



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL

**MONITORAMENTO REMOTO E AUTOMÁTICO DE NÍVEL NO  
RESERVATÓRIO ARGEMIRO DE FIGUEIREDO (ACAUÃ)**

FILIPE CARVALHO LEMOS

JOÃO PESSOA-PB  
SETEMBRO - 2019

FILIPE CARVALHO LEMOS

**MONITORAMENTO REMOTO E AUTOMÁTICO DE NÍVEL NO  
RESERVATÓRIO ARGEMIRO DE FIGUEIREDO (ACAUÃ)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal da Paraíba, como pré-  
requisito obrigatório à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida

JOÃO PESSOA-PB  
SETEMBRO - 2019

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

### **NOME DO ALUNO**

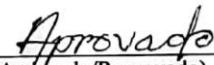
**Filipe Carvalho Lemos**

### **TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

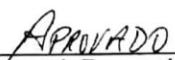
Monitoramento remoto e automático de nível no reservatório Argemiro Figueiredo (Acauã)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 25/09/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

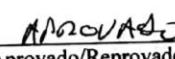
  
\_\_\_\_\_  
Cristiano das Neves Almeida  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

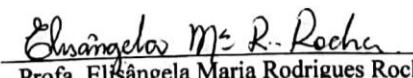
  
\_\_\_\_\_  
(Aprovado/Reprovado)

  
\_\_\_\_\_  
Francisco Jácome Sarmento  
Universidade Federal da Paraíba

  
\_\_\_\_\_  
(Aprovado/Reprovado)

  
\_\_\_\_\_  
Hamilcar José Almeida Figueira  
Universidade Federal da Paraíba

  
\_\_\_\_\_  
(Aprovado/Reprovado)

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Elisângela Maria Rodrigues Rocha  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Elisângela M. R. Rocha  
Coordenadora de Eng. Ambiental  
CT/UFPB – Mat. 1821373

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por sempre estar presente em todos os momentos da minha vida, certamente sem ele eu não estaria aqui hoje.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais Deluciano Lemos de Araújo e Ana Juberlita de Carvalho Lemos e a minha irmã Maria Helena Carvalho Lemos, que sempre me deram amor e apoio em todos os momentos. Eles são meu exemplo de vida. Agradeço especialmente a minha prima Lívia Maria Carvalho da Silva e aos meus tios, Cícero José da Silva, Josefa Jucilene de Carvalho, Demilson Lemos de Araújo e Maria do Socorro Alves Lemos por sempre estarem presente e dispostos a me ajudar. O apoio de vocês foi extremamente importante na minha vida. Sou e serei eternamente grato por tudo!

À minha avó Maria Josefa de Carvalho (*in memoriam*), que certamente está orgulhosa onde quer que ela esteja.

Aos meus amigos de caminhada: Maria Isabel Abrantes, Ana Luiza Limeira, Andressa Nunes, Aline Medeiros, e em especial a Milla Gomes e Gustavo Chaves. Obrigado pelas motivações, conversas, almoços no Novo Oriente (“kkk”), brincadeiras e estudos. A graduação nunca teria sido a mesma sem vocês.

A todos os professores que passaram por mim e marcaram a minha vida não só pelo ensino de suas disciplinas, mas por me fazerem buscar aprender cada vez mais

Ao professor Cristiano das Neves Almeida, pela oportunidade, dedicação, conselhos e disponibilidade em sempre me ajudar e passar conhecimento.

A Rene Neuenschwander, que me ajudou durante toda a pesquisa e sempre esteve disponível para tirar dúvidas, independente do horário. Sua ajuda e parceria foi fundamental.

Agradeço por fim a todos aqueles que de alguma maneira fizeram parte da minha formação não só acadêmica, mas também pessoal.

