

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL – UAEC

VALESKA MENDES ALVES

**MÉTODOS COMPARATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA  
DE RESERVATÓRIO**

Campina Grande

Março de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL – UAEC

VALESKA MENDES ALVES

**MÉTODOS COMPARATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA  
DE RESERVATÓRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso da  
Universidade Federal de Campina Grande –  
UFCG com intuito da obtenção do título de  
Bacharela em Engenharia Civil, sob  
orientação da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Izabelle Marie  
Trindade Bezerra.

Campina Grande

Março de 2018

VALESKA MENDES ALVES

**MÉTODOS COMPARATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA  
DE RESERVATÓRIO**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Izabelle Marie Trindade Bezerra - Orientadora  
UFCG/CTRN

---

Prof. Dr. Walter Santa Cruz  
UFCG/CTRN

---

Ms. Alexandre Ferreira da Silva  
UFCG

Campina Grande

Março de 2018

## **DEDICATÓRIA**

A Deus pela sabedoria e por nunca me desamparar.  
Aos meus pais, Vanusa e Jair, fonte inesgotável de amor.  
Ao meu noivo, Deyvid Matheus, minha fortaleza.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me abençoar tanto assim e permitir chegar até aqui. Por ter me dado força e coragem nos dias mais difíceis. Nunca foi fácil, mas foi possível.

Aos meus queridos pais, Vanusa e Jair, por serem minha base.

Ao meu noivo, Deyvid Matheus, por tantas coisas, mas principalmente por estar sempre do meu lado sendo meu porto seguro.

A minha orientadora, Professora Izabelle, por ser luz, por ter sido inspiradora desde as primeiras aulas e por me fazer acreditar que tudo daria certo.

Ao meu coorientador, Professor Guttemberg pela disponibilidade e apoio.

A Alexandre por ajudar de tantas maneiras na realização deste trabalho.

Ao Instituto Nacional do Semiárido por ter fornecido a propriedade para realização da pesquisa, como também colaboradores.

A Camille por ter me incentivado na hora da mudança de curso. A Karla e Valber, inclusive pelas caronas que suavizavam meu cansaço. A vocês três por me acompanharem desde o colégio.

A instituição UFCG e aos meus colegas de curso, em especial a Nathália por dividir e compartilhar comigo tantos momentos durante esse tempo de graduação.

A todos os meus familiares e demais amigos que torceram por mim.

Obrigada!

## **LISTA DE SIGLAS**

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica;

GNSS – Global Navigation Satellite Systems;

GPS – Global Positioning System;

INSA – Instituto Nacional Do Semiárido;

RTK – REAL TIME KINEMATIC;

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Açude de terra (Campos, 2018) .....	3
Figura 2: Exemplo de curvas cota-área e cota-volume características de um reservatório (DAEE, 2005) .....	6
Figura 3: Estação Total Robótica Série GT da Topcon (MundoGEO, 2016) .....	10
Figura 4: Localização Geográfica do Açude Preto (Campos, 2018).....	11
Figura 5: Pontos do levantamento e curvas de nível processados pelo AutoCad.....	12
Figura 6: Estação Total .....	13
Figura 7: Prismas .....	13
Figura 8: Mapa de Isolinhas de Profundidade .....	18
Figura 9: Gráfico que representa a curva Cota x Área. ....	18
Figura 10: Gráfico que representa a curva Cota x Volume.....	19
Figura 11: Curva cota-área e cota-volume características dos reservatório.....	19
Figura 12: Mapa de Isolinhas de Profundidade – GNSS RTK.....	21
Figura 13: Gráfico que representa a curva Cota x Área – GNSS RTK.....	22
Figura 14: Gráfico que representa a curva Cota x Volume – GNSS RTK .....	22
Figura 15: Curva cota-área e cota-volume características dos reservatório – GNSS RTK .....	23

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de reservatórios de acordo com a área do espelho d'água e volume de água.....	5
Tabela 2: Dados técnicos do Açude Preto. ....	16
Tabela 3: Tabela Cota X Área X Volume.....	17
Tabela 4: Tabela comparativa dos dados da estação total com os métodos tradicionais. ....	20
Tabela 5: Tabela comparativa dos dados da estação total com o GNSS RTK .....	21

ALVES, Valeska Mendes. **MÉTODOS COMPARATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA DE RESERVATÓRIO**. Campina Grande – PB, 2018. 37p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande.

## **RESUMO**

Para quantificar o valor do volume hídrico de reservatórios já construídos ou o modelamento de superfície submersas, são utilizadas técnicas convencionais e automatizadas, com uso de estação total, nível de engenharia ou GNSS, quando os açudes estão secos. O objetivo deste estudo foi utilizar a estação total para determinação do volume do açude rural a partir das informações da curva cota-área-volume e comparar os resultados obtidos com métodos tradicionais e com o uso do receptor GNSS RTK. A área de estudo corresponde à bacia hidráulica do açude Preto, localizada na fazenda experimental do Instituto Nacional do Semiárido, no município de Campina Grande-PB. A pesquisa foi realizada em duas etapas, a primeira correspondeu ao levantamento de campo e a segunda, ao processamento dos dados em laboratório. As metodologias tradicionais superestimaram o volume do açude Preto em 29,15% e 7,63% de acordo com as equações propostas por Kieling (1991) e Molle (1994) respectivamente, tomando como base o valor do volume de 191.685,39 m<sup>3</sup> obtido pela estação total. O levantamento realizado pelo receptor GNSS RTK determina um volume de 191.973,51 m<sup>3</sup> que difere em 288,12 m<sup>3</sup> a mais do encontrado pela estação total.

Palavras-chave: reservatórios, curva cota-área-volume, métodos tradicionais, GNSS RTK.

ALVES, Valeska Mendes. **COMPARATIVE METHODS FOR DETERMINING THE VOLUME OF RESERVOIR WATER.** Campina Grande – PB, 2018. 37p. Work Completion of Course (Graduation in Civil Engineering) - Federal University of Campina Grande.

## **ABSTRACT**

In order to quantify the water volume value of already constructed reservoirs or submerged surface modeling, conventional and automated techniques are used, using total station, engineering level or GNSS when the dam are dry. The objective of this study was to use the total station to determine the volume of the rural dam from the information of the elevation-area-volume curve and compare the results obtained with traditional methods and with the use of the GNSS RTK receiver. The study area corresponds to the hydraulic basin of the Preto dam, located in the experimental farm of the National Institute of the Semi - Arid, in the city of Campina Grande - PB. The research was carried out in two stages, the first one corresponded to the field survey and the second to the data processing in the laboratory. The traditional methodologies overestimated the volume of the Preto dam by 29,15% and 7,63% according to the equations proposed by Kieling (1991) and Molle (1994) respectively, based on the volume value of 191.685,39 m<sup>3</sup> obtained by the total station. The survey carried out by the GNSS RTK receiver determines a volume of 191,973.51 m<sup>3</sup> which differs by 288.12 m<sup>3</sup> more than that found by the total station.

Keywords: reservoirs, elevation-area-volume curve, traditional methods, GNSS RTK.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Reservatórios .....	3
2.2. Curva Cota-Área-Volume .....	5
2.3. Métodos Tradicionais .....	6
2.4. Estação Total .....	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	11
3.1. Localização da Área de Estudo.....	11
3.2. Levantamento de Campo .....	12
3.3. Atividades de Laboratório.....	14
3.4. Métodos Tradicionais para o cálculo do volume de água armazenada.....	14
3.5. Método utilizando receptor GNSS RTK para o cálculo do volume de água armazenada no Açude Preto.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	16
4.1. Estimativa do volume de água armazenada .....	16
4.2. Comparação do volume de água armazenada no Açude Preto .....	20
5. CONCLUSÕES .....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	25

## 1. INTRODUÇÃO

A água é fonte de vida, e quando acumuladas em reservatórios são utilizadas para abastecimento de comunidades ou cidades para consumo próprio, irrigação, consumo de animais, criatórios de peixes, geração de energia, dentre outros.

Os barramentos que dão origem aos reservatórios de água podem ser constituídos por uma diversidade de materiais, podendo ser construídos com concreto, pedras e até mesmo terra.

