	13	22	13	11	22	40	89	14	14	15
C.V %	75,97	128,56	90,3	86,63	120,06	104,9	156,4	134,54	108,43	116,38	
SDT (mg/L)	N	12	12	12	12	12	12	12	6	6	6
	Max	1110	1084	893	935	966	994	1002	828	792	928
	Min	676	645	672	695	647	693	686	666	738	738
	Med	824	841	786	795	812	833	812	755	760	810
C.V %	14,35	13,74	8,13	8,88	10,39	11,45	11,32	6,71	2,24	7,62	
SDV (mg/L)	N	12	12	12	12	12	12	12	6	6	6
	Max	260	272	251	243	367	275	316	226	283	295
	Min	132	36	44	16	58	51	29	5	34	96
	Med	190	167	143	158	171	161	175	113	118	183
C.V %	23,13	40,27	47,51	42,18	49,25	46,1	56,56	65,61	67,7	39,32	
SDF (mg/L)	N	12	12	12	12	12	12	12	6	6	6
	Max	787	932	762	739	827	772	780	793	716	832
	Min	486	542	534	539	372	48	485	521	488	472
	Med	565	675	643	637	641	605	637	642	642	627
C.V %	13,64	16,32	9,56	8,33	17,82	30,99	11,86	16,12	12,02	18,73	
C. TERM(UFC/mL)	N	12	12	12	12	12	12	12	6	6	6
	Max	18	26	32	107	47,5	161	33,5	11	11,3	9
	Min	2,4	1,7	1,9	0	3,9	3	1,1	2	4	7
	Med	6,2	9,7	10,5	15	15,7	47,5	9,3	6,6	7,1	7,7
C.V %	72,8	76,44	100,09	198,5	83,77	84,8	101,09	63,52	42,87	10,72	

Nota: **N** – Tamanho amostral; **Máx** – máximo; **Mín** – mínimo; **Med** – médio; **C.V** – coeficiente de variação; **Temp** – Temperatura; **Cond.** – Condutividade; **C.TERM** – Coliformes Termotolerantes.

Os pontos centrais, P8, P9 e P10 apresentaram em sua maioria, dispersão variando de baixa a média, o que pode ser atribuído às condições ambientais mais homogêneas, características da região central do açude.

Segundo Paiva (2009), somente valores acima de  $\pm 0,70$  representam fortes correlações entre os indicadores. Na matriz de correlação (Tabela 4), pode ser observado que a maioria dos indicadores analisados apresentou correlações inferiores a  $\pm 0,70$ , o que representa baixa correlação entre eles. No caso desse estudo, serão avaliadas as correlações maiores que  $\pm 0,70$ .

A turbidez apresentou o maior número de correlações positivas com outras variáveis, ou seja, seguiu o mesmo comportamento da DBO, CTT, SST, SSV e SSF. Esta correlação já era esperada, principalmente dos sólidos em suspensão que reduzem a transparência da água devido à presença desses materiais que interferem na passagem da luz através do fluido, resultando no aumento da turbidez, assim como as partículas do material orgânico, da DBO presente na água.

A relação dos CTT com a turbidez pode ser explicada pelo fato das bactérias se comportarem como um colóide diminuindo a transparência e aumentando a turbidez da água.

Em relação aos SSF e o pH, sugere-se que essa relação contrária pode ter ocorrido em função da entrada de metais no corpo hídrico, proveniente da atividade antrópica ou elementos participantes dos ciclos hidrogeoquímicos. Segundo Yabe & Oliveira (1998), no estudo de metais pesados em águas superficiais, à medida que o pH aumentava, havia queda nas concentrações de Fe, bem como da maioria dos metais, isso ocorre devido ao aumento do pH que diminui a solubilidade dos íons metálicos.

As contribuições metálicas associadas ao Açude Velho podem estar relacionadas ao acúmulo de partículas no solo ao longo do tempo, sendo carregadas para o interior do sistema aquático com o auxílio das chuvas.

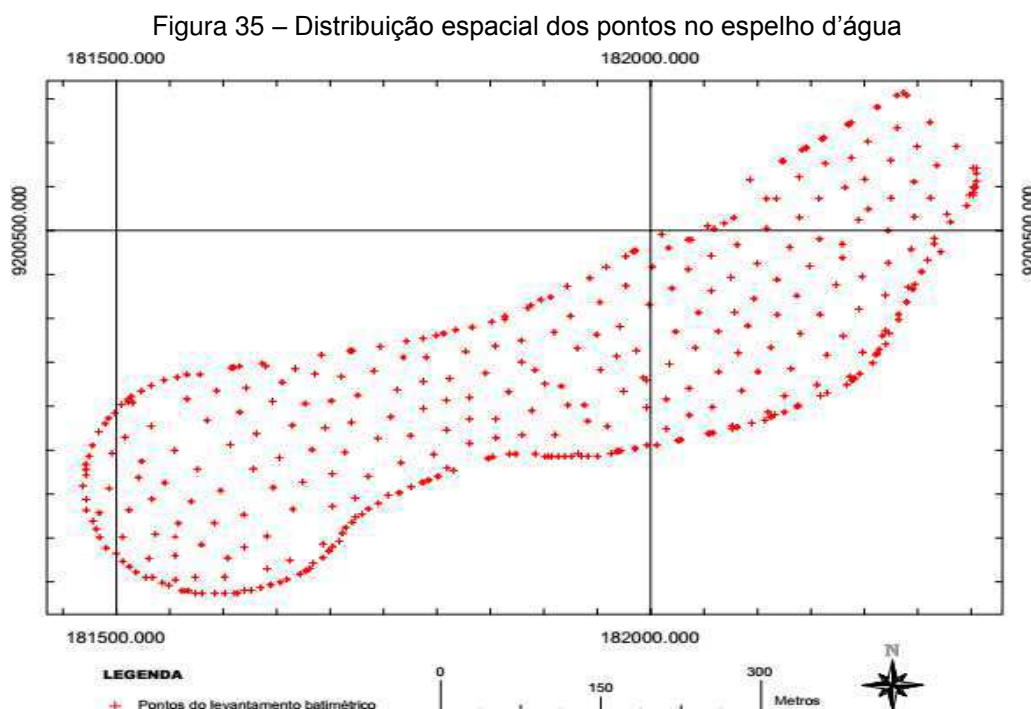
Tabela 4 – Matriz de correlação

	<i>Temperatura</i>	<i>Condutividade</i>	<i>pH</i>	<i>Turbidez</i>	<i>DQO</i>	<i>OD</i>	<i>DBO</i>	<i>C.TERM</i>	<i>SST</i>	<i>SSV</i>	<i>SSF</i>	<i>SDT</i>	<i>SDV</i>	<i>SDF</i>
<b>Temperatura</b>	1													
<b>Condutividade</b>	0,2035321	1												
<b>pH</b>	-0,5203059	0,03045332	1											
<b>Turbidez</b>	0,322154	-0,32596232	<b>-0,76392</b>	1										
<b>DQO</b>	0,4834148	-0,05345192	-0,36242	0,136855	1									
<b>OD</b>	-0,1348059	-0,61377683	0,511022	-0,03019	-0,22591	1								
<b>DBO</b>	0,3914138	-0,22096403	<b>-0,87835</b>	<b>0,825076</b>	0,216815	-0,154	1							
<b>C.TERM</b>	0,4276829	-0,2978862	-0,68733	<b>0,871894</b>	0,238701	-0,08944	0,595692	1						
<b>SST</b>	0,0951132	-0,35503104	-0,69142	<b>0,854527</b>	0,011441	-0,0756	<b>0,778517</b>	0,588347	1					
<b>SSV</b>	0,2805677	-0,43602216	<b>-0,84879</b>	<b>0,834961</b>	0,321433	-0,16937	<b>0,895908</b>	0,629216	<b>0,862516</b>	1				
<b>SSF</b>	0,1561339	-0,4440634	<b>-0,70812</b>	<b>0,904295</b>	0,088134	0,033383	<b>0,832694</b>	0,656848	<b>0,979823</b>	<b>0,887728</b>	1			
<b>SDT</b>	<b>0,8346339</b>	-0,267112	-0,57924	0,389185	0,505147	0,048389	0,545145	0,428773	0,315791	0,550585	0,38758	1		
<b>SDV</b>	0,6720045	0,01073177	-0,16927	-0,10916	0,256925	0,182648	0,255301	-0,04158	-0,22402	0,032427	-0,12975	<b>0,726294</b>	1	
<b>SDF</b>	-0,3247596	-0,2318836	0,16388	0,044855	-0,3891	-0,03186	-0,31821	0,13228	0,039768	-0,01413	-0,04345	-0,29842	-0,59538	1

### 4.3 Batimetria

#### 4.3.1 Distribuição espacial dos pontos no espelho d'água

O resultado da espacialização dos pontos referentes ao perímetro e espelho d'água do reservatório, foi obtido através da inserção do arquivo de coordenadas geográficas do aparelho GPS (Garmin modelo GPSMAP 76CSx) no software AutoCAD Civil 3D 2015. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.5** apresenta a distribuição espacial dos pontos.



Observa-se que o resultado da distribuição dos pontos levantados em campo, seguiu conformidade com o esboço da malha determinada na fase do planejamento batimétrico. Como já esperado, ocorreram divergências na localidade de alguns pontos de determinadas seções, devido à interação do GPS com o satélite, que faz uma correção diferente a cada dia, gerando diferenças na localização dos pontos entre os dias trabalhados. O afastamento maior desses pontos, foi decorrente da realização do levantamento batimétrico em 4 dias diferentes.

A maioria dos trabalhos que utilizam o método com a trena para medição das profundidades nos pontos, geralmente compara seus resultados com medições a

partir de sondas, por possuir uma maior precisão na obtenção dos dados. Bilhalva (2013) em seu estudo de metodologia convencional e alternativa para realização de batimetria em pequenos reservatórios apresenta um resultado positivo referente ao estudo estatístico entre as medições com a sonda e a trena. Os três reservatórios avaliados pelo autor apresentaram coeficientes de variação baixos não ultrapassando 15%, demonstrando que os valores foram homogêneos e que as médias foram muito próximas.

Não foi possível utilizar a sonda no levantamento batimétrico realizado no Açude Velho, porém, os resultados apresentados por Bilhalva vêm corroborar para a validação tanto da metodologia utilizada neste estudo quanto dos resultados obtidos, tendo em vista que as medições realizadas com trenas apresentam resultados similares aos da sonda.

#### **4.3.2 Detalhamento das medidas de profundidade**

No total foram levantados 250 pontos em todo o reservatório, com o intuito de determinar a profundidade da lâmina d'água e de sedimentos. O Apêndice A, apresenta a Tabela que reúne todas as coordenadas geográficas e informações correspondentes às alturas de lâmina d'água e de sedimento referentes a cada ponto.

Após a coleta dos dados de profundidades, os mesmos foram submetidos à estatística descritiva. A Tabela 5 apresenta os resultados correspondentes aos valores máximos, mínimos, médios, desvios padrões e coeficientes de variação para as alturas da lâmina d'água, de sedimento e total.

Tabela 5 – Estatística descritiva das profundidades dos pontos amostrais

<b>Profundidade</b>	<b>N.</b>	<b>Máx. (m)</b>	<b>Mín. (m)</b>	<b>Méd. (m)</b>	<b>DP</b>	<b>CV</b>
Lâmina d'água	250	3,50	0,05	2,05	1,05	51,21
Lâmina de sedimento	250	2,16	0,01	0,64	0,54	84,37
Total	250	5,25	0,20	2,74	1,48	54,01

Nota: **N** – Tamanho Amostral; **Máx** - Profundidade máxima (m); **Mín** – Profundidade mínima (m); **Méd** - Profundidade média(m); **DP** - Desvio padrão(m) e **CV** – Coeficiente de variação.

Os resultados obtidos do coeficiente de variação apresentaram valores elevados para as três medidas de profundidade, o que indica uma alta dispersão dos

dados coletados. Esta alta variação demonstra o quão heterogêneos são os dados das alturas de lâmina d'água e de sedimento no interior do açude.

Esses valores demonstram que existem áreas com maior depósito de sedimentos do que outras, ou seja, o assoreamento é maior em determinadas regiões do reservatório. É importante ressaltar que os valores mínimos obtidos para a lâmina de sedimento foram coletados nas bordas do açude, enquanto os máximos fazem parte da região mais central do corpo aquático, o que evidencia que o material sedimentado tende a se acomodar em maior quantidade nas áreas mais profundas, conduzindo para a regularização do relevo de fundo do reservatório.

Minhoni (2013) em seu estudo da estimativa de assoreamento do reservatório da PHC PIPOCA, em Minas Gerais apresenta resultados semelhantes em sua batimetria, onde a maior parte da deposição dos sedimentos aconteceu nas cotas mais baixas do reservatório. Normalmente é o que se repete nos açudes, tendo em vista que diversos fatores cooperam para uma maior deposição nessas localidades, a exemplo da própria geometria do reservatório e da granulometria dos sedimentos. Sendo assim, é de extrema importância o monitoramento da taxa de sedimentação, principalmente nos açudes situados em bacias urbanas, onde esses corpos hídricos podem desempenhar papel importante no controle de alagamentos e inundações nas cidades.

#### **4.3.3 Estimativa dos volumes de água e sedimento**

A estimativa dos volumes de água e sedimentos no interior do açude, foram obtidas com o auxílio da ferramenta de cálculo de volumes do AutoCad Civil 3D, bem como, a área do espelho d'água do reservatório. Para isso, foram geradas duas superfícies através das coordenadas X e Y dos pontos obtidos com o GPS e as profundidades Z medidas: uma para a lâmina d'água e outra para a lâmina total. O AutoCad Civil 3D utiliza o método da triangulação para interpolar os dados dos pontos não levantados e gerar as superfícies. A Tabela 6 – Estimativas dos volumes de água e sedimento e área do espelho d'água Tabela 6 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 6 – Estimativas dos volumes de água e sedimento e área do espelho d'água

<b>Volume atual de água</b>	392.370,90 m <sup>3</sup>
<b>Volume atual de sedimentos</b>	141.682,73 m <sup>3</sup>
<b>Área do espelho d'água</b>	177.248,07 m <sup>2</sup>
<b>Volume útil de armazenamento</b>	475.677,49 m <sup>3</sup>

Diante dos resultados obtidos, o Açude Velho apresentou aproximadamente 23% do seu volume total ocupado por sedimentos. Essa alta porcentagem pode ser explicada pela ausência de medidas de controle do assoreamento e das frequentes contribuições de efluentes no interior do reservatório ao longo de sua existência. Miranda (2007) na avaliação do assoreamento do açude público de Santa Luzia/PB, localizado em limites urbanos, obteve um percentual semelhante ao Açude Velho, apresentando 27% do seu volume ocupado por sedimentos.