## RESUMO

A água é um elemento essencial à vida e está presente em praticamente todas as atividades humanas. O monitoramento da sua disponibilidade é etapa fundamental da gestão, pois os tomadores de decisão ficam menos vulneráveis a possíveis erros. Atualmente, na Paraíba e nos Estados vizinhos, praticamente todos os reservatórios são monitorados por meio da leitura direta em réguas linimétricas, sendo realizado uma vez ao dia. Essa forma de medição tem atrelado a ele um fator de erro, pois a dinâmica de variação das ondas no reservatório faz com que o responsável pela leitura muitas vezes sub ou superestime o valor real. Assim, o presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo instalar um sistema de monitoramento de nível de água automático e remoto para monitoramento da barragem Argemiro de Figueiredo, 4º maior reservatório em volume da Paraíba. O manancial registra conflitos em relação ao uso da água. Por isso, a instalação de um sistema de monitoramento remoto e automático de nível seria uma importante ferramenta de auxílio à gestão e aos estudos hidrológicos. Foram instalados dois sistemas de medição, que monitoraram o volume de abril a agosto de 2019, sendo utilizado 15 minutos de passo de tempo para as medições. Durante a pesquisa, foi constatada a complexidade para se chegar a uma instalação que gere dados confiáveis, pois variáveis ambientais podem interferir diretamente nos sensores. Ao fim da análise dos resultados, comprovou-se que os dois sistemas de monitoramento se mostraram equivalentes. Conclui-se que o principal fator determinante da eficácia do monitoramento é o processo de instalação.

**Palavras-chave:** Monitoramento de barragem, Sensores de pressão, Nível, Volume, Gestão de recursos hídricos.

## ABSTRACT

Water is an essential element of life and is present in virtually all human activities. Monitoring their availability is a critical step in management, as decision makers are less vulnerable to potential errors. Currently, in Paraíba and neighboring states, practically all reservoirs are monitored by direct reading in linear rulers, being performed once a day. This form of measurement has been linked to an error factor, because the dynamics of wave variation in the reservoir often cause the reader to underestimate or overestimate the actual value. Thus, this Course Completion Work (TCC) aims to install an automatic and remote water level monitoring system for monitoring the Argemiro de Figueiredo dam, 4th largest reservoir in volume of Paraíba. The source records conflicts regarding the use of water. Therefore, the installation of a remote and automatic level monitoring system would be an important tool to aid management and hydrological studies. Two measuring systems were installed, which monitored the volume from April to August 2019, using 15 minutes of time step for measurements. During the research, it was found the complexity to arrive at an installation that generates reliable data, because environmental variables can interfere directly in the sensors. At the end of the analysis of the results, it was proved that the two monitoring systems were equivalent. It is concluded that the main factor determining the effectiveness of monitoring is the installation process.