Independentemente do tipo de construção, se faz necessário conhecer o comportamento do terreno para determinar o posicionamento mais adequado do barramento, para que se tenha uma área com grande volume de água acumulado.

Em zonas urbanas e rurais, quando açudes ou represas são executados sem projeto, necessita-se conhecer o volume de água que podem acumular. Para isso, podem ser utilizadas técnicas convencionais ou automatizadas. Quando os reservatórios estão secos, pode-se fazer uso de equipamentos como, a estação total, os níveis de engenharia e o GNSS. Quando estão cheios, são utilizadas técnicas de levantamento batimétrico com uso de GPS e Ecobatímetro.

Portanto, para calcular e verificar quais os volumes acumulados no reservatório em função dos níveis que ele atinge, elabora-se a curva cota-área-volume. Tendo em vista que o conhecimento do volume armazenado é imprescindível para o manejo da água.

Conhecendo-se o volume do reservatório e da área do espelho d'água, é possível determinar o tamanho dos reservatórios, podendo classificá-los em grande, médio, pequeno e muito pequeno.

Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho foi utilizar a estação total para determinação do volume do açude Preto, localizado na Fazenda Experimental do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), coordenadas geográficas Latitude Sul 07°16'9.28" e Longitude Oeste 35°58'29.03", no

município de Campina Grande, Estado da Paraíba, a partir das informações da curva cota-área-volume. Além disso, os resultados obtidos com a estação total foram comparados aos valores determinados com o uso do receptor GNSS RTK na pesquisa de Campos (2018) e com os métodos tradicionais de Molle (1994) e Kielling (1991).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Reservatórios

Para manter o abastecimento de água, uma das alternativas é a construção de reservatórios artificiais (Figura 1) sobretudo em regiões que sofrem por longos períodos de estiagem. O barramento de cursos d'água para a formação de lagos artificiais é uma das mais antigas técnicas de aumentar as disponibilidades hídricas para atendimento de demandas por águas pelas sociedades.

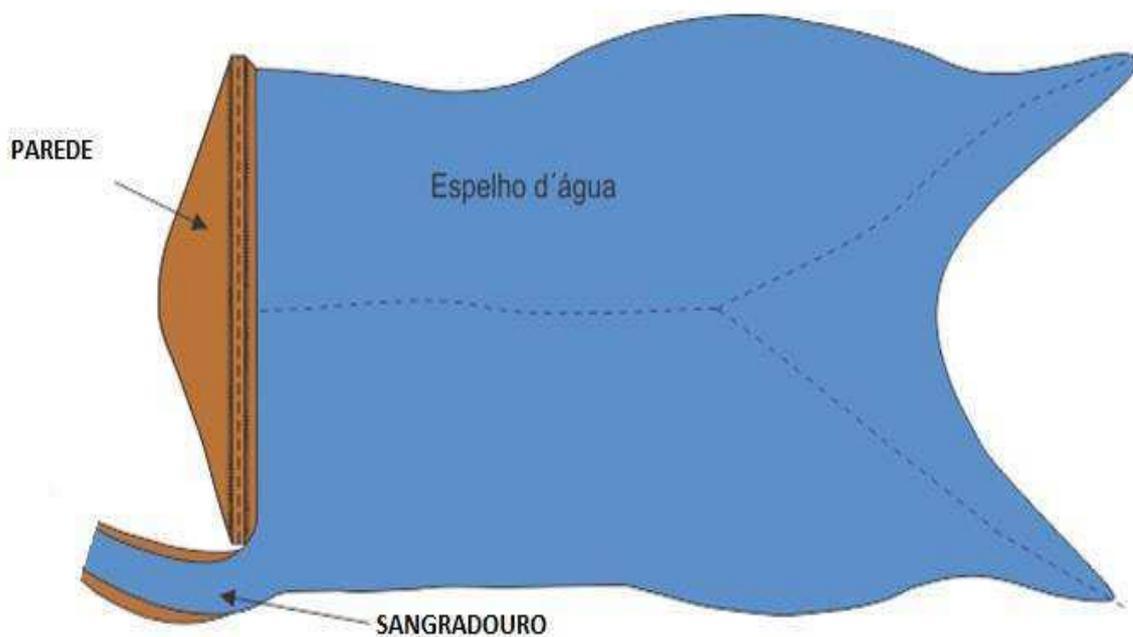


Figura 1: Açude de terra (Campos, 2018)

Para Lopes (2005), reservatório é uma estrutura construída com finalidade de acumular água, visando diversas situações, tais como: permitir o abastecimento uniforme de água para comunidades; armazenar água para ser utilizada em irrigações; elevar o nível de um curso de água para possibilitar o abastecimento por gravidade, a sistemas de irrigação, pisciculturas e criatórios de animais; possibilitar a instalação de rodas d'água, associadas a bombas de pistão, para realizar bombeamento de água, possibilitando a criação de peixes em tanques-rede, entre outras.

Molle e Cadier (1992) afirmam que os açudes possuem uma reserva palpável de água que pode ser ofertada para comunidades, algumas que não teriam condições de existir caso não houvesse um açude em sua localidade. Portanto, os açudes têm uma forte importância social e econômica.

Para Campos (2018) em situações de pesquisas como planejamento rural e urbano, investimentos na geração de energia hidrelétrica, fornecimento de água, para o consumo humano, irrigação e controle de cheias, necessita-se saber o volume dos reservatórios já construídos, aqueles que não tiveram projeto e planejamento na execução de suas obras.

De acordo com o DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica (2005), o levantamento topográfico de precisão da área do reservatório artificial permite que o projetista defina:

- A cota da crista do barramento;
- O nível máximo do reservatório (para a enchente de projeto) e a respectiva área inundada;
- A curva cota-área-volume característica do reservatório;
- O posicionamento, as cotas e dimensões de todas as estruturas (maciço da barragem, vertedor de superfície e descarregador de fundo);
- As interferências com coberturas vegetais e infraestrutura do local.

Com esses dados é possível determinar o volume dos reservatórios.

Conhecendo o volume do reservatório e a área do espelho d'água é possível classificá-los, baseando-se na proposta apresentada por Straskraba e Tundisi (2000, apud Campos, 2018) que trata da classificação de reservatórios conforme a apresentada na Tabela 1, na qual podem ser observadas as categorias referentes ao tamanho que relaciona área do espelho d'água e o volume de água dos reservatórios.

Tabela 1: Classificação de reservatórios de acordo com a área do espelho d'água e volume de água.

<b>Categoria</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
Grande	$10^4 - 10^6$	$10^{10} - 10^{11}$
Médio	$10^2 - 10^4$	$10^8 - 10^{10}$
Pequeno	$1 - 10^2$	$10^6 - 10^8$
Muito pequeno	$< 1$	$< 10^6$

## 2.2. Curva Cota-Área-Volume

Pedrosa (2009) mostra que para a curva cota-volume o procedimento pode ser o de calcular o volume definido entre o plano da cota da água e a superfície do fundo da lagoa. Repetindo este procedimento para vários planos de cota de água, forma-se a curva cota-volume, com tantos pontos quantos forem o número de integrações. E que o mesmo procedimento deve ser realizado para a definição da curva cota-área.

Segundo o DAEE (2005) a implantação de um barramento num curso d'água gera um reservatório com determinada capacidade de armazenamento, onde se faz necessário estimar o volume máximo que pode ser armazenado.

O DAEE (2005) ainda complementa dizendo que a fim de calcular e verificar quais os volumes acumulados no reservatório em função dos níveis que ele atinge, elabora-se a curva cota-área-volume conforme pode ser observado na Figura 2. Para essa finalidade e com o uso de uma planta da área do reservatório com curvas de nível de metro em metro, pode-se calcular a área delimitada por cada curva de nível e pelo eixo da barragem.