Medeiros (2008) em um estudo no Açude de Bodocongó, também localizado na cidade de Campina Grande/PB, apresenta resultados significativos decorrentes do processo de assoreamento no reservatório. No período de 18 anos, a redução do espelho d'água do açude foi em torno de 19%. Este alto percentual foi atribuído às más condições de conservação, e à falta de fiscalização dos órgãos públicos e do controle das atividades encontradas ao longo de toda a bacia

Atualmente, o Açude Velho apresentou capacidade máxima de 475.677,49 m<sup>3</sup>, levando em consideração a cota da sangria. Segundo Florentino e Sousa (1990) apud Castro (1994) em seu estudo realizado no Açude Velho, o mesmo apresentou 515.510,00 m<sup>3</sup> de capacidade total de reserva de água. O processo de assoreamento ao longo dos 27 anos, compreendeu uma perda de 39.832,50 m<sup>3</sup> de sua capacidade de armazenamento hídrico.

Dill (2002), em um estudo similar da avaliação do processo de assoreamento do reservatório do Vacacaí-mirim em Santa Maria-RS, identificou uma redução da capacidade de armazenamento do reservatório de 29,45% em 29 anos. O Açude Velho em um período de 27 anos teve sua capacidade de armazenamento reduzida em 7,7%.

Os diferentes comportamentos climáticos entre as cidades de Santa Maria/RS e Campina Grande/PB são um dos motivos que justificam o maior assoreamento no



reservatório do Vacacaí-mirim em relação ao Açude Velho, tendo em vista que a precipitação média anual em Santa Maria/RS ultrapassa 1.500mm, enquanto em Campina Grande/PB se aproxima dos 600mm. Neste caso, o processo erosivo é mais intenso devido o evento de chuvas na bacia hidrográfica contribuinte, resultando em um maior arraste de partículas para o interior do reservatório. Um outro fator que pode estar contribuindo com esta diferença, refere-se às atividades de retirada de material no Açude Velho realizadas pela Prefeitura de Campina Grande, mesmo que estas não estejam seguindo um planejamento.

Nota-se que, mesmo com um percentual inferior, grande parte dos sedimentos que estão se depositando no Açude Velho teve sua origem no manejo incorreto da sua bacia hidrográfica, onde, urbanizações desordenadas existentes nos últimos anos, retirada da cobertura vegetal para prática de agricultura e pecuária na zona rural, conexões clandestinas no sistema de drenagem entre outras ações antrópicas, contribuem diariamente para o processo de assoreamento do reservatório.

#### **4.3.4 Planta batimétrica**

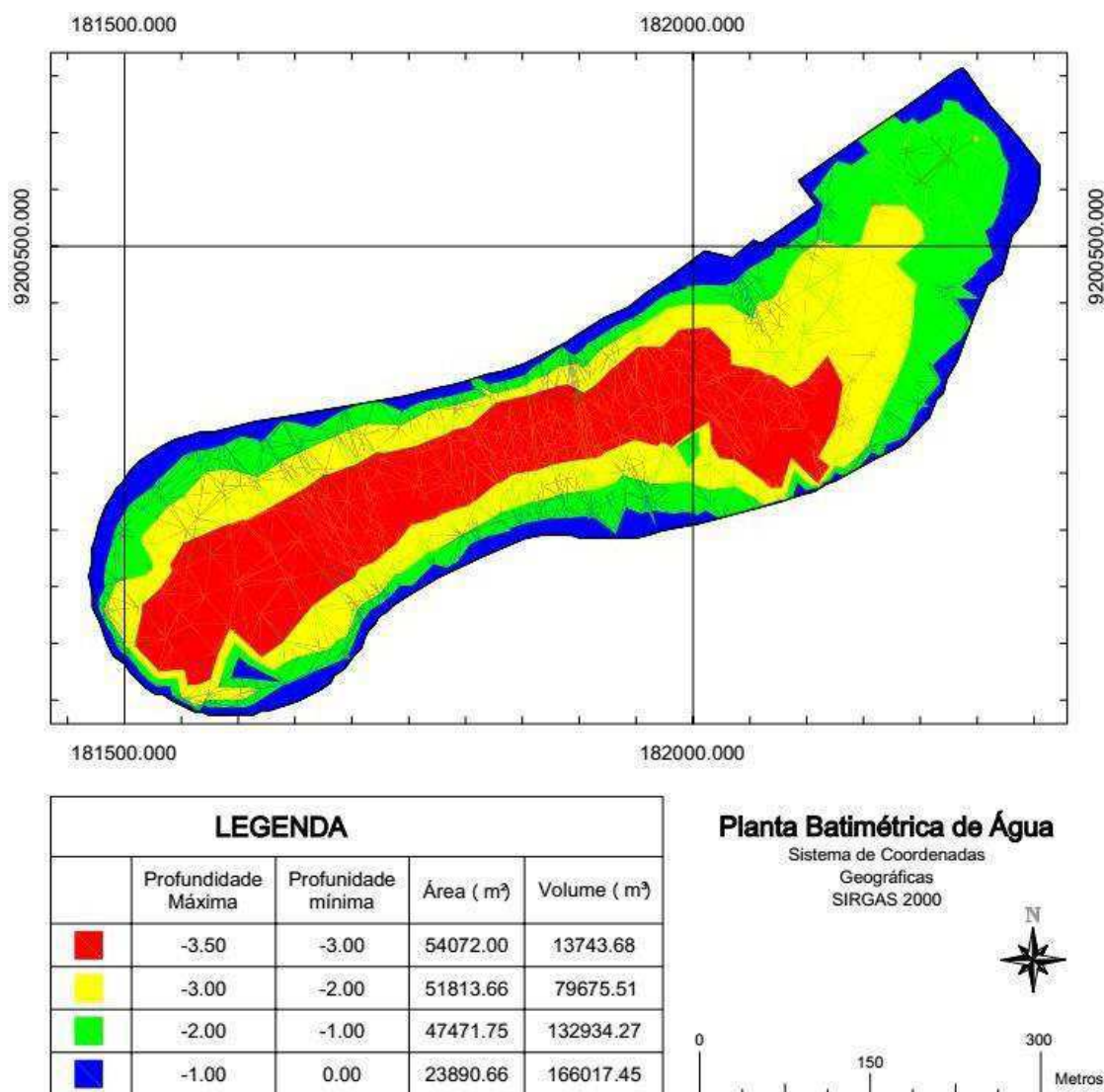
A partir dos resultados de medição das profundidades nos 250 pontos, foram elaboradas as plantas batimétricas através do software AutoCAD Civil 3D 2015.

A planta batimétrica referente à variação da lâmina d'água no Açude Velho (Figura 36) apresenta na área vermelha, a região com as maiores profundidades, variando de 3,00 a 3,50 metros de água, enquanto que a área azul corresponde as menores lâminas d'água medidas no reservatório, com variação de 0,00 à 1,00 metro.

As diferentes alturas de lâminas d'água no interior do açude são definidas principalmente pela topografia local e o próprio relevo do reservatório que favoreceram às maiores profundidades nas áreas mais centrais. Contudo, alguns fatores podem estar influenciando no comportamento hidrossedimentológico no corpo hídrico e criando zonas de maior sedimentação de partículas. De acordo com Carvalho (2008), os fatores podem ser ativos como a água, o vento, a temperatura,

a ação de microrganismos e a ação do homem e/ou passivos a exemplo da topografia, o tipo de solo, a cobertura vegetal e as práticas entrópicas.

Figura 36 – Planta batimétrica da variação de lâmina d'água no Açude Velho



Especificamente no caso do Açude Velho, os recebimentos de material particulado são bastante pontuais, como as galerias de drenagem localizadas no entorno do reservatório, e pelo canal das Piabas quando há ocorrência de chuvas fortes. Considerando o fato que parte da bacia contribuinte para o canal ainda apresenta características rurais, e encontra-se fortemente desmatada, fato que contribui para um maior arraste de partículas resultantes do processo erosivo, principalmente no período de chuvas atípicas. A Figura 37 ilustra o ponto posterior ao Canal das Piabas que interliga o canal ao Açude Velho, apresentando visivelmente uma área assoreada no ponto de entrada.

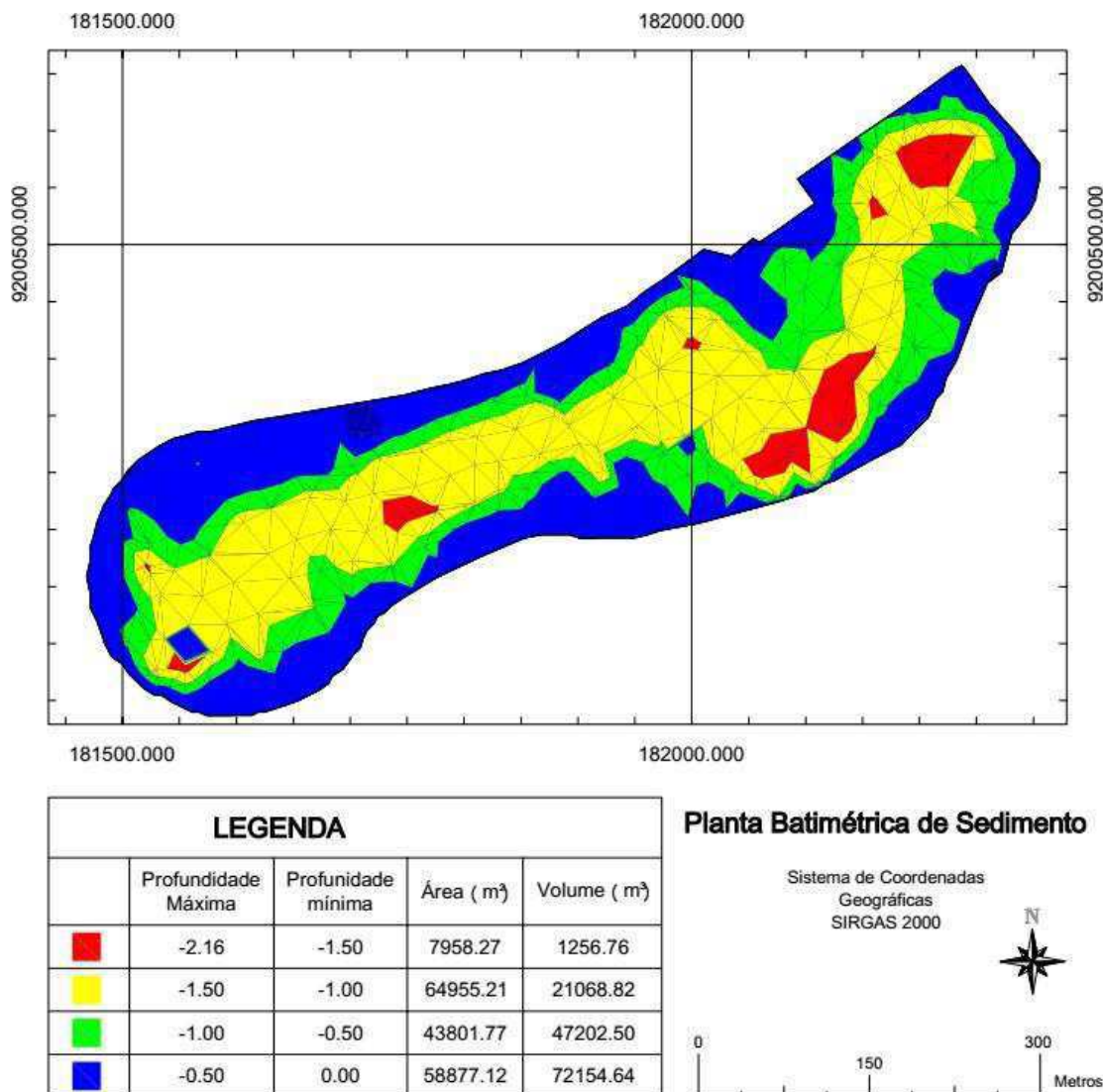
Figura 37 – Ponto de recebimento das águas do Canal das Piabas



O estudo de Florentino e Sousa (1990) apud Castro (1994) no Açude Velho apresentou dados de projeto com profundidades variando ao longo do açude de 2,50 a 4,5 metros. Atualmente, devido à escassez de chuvas em nossa região, aliada com o sistema de racionamento de água implantado na cidade de Campina Grande, obteve-se uma profundidade máxima da lâmina d'água de aproximadamente 3,50 metros. Essas maiores lâminas estão localizadas próximo ao sangradouro, pela tendência natural das águas escoarem para a sangria quando o açude se encontra com o nível mais elevado e nas áreas centralizadas do reservatório, devido as cotas mais baixas que permitem reservar um volume maior.

A planta batimétrica referente à variação da lâmina de sedimento no Açude Velho (Figura 38) apresenta variações de 0,00 a 2,16 metros. A região representada pela cor azul demonstra que as menores lâminas de sedimentos, encontram-se nas margens do reservatório, embora seja possível identificar áreas visivelmente assoreadas, com formação de bancos de areia, situados principalmente, ao longo da margem esquerda do açude. A própria topografia do açude, por apresentar cotas mais altas no entorno, fez com que o acúmulo, tanto de água, quanto de sedimento fosse menor nessas regiões, devido ao escoamento natural para as cotas mais baixas.

Figura 38 – Planta batimétrica da variação de lâmina de sedimentos no Açude Velho



As áreas em vermelhas apresentaram as maiores lâminas de sedimentos, variando de 1,50 a 2,16 metros. Uma dessas áreas foi a região que conecta o Canal das Piabas com o Açude Velho, resultado que condiz com o esperado, pois depósitos maiores são formados na entrada dos principais afluentes, uma vez que, nessas regiões, materiais grosseiros tendem a sedimentar. Albertin et al. (2010), em um estudo da deposição de sedimentos no reservatório Três Irmãos no Estado de SP, obteve resultados similares, com grande parte dos depósitos de sedimentos concentrados nas entradas dos afluentes.