**Keywords:** Dam Monitoring, Pressure Sensors, Level, Volume, Water Resource Management.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Relação entre pressão absoluta, atmosférica e relativa.....	8
<b>Figura 2:</b> Funcionamento de sistema de energia .....	9
<b>Figura 3:</b> “Datalogger” Ampeq e bateria de alimentação .....	10
<b>Figura 4:</b> Sensor de nível da Ampeq acoplado a mangueira.....	11
<b>Figura 5:</b> Referências para instalação e calibração de um sistema Baro-Diver .....	12
<b>Figura 6:</b> Arranjo de réguas e verificação de nível com uma mangueira.....	13
<b>Figura 7:</b> Pluviógrafo do tipo basculante .....	15
<b>Figura 8:</b> Imagem de satélite da barragem Acauã.....	16
<b>Figura 9:</b> Montante da barragem Acauã.....	17
<b>Figura 10:</b> Parte interna do vertedouro do reservatório .....	18
<b>Figura 11:</b> Parte externa do vertedouro do reservatório.....	18
<b>Figura 12:</b> Barragem de nível para captação de água em Itabaiana-PB.....	19
<b>Figura 13:</b> Fluxograma geral.....	20
<b>Figura 14:</b> Vista superior do local onde estão os três sensores de nível .....	21
<b>Figura 15:</b> Local onde os cabos dos sensores estão presos .....	21
<b>Figura 16:</b> Rocha sendo usada como ancora para estabilização .....	22
<b>Figura 17:</b> Novo local de fixação do sensor 11 .....	22
<b>Figura 18:</b> Diver.....	23
<b>Figura 19:</b> Baro .....	23
<b>Figura 20:</b> Ponto onde foi realizada a medição da distância entre nível da água e parte superior da parede .....	23
<b>Figura 21:</b> Diver preso a uma ancora .....	24
<b>Figura 22:</b> Baro dentro de um dos abrigos na casa de máquinas .....	24
<b>Figura 23:</b> Local de instalação do pluviógrafo. Foi considerando a direção da chuva para realizar a instalação do equipamento. ....	25
<b>Figura 24:</b> Leitura do nível na régua. Cota com 104,9 m .....	26
<b>Figura 25:</b> Medindo a profundidade do Diver .....	26
<b>Figura 26:</b> Sensores 13, 11 e 12 acoplados aos suportes .....	27
<b>Figura 27:</b> Perfuração para instalar base de suporte do poço tranquilizante para o sensor 11 .....	28
<b>Figura 28:</b> Introdução do sensor 11 ao poço tranquilizante .....	28
<b>Figura 29:</b> Arranjo final dos sensores na segunda visita dia 11/03/2019.....	29
<b>Figura 30:</b> Local aproximado onde foi feita instalação do segundo Baro.....	30
<b>Figura 31:</b> Baro instalado em uma árvore .....	30
<b>Figura 32:</b> Ilustração da ação do vendo sobre os sensores.....	31
<b>Figura 33:</b> Variação da cota no arranjo inicial do sistema, com média da média de 10 medidas.....	32
<b>Figura 34:</b> Variação da cota com base na média.....	33
<b>Figura 35:</b> Posição do sol durante o ano em relação aos equipamentos .....	33
<b>Figura 36:</b> Variação da cota de acordo com a temperatura.....	34
<b>Figura 37:</b> Comparação entre as cotas do sensor 11 e a média dos três sensores .....	35
<b>Figura 38:</b> Comparação entre as cotas do sensor 12 e a média dos três sensores .....	35
<b>Figura 39:</b> Comparação entre as cotas do sensor 13 e a média dos três sensores .....	36
<b>Figura 40:</b> Variação da cota nos sensores e na régua.....	37
<b>Figura 41:</b> Comparação entre as cotas do sensor 11 e a média dos três sensores .....	38
<b>Figura 42:</b> Comparação entre as cotas do sensor 12 e a média dos três sensores .....	38
<b>Figura 43</b> Comparação entre as cotas do sensor 13 e a média dos três sensores .....	39

<b>Figura 44:</b> Variação da cota entre 30/05/19 e 17/07/19 .....	40
<b>Figura 45:</b> Variação da cota entre 17/07/19 até 08/08/19 .....	41
<b>Figura 46:</b> Comparação entre as cotas do sensor 11 e a média dos três sensores .....	41
<b>Figura 47:</b> Comparação entre as cotas do sensor 12 e a média dos três sensores .....	42
<b>Figura 48:</b> Comparação entre as cotas do sensor 13 e a média dos três sensores .....	42
<b>Figura 49:</b> Comparação entre a medida dos três sensores e a média .....	44
<b>Figura 50:</b> Comparação entre as médias com dois e três sensores.....	44
<b>Figura 51:</b> Variação da temperatura nos dois pontos de monitoramento.....	46
<b>Figura 52:</b> Variação da temperatura entre os Baros instalados na casa de máquina e na árvore .....	46
<b>Figura 53:</b> Variação da pressão atmosférica entre os Baros instalados na casa de máquina e na árvore .....	47
<b>Figura 54:</b> Variação da cota com o Diver compensado pelo Baro da casa de máquina.....	48
<b>Figura 55:</b> Variação da cota com o Diver compensado pelo baro da árvore .....	48
<b>Figura 56:</b> Variação da cota com Diver compensado pelo Baro da casa de máquina.....	49
<b>Figura 57:</b> Comparação entre medições de cota pelos equipamentos.....	50
<b>Figura 58:</b> Comparação entre medições de cota pelos equipamentos.....	50
<b>Figura 59:</b> Variação da cota entre os três sistemas de medição .....	51
<b>Figura 60:</b> Variação da cota entre os três sistemas de medição .....	51
<b>Figura 61:</b> Variação do volume em porcentagem e em metro cúbico considerando todos os equipamentos.....	52
<b>Figura 62:</b> Cano de PVC encobrindo mangueira .....	53
<b>Figura 63:</b> Variação da cota registrado pelos sensores às precipitações .....	54
<b>Figura 64:</b> Variação da cota registrado pelos sensores às precipitações .....	54
<b>Figura 65:</b> Variação da cota registrado pelos sensores às precipitações .....	55
<b>Figura 66:</b> Resposta dos sensores no dia de maior precipitação .....	55