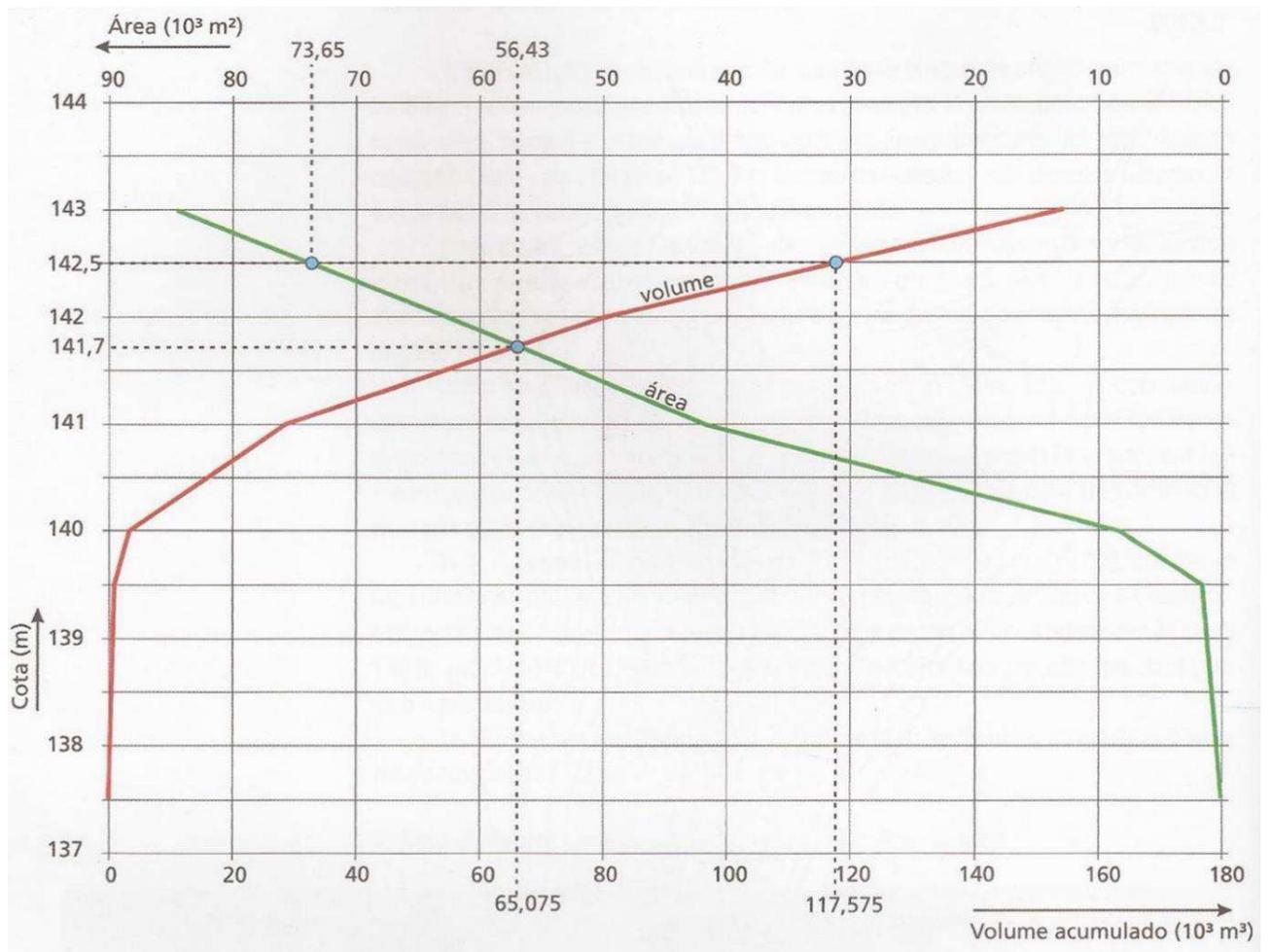


Figura 2: Exemplo de curvas cota-área e cota-volume características de um reservatório (DAEE, 2005)

### 2.3. Métodos Tradicionais

Os métodos tradicionais citados nesse trabalho tratam da determinação do volume do reservatório, a exemplo dos métodos de Molle (1994) e Kieling (1991). Estes métodos calculam o volume em função da área do espelho d'água ou superfície da bacia hidráulica e da profundidade do açude, respectivamente.

Para Molle (1994) a variável mais fácil de ser determinada é a profundidade (H), ou seja, a altura d'água no ponto mais fundo do açude, que geralmente está situado nas proximidades do pé da parede.

Para Araújo et al. (2012) é importante destacar que a metodologia de Molle (1994) apresenta duas limitações básicas. A primeira diz respeito ao fator de forma que depende do perfil das encostas onde está inserido o reservatório. Existem três tipos básicos de perfis: reto, côncavo e convexo. A segunda limitação está ligada ao fato de que não há informações quanto a real profundidade máxima dos reservatórios. Por isso, é necessária a estimativa dessa informação através de alguma ferramenta que possa ser usada de forma automática para a bacia e forneça uma informação com bom nível de precisão.

O método proposto por Molle (1994), disponibilizado no Manual do Pequeno Açude, disponibiliza a estimativa do volume de água pela equação:

$$V = \frac{A \times H}{\alpha}$$

Onde: V: volume do açude, em m<sup>3</sup>;

A: área do espelho d'água do açude, em m<sup>2</sup>;

$\alpha$ : Coeficiente de forma do açude;

H: profundidade máxima do açude, em m.

Onde é considerado o valor médio de  $\alpha = 2,70$ .

Segundo Nascimento (2012) após escolher o local, pode-se realizar o reconhecimento topográfico, onde o técnico fará a primeira avaliação do potencial do reservatório, a partir de determinados pontos avalia-se a distância até a taipa e a altura e utiliza-se a fórmula de Kieling (1991).

De acordo com Kieling (1991) de posse dos dados, procede-se todos os cálculos e dimensionamentos necessários ao projeto, incluindo maciço, taludes, vertedouro, volume de terra movimentado, volume de água armazenada, entre outros.

Landerdahl (2010) mostra também que para a determinação da estimativa do potencial de armazenamento de água no açude projetado, pode-se utilizar a expressão de Kieling (1991) que relaciona a superfície total da área alagada e a altura máxima da água no maciço. E que em função da prática que o técnico

possui a margem de erro nesta estimativa oscila em torno de 10%. O método de Kieling utiliza a seguinte equação:

$$V = \frac{4}{9} \times S \times H$$

Onde: V – volume de água acumulada, em m<sup>3</sup>;

S – superfície da bacia hidráulica, em m<sup>2</sup>;

H – profundidade máxima do açude, em m.

Landerdahl (2010) afirma ainda que nos micro-açudes pode-se determinar sua área com uso do GPS (Sistema de Posicionamento Global), percorrendo os limites desta bacia.

Shourian et al. (2007 apud Araújo et al., 2012) afirmam que metodologias simplificadoras sejam talvez os métodos mais utilizado para avaliar os recursos hídricos não monitorados. Pois além de fornecer um resultado rápido para a avaliação, podem ser usadas como base para o gerenciamento dos recursos da bacia.

## **2.4. Estação Total**

Conforme Grando, Land e Rhoden (2014) para realizar a determinação das dimensões e contorno de uma determinada área existem vários aparelhos, entre eles a Estação Total e o GPS de precisão, os quais tem uma diferença nos princípios de funcionamento. O primeiro para realizar as medições é necessário realizar uma visualização entre os pontos ou criar uma amarração entre os mesmos, já o segundo se orienta apenas por sinais de satélites.

De acordo com McCormac (2015) mesmo o uso de GPS para fins de levantamento esteja se tornando mais comum a cada ano, a Estação Total ainda é usada com frequência.

Segundo Silva e Segantine (2015) a primeira grande evolução ocorreu a partir dos instrumentos com capacidade para medição eletrônica de distância, os distanciômetros. Eles eram acoplados na luneta do teodolito permitindo assim que as medições angulares e as medições de distâncias fossem feitas quase

simultaneamente. Na década de 80 o distanciômetro foi inserido no interior da luneta do teodolito, formando um conjunto único para as medições angulares e de distâncias. Este novo instrumento, chamado de Estação Total, passou a gravar os dados medidos em campo, associados com os atributos da estação e dos pontos medidos, numa memória interna do instrumento ou numa coletora de dados externa. Na mesma época, os programas de computadores foram aprimorados e passaram a receber os dados coletados em campo descarregados diretamente da estação total.