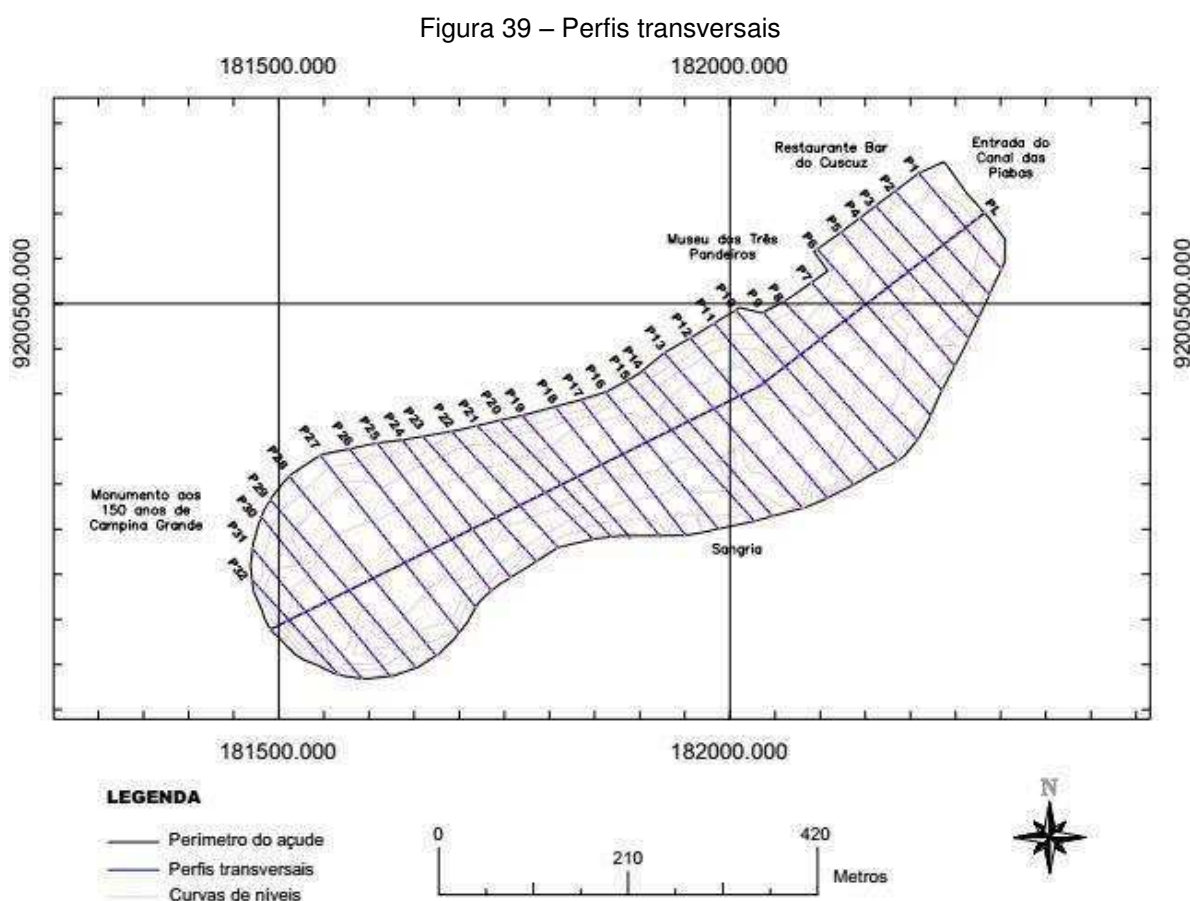
A área localizada próximo ao sangradouro também apresentou grandes camadas de depósitos de sedimento, devido às cotas mais baixas encontradas nas

proximidades da sangria que tendem a acumular uma maior parte dos sedimentos transportados.

Segundo Carvalho et al. (2000), os sedimentos se depositam pela influência do reservatório e se estendem para montante e para jusante não se distribuindo uniformemente dentro do corpo aquático. Nesse caso, o Açude Velho apresentou comportamento normal em relação à localização das áreas com maior aporte de sedimento.

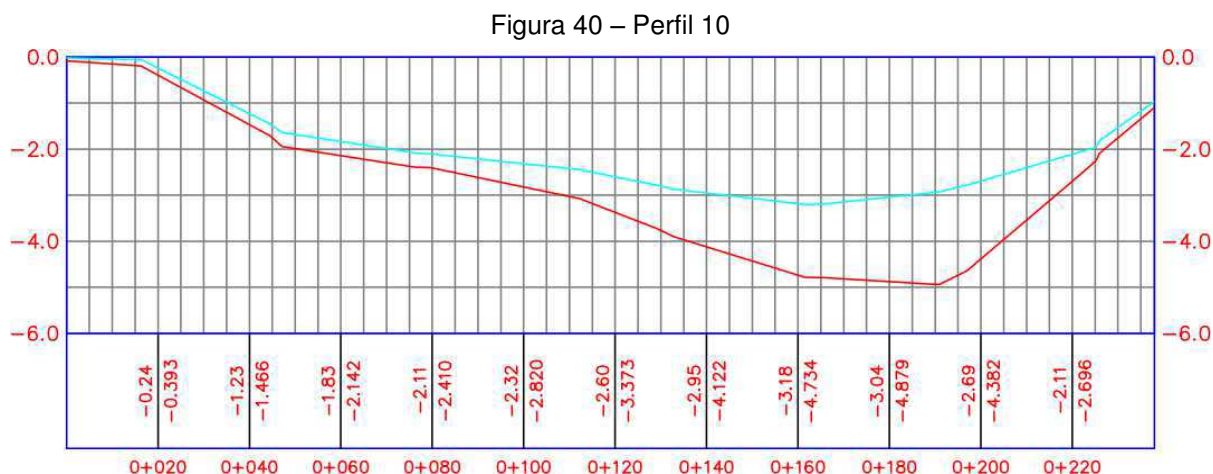
#### 4.3.5 Análise dos perfis

No total foram levantados 32 perfis transversais pelo software AutoCad Civil 3D. Todos eles encontram-se disponíveis no Apêndice B. O croqui com a disposição desses perfis no Açude Velho é apresentado na Figura 39.



Nos perfis, a linha azul representa a interface água/sedimento, enquanto que a linha vermelha representa o final do sedimento. Abaixo estão descritas as profundidades correspondentes a cada linha, respectivamente.

O perfil 10 (Figura 40) exemplifica uma das ilhas de areia encontradas no Açude Velho, apresentando lâminas d'água próximas a zero nas margens do reservatório, o qual deixou visíveis os bancos de areia. Por outro lado, observa-se que, ao longo da seção, houve uma tendência da deposição dos sedimentos nas regiões de cotas mais baixas, localizadas no centro do açude. Esta regularização do terreno é um processo natural.



A Figura 41 ilustra a região do açude, citada no perfil 10, que apresenta visivelmente os bancos de areia localizados nas margens do reservatório, ao lado do Museu de Arte Popular da Paraíba (Museu dos Três Pandeiros).

Figura 41 – Bancos de sedimento ao lado do Museu dos três pandeiros



Segundo Carvalho et al. (2000), depósitos marginais de sedimentos finos em reservatórios, como apresentado na Figura 41, facilitam o crescimento de plantas aquáticas, cuja remoção é efetuada pela elevação do nível d'água. Essa vegetação

flutuante provoca problemas diversos, como seu apodrecimento, deposição no fundo do lago e transformação em minerais, indo se adicionar ao assoreamento. Parte da vegetação chegará às tomadas d'água, prejudicando sua operação, caso não seja retirada.

A Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente, responsável pela manutenção da limpeza da cidade de Campina Grande, informou que existe uma periodicidade da limpeza superficial do Açude Velho, quando há a retirada de materiais grosseiros em suspensão. Porém, não foi informada a existência de um planejamento definido para retirada de sedimento no reservatório. Essa remoção superficial só é realizada quando existe uma necessidade maior, a exemplo dos braços de areia ao lado do Museu, que já não apresentava uma boa estética ao Açude Velho. A Figura 42 ilustra a mesma localidade ao lado do Museu, após a remoção dos bancos de areia.

Figura 42 – Localidade do Museu dos Três Pandeiros, após limpeza

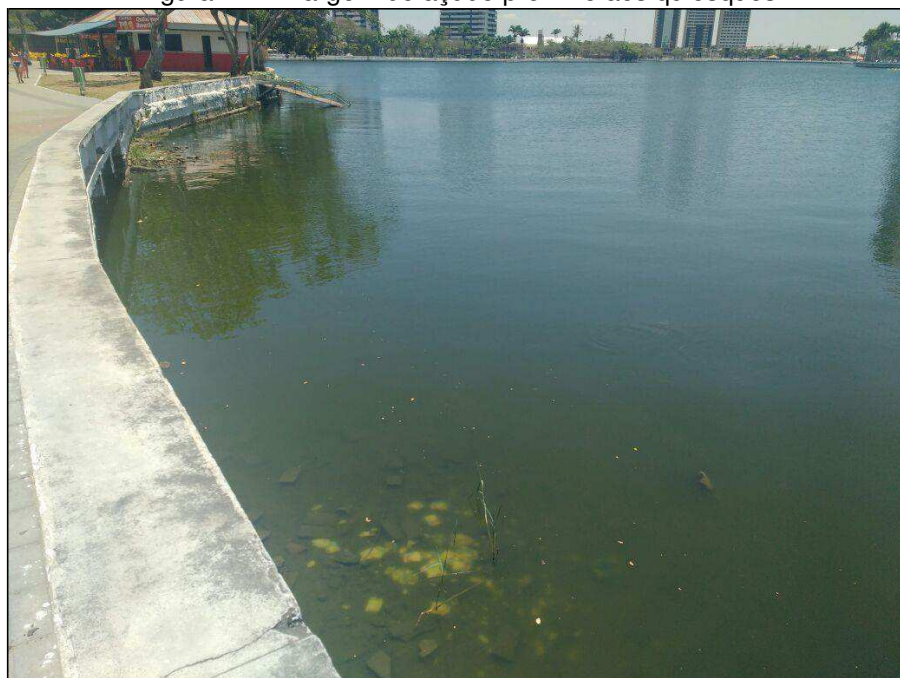


Com observações *in loco*, ao redor do Açude Velho, foram localizados outros pontos com ilhas de sedimentos visíveis, a exemplo da região em frente ao Monumento dos 150 anos de Campina Grande (Figura 43) e a região localizada na margem oposta ao Bar do Cuscuz, próximo ao início dos quiosques (Figura 44), que apresenta não só os bancos de areia, como muitas pedras.

Figura 43 – Margem em frente ao Monumento aos 150 anos de Campina Grande



Figura 44 – Margem do açude próximo aos quiosques



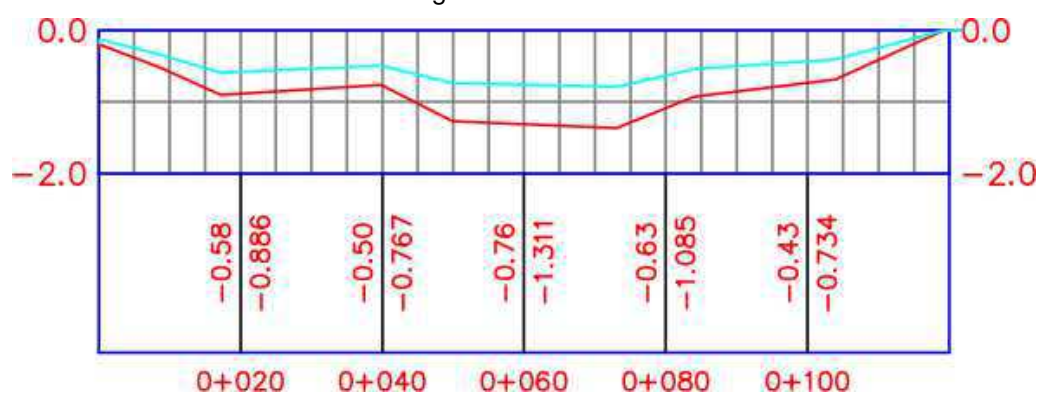
Em frente ao Bar do Cuscuz, no início da Rua Dr. Severino Cruz, também foram observados bancos de sedimento, como ilustrado na Figura 45. Porém, o mesmo estava fora dos limites dos 30 metros de distanciamento das seções. Diante do exposto, foi gerado um perfil através do software AutoCad Civil 3D e nomeado como Perfil AA (Figura 46), correspondente a essa localidade.



Figura 45 – Margem em frente ao Restaurante Bar do Cuscuz



Figura 46 – Perfil AA



No perfil AA observa-se a ocorrência de baixas alturas de lâmina d'água, reduzindo em torno de 40% a profundidade na região. Embora não apresente grande profundidade de sedimentos, percebe-se uma perda significativa do espelho d'água.

Os perfis 2 (Figura 47) e 10 (Figura 48) representam as regiões, em vermelho no mapa, com as maiores profundidades referentes à lâmina de sedimento. O acúmulo de sedimentos próximo ao Canal das Piabas pode ser atribuído ao fato dos sedimentos se moverem conforme o fluxo e velocidade da água que, nessa localidade é maior com os eventos de chuvas fortes, resultando no extravasamento da barragem à montante. Os sedimentos mais densos tendem a se depositar nessa região e permanecem em repouso já que a velocidade do fluxo vai diminuindo, enquanto os sedimentos mais finos, com baixa velocidade de sedimentação, são transportados ao longo do reservatório

Figura 47 – Perfil 2

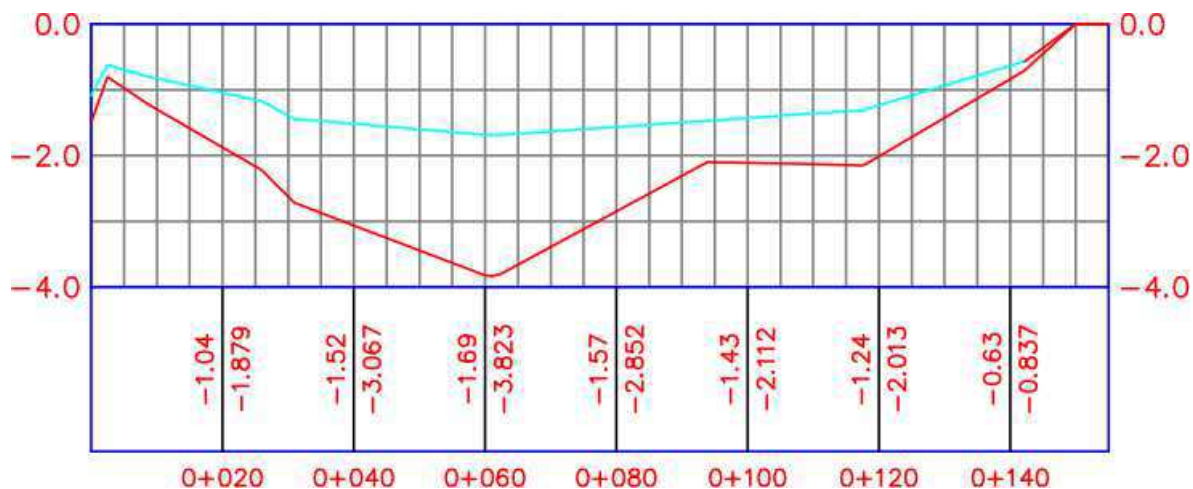
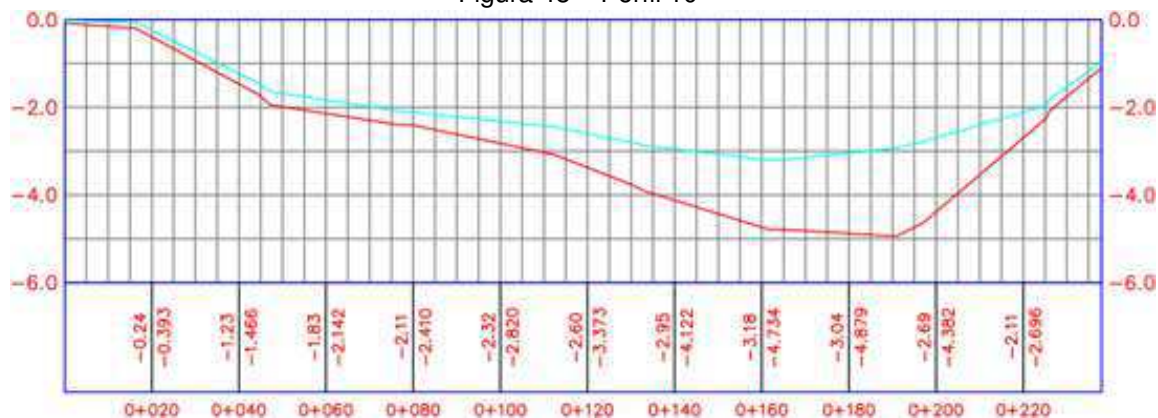


Figura 48 – Perfil 10



Segundo Branco (1998), quando a capacidade de transporte de sedimentos dos cursos d'água é excedida, ocorre a deposição destes em locais mais baixos. A região da sangria além de apresentar menores cotas, apresenta um fluxo d'água para o sangradouro. Esses fatores contribuem para os resultados obtidos tanto de maiores lâminas d'água como de sedimento nessa área.