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Variação da densidade da água com a temperatura.....	14
<b>Tabela 2:</b> Variação do volume em metros e em porcentagem de volume.....	41
<b>Tabela 3:</b> Maior velocidade de recarga durante o período analisado.....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
EPAGRI/SC	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
DAEE/SP	Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo
IGAM/MG	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
AGUASPARANÁ	Instituto das Águas do Paraná
COHIDRO	Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe
UFC	Universidade Federal do Ceará
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
SEMARH	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (RN)
HIDRO	Portal Hidrológico do Ceará
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
DNOCS	Departamento Nacional de Obras contra as Secas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
MME	Ministério das Minas e Energia
DNAE	Departamento Nacional de Águas e Energia
USAID	Agency for International Development

SIH	Sistema de Informações Hidrológica
MSDHD	Micro Sistema de Dados Hidrometeorológico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
SAR	Superintendência de Administração da Rede Hidrometeorológico

# Sumário

<b>1.0 INTRODUÇÃO .....</b>	1
<b>2.0 OBJETIVOS .....</b>	5
2.1    Gerais.....	5
2.2    Específicos.....	5
<b>3.0 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	5
3.1    Histórico do monitoramento hidrometeorológico no Brasil .....	5
3.2    Conceitos fundamentais e equipamentos.....	7
3.2.1    Pressões absoluta e relativa .....	8
3.2.2    “Datalogger” .....	8
3.2.3    Sensor de nível Ampeq.....	10
3.2.4    Diver e Baro.....	11
3.2.5    Régua Limnimétrica .....	13
3.2.6    Densidade .....	14
3.2.7    Pluviógrafo .....	15
<b>4.0 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	16
<b>5.0 METODOLOGIA.....</b>	19
<b>6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	31
6.1    Análise dos dados antes das modificações .....	31
6.2    Resultados após primeira modificação .....	32
6.3    Resultados após segunda modificação.....	36
6.4    Resultado final da instalação .....	40
6.5    Quantidade necessária de sensores .....	43
6.6    Resolução de medição do sistema .....	45
6.7    Comparação entre Diver e os Baros .....	46
6.8    Comparação entre os sistemas de medição de nível Ampeq e Diver/Baro.....	49
6.9    Falhas do sistema.....	52
<b>7.0 CONCLUSÕES .....</b>	57
<b>8.0 REFERÊNCIAS .....</b>	60

## 1.0 INTRODUÇÃO

A água configura um insumo fundamental à vida, estando presente na grande maioria das atividades humanas e proporcionando importante papel de equilíbrio do meio ambiente. O considerável e acelerado crescimento da população mundial tem elevado cada vez mais a demanda de água, o que acarreta, em várias regiões, conflitos e problemas de escassez desse recurso.

Estima-se que mais de 1 bilhão de pessoas vivem em condições insuficientes de disponibilidade de água para consumo, e que, em 25 anos, cerca de 5,5 bilhões de pessoas viverão em áreas com moderada ou séria falta de água. O Brasil, em relação a outros países, detém situação privilegiada em relação à sua disponibilidade hídrica, entretanto, aproximadamente 70% da água doce disponível encontra-se na região amazônica, que é habitada por menos de 5% da população do país. Essa visão generalista de abundância serviu durante muito tempo como “justificativa” à cultura do desperdício da água disponível, à sua pouca valorização como recurso e ao adiamento dos investimentos necessários à otimização de seu uso e gestão (FREITAS, 2001).

Em função dos problemas relativos à falta de um adequado sistema de gestão da água, cada vez mais evidentes, o setor de recursos hídricos vem ganhando importância e interesse por parte da sociedade brasileira. Alguns fatores que contribuem com esse processo é o aumento populacional, agricultura e necessidades ambientais.