Para Borges (2013) a Estação Total é um complemento do teodolito eletrônico, pois além de fornecer as leituras dos círculos horizontal e vertical, também lê a distância direta, já que é também um distanciômetro.

Silva e Segantine (2015) afirmam ainda que com essa nova tecnologia as medições em campo passaram a ser mais estruturadas e muito mais rápidas se comparadas aos métodos anteriores. McCormac (2015) também relata que com as Estações Totais o topógrafo pode executar as tarefas que ele realizava com teodolito de forma melhor e mais rápida. McCormac (2015, p. 155) complementa dizendo que

Os ângulos horizontais e verticais e distâncias inclinadas são automaticamente lidos com esses instrumentos e o microprocessador instantaneamente calcula as componentes horizontais e verticais da distância inclinada, assim como as cotas e as coordenadas dos pontos visados. Os valores são fornecidos em mostradores de cristal líquido e podem ser armazenados no microprocessador ou transferidos para coletores de dados externos.

Para Grando, Land e Rhoden (2014) a Estação Total é composta por um tripé para ser posicionado no campo, um prisma (refletor de sinais) e um bastão para ser posicionado no ponto a ser medido.

Portanto, a Estação Total (Figura 3) é um aparelho eletrônico que permite fazer leituras de distâncias e ângulos a partir do deslocamento do feixe de luz, que atinge um prisma e é refletido de volta ao aparelho, tendo este um computador interno que armazena as informações de campo. Depois basta baixar os dados em um computador e realizar o pós processamento dos dados com o uso de ferramentas de geotecnologias.



Figura 3: Estação Total Robótica Série GT da Topcon (MundoGEO, 2016)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Localização da Área de Estudo

O trabalho foi realizado em um açude rural localizado na Fazenda Experimental do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), coordenadas geográficas Latitude Sul 07°16'9.28" e Longitude Oeste 35°58'29.03", no município de Campina Grande, Estado da Paraíba. De acordo com Campos (2018) a Fazenda Experimental (Figura 4) possui área de 600,00 hectares, relevo levemente ondulado, sendo o uso atual constituído por reserva legal, reserva permanente de caatinga hiperxerófila e vários experimentos.

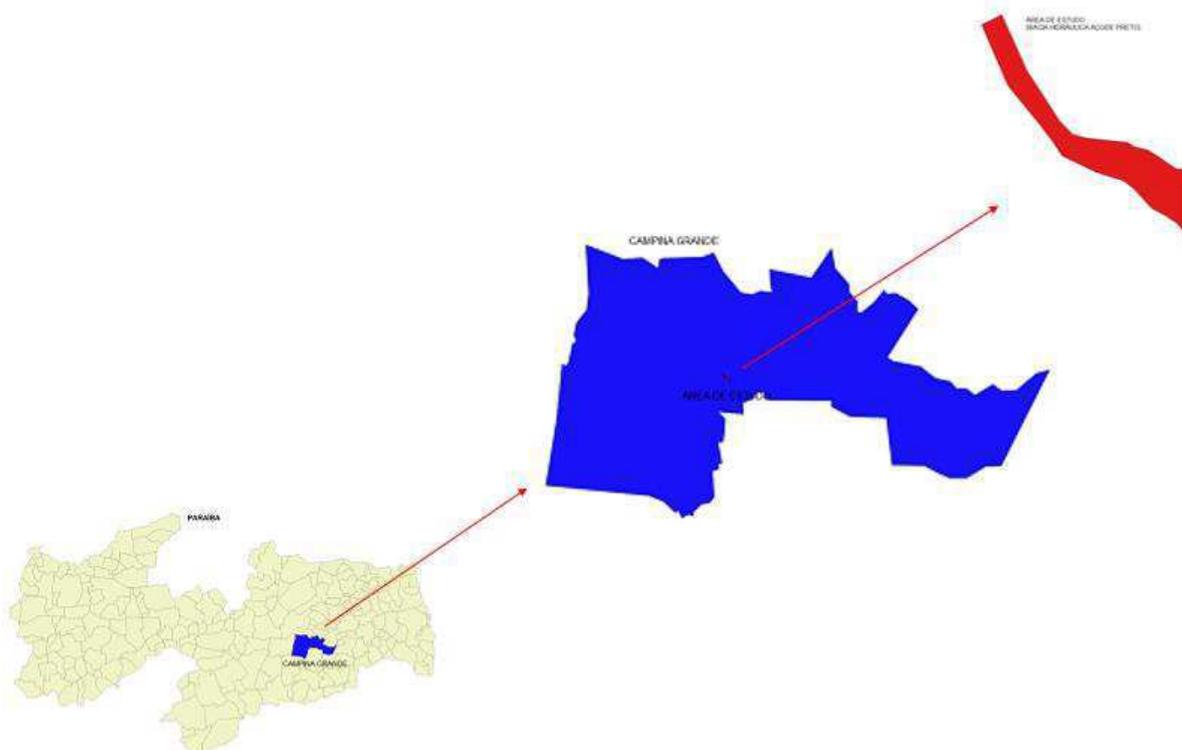


Figura 4: Localização Geográfica do Açude Preto (Campos, 2018)

A pesquisa foi realizada em duas etapas, sendo que a primeira corresponde ao levantamento de campo e a segunda corresponde ao processamento dos dados em laboratório utilizando ferramentas de geotecnologias.

### 3.2. Levantamento de Campo

O trabalho envolveu levantamento de campo, onde foram utilizados pontos georreferenciados em momento anterior. Foram coletados mais de 300 pontos (Figura 5) com a Estação Total PENTAX R-300 Series seguindo um espaçamento em média de 20m entre um ponto e outro. O levantamento contou com a ajuda de um operador para a Estação Total (Figura 6) e de 7 pessoas com os prismas (Figura 7) para dar maior agilidade ao processo.

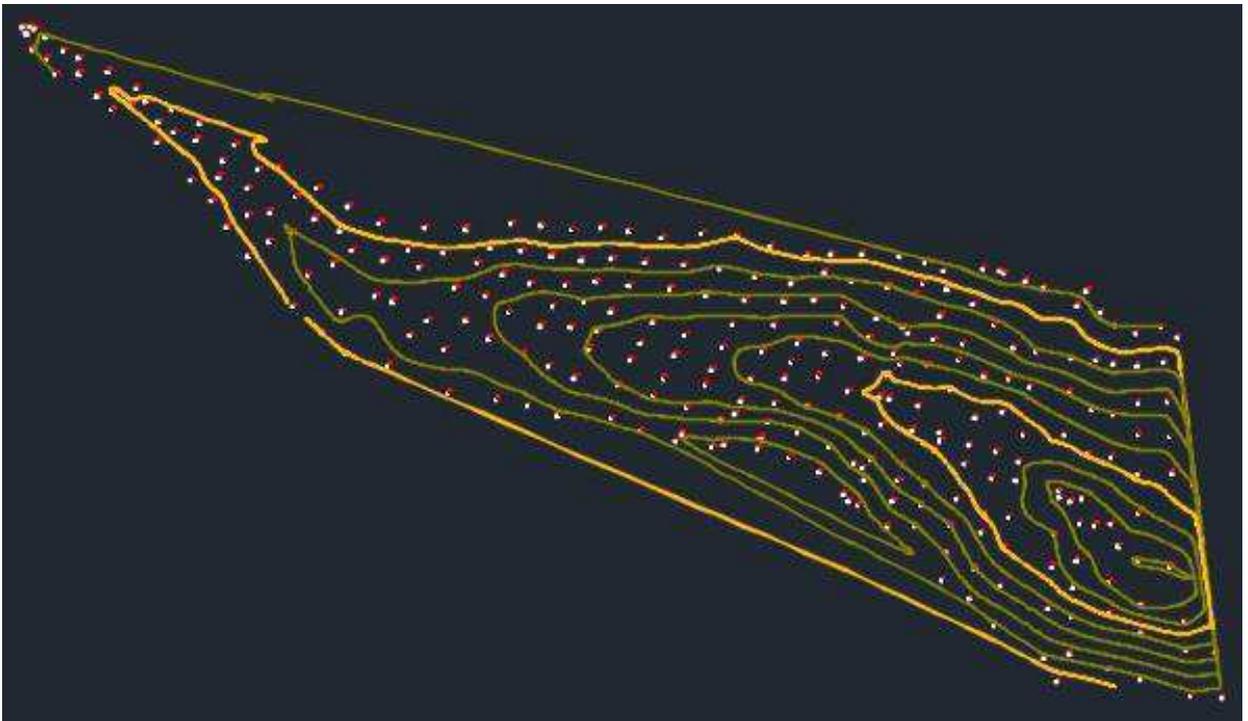


Figura 5: Pontos do levantamento e curvas de nível processados pelo AutoCad

A coleta de dados foi realizada com o objetivo de determinar as coordenadas X e Y, assim como a altitude de cada ponto. Para isso, foi utilizado como ponto de referência a altura da soleira do vertedor para determinação das curvas de nível e posterior determinação da curva cota-área-volume.