Vale salientar que o lodo resultante da decomposição do material orgânico advindo dos efluentes domésticos também representa parte do sedimento encontrado no Açude Velho.

#### 4.3.6 Proposta de remoção de sedimento

Em dias de intensas precipitações na cidade de Campina Grande, vários pontos de alagamentos são identificados pela cidade, causando sérios transtornos aos cidadãos campinenses. Nos arredores do Açude Velho, rapidamente é possível

identificar as ruas inundadas em decorrência da ineficiência do sistema de drenagem, que dificulta o escoamento das águas para o açude. A Figura 49 ilustra um caso registrado no dia 5 de março do ano de 2015.

Figura 49 – Transbordamento do Açude Velho



Fonte: Portal G1 PB.

Devido a essa problemática, fazem-se necessárias medidas preventivas para mitigar ou até mesmo sanar os danos causados especificamente nessa área. Dentre as possíveis soluções viáveis, a remoção de parte do sedimento do Açude Velho, apresenta-se como uma boa alternativa para o recebimento de um maior volume de água, principalmente em períodos que antecedem aos eventos de chuvas.

Conforme apresentado na planta batimétrica da Figura 38, os sedimentos são separados por camadas e cada uma corresponde a um volume de sedimento. Tendo em vista a complexidade da retirada desse sedimento nas áreas mais centrais do açude, este trabalho propõe como alternativa, a retirada do sedimento localizado somente no entorno do Açude Velho, caracterizado pela cor azul na planta apresentada na Figura 38.

Estima-se que, ao ser retirado todo o sedimento localizado na área azul, aumentará cerca de 72.154,64 m<sup>3</sup> o espaço para recebimento de volume de água no açude. Esta proposta deve caminhar juntamente com os estudos de acompanhamento climatológico da cidade para que, só assim, as tomadas de decisões sejam realizadas com antecedência aos períodos críticos de alagamento.

Entende-se que existem locais no Açude Velho que não permitem a retirada do sedimento com facilidade, mesmo que em áreas marginais. Este é o caso da extremidade do reservatório onde o perfil 32 foi traçado. Devido ao grande tráfego e a altura maior em que se encontra a borda do açude nessa localidade, a remoção do sedimento seria mais complexa.

Vale salientar que não seria a opção mais viável, a remoção de sedimentos nas áreas mais centrais, que correspondem aos locais onde as profundidades de sedimentos são maiores, devido à movimentação dessas partículas, o que ocasionaria um decaimento na qualidade das águas do Açude Velho.

Este trabalho permite estimar diversas alternativas para remoção do sedimento em localidades distintas. No entanto, a escolha da remoção de sedimentos das áreas marginais foi escolhida como alternativa, devido à maior facilidade na logística de retirada do material sedimentado. Também foi considerada a remoção dos braços de areia que são formados nessas regiões marginais, que resultam em um aspecto estético desagradável, além de contribuir na formação de zonas de águas estagnadas. Por fim, embora a alternativa destacada neste estudo esteja enfatizando a remoção do sedimento nas áreas marginais do açude, não impede a realização de estudos futuros para o planejamento de novos cenários que contribuam positivamente para o gerenciamento do Açude Velho e da drenagem de sua área de entorno.

#### **4.4 Abordagem da situação atual do Açude Velho**

Com base no presente estudo é possível perceber que as ações antrópicas presentes na bacia hidrográfica e a ocupação do solo no entorno do Açude Velho, resultaram em um decaimento progressivo da qualidade das águas ao longo dos anos. O reservatório que teve objetivo inicial de abastecer a cidade de Campina Grande/PB, hoje destina suas águas para compor a paisagem local.

O açude além de se apresentar como ponto turístico da cidade, atua como bacia de retenção, medida que minimiza os efeitos da impermeabilização elevada nas áreas urbanizadas. Porém, em dias de intensa precipitação, o açude não possui a mesma eficiência em promover o armazenamento temporário das águas pluviais.

Os alagamentos são frequentes nas regiões de entorno do reservatório, consequência do processo de assoreamento que vem reduzindo a capacidade de armazenamento do açude.

Devido ao baixo índice de precipitação local, sabe-se que, se o Açude Velho recebesse contribuições somente do sistema de drenagem pluvial, ele não teria o volume apresentado neste cenário atual. Nesse caso, é possível que os efluentes domésticos da cidade de Campina Grande/PB estejam contribuindo para o volume do açude através de conexões clandestinas.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológico da maioria dos pontos de amostragem constataram um corpo aquático eutrofizado e com a existência de efluentes no interior do reservatório, devido à baixa qualidade apresentada. O ponto amostral situado no Canal das Piabas (P6) apresentou os piores resultados referentes à qualidade de água. Além da pesca ser realizada neste local e nos pontos P5 e P7, em frente ao Bar do Cuscuz e ao lado dos quiosques, respectivamente, essa atividade pode trazer malefícios à saúde das pessoas, tanto das que entram em contato com essas águas, como das que consomem os peixes. A prática de piquenique no Parque da Criança, também pode oferecer riscos, tendo em vista que a grama da maioria dos parques da cidade é irrigada com as águas do Açude Velho.

O processo de degradação do açude também foi constatado pelo nível de assoreamento atual. Esses sedimentos no interior do açude, tanto podem ser areia, argila e materiais sólidos resultantes do processo erosivo da bacia hidrográfica, como também lodo do processo de estabilização do material orgânico. Grande parte desse material orgânico pode ser resultante dos efluentes domésticos e de empreendimentos situados nos arredores do Açude. O ponto P3, por exemplo, localizado próximo ao Monumento aos 150 anos de Campina Grande, na maioria das vezes, apresentou manchas de óleo, podendo ser provenientes de oficinas, lava jatos postos de combustíveis entre outros, localizados nas proximidades do açude.

A partir dos mapas gerados, foi possível perceber caminhos preferenciais para deposição de sedimentos no interior do açude. Fatores como topografia local, relevo do reservatório, localidade do sangradouro, variações das cotas, entre outros influenciaram a maior deposição do sedimento. Assim como era esperado, as

regiões de cotas mais baixas apresentaram as maiores lâminas de sedimento e de água.

Em termos qualitativos, as influências observadas acabam por modificar a qualidade da água, de forma generalizada, trazendo limitações aos diferentes usos no açude ao longo de sua existência.

Sendo assim, por toda abordagem da situação atual do Açude Velho, espera-se que este estudo possa contribuir na tomada de decisões e permita conduzir ao aperfeiçoamento do gerenciamento do corpo hídrico, mediante uso de alternativas sustentáveis que tragam melhorias tanto no aspecto estético, quanto sanitário na área em estudo.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- ✓ Foram identificados pontos de contribuições afluentes ao Açude Velho que podem ser indicativos de ligações clandestinas no sistema de drenagem pluvial, bem como, de forma direta no corpo hídrico pelos usuários de seu entorno;
- ✓ De acordo com os parâmetros analisados, o Açude Velho apresenta características de um corpo aquático eutrofizado e com qualidade limitante para pesca e irrigação, além de atividades recreativas.
- ✓ As áreas centrais do açude apresentam águas de melhor qualidade comparadas com as águas localizadas nas margens, devido às múltiplas contribuições clandestinas encontradas no entorno do açude;
- ✓ As regiões de cotas mais baixas apresentaram as maiores profundidades de lâminas d'água e de sedimento;
- ✓ O Açude Velho apresentou um processo de assoreamento significativo, com aproximadamente 23% do reservatório ocupado por sedimentos. Comparando-se aos dados batimétricos de 1990 apresentados por Castro (1994), pode-se constatar que em um período de 27 anos, o Açude Velho perdeu aproximadamente 7,7% da capacidade máxima de armazenamento de água.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016**. Agência Nacional de Água, Brasília: ANA, 2016.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2015.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2011**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2011.

ALBERTIN, L.L; MATOS, A.J; MAUAD, F.F. **Cálculo do Volume e Análise da Deposição de Sedimentos do Reservatório de Três Irmãos**. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 15 n.4 Out/Dez 2010, 57-67

ALVES, S.A. **influência das condições meteorológicas na biodegradação dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande-PB**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

ANDRADE, A. C. **Caracterização da Qualidade da Água do Reservatório da Marcela em Itabaiana-SE**. Universidade Federal de Sergipe. Monografia – Especialização em Gestão de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, 1999.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 th ed. Washington, D.C. 2012.

ARCEIVALA, S.J. **Wastewater treatment and disposal**. Marcel Dekker, New York, 1981.

BILHALVA, W.D.B; **Batimetria de pequenos reservatórios através de metodologia convencional e alternativa**. Dissertação (Mestre em Geomática). Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta**. Dissertação de mestrado, UFSM, Santa Maria, 1998. 118 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. Brasília: Ministério das Cidades, 2013.

\_\_\_\_\_. **Lei Federal nº 11.445, de 5 de jan. de 2007**. Diário Oficial da União, em 8 de janeiro de 2007.

\_\_\_\_\_. MINISTÉRIO DA SAÚDE (2006). **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília.



\_\_\_\_\_. **MINISTÉRIO DA SAÚDE (2004). PORTARIA N° 518.** Estabelece os padrões de potabilidade para água de consumo humano. Brasília. 15p.

BRITO, B de B. **Conflitos pelo acesso e uso da água: integração do Rio São Francisco com a Bacia hidrográfica do Rio Paraíba (Eixo-Leste)** PB. 2013

BUTLER, D. E DAVIS, J. W. **Urban Drainage.** Oxon, Spon Text, 2011.

CABRAL, J.B.D; FERNANDES, L.A; SCOPEL, I; BECEGATO, V.A; FIORI, A.P. **Avaliação do estado de assoreamento do reservatório de cachoeira dourada (GO/MG).** Sociedade & Natureza, Uberlândia, 21 (1): 97-119, Abril, 2009.

CAMPAGNOLI, F. O. **Assoreamento como um Geindicador Ambiental em áreas urbanas: O Exemplo da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP),** In: Anais do III Encontro de Engenharia de Sedimentos, v. 1, Belo Horizonte, MG, setembro de 1998, 135- 143p.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M.C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios.** Brasília: ANEEL. 140p, 2000.

CARVALHO, N. O. **Erosão crescente na bacia do rio Doradas (Estado de Tachira, Venezuela).** FURNAS/ELETRORÁS/CADAFE. Rio de Janeiro/RJ, (1994).

CASTIGLIA, M. C. C. P. **Disposição subaquática de rejeitos de dragagem: o caso do complexo lagunar de Jacarepaguá.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

CASTRO, S.P. **Avaliação da quantidade das águas do Açude Velho (CAampina Grande, PB).** Dissertação (Mestre em Eng. Civil) Universidade Federal da Paraíba, 1994.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. Apêndice A. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem São Paulo.** 2009.

CORDÃO, M.J.S. **Modelagem e otimização da disposição espacial de unidades de reservação em redes de distribuição de água usando geotecnologias.** Dissertação (Mestre em Eng. Civil e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, 2009.

D'ÁGUILA, P.S; ROQUE, O.C.C; MIRANDA, C.A.S; FERREIRA, A. P. **Avaliação da qualidade da água para abastecimento público do município de Nova Iguaçu.** Cadernos de Saúde Pública. Rio de Janeiro, v. 16 n. 3, p791-798, 2000.

DAKER, A. **A água na agricultura.** Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos. 1987, 7a ed. v.2, 408.

DIAS, A.P; ROSSO, T.C.A. **Análise dos elementos atípicos do sistema de esgoto – separador absoluto – na cidade do rio de janeiro.** ENGEVISTA, V. 13, n. 3. p. 177-192, dezembro 2011.

DILL, P. R. J. **Assoreamento do reservatório do Vacacaí-Mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS, 2002.

ELIAS, A.R. **Avaliação de assoreamento de represas por meio de integração batimetria-gps.**Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Presidente Prudente, 1997.

ELETROBRÁS, Centrais Elétricas Brasileiras (1991). **Diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros.** Relatório do IPH/UFRGS. Rio de Janeiro, RJ.

ENGEVIX S.A. (1980). UHE Mascarenhas – **Assoreamento da tomada d'água – Análise do problema e indicação de soluções imediatas.** Relatório para Escelsa. Rio de Janeiro, RJ.

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

ETIGONI, M.V. **Influência da quantidade e disposição de dados na modelação de terrenos aplicada a batimetria de reservatórios. Estudo de Caso: UHE Três Irmãos – SP e UHE Chavantes.** Dissertação (Mestre em Ciências da Eng. Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, 2012.

FERNANDES, C. **Microdrenagem - Um Estudo Inicial.** Campina Grande. DEC/CCT/UFPB, 2002.

FERRARI, R., COLLINS, K. Chapter 9: **Reservoir survey and data analysis.** In: YANG, C.T. (Organized). Erosion and sedimentation manual. Denver, Colorado, USA. U.S. Department of the Interior. Washington D.C., USA, 2006.

FIGUEIREDO, A.C. **AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE DE APIPUCOS, RECIFE-PE.** Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2008.

FIGUEIRÊDO, M.C.B.; TEIXEIRA, A.S.; ARAÚJO, L.F.P.; ROSA, M.F.; PAULINO, W.D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J.C. **“Avaliação Da Vulnerabilidade Ambiental De Reservatórios À Eutrofização”.** REVISTA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. v.12 N.4 Rio de Janeiro Out./Dez.2007.

FILHO, D.H.G; NETO, S.F; JÚNIOR, J.A.S; SUASSUNA, J.F; BARACUHY, J.G.V. **Uso e ocupação nas margens do açude bodocongó/PB. Revista Educação Agrícola Superior.** ABEAS - v.27, n.1, p.70-75, 2012.