O ponto inicial para gerenciar este recurso que é essencial à vida é o conhecimento da sua disponibilidade, pois, a partir dessa informação, é possível realizar a tomada de decisão acerca da sua gestão. Em uma barragem, a quantidade de água ou volume armazenado é calculado a partir da curva cota x área x volume, onde cada cota limnimétrica é relacionada a uma determinada área de espelho d’água e, consequentemente, a certo volume.

Atualmente existem inúmeros mecanismos para medir a cota limnímetrica, mas, o mais utilizado, é mediante utilização de réguas limnímetricas. Essa é uma forma direta, simples e barata de se ter conhecimento acerca do nível de uma barragem ou até mesmo um rio, por exemplo.

Com o avanço das tecnologias, foram surgindo novos mecanismos de medição de nível, principalmente os que fazem medição de forma indireta, ou seja, aquele em que o nível é determinado em função de outra variável, como, por exemplo, a pressão da coluna de fluido. E, embora novas tecnologias tenham surgido, o monitoramento de nível na maioria dos reservatórios ainda apresenta relativa defasagem em termos do método utilizado.

No Brasil, são encontrados registros de monitoramento das águas no século XIX, por meio de estações sob responsabilidade atual da Agência Nacional de Águas (ANA) desde o ano de 1855 (estação pluviométrica Morro Velho, em Minas Gerais). Entre 1900 e 1920, o Governo Federal incorporou o monitoramento como serviço público federal e criou instituições para abrigá-lo (HIDROWEB, 2018). Desde então, a Rede que era coordenada por entidades ligadas ao setor elétrico passou a ser gerida pela ANA em 2000, pela Lei Federal nº 9.984/2000.

A ANA é responsável pela coordenação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), um sistema que hoje abriga, aproximadamente, 9.926 pontos de monitoramento no país, divididos em estações que monitoram parâmetros como nível limnétrico, vazão, qualidade da água e transporte de sedimentos, e outros que monitoram principalmente as chuvas (15.622) (ANA, 2009).

As estações hidrometeorológicas são operadas por entidades parceiras ou contratadas pela ANA, que é a responsável pelo planejamento, normatização de procedimentos e equipamentos, fiscalização, organização dos dados hidrometeorológicos e sua publicação. Atualmente, são responsáveis pela operação da Rede o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI/SC), o Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE/SP), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM/MG), o Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ) e as empresas contratadas COHIDRO, CONSTRUFAM e UFC (HIDROWEB, 2018).

Boa parte das medições, principalmente no Nordeste brasileiro, é feita de forma manual via régua limnétrica uma vez por dia. Normalmente, a leitura da cota é realizada às 06:00h da manhã por um responsável que mora no próprio local e, posteriormente, esse dado é enviado via celular para o órgão de gestão Estadual e ou para a ANA. Todavia, é possível apontar alguns pontos negativos nesse modelo de monitoramento: quando se faz apenas uma coleta de dados durante o dia, a dinâmica de variação intradiária do reservatório não pode ser entendida, impossibilitando aos gestores aprimorarem a gestão. Ademais, por ser uma leitura completamente manual, eventuais erros de medição são inerentes ao processo.

Na literatura é possível encontrar exemplos de aplicação de equipamentos automáticos de medição de nível do espelho d'água. PECHOTO et al. (2012) realizaram o uso de sensores de pressão automáticos e em tempo real para monitoramento de enchentes em rios urbanos na cidade de São Carlos - SP. Durante as etapas do projeto de implantação, o sistema de monitoramento apresentou limitações, como, por exemplo, problemas de conexão e elevado consumo de energia pela plataforma de envio de dados. Esses problemas foram resolvidos com a troca do sistema de comunicação. Os dados coletados pelos sensores eram enviados

automaticamente para um servidor, que fazia a análise entre a cota atual do rio e o valor antecedente. Caso a variação entre as duas cotas fosse elevada, o sistema enviaria uma mensagem tipo SMS para números cadastrados e órgãos civis. A resolução temporal da estação era de cinco minutos.