Figura 6: Estação Total



Figura 7: Prismas

### **3.3. Atividades de Laboratório**

Após o término do trabalho de campo foi realizada a transferência dos dados da Estação Total para o computador para realização do processamento dos dados. Em seguida os dados de longitude, latitude e altitude de cada ponto foram repassados para uma planilha no EXCEL.

Para geração do Modelo Digital do Terreno a partir dos dados do levantamento foi utilizado o Software SURFER vs. 12.0 Demo, no qual realizou-se a consistência e interpolação dos dados pelo método de Kriging, pois o resultado do processo de interpolação é o modelo tridimensional do reservatório de onde se extrai outras informações como volume, área, mapa de isolinhas de profundidade e tabela cota x área x volume.

### **3.4. Métodos Tradicionais para o cálculo do volume de água armazenada**

Os métodos tradicionais, conforme mencionados na revisão bibliográfica, foram utilizados nesse trabalho para estimar os volumes de água armazenada no reservatório estudado, levando em consideração as informações da área do espelho d'água ou superfície da bacia hidráulica e da profundidade do açude.

O método proposto por Molle (1994) estima o volume de água pela equação:

$$V = \frac{A \times H}{\alpha}$$

Onde: V: volume do açude, em m<sup>3</sup>;

A: área do espelho d'água do açude, em m<sup>2</sup>;

$\alpha$ : Coeficiente de forma do açude;

H: profundidade máxima do açude, em m.

Onde é considerado o valor médio de  $\alpha = 2,70$ .

O método de Kieling (1991) para determinação do volume armazenado faz uso da seguinte equação:

$$V = \frac{4}{9} \times S \times H$$

Onde: V – volume de água acumulada, em m<sup>3</sup>;

S – superfície da bacia hidráulica em m<sup>2</sup>;

H – profundidade máxima do açude, em m.

### **3.5. Método utilizando receptor GNSS RTK para o cálculo do volume de água armazenada no Açude Preto**

Para efeito comparativo foram utilizados os resultados obtidos na pesquisa realizada por Campos (2018). Em sua pesquisa, para o levantamento do perímetro e dos pontos internos do Açude Preto (mesmo açude objeto dessa pesquisa), foi utilizado um receptor GPS/GNSS RTK de dupla frequência da marca Trimble R4. Para coleta dos pontos internos o GPS coletava os pontos de forma automática a cada 1 segundo.

O programa utilizado para transferência e processamento dos dados foi o TBC - Trimble Business Center™. Para geração do Modelo Digital do Terreno a partir dos dados do levantamento foi utilizado o Software SURFER vs. 12.0 Demo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Estimativa do volume de água armazenada

O levantamento para delimitação do volume do Açude Preto foi realizado com um total de 313 pontos. Após calculada a profundidade (m), foram excluídos os pontos que ficaram acima da cota de sangria, restando um total de 281 pontos.

Os dados técnicos do açude Preto estão apresentados na Tabela 2, onde a cota de referência foi a cota de sangria (nível máximo de armazenamento) de 475,647 metros. Observa-se que o volume máximo do açude corresponde a 191.685,39 m<sup>3</sup> e, segundo a classificação de Straskraba e Tundisi (2000, apud Campos, 2018), o açude Preto é considerado muito pequeno em armazenamento de água (Tabela 1), contudo desempenha importante papel no suprimento hídrico local, pois está situado na região semiárida.

Tabela 2: Dados técnicos do Açude Preto.

Dados Técnicos	Unidades de Medida
Área máxima do espelho d'água	63.733,17 m <sup>2</sup>
Volume máximo	191.685,39 m <sup>3</sup>
Profundidade média	3,04 m
Profundidade máxima	8,74 m

A partir do levantamento realizado com a estação total no açude Preto foi gerada a tabela cota x área x volume a cada metro de diferença de nível conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Tabela Cota X Área X Volume.

Cota (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
466	-	-
467	225,70	16,34
468	2.243,02	1.241,22
469	4.223,64	4.488,05
470	9.239,27	11.279,61
471	14.698,47	23.320,01
472	21.985,04	41.926,71
473	29.585,06	67.939,97
474	40.456,47	103.059,66
475	55.317,44	151.435,81
<b>475,65</b>	<b>63.733,17</b>	<b>191.685,39</b>

O resultado da interpolação dos pontos coletados pode ser visualizado através do mapa de isolinhas de profundidades que mostra a distribuição do relevo da bacia hidráulica (Figura 8), as áreas rasas estão próximas às margens e as áreas mais profundas localizadas perto do barramento do açude. Observa-se que a profundidade é bastante irregular, sendo o valor máximo de 8,74 m e uma profundidade média de aproximadamente 3,04 m.

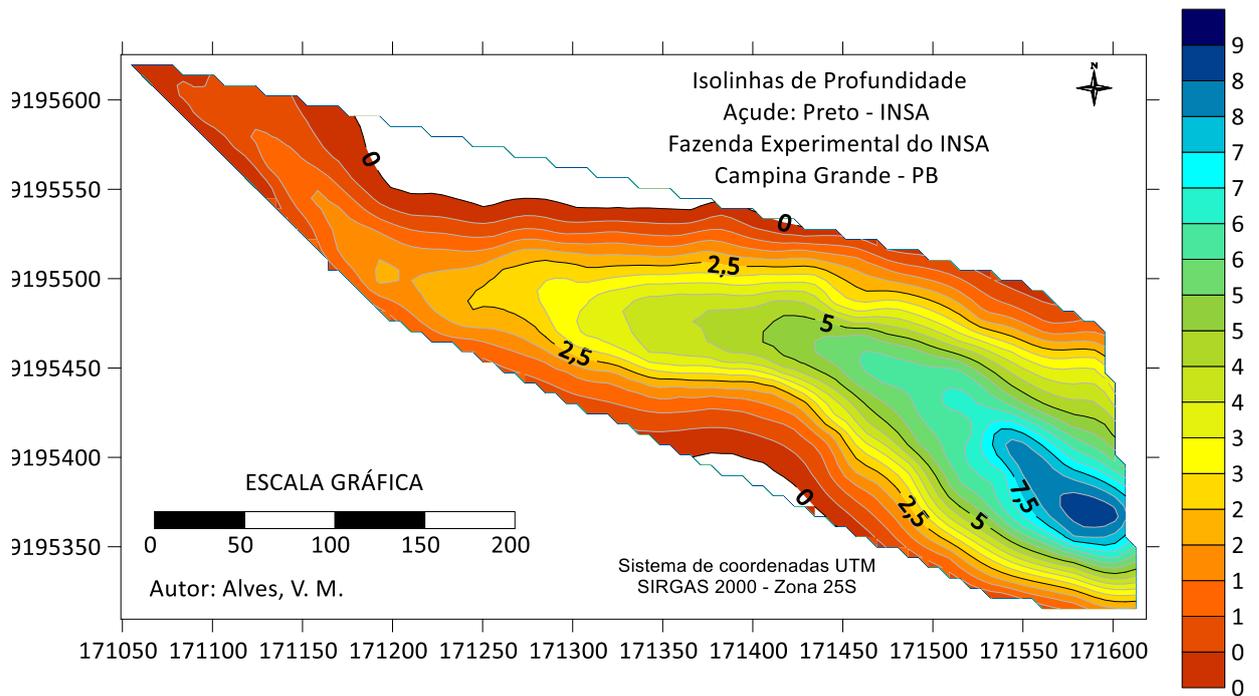


Figura 8: Mapa de Isolinhas de Profundidade

De acordo com os dados é possível calcular a área do espelho de água e o volume para cada cota, conforme Figuras 9 e 10.