FREITAS, S. S. **Eutrofização no Reservatório Marcela em Itabaiana – SE, e suas implicações ambientais.** Universidade Federal de Sergipe, 2001, 50p. Monografia – Especialização em Gestão de Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

GOES FILHO, A.H. **Dragagem e gestão dos sedimentos**. 2004, 162 p. Dissertação (Mestrado) – escola de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

GOOGLE EARTH. (2017). Disponível em: <<http://maps.google.com.br>> Acesso em: 17 maio 2017.

GUERRA, A.J.T. **Processos Erosivos nas Encostas**. Cap. 4. GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1995. 472 p.

HENRIQUES, J. A; **Distribuição da contaminação fecal em águas de drenagem afluentes do Canal do Prado, Campina Grande-PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

HRADILEK, P.J et al. **Avaliação de pequenas barragens**. Brasília: Bureau of reclamation, 2002, 74 p.

ICOLD, International Commission on Large Dams. **80 ANOS – BARRAGENS PARA O DESENVOLVIMENTO HUMANO**. Paris, 2008.

ICOLD, International Commission on Large Dams. **Sedimentation control of reservoirs / Maîtrise de l'alluvionnement des retenues**. Committe on Sedimentation of Reservoirs. Paris, (1989).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem Populacional**, 2014.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

INFANTI, J.N. & FORNASARI, F.N. **Processos de dinâmica superficial**. In: Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. 586p. P. 131-152.

Instituto Trata Brasil. **Ranking do saneamento - Instituto Trata Brasil**. São Paulo: GO associados, 2016.

KRAMER, D.L; McCLURE, M. **Aquatic surface respiration, a widespread adaptation to hypoxia in tropical freshwater fishes**. Environ. Biol. Fish, v. 7, 47 – 55, 1982

LIMA, L.R.S. **Dragagem, transporte e disposição final de sedimentos de leito de rio. Estudo de caso: Calha do Rio Tietê – Fase II**. Dissertação (Mestre em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

LIMA, R.C.S.A; BURITI, C.O; BEZERRA, H.A; PATRICIO, M.C.M. **Campina Grande hoje e amanhã. Cap: Abastecimento de água em Campina Grande (PB): Um panorâmica histórico**. Ed: Filiada a ABEU. Campina Grande, 2014.

LIRA, M.M.P. **Aspectos da gestão dos recursos hídricos na sub bacia do prata (bonito/PE) - estudo de qualidade da água.** 2000. 113f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

LUNA, B. J. C. **Características espaços-temporais do sistema do Açude Acauã-PB, e seu atual Índice de estado Trófico.** Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Paraíba, 2008. 118p.

MACHADO, W.C.; SILVA, R.A.C.; ITAME, O.Y. **Levantamento batimétrico do reservatório do Rio Santo Anastácio.** In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia. Recife, PE, 1998.

MAHMOOD, K. (1987). **Reservoir sedimentation – impact, extent and mitigation.** World Bank Tech. Paper No. 71. Washington, DC.

MEDEIROS, S.S. **ESTUDO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA DO RIACHO DE BODOCONGÓ, CAMPINA GRANDE – PB.** Dissertação (Mestre em Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

METCALF, L. & EDDY, H.P. **Tratamento De Efluentes E Recuperação De Recursos.** 5ª edição, ED. SARAIVA, 2016.

MINHONI, R.T de A. Estimativa do assoreamento do reservatório da PCH pipoca, Minas Gerais. Dissertação (Mestre em Eng. Civil). Universidade Federal de Viçosa, 2013.

MIRANDA, A.M. **Mensuração e avaliação do assoreamento do açude público de Santa Luzia, PB.** Dissertação (Mestre em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal de Campina Grande, 2007.

NAIME, R.; FAGUNDES, R.S. **Controle da qualidade da água do arroio Portão, RS.** Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, v. 32, n1, p. 27-35, 2005.

PAIVA, W. **Aplicação da estatística para descrever o comportamento de um solo expansivo.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2009.

PMSB - PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE CAMPINA GRANDE. **Diagnóstico da situação dos serviços de saneamento básico.** Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

PEDROSO, F.; BONETTO, C.A.; ZALOCAR, Y.A. **Comparative study on phosphorus and nitrogen transport in the Parana, Paraguay and Bermejo rivers. Limnologia e manejo de represas.** São Paulo: ACIESP, 1988. v.1, t.1, p.91-117 (Série: Monografia em limnologia).

PEDROZO, C.S & KAPUSTA, S.C. **Indicadores Ambientais em Ecossistemas Aquáticos.** Instituto Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 2010.

- PEREIRA, J. P. G., BARACUHY, J. G. de V. **Ecobatimetria** - Teoria e Prática. Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008. 84p. il.
- RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL. **Problemas, desafios e estratégias para o futuro**. José Galizia Tundisi (coordenador). – Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 76 p.: 25 cm.
- RETALHOS HISTÓRICOS DE CAMPINA GRANDE. Disponível em: <<http://cgretalhos.blogspot.com.br>>. Acesso em Janeiro de 2016.
- ROBAINA, A. D. **Hidráulica Agrícola A** - Parte I. Apostila de aula. 98 p. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, RS. 2007.
- SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, PR, 2001.
- SOUSA, F.G.R.B. **Cartografias e imagem da cidade: Campina Grande (1920 – 1945)**. Tese de Doutorado. Unicamp, 2001.
- SOUZA, C.F; GONÇALVES, L.S; GOLDENFUM, J.A. **Planejamento integrado de sistemas de drenagem urbana**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. – **Principles of Surface Water Quality Modeling and Control**. Harper Collins Publishers, 1987.
- TOMAZ, P. **Assoreamento de reservatórios**. São Paulo, 2013. Disponível em:<[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos\\_livros/livro\\_transporte\\_sedimentos/capitulo112.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_transporte_sedimentos/capitulo112.pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2017.
- TSUYUGUCHI, B.B. **Macro drenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: Caracterização, simulação e análises sistêmicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2015.
- TUCCI, C. E. M. **Urban drainage in specific climates. International Hydrological Programme** – IHP-V. Technical Documents in Hydrology. Paris: UNESCO, 2001.
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993, p. 943.
- TUNDISI, J.G. **Reservoirs as complex systems**. Ciência e Cultura, São Paulo, v.48, n.5/6, p.383-387, 1996.
- VALENTE, J.P.S.; PADILHA, P.M.; SILVA, A.M.M. **“Contribuição Da Cidade De Botucatu – Sp Com Nutrientes (Fósforo E Nitrogênio) Na Eutrofização Da Represa De Barra Bonita”**. 1997.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. Local: UFMG, 1996.243p.

VON SPERLING, M. **“Introdução À Qualidade Da Águas E Do Tratamento De Esgotos”.** 2 Ed, (1996).

VON SPERLING, M. **Morfologia de lagos e represas.** Belo Horizonte. 137p, 1999.

YABE, M.J.S & OLIVEIRA, E. **Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas.** Química Nova, 1998.

## APÊNDICE A – Coordenadas geográficas dos pontos amostrais

PONTO	PERFIL	LATITUDE	LONGITUDE	PONTO	PERFIL	LATITUDE	LONGITUDE
1	1	7°13'24.6"	35°52'35.8"	64	9	7°13'29.0"	35°52'71.7"
2	1	7°13'21.2"	35°52'38.7"	65	9	7°13'29.7"	35°52'41.0"
3	1	7°13'22.1"	35°52'38.0"	66	9	7°13'30.5"	35°52'40.2"
4	1	7°13'22.8"	35°52'37.4"	67	9	7°13'31.3"	35°52'39.5"
5	1	7°13'23.5"	35°52'36.8"	68	10	7°13'31.9"	35°52'40.2"
6	1	7°13'24.3"	35°52'35.6"	69	10	7°13'26.5"	35°36'45.0"
7	2	7°13'21.9"	35°52'39.5"	70	10	7°13'27.3"	35°52'44.4"
8	2	7°13'25.3"	35°52'36.5"	71	10	7°13'28.1"	35°52'43.7"
9	2	7°13'22.6"	35°52'38.9"	72	10	7°13'28.9"	35°52'43.0"
10	2	7°13'23.3"	35°52'38.2"	73	10	7°13'29.4"	35°52'42.6"
11	2	7°13'24.1"	35°52'37.5"	74	10	7°13'30.2"	35°52'41.9"
12	2	7°13'24.7"	35°52'37.0"	75	10	7°13'31.0"	35°52'41.3"
13	3	7°13'26.2"	35°52'36.9"	76	10	7°13'31.6"	35°52'40.5"
14	3	7°13'22.4"	35°52'40.3"	77	11	7°13'32.4"	35°52'41.1"
15	3	7°13'23.2"	35°52'39.4"	78	11	7°13'26.6"	35°52'46.1"
16	3	7°13'24.0"	35°52'39.0"	79	11	7°13'27.2"	35°52'45.5"
17	3	7°13'24.7"	35°52'38.2"	80	11	7°13'28.0"	35°52'44.9"
18	3	7°13'25.4"	35°52'37.5"	81	11	7°13'28.9"	35°52'44.1"
19	4	7°13'27.5"	35°52'37.1"	82	11	7°13'29.6"	35°52'43.5"
20	4	7°13'22.8"	35°52'40.8"	83	11	7°13'30.4"	35°52'42.9"
21	4	7°13'23.4"	35°52'40.2"	84	11	7°13'31.1"	35°52'42.3"
22	4	7°13'24.3"	35°52'39.6"	85	11	7°13'32.0"	35°52'41.5"
23	4	7°13'25.1"	35°52'38.9"	86	12	7°13'32.8"	35°52'41.9"
24	4	7°13'25.9"	35°52'38.3"	87	12	7°13'27.1"	35°52'47.0"
25	5	7°13'28.1"	35°52'37.5"	88	12	7°13'27.9"	35°52'46.3"
26	5	7°13'23.3"	35°52'41.5"	89	12	7°13'28.6"	35°52'45.6"
27	5	7°13'26.6"	35°52'67.6"	90	12	7°13'29.6"	35°52'44.8"
28	5	7°13'23.9"	35°52'41.0"	91	12	7°13'30.2"	35°52'44.2"
29	5	7°13'24.7"	35°52'40.4"	92	12	7°13'31.1"	35°52'43.5"
30	5	7°13'25.5"	35°52'39.2"	93	12	7°13'31.8"	35°52'42.8"
31	5	7°13'26.4"	35°52'39.7"	94	12	7°13'32.6"	35°52'42.0"
32	5	7°13'27.1"	35°52'38.3"	95	13	7°13'33.2"	35°52'42.8"
33	5	7°13'28.0"	35°52'37.7"	96	13	7°13'27.6"	35°36'47.9"
34	6	7°13'29.0"	35°52'38.0"	97	13	7°13'28.5"	35°52'47.1"
35	6	7°13'24.0"	35°52'42.5"	98	13	7°13'29.4"	35°52'46.5"
36	6	7°13'24.7"	35°52'41.7"	99	13	7°13'30,3"	35°52'46.0"
37	6	7°13'25.4"	35°52'41.0"	100	13	7°13'30.8"	35°52'45.0"
38	6	7°13'26.2"	35°52'40.4"	101	13	7°13'31.7"	35°52'44.4"
39	6	7°13'26.9"	35°52'39.7"	102	13	7°13'32.4"	35°52'43.7"
40	6	7°13'27.6"	35°52'39.1"	103	13	7°13'33.1"	35°52'43.1"
41	6	7°13'28.3"	35°52'38.4"	104	14	7°13'33.4"	35°52'43.8"
42	7	7°13'29.6"	35°52'38.4"	105	14	7°13'28.3"	35°52'48.6"
43	7	7°35'37.9"	35°36'58.5"	106	14	7°13'29.0"	35°52'48.0"
44	7	7°13'25.8"	35°52'40.2"	107	14	7°13'29.7"	35°52'47.2"
45	7	7°13'24.3."	35°52'39.3"	108	14	7°13'30.5"	35°52'46.6"
46	7	7°13'27.2"	35°52'40.7"	109	14	7°13'31.3"	35°52'45.8"
47	7	7°13'27.9"	35°52'39.9"	110	14	7°13'32.1"	35°52'45.1"
48	7	7°13'28.8"	35°52'39.2"	111	14	7°13'32.7"	35°52'44.4"
49	7	7°13'29.8	35°52'38.5"	112	15	7°13'33.7"	35°52'44.7"
50	8	7°13'30.5"	35°52'38.7"	113	15	7°13'28.7"	35°52'49.3"
51	8	7°13'25.6"	35°52'43.3"	114	15	7°13'29.6"	35°52'48.5"
52	8	7°13'26.4"	35°52'42.9"	115	15	7°13'30.2"	35°52'47.8"
53	8	7°13'27.1"	35°52'42.3"	116	15	7°13'31.0"	35°52'47.1"
54	8	7°13'27.7"	35°52'41.7"	117	15	7°13'31.8"	35°52'46.4"
55	8	7°13'28.3"	35°52'41.1"	118	15	7°13'32.4"	35°52'45.7"
56	8	7°13'29.0"	35°52'40.4"	119	15	7°13'33.2"	35°52'45.1"
57	8	7°13'29.8"	35°52'39.7"	120	16	7°13'33.8"	35°52'45.7"
58	8	7°13'30.4"	35°52'39.1"	121	16	7°13'29.1"	35°36'50.0"
59	9	7°13'31.4"	35°52'39.3"	122	16	7°13'29.9"	35°52'49.5"
60	9	7°13'26.2"	35°52'44.3"	123	16	7°13'31.0"	35°52'49.1"
61	9	7°13'26.8"	35°52'43.7"	124	16	7°13'331.6"	35°52'48.3"
62	9	7°13'27.6"	35°52'43.1"	125	16	7°13'32.3"	35°52'47.6"
63	9	7°13'28.4"	35°52'42.4"	126	16	7°13'33.1"	35°52'46.9"