HERNÁNDEZ et al. (2007) realizaram a instalação e testes de um sistema de medição automático no rio de Oro, na Colômbia. Esse rio é a fonte de água para cerca de 200.000 habitantes. Embora o rio seja de grande importância econômica, ele apresenta grande deficiência de monitoramento. Os dados eram baixados duas vezes no mês e usados para calcular a vazão por meio da curva chave. Concluiu-se que os picos de nível ocorriam durante o fim de tarde ou na madrugada, período em que a leitura da régua não era realizada, evidenciado a necessidade de automação das medições. Ademais, o rio apresentava resposta rápida às precipitações e os dados dos sensores evidenciaram que uma comportava em uma estrutura hidráulica localizada a cerca de 100 m abaixo da estação causava remanso. A autora apontou dificuldades durante o estudo, como a de chegar ao local da estação, falha dos sensores e perda de dados durante o período que é realizado o “Download”, já que o sensor ficava fora da água.

Na Paraíba e nos Estados vizinhos, o monitoramento se dá de maneira relativamente semelhante. A Paraíba atualmente não conta com nenhum sistema de medição automática de nível. Entretanto, a AESA consegue manter certa regularidade de atualização dos dados, na grande maioria dos reservatórios. O sistema de coleta dos dados é o mesmo dos demais estados, feito em parceria com a ANA.

O estado de Pernambuco conta com Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), que disponibiliza em um portal informações acerca do monitoramento hidroclimatológico. Entretanto, esse Estado não conta com o monitoramento remoto e automático em nenhum dos seus reservatórios. A coleta de dados é feita em parceria com a ANA, onde um responsável faz a leitura manualmente na régua limnimétrica e envia a informação via aparelho celular. Esse dado é previamente avaliado, objetivando evitar erros grosseiros e posteriormente é publicado, ficando disponível para acesso da população. Os reservatórios estratégicos possuem leitura diária, todavia, os demais apresentam relativa ausência de dados.

O Estado do Rio Grande do Norte (RN) é, certamente, o Estado de menor avanço no monitoramento de recursos hídricos da região. A Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) é responsável pela gestão da água no Estado. Da mesma forma que Pernambuco, o RN também trabalha em parceria com a ANA. Entretanto, o site apresenta ausência de atualização dos dados. Os reservatórios estratégicos são atualizados, em relação ao

volume, em média a cada dois dias, mas, e como observado, em alguns casos a falta de atualização chega a até 15 dias.

No que tange ao Estado do Ceará, referência na gestão de recursos hídricos, é disponibilizado no Portal Hidrológico do Ceará (HIDRO) um conjunto de dados e informações técnicas de todos os reservatórios. Além disso, é o único que possui monitoramento automático em tempo real. Entretanto, de aproximadamente 184 barragens monitoradas, apenas em cinco possuem tal sistema, quais sejam: Castanhão, Aires de Sousa, Edson Queiroz, Banabuiu e Itaúna. Segundo o portal, os dados são atualizados a cada sete minutos.

É essencial para regiões com histórico déficit hídrico como o Nordeste acompanhar de maneira intradiária a variação do nível dos reservatórios, principalmente os considerados estratégicos, pois assim é possível melhor gerir os mananciais. O monitoramento na escala subdiária ou mesmo subhorária permite, através da equação do balanço hídrico, a estimativa de volume afluentes, desde que conhecidas as retiradas de água.

Entretanto, um dos maiores problemas encontrados no monitoramento automático de açudes é conseguir chegar a um sistema estável. Uma barragem apresenta comportamento totalmente distinto, principalmente se comparado a poços, por exemplo. Algumas variáveis ambientais podem interferir nas medições, e por isso é necessário buscar maneiras de otimizar e reduzir essas interferências.

Assim, o presente trabalho de conclusão de curso (TCC) teve como objetivo analisar um sistema de monitoramento de nível remoto e automático para monitoramento do nível da barragem Argemiro de Figueiredo, o qual é o reservatório com o 4º maior volume de acumulação da Paraíba e é um dos mananciais em que já há disputa pela água. A barragem Argemiro de Figueiredo também é conhecida popularmente como Barragem Acauã.