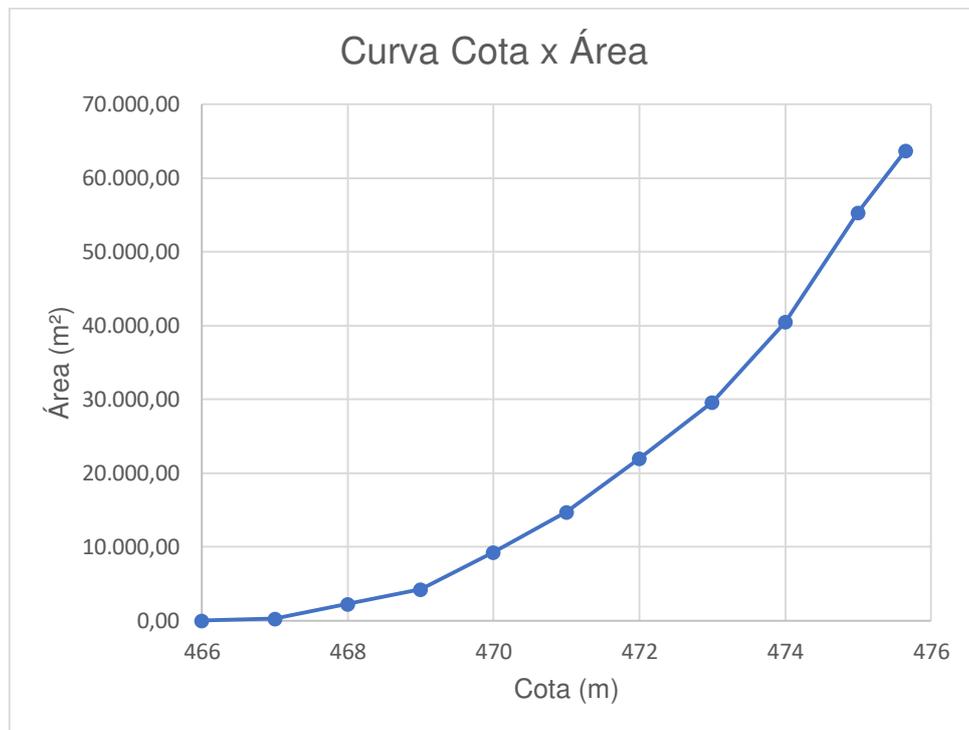


Figura 9: Gráfico que representa a curva Cota x Área.

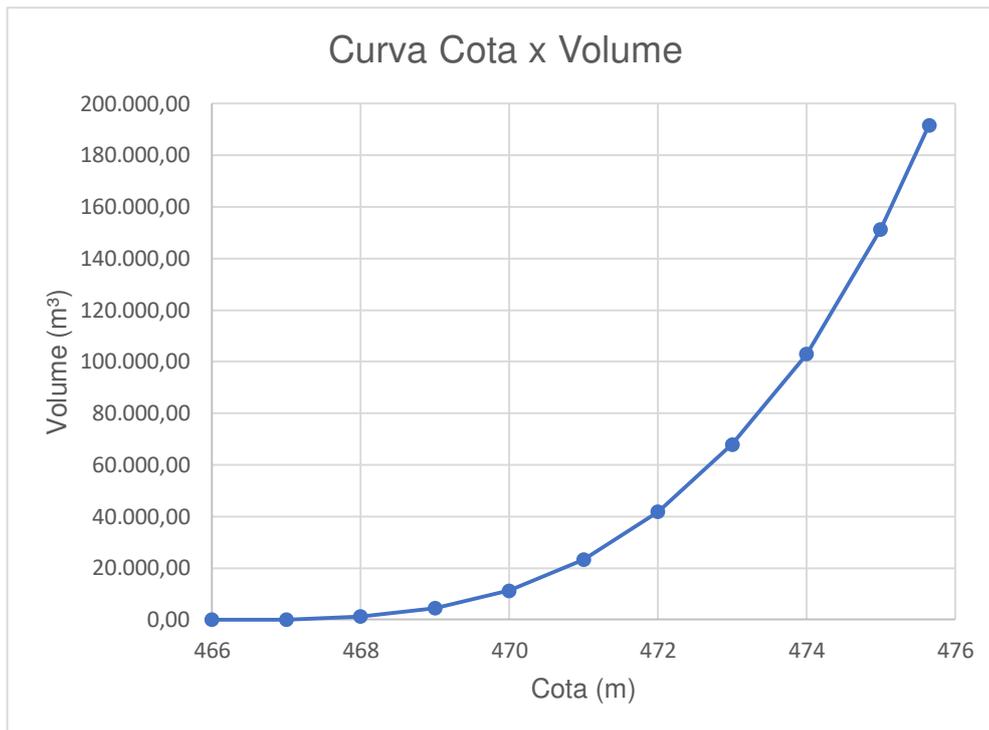


Figura 10: Gráfico que representa a curva Cota x Volume.

A Figura 11 mostra o gráfico com a interpolação das duas curvas.

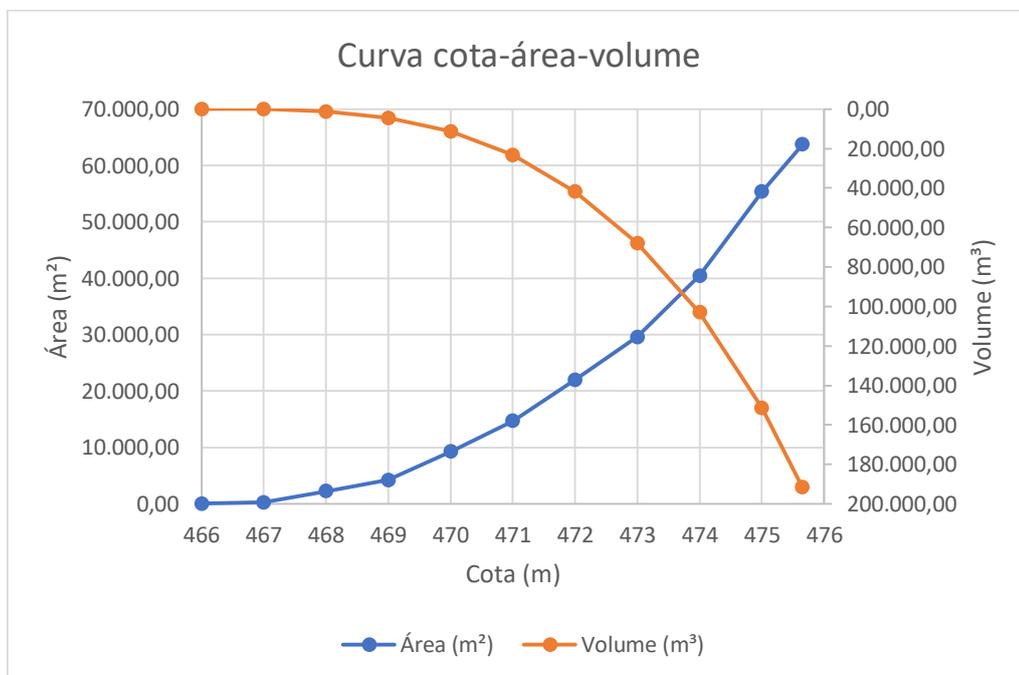


Figura 11: Curva cota-área e cota-volume características dos reservatório

#### 4.2. Comparação do volume de água armazenada no Açude Preto

A Tabela 4 apresenta os resultados de cota x área associados aos volumes obtidos pelo método utilizando estação total em comparação com os métodos tradicionais. A Tabela 5 mostra o comparativo entre os dados obtidos com a estação total e com o receptor GNSS RTK.

A estimativa de Kieling (1991) superestima o volume (191.685,39 m<sup>3</sup>) em 29,15% correspondendo a 55.882,57 m<sup>3</sup>, já o modelo de estimativa segundo Molle (1994) superestima o volume em 7,63% correspondendo a 14.621,24 m<sup>3</sup>, enquanto em relação ao GNSS RTK foi encontrado uma diferença apenas de 288,12 m<sup>3</sup> a mais. Tomando como base o valor do volume de 191.685,39 m<sup>3</sup> obtido pela estação total.