PONTO	PERFIL	LATITUDE	LONGITUDE	PONTO	PERFIL	LATITUDE	LONGITUDE
127	16	7°13'31.4"	35°52'45.7"	189	25	7°13'31.6"	35°52'57.9"
128	17	7°13'34.1"	35°52'46.6"	190	25	7°13'32.1"	35°52'57.1"
129	17	7°13'29.3"	35°52'51.0"	191	25	7°13'33.0"	35°52'56.5"
130	17	7°13'30.1"	35°52'50.3"	192	25	7°13'33.9"	35°52'55.9"
131	17	7°13'30.7"	35°52'49.5"	193	25	7°13'34.8"	35°52'55.3"
132	17	7°13'31.5"	35°52'48.8"	194	25	7°13'35.7"	35°52'54.6"
133	17	7°13'32.3"	35°52'48.1"	195	26	7°13'36.8"	35°52'54.6"
134	17	7°13'32.9"	35°52'47.5"	196	26	7°13'31.0"	35°52'59.3"
135	17	7°13'34.0"	35°52'46.6"	197	26	7°13'31.7"	35°52'58.8"
136	18	7°13'34.3"	35°52'47.6"	198	26	7°13'32.5"	35°52'58.1"
137	18	7°13'29.6"	35°52'51.9"	199	26	7°13'33.3"	35°52'57.6"
138	18	7°13'30.3"	35°52'51.2"	200	26	7°13'34.2"	35°52'56.9"
139	18	7°13'31.1"	35°52'50.6"	201	26	7°13'35.1"	35°52'56.2"
140	18	7°13'31.8"	35°52'49.9"	202	26	7°13'36.0"	35°52'55.3"
141	18	7°13'32.5"	35°52'49.2"	203	27	7°13'37.8"	35°52'55.3"
142	18	7°13'33.4"	35°52'48.5"	204	27	7°13'31.2"	35°53'00.3"
143	18	7°13'34.1"	35°52'47.8"	205	27	7°13'32.0"	35°52'59.7"
144	19	7°13'34.3"	35°52'48.6"	206	27	7°13'32.8"	35°52'59.1"
145	19	7°13'29.8"	35°36'52.9"	207	27	7°13'33.7"	35°52'58.4"
146	19	7°13'30.5"	35°52'52.4"	208	27	7°13'34.6"	35°52'57.7"
147	19	7°13'31.3"	35°52'51.7"	209	27	7°13'35.3"	35°52'57.1"
148	19	7°13'32.0"	35°52'51.1"	210	27	7°13'36.1"	35°52'56.5"
149	19	7°13'32.8"	35°52'50.3"	211	27	7°13'37.4"	35°52'55.6"
150	19	7°13'33.4"	35°52'49.5"	212	28	7°13'38.4"	35°52'56.1"
151	19	7°13'34.2"	35°52'48.7"	213	28	7°13'32.1"	35°53'01.5"
152	20	7°13'34.2"	35°52'49.6"	214	28	7°13'33.0"	35°53'00.8"
153	20	7°13'30.0"	35°52'53.8"	215	28	7°13'33.9"	35°53'00.1"
154	20	7°13'30.5"	35°52'53.1"	216	28	7°13'34.6"	35°52'59.4"
155	20	7°13'31.4"	35°52'52.5"	217	28	7°13'35.4"	35°52'58.7"
156	20	7°13'32.1"	35°52'51.8"	218	28	7°13'36.3"	35°52'58.0"
157	20	7°13'32.8"	35°52'51.1"	219	28	7°13'37.1"	35°52'57.3"
158	20	7°13'33.5"	35°52'50.3"	220	28	7°13'38.0"	35°52'56.6"
159	21	7°13'34.3"	35°52'50.5"	221	29	7°13'38.9"	35°52'56.9"
160	21	7°13'30.2"	35°52'54.7"	222	29	7°13'32.4"	35°53'02.2"
161	21	7°13'31.0"	35°52'54.0"	223	29	7°13'33.4"	35°53'01.6"
162	21	7°13'31.7"	35°52'53.3"	224	29	7°13'34.3"	35°53'01.1"
163	21	7°13'32.4"	35°52'52.5"	225	29	7°13'35.1"	35°53'00.4"
164	21	7°13'33.2"	35°52'51.8"	226	29	7°13'35.8"	35°52'59.6"
165	21	7°13'33.7"	35°52'51.1"	227	29	7°13'36.6"	35°52'58.9"
166	22	7°13'35.3"	35°52'52.4"	228	29	7°13'37.5"	35°52'58.0"
167	22	7°13'35.3"	35°36'52.4"	229	29	7°13'38.3"	35°52'57.3"
168	22	7°13'31.2"	35°52'55.0"	230	30	7°13'39.2"	35°52'57.8"
169	22	7°13'31.9"	35°52'54.5"	231	30	7°13'33.1"	35°53'02.5"
170	22	7°13'332.7"	35°52'53.5"	232	30	7°13'34.0"	35°53'02.0"
171	22	7°13'33.4"	35°52'52.9"	233	30	7°13'34.9"	35°53'01.2"
172	22	7°13'34.1"	35°52'52.2"	234	30	7°13'35.7"	35°53'00.8"
173	23	7°13'34.6"	35°52'51.8"	235	30	7°13'36.6"	35°53'00.0"
174	23	7°13'30.9"	35°52'56.4"	236	30	7°13'37.4"	35°52'59.3"
175	23	7°13'31.1"	35°52'55.8"	237	30	7°13'38.6"	35°52'58.6"
176	23	7°13'32.1"	35°52'55.3"	238	31	7°13'39.3"	35°52'58.8"
177	23	7°13'32.9"	35°52'54.7"	239	31	7°13'34.4"	35°53'02.9"
178	23	7°13'33.5"	35°52'53.9"	240	31	7°13'35.3"	35°53'02.1"
179	23	7°13'34.4"	35°52'53.2"	241	31	7°13'36.1"	35°53'01.5"
180	24	7°13'35.6"	35°52'53.6"	242	31	7°13'337.0"	35°53'00.7"
181	24	7°13'30.8"	35°52'57.3"	243	31	7°13'37.8"	35°53'00.1"
182	24	7°13'31.4"	35°52'56.8"	244	31	7°13'38.6"	35°52'59.5"
183	24	7°13'32.2"	35°52'56.1"	245	32	7°13'339.1"	35°52'59.8"
184	24	7°13'33.1"	35°52'55.5"	246	32	7°13'35.5"	35°53'03.1"
185	24	7°13'34.0"	35°52'54.9"	247	32	7°13'36.2"	35°53'02.4"
186	24	7°13'34.9"	35°52'54.2"	248	32	7°13'37.1"	35°53'01.7"
187	25	7°13'36.6"	35°52'54.4"	249	32	7°13'37.9"	35°53'00.9"
188	25	7°13'30.8"	35°36'58.3"	250	32	7°13'38.7"	35°53'00.1"

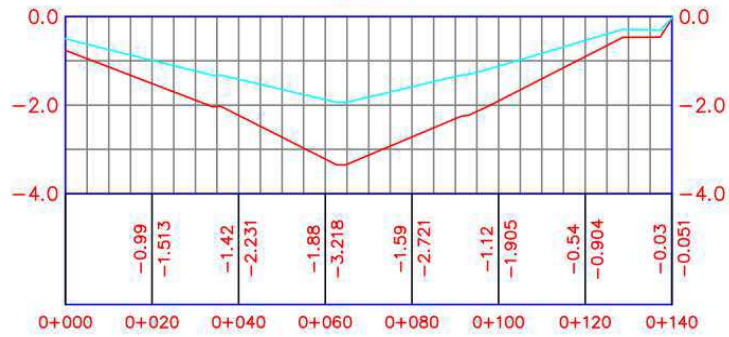


## APÊNDICE B – Coordenadas do perímetro do Açude Velho

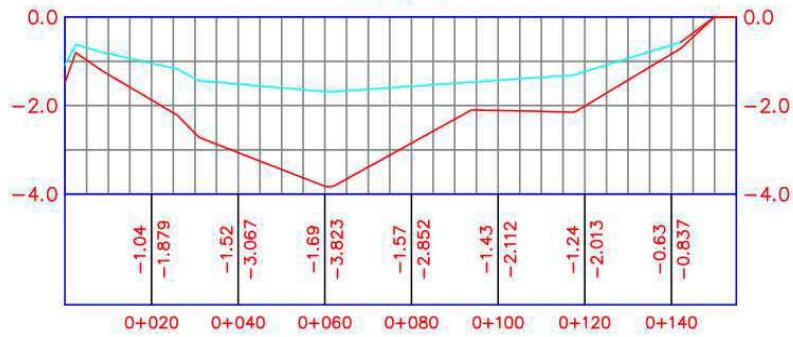
PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	PONTO	LATITUDE	LONGITUDE
1	07°13'23.6"	035°52'35.7"	47	07°13'36.8"	035°52'54.9"	93	07°13'32.7"	035°53'02.1"
2	07°13'23.8"	035°52'35.6"	48	07°13'37.0"	035°52'55.0"	94	07°13'32.5"	035°53'01.9"
3	07°13'24.3"	035°52'35.7"	49	07°13'37.3"	035°52'55.1"	95	07°13'32.2"	035°53'01.7"
4	07°13'24.6"	035°52'35.7"	50	07°13'37.5"	035°52'55.3"	96	07°13'32.0"	035°53'01.5"
5	07°13'25.0"	035°52'35.9"	51	07°13'37.9"	035°52'55.6"	97	07°13'31.9"	035°53'01.4"
6	07°13'25.6"	035°52'36.4"	52	07°13'38.1"	035°52'55.9"	98	07°13'31.7"	035°53'01.1"
7	07°13'26.7"	035°52'36.7"	53	07°13'38.3"	035°52'56.0"	99	07°13'31.5"	035°53'00.8"
8	07°13'26.4"	035°52'36.9"	54	07°13'38.5"	035°52'56.3"	100	07°13'31.3"	035°53'00.4"
9	07°13'27.0"	035°52'37.1"	55	07°13'38.7"	035°52'56.7"	101	07°13'31.2"	035°53'00.0"
10	07°13'27.9"	035°52'37.5"	56	07°13'38.8"	035°52'56.9"	102	07°13'31.1"	035°52'59.7"
11	07°13'29.2"	035°52'38.0"	57	07°13'38.9"	035°52'57.2"	103	07°13'31.1"	035°52'59.3"
12	07°13'29.7"	035°52'38.3"	58	07°13'39.0"	035°52'57.5"	104	07°13'30.8"	035°52'58.1"
13	07°13'30.1"	035°52'38.4"	59	07°13'39.1"	035°52'57.8"	105	07°13'30.7"	035°52'57.4"
14	07°13'30.3"	035°52'38.6"	60	07°13'39.1"	035°52'58.0"	106	07°13'30.1"	035°52'53.8"
15	07°13'30.8"	035°52'38.8"	61	07°13'39.2"	035°52'58.2"	107	07°13'29.9"	035°52'53.0"
16	07°13'31.2"	035°52'39.2"	62	07°13'39.2"	035°52'58.3"	108	07°13'29.8"	035°52'52.5"
17	07°13'31.4"	035°52'39.4"	63	07°13'39.2"	035°52'58.6"	109	07°13'29.7"	035°52'52.1"
18	07°13'31.6"	035°52'39.6"	64	07°13'39.2"	035°52'58.9"	110	07°13'29.5"	035°52'51.5"
19	07°13'32.0"	035°52'40.4"	65	07°13'39.2"	035°52'59.3"	111	07°13'29.4"	035°52'51.0"
20	07°13'32.6"	035°52'41.5"	66	07°13'39.2"	035°52'59.5"	112	07°13'29.2"	035°52'50.4"
21	07°13'32.7"	035°52'41.8"	67	07°13'39.1"	035°52'59.7"	113	07°13'29.0"	035°52'50.0"
22	07°13'32.9"	035°52'42.1"	68	07°13'39.1"	035°52'59.9"	114	07°13'28.6"	035°52'49.2"
23	07°13'33.0"	035°52'42.5"	69	07°13'37.1"	035°53'00.1"	115	07°13'28.4"	035°52'48.9"
24	07°13'33.2"	035°52'43.1"	70	07°13'38.9"	035°53'00.3"	116	07°13'27.9"	035°52'48.1"
25	07°13'33.8"	035°52'45.4"	71	07°13'38.8"	035°53'00.5"	117	07°13'27.6"	035°52'47.4"
26	07°13'34.0"	035°52'46.5"	72	07°13'38.6"	035°53'00.8"	118	07°13'27.2"	035°52'46.9"
27	07°13'34.1"	035°52'46.8"	73	07°13'38.6"	035°53'01.0"	119	07°13'26.8"	035°52'46.3"
28	07°13'34.2"	035°52'47.2"	74	07°13'38.4"	035°53'01.3"	120	07°13'26.0"	035°52'45.2"
29	07°13'34.2"	035°52'47.5"	75	07°13'38.2"	035°53'01.5"	121	07°13'26.2"	035°52'44.4"
30	07°13'34.2"	035°52'47.7"	76	07°13'38.0"	035°53'01.7"	122	07°13'25.7"	035°52'43.8"
31	07°13'34.2"	035°52'48.0"	77	07°13'37.7"	035°53'01.9"	123	07°13'25.8"	035°52'43.6"
32	07°13'34.2"	035°52'48.2"	78	07°13'37.5"	035°53'02.2"	124	07°13'25.4"	035°52'43.0"
33	07°13'34.2"	035°52'48.4"	79	07°13'37.1"	035°53'02.4"	125	07°13'24.7"	035°52'42.0"
34	07°13'34.2"	035°52'48.6"	80	07°13'36.8"	035°53'02.5"	126	07°13'24.0"	035°52'42.5"
35	07°13'34.2"	035°52'48.8"	81	07°13'36.5"	035°53'02.6"	127	07°13'22.9"	035°52'40.9"
36	07°13'34.1"	035°52'49.1"	82	07°13'36.1"	035°53'02.8"	128	07°13'21.9"	035°52'39.4"
37	07°13'34.1"	035°52'49.7"	83	07°13'35.7"	035°53'02.8"	129	07°13'20.9"	035°52'38.0"
38	07°13'34.1"	035°52'49.9"	84	07°13'35.2"	035°53'02.9"	130	07°13'20.8"	035°52'37.8"
39	07°13'34.2"	035°52'50.4"	85	07°13'34.8"	035°53'02.8"	131	07°13'20.9"	035°52'37.7"
40	07°13'34.7"	035°52'51.6"	86	07°13'34.6"	035°53'02.8"	132	07°13'21.9"	035°52'37.0"
41	07°13'35.3"	035°52'52.9"	87	07°13'34.4"	035°53'02.8"	133	07°13'22.8"	035°52'36.2"
42	07°13'35.9"	035°52'53.9"	88	07°13'34.1"	035°53'02.7"	134	07°13'23.6"	035°52'35.6"
43	07°13'36.1"	035°52'54.2"	89	07°13'33.7"	035°53'02.6"	135	07°13'23.8"	035°52'35.6"
44	07°13'36.3"	035°52'54.4"	90	07°13'33.5"	035°53'02.5"	136	07°13'24.1"	035°52'35.6"
45	07°13'36.4"	035°52'54.6"	91	07°13'33.2"	035°53'02.4"	137	07°13'24.4"	035°52'35.6"
46	07°13'36.6"	035°52'54.7"	92	07°13'32.9"	035°53'02.2"	138	07°13'24.5"	035°52'35.7"