Considerando a dimensão, importância econômica e ambiental do reservatório, é fundamental que exista um monitoramento de nível em tempo real e com escala intradiária, possibilitando estudos hidrológicos; aprimoramento da gestão da água e criação de sistema de prevenção de acidentes, diminuindo a vulnerabilidade dos moradores da área de influência direta da barragem.

## 2.0 OBJETIVOS

### 2.1 Gerais

O presente trabalho teve como objetivo avaliar um sistema de monitoramento de nível remoto e automático para monitoramento volumétrico da barragem Argemiro de Figueiredo.

### 2.2 Específicos

- Instalar sistema Baro/Diver;
- Instalar pluviógrafo;
- Comparar dados entre os sensores da Ampeq;
- Comparar dados dos dois sistemas de monitoramento (Sensores da Ampeq com os dados do Diver/Baro);
- Avaliar a quantidade de sensores necessários para monitoramento eficiente;
- Analisar a melhor resolução temporal para monitoramento;
- Avaliar resposta dos sensores às precipitações.

## 3.0 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Histórico do monitoramento hidrometeorológico no Brasil

De acordo com Rodrigues (2002), em virtude do interesse nos estudos de viabilidade do setor elétrico, os levantamentos de dados hidrológicos no Brasil iniciaram há mais de cem anos, quando foram instaladas as primeiras estações pluviométricas com medições regulares. Posteriormente, foram implantadas estações com controle de níveis e medições de vazões.

Ainda segundo o autor supramencionado, no início do século XX, o Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) realizaram as primeiras atividades estatais de monitoramento, após a instalação de estações.

Com o advento da revolução de 1930<sup>1</sup>, é esboçada, pela equipe do governo provisório de Getúlio Vargas, uma nova política para a exploração das riquezas do subsolo em benefício do aproveitamento de energia hidráulica, cujas primeiras leis reguladoras foram sendo sancionadas. As primeiras bacias hidrográficas estudadas foram as dos rios São Francisco,

---

<sup>1</sup> A Revolução de 1930 foi um movimento armado, liderado pelos estados do Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Paraíba, insatisfeitos com o resultado das eleições presidenciais e que resultou em um golpe de Estado, o Golpe de 1930.

Paraná e Paraíba do Sul. Em virtude da importância desses rios, não só para os aproveitamentos hidrelétricos, mas também para o abastecimento público, os estudos dos mesmos desenvolveram-se continuamente, visando às suas múltiplas finalidades (ANA, 2007).

Em 1933, por meio do Decreto nº 22.338, foi criada a Diretoria Geral de Pesquisas Científicas, englobando o Serviço Geológico e Mineralógico, do qual fazia parte a Diretoria das Águas. A atividade de hidrologia passou, no mesmo ano, para a Diretoria Geral da Produção Mineral, criada pelo Decreto nº 23.016, de 28/07/1933, que teve uma duração muito curta, menos de um ano, transformando-se no Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), por meio do Decreto nº 23.979, de 08 de março de 1934. Esse departamento tinha, como objetivos principais: fomento da produção mineral; estudo da geologia do território nacional; aproveitamento das águas superficiais e subterrâneas para irrigação, navegabilidade e produção de energia (ANA, 2007).

Em 1934, foi editado o Código de Águas pelo Decreto nº 24.643, de 10/6/1934, que se tornou um instrumento de fundamental importância para o desenvolvimento do setor elétrico nacional, para o estudo dos aproveitamentos dos potenciais hidráulicos e para a hidrometria. Ainda no mesmo ano, após edição do Código de Águas, o país passou a ter um instrumento de fundamental importância para o desenvolvimento do setor elétrico nacional, para os estudos dos aproveitamentos dos potenciais hidráulicos e para a hidrometria (RODRIGUES, 2002). O código tornava obrigatório, por parte das concessionárias, a construção e permanência nas proximidades da usina, onde foi determinado pelo Serviço de Águas, instalações necessárias para observações limimétricas e medições de descarga do curso d'água.

Mais adiante, em 22/07/1960, foi criado o Ministério das Minas e Energia (MME), pela Lei nº 3.782, que incorporou, todos os órgãos do DNPM, inclusive a Divisão de Águas