A diferença em relação aos métodos tradicionais se dá pelo fato de que estes métodos utilizam um fator de forma do açude que o consideram de formato regular, e no caso do açude Preto foi possível observar que seu relevo é bastante irregular, o que determinaria um fator de forma de valor mais elevado que o estimado pelo método, resultando em um volume menor como o encontrado pela estação total. Enquanto que a diferença em relação ao GPS RTK decorre pela precisão dos equipamentos e enquanto que com a estação total foram coletados pouco mais de 300 pontos, com o GPS RTK foram mais de 3000 pontos.

Tabela 4: Tabela comparativa dos dados da estação total com os métodos tradicionais.

Cota (m)	Alves, 2018		Kelling, 1991	Molle, 1994
	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
466	-	-	-	-
467	225,70	16,34	876,71	730,59
468	2.243,02	1.241,22	8.712,90	7.260,75
469	4.223,64	4.488,05	16.406,48	13.672,07
470	9.239,27	11.279,61	35.889,41	29.907,84
471	14.698,47	23.320,01	57.095,39	47.579,49
472	21.985,04	41.926,71	85.399,67	71.166,39
473	29.585,06	67.939,97	114.921,51	95.767,92
474	40.456,47	103.059,66	157.150,89	130.959,08
475	55.317,44	151.435,81	214.877,54	179.064,61
<b>475,65</b>	<b>63.733,17</b>	<b>191.685,39</b>	<b>247.567,96</b>	<b>206.306,63</b>

Tabela 5: Tabela comparativa dos dados da estação total com o GNSS RTK

Cota (m)	Alves, 2018		Campos, 2018	
	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
466	-	-	-	-
467	225,70	16,34	231,16	29,72
468	2.243,02	1.241,22	2.284,37	1.319,13
469	4.223,64	4.488,05	4.179,87	4.457,14
470	9.239,27	11.279,61	9.199,57	11.030,03
471	14.698,47	23.320,01	14.876,61	22.888,12
472	21.985,04	41.926,71	22.537,17	41.565,90
473	29.585,06	67.939,97	30.378,79	67.915,37
474	40.456,47	103.059,66	41.519,74	103.875,23
475	55.317,44	151.435,81	54.797,00	152.271,93
<b>475,65</b>	<b>63.733,17</b>	<b>191.685,39</b>	<b>70.199,17</b>	<b>191.973,51</b>

O mapa de isolinhas (Figura 12) gerado por Campos (2018) no levantamento utilizando o GNSS RTK mostra-se de forma semelhante ao obtido pela estação total.

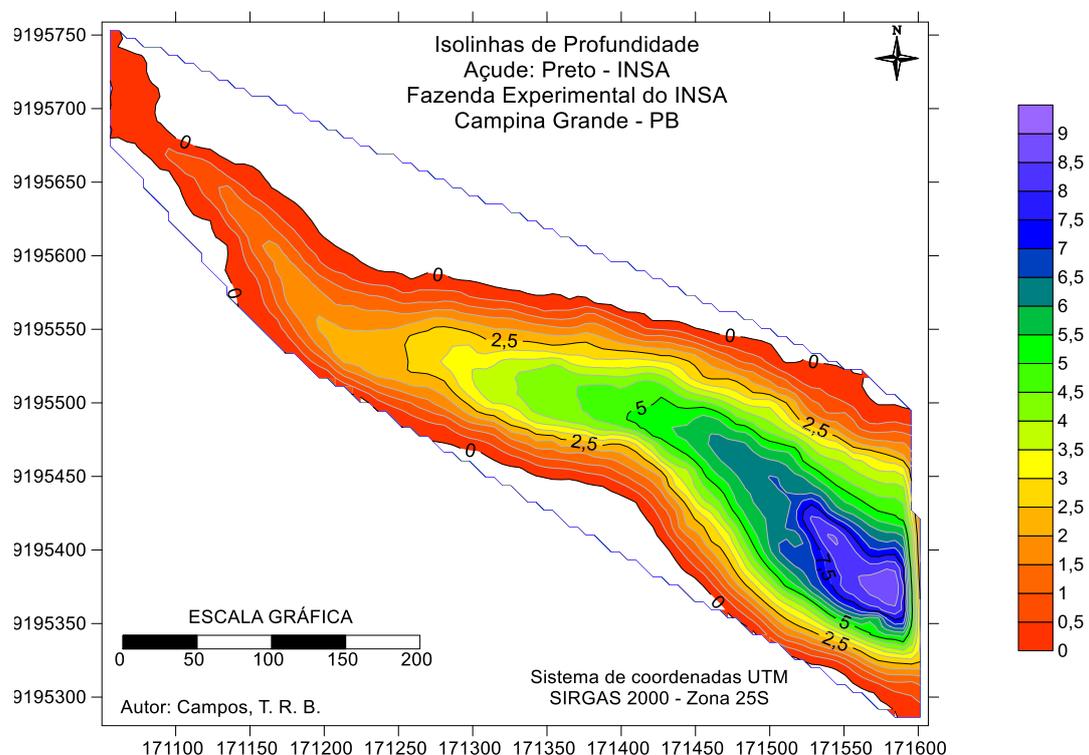


Figura 12: Mapa de Isolinhas de Profundidade – GNSS RTK

O comportamento da curva cota x área e cota x volume (Figura 13 e 14, respectivamente) obtidos pelos GNSS RTK e geradas por Campos (2018) se dá da mesma forma que o obtido pela estação total onde é possível observar um aumento da profundidade em função do aumento da cota, obtendo-se maior área do espelho d'água e, conseqüentemente, maior o volume do reservatório.