### APÊNDICE C – Perfis

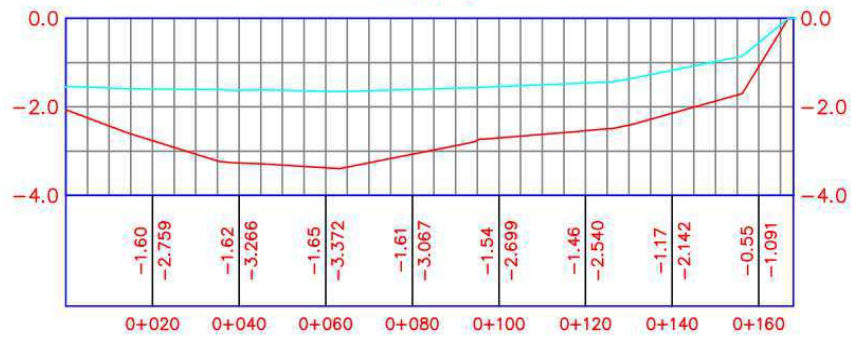
Perfil 1



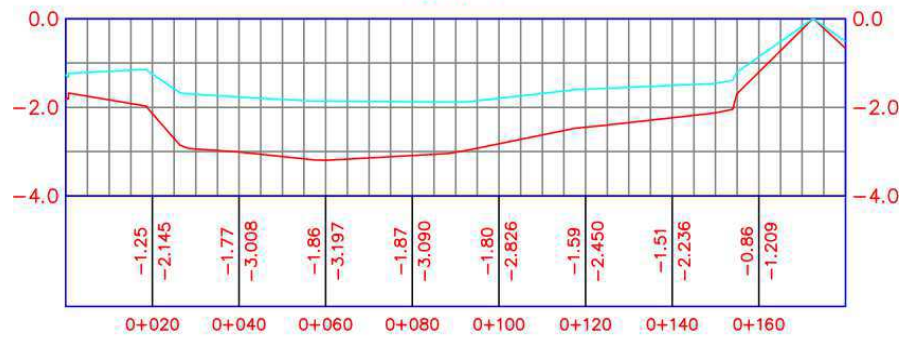
Perfil 2



Perfil 3

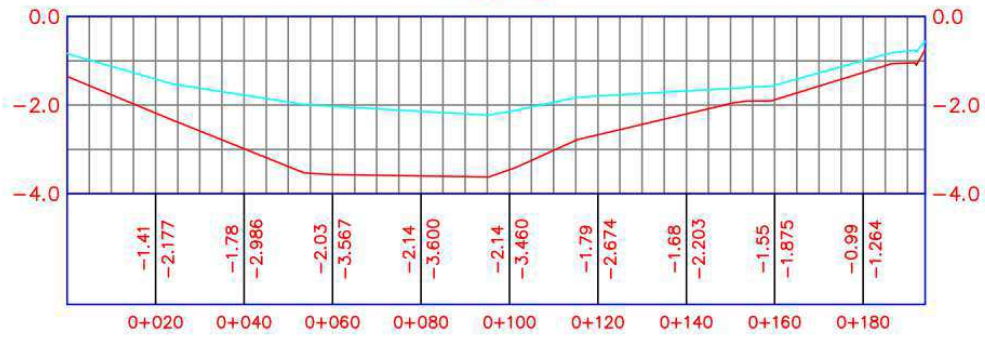


Perfil 4

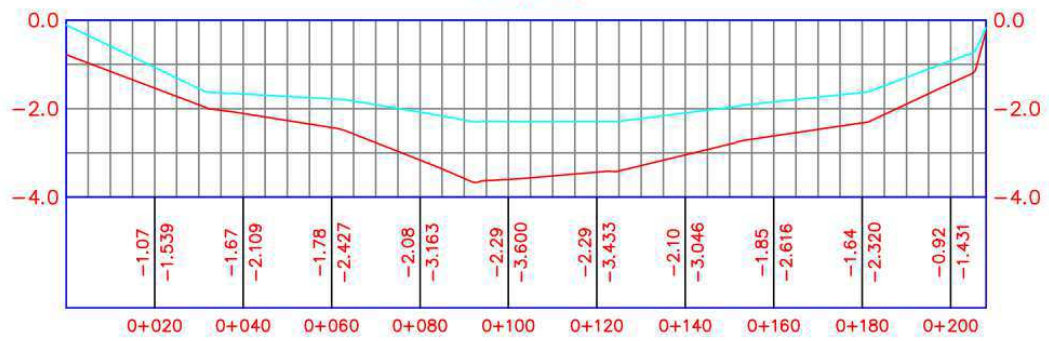


— Interface água/sedimento  
 — Final do sedimento

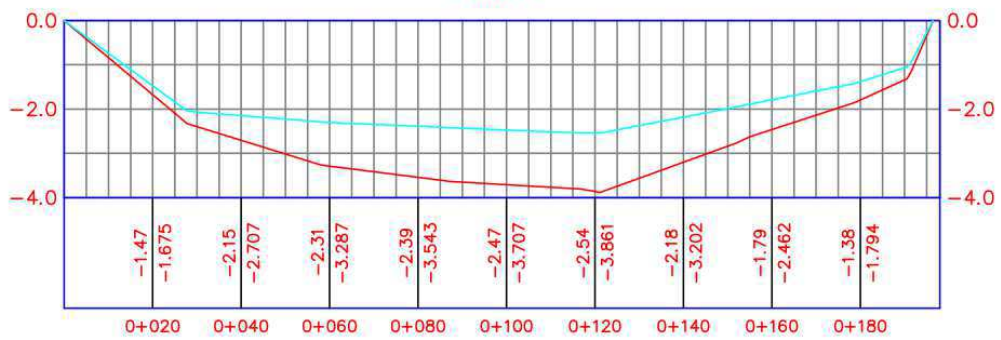
Perfil 5



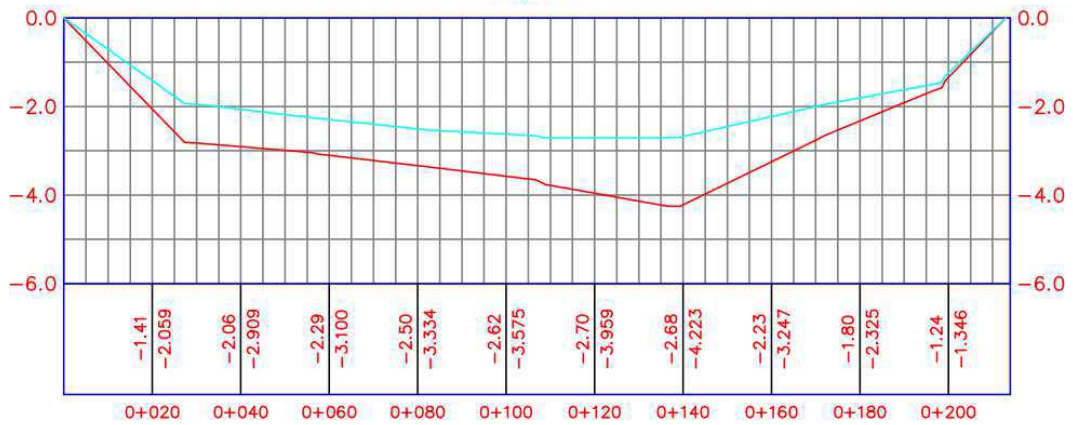
Perfil 6



Perfil 7

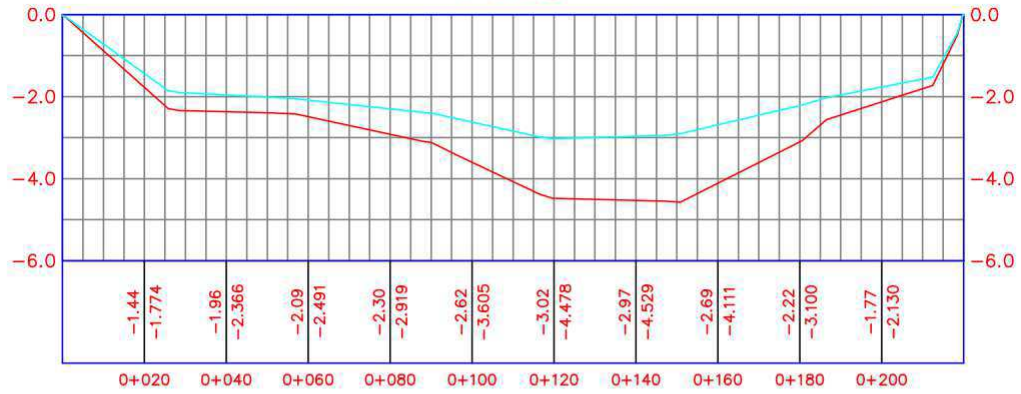


Perfil 8

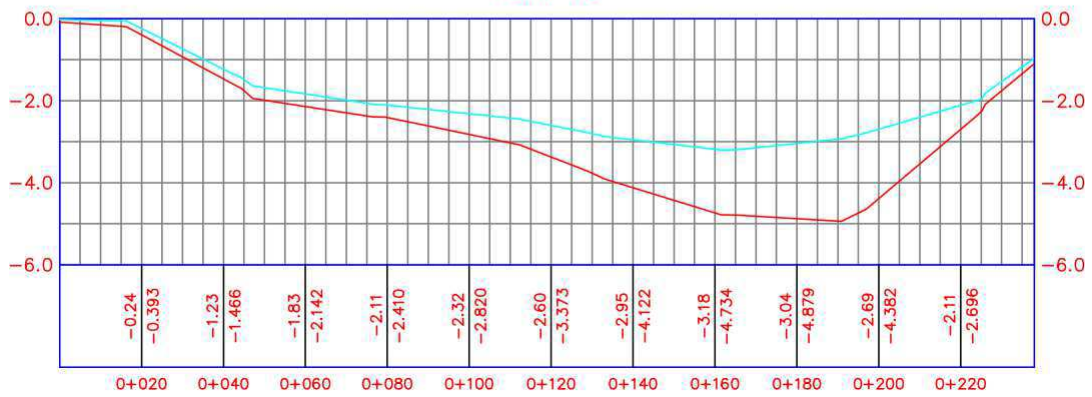


— Interface água/sedimento  
 — Final do sedimento

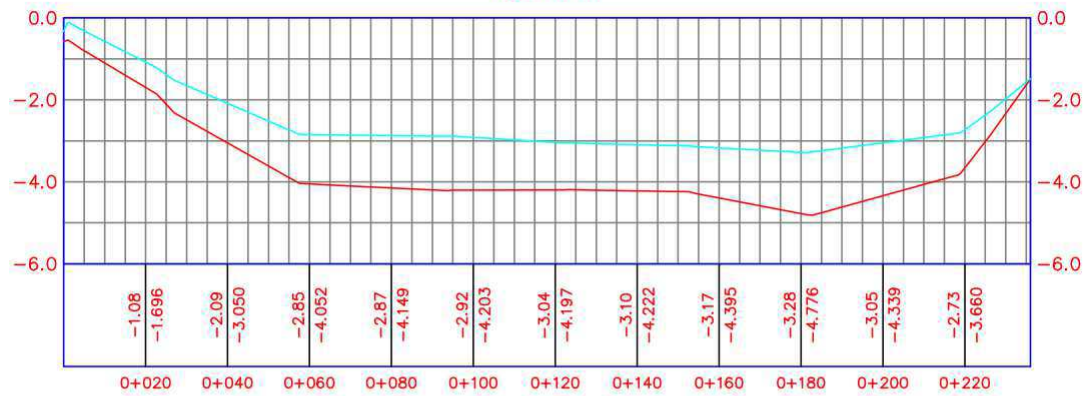
Perfil 9



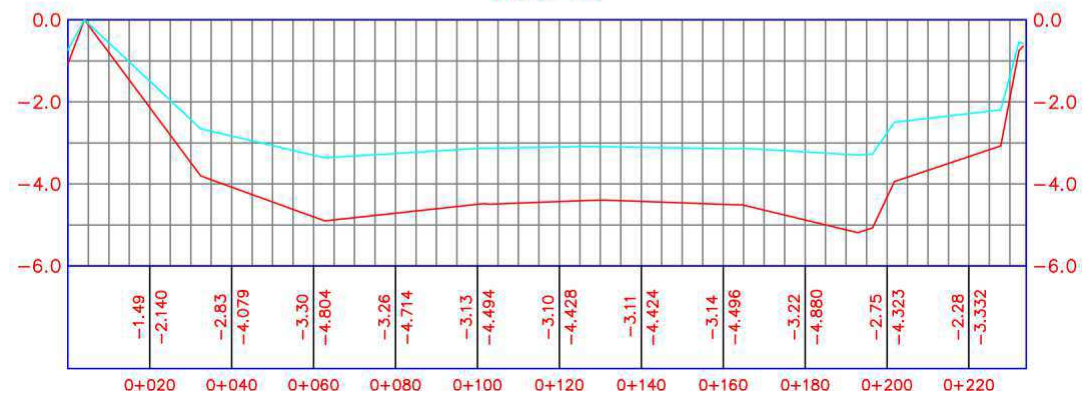
Perfil 10



Perfil 11



Perfil 12



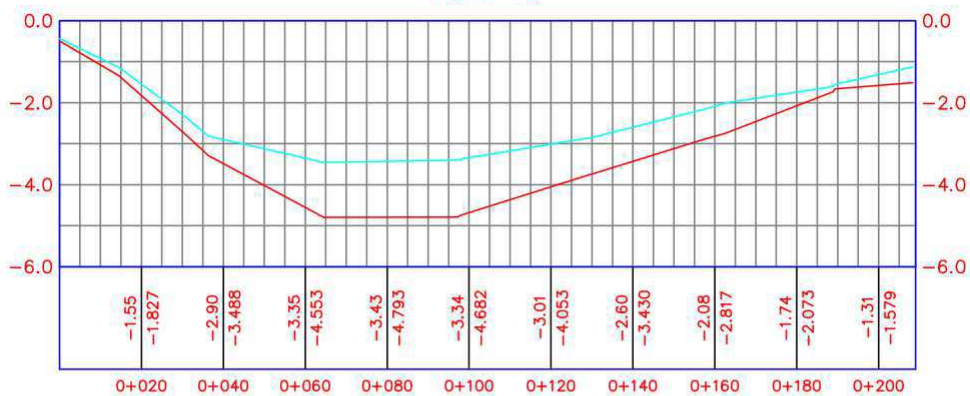
Perfil 13



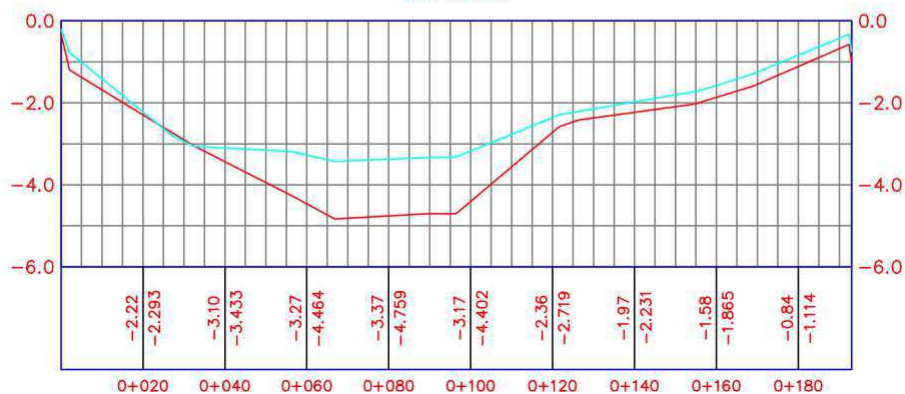
Perfil 14



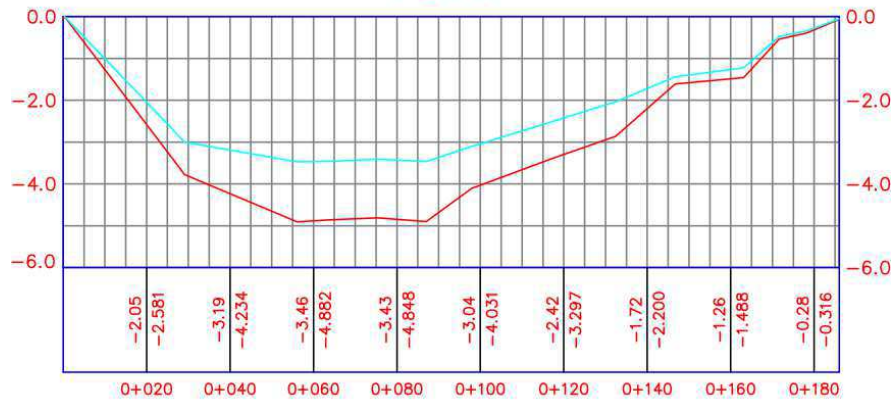
Perfil 15



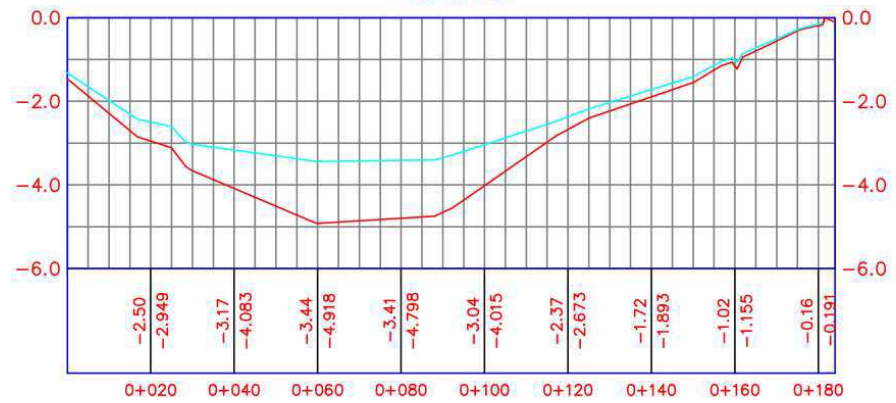
Perfil 16



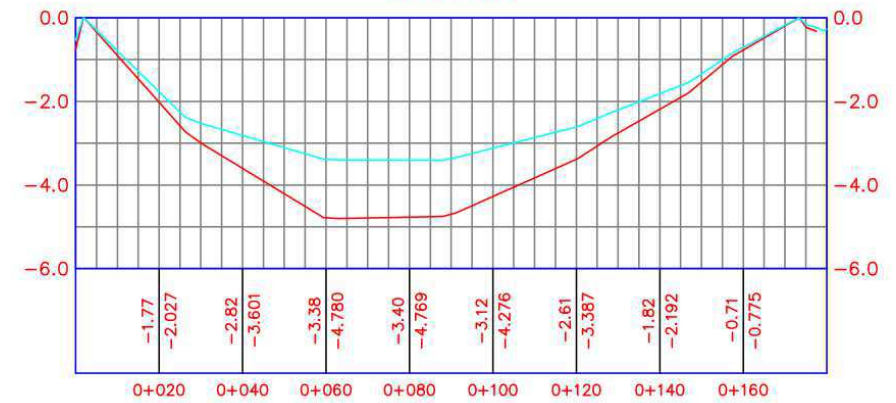
Perfil 17



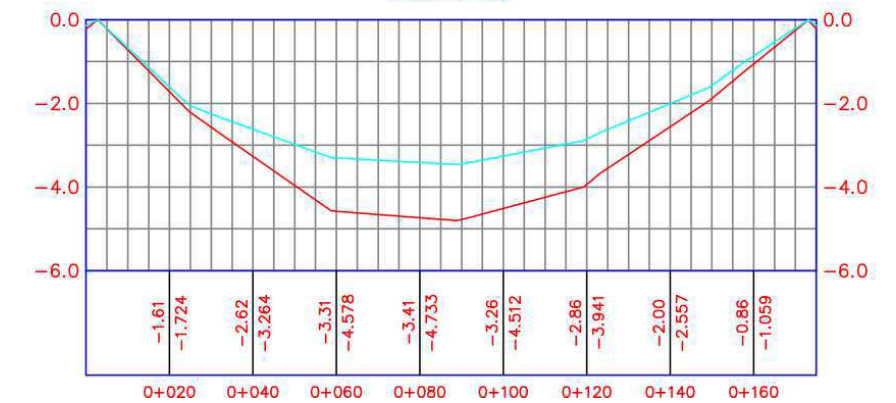
Perfil 18



Perfil 19

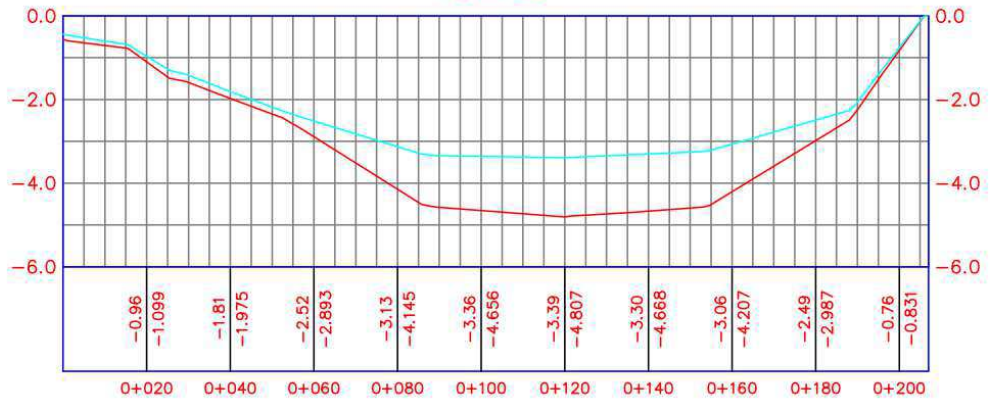


Perfil 20

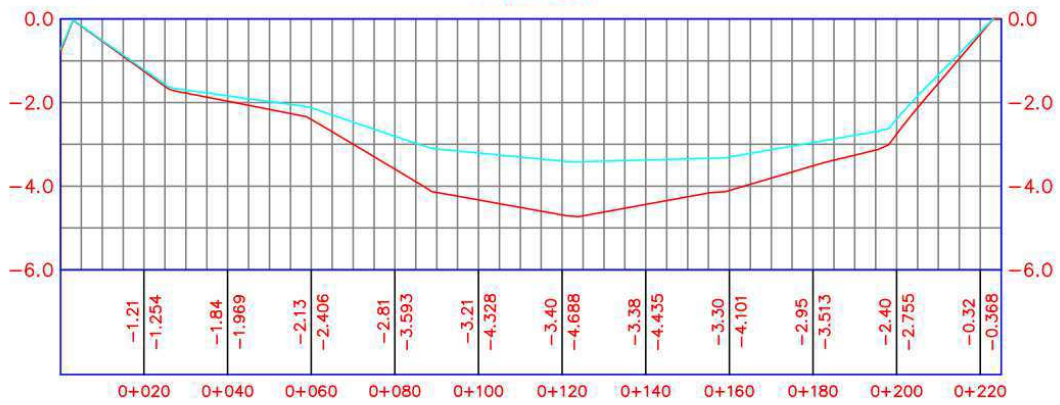




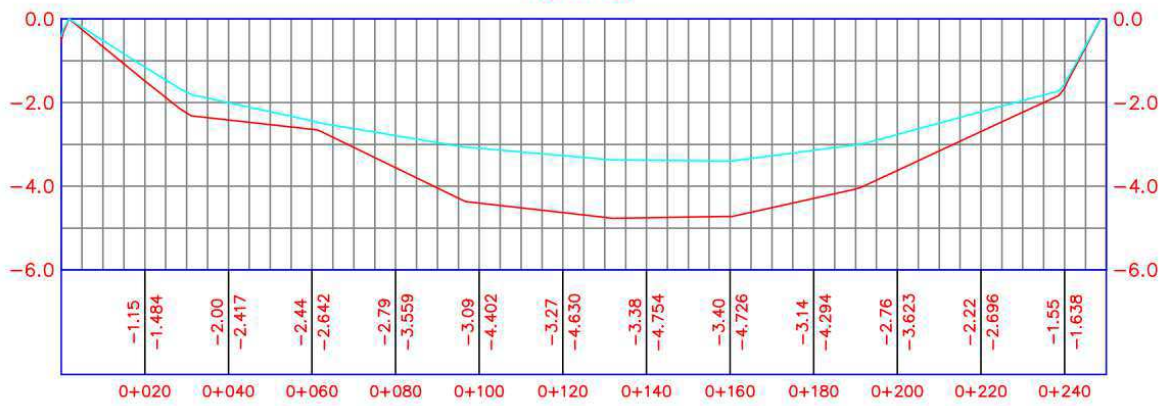
Perfil 25



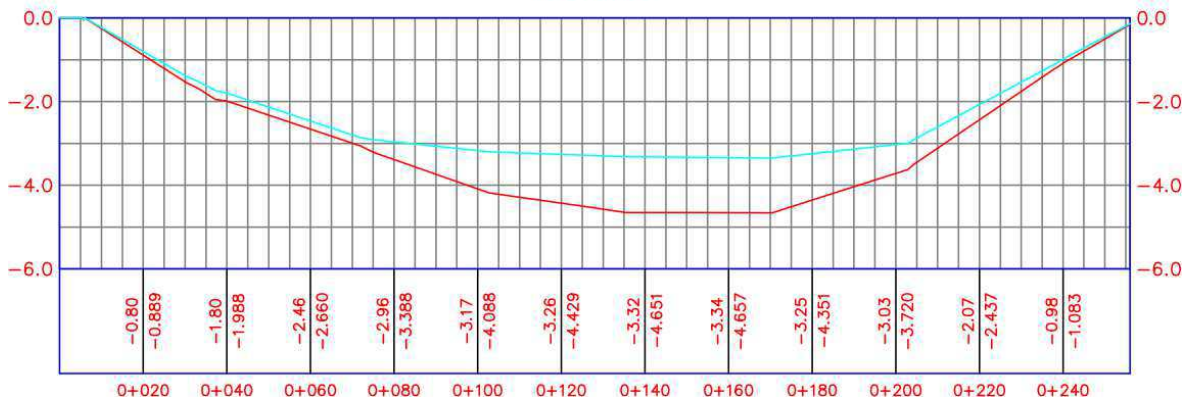
Perfil 26



Perfil 27

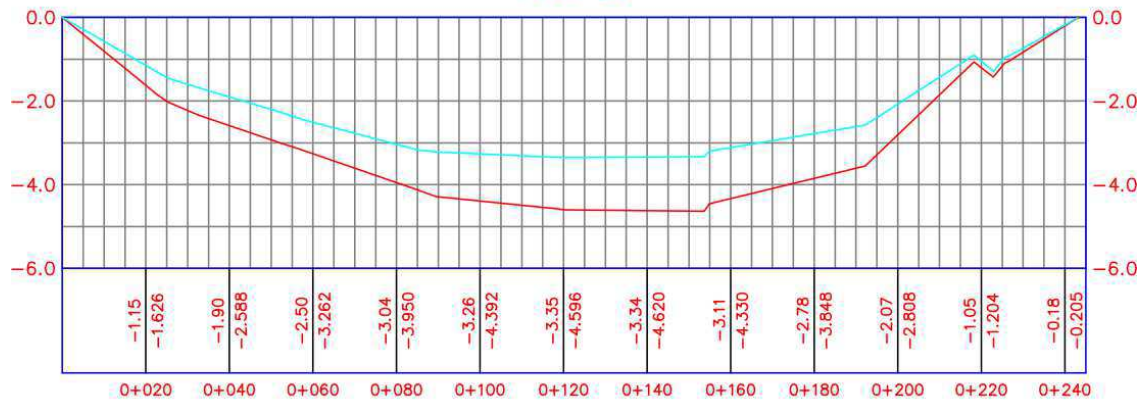


Perfil 28

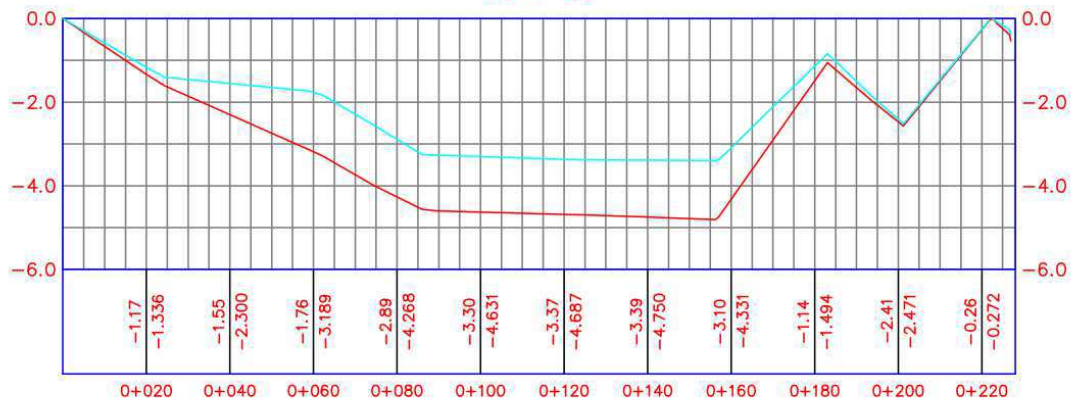




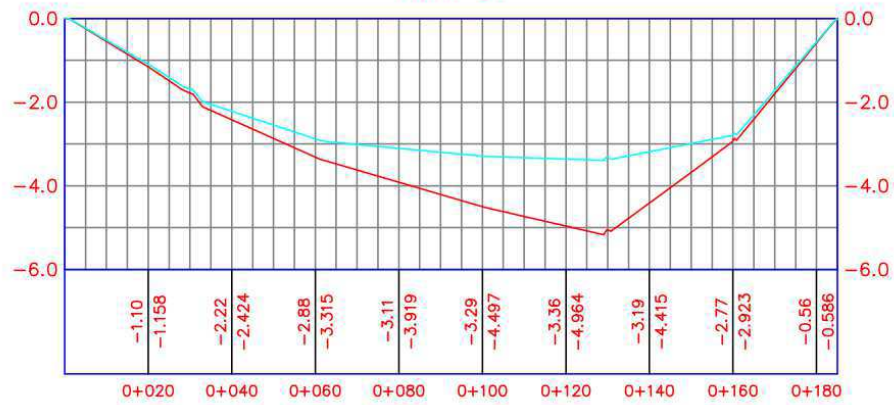
Perfil 29



Perfil 30



Perfil 31



Perfil 32