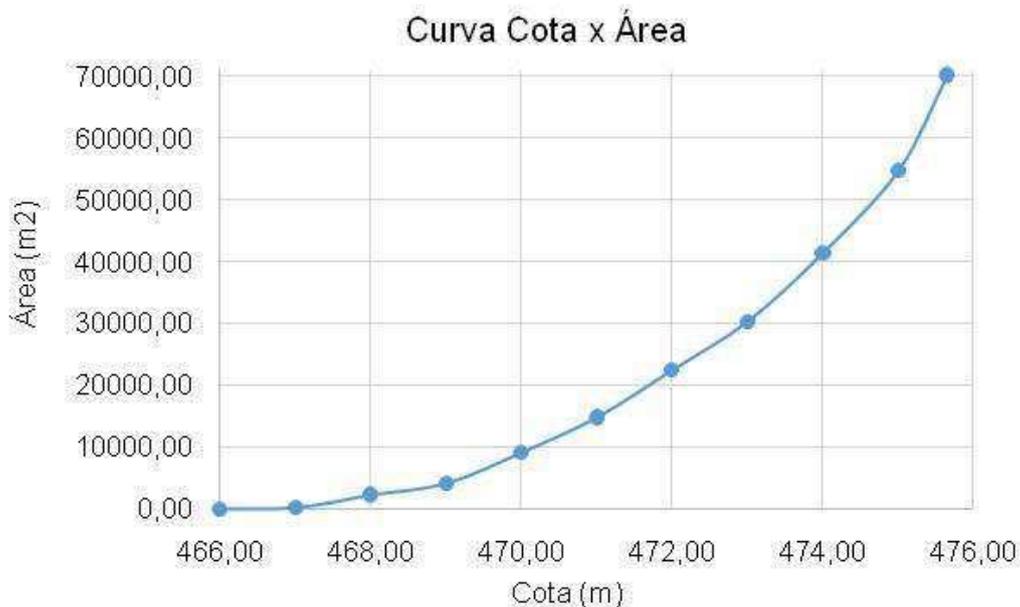


Figura 13: Gráfico que representa a curva Cota x Área – GNSS RTK

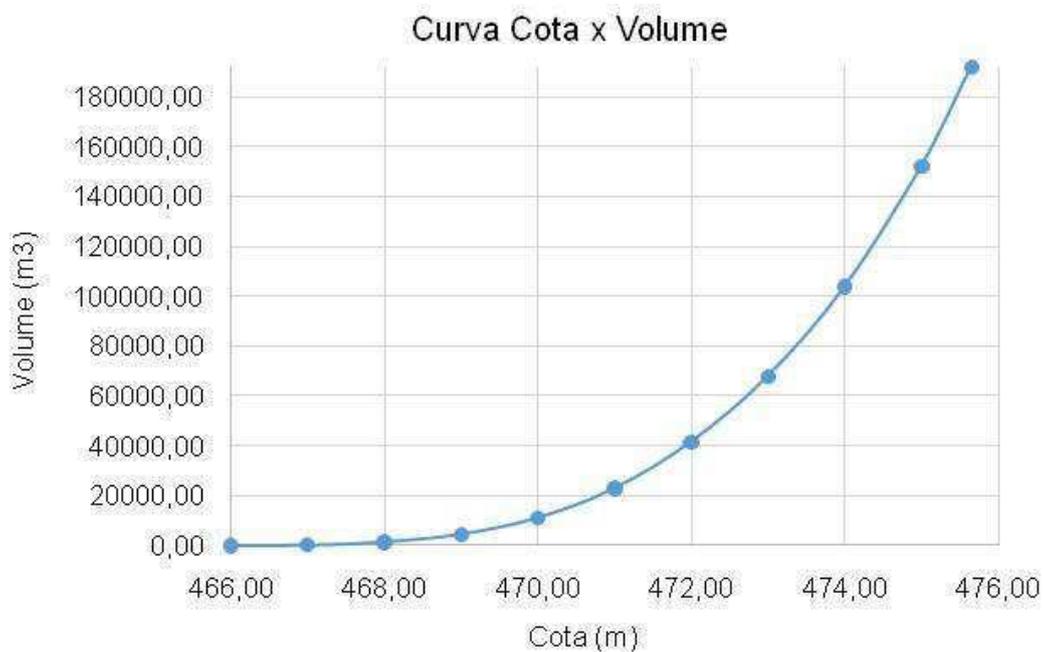


Figura 14: Gráfico que representa a curva Cota x Volume – GNSS RTK

A Figura 15 mostra o gráfico com a interpolação das duas curvas.

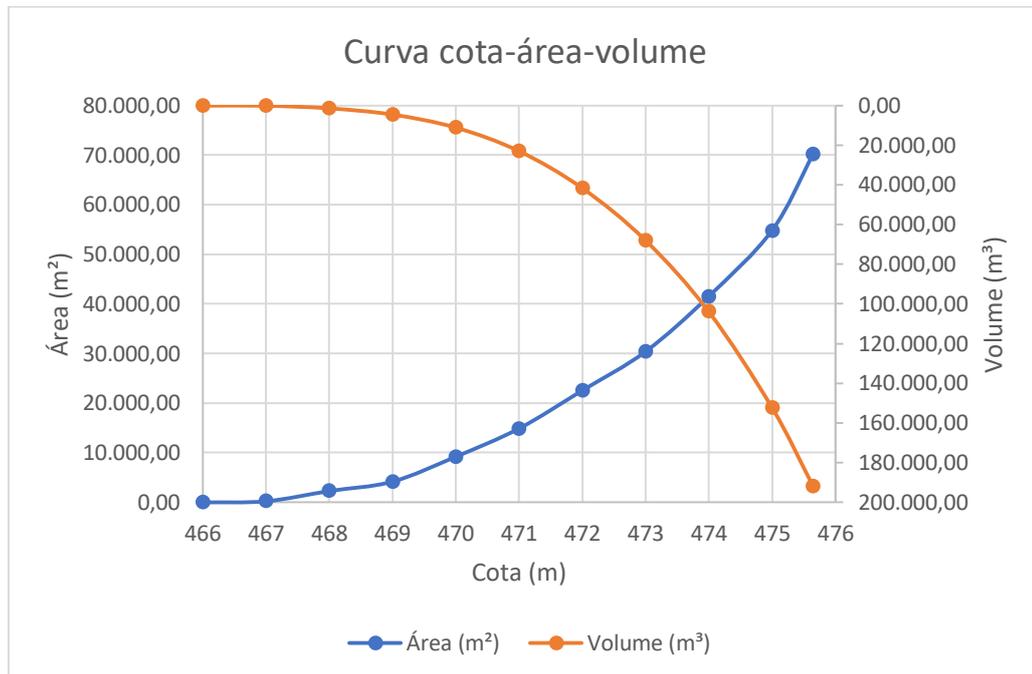


Figura 15: Curva cota-área e cota-volume características dos reservatório – GNSS RTK

## 5. CONCLUSÕES

A utilização da Estação Total e do GPS RTK aliada às ferramentas de geotecnologias facilitou a estimativa do volume de água do açude Preto.

A estimativa do volume de água a partir da metodologia utilizada no trabalho foi inferior às adotadas tradicionalmente, obtendo-se uma maior acurácia dos dados. A diferença em relação aos métodos tradicionais se dá pelo fato de que estes métodos utilizam um fator de forma do açude que o consideram de formato regular, e no caso do açude Preto foi possível observar que seu relevo é bastante irregular.

As metodologias tradicionais superestimaram o volume do açude Preto em 29,15% e 7,63% de acordo com as equações propostas por Keling (1991) e Molle (1994) respectivamente, tomando como base o valor do volume de 191.685,39 m<sup>3</sup> obtido pela estação total. O levantamento realizado pelo receptor GNSS RTK determina um volume de 191.973,51 m<sup>3</sup> que difere em 288,12 m<sup>3</sup> a mais do encontrado pela estação total.

A partir dos resultados obtidos com a utilização da estação total e do GNSS RTK pode-se constatar que não há grande diferença de valores, tornando possível a utilização de equipamentos mais acessíveis para estimar o volume de reservatórios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E. M. et al. **ESTIMATIVA DO VOLUME DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS AO NÍVEL DE UMA BACIA REGIONAL**. IV WINOTEC - Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação. Fortaleza, 2012.

BORGES, Alberto de Campos. **Topografia**: Volume 1. 2. ed. Editora Blucher, 2013. 191 p.

CAMPOS, Tássio Rogério Borja. **ESTIMATIVA DE VOLUME DE ÁGUA EM AÇUDE RURAL UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS**. Areia – PB, 2018. 36p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba.

Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo, DAEE, 2005. 116 p.

GRANDO, D. L.; LAND, V.; RHODEN, A. C.. **Levantamentos Topográficos – Estação Total x GPS RTK**. In: Simpósio De Agronomia E Tecnologia De Alimentos, 1., 2014, Itapiranga. Resumo... . Itapiranga: Agrotec, 2014, p. 1 – 5

KIELING, João Carlos. **Açudagem**. IRGA, 1991.44 p. Separata de: Lavoura Azzozeira, Porto Alegre, v. 44, n. 399, Nov./dez. 1991.

LANDERDAHL, M. L. **MODELO DE DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE AÇUDES (MDPA) – PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE AÇUDES DO TIPO CONSTRUÇÃO DE TERRA**. São Leopoldo, 2010.

LOPES, J. D. S., LIMA, F. Z. **Pequenas barragens de terra: planejamento, dimensionamento e construção.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2005. 274p.

McCormac, Jack C. **Topografia.** 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

MOLLE, F.: CADIER, E. (1992). **Manual do Pequeno Açude.** SUDENE-DPG/PRN/HME, Recife.

MOLLE, F. (1994). **Geometria dos Pequenos Açudes.** SUDENE-DPG/PRN/HME, Recife, 139 p.

NASCIMENTO, R. M. **ESTIMATIVA DE VOLUME DE ÁGUA EM AÇUDES PARA IRRIGAÇÃO DA CULTURA ORIZÍCOLA EM SANTA MARGARIDA DO SUL.** São Gabriel – RS, 2012. Relatório Final de Estágio – Universidade Federal do Pampa.

PREDROSA, V. de A. **CURVAS COTA-VOLUME E COTA-ÁREA DA LAGOA DA COCA-COLA LOCALIZADA NO DISTRITO INDUSTRIAL LUIZ CAVALCANTE.** VXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande – MS, 2009.

SILVA, Irineu da; SEGANTINE, Paulo C. L. **Topografia para Engenharia.** 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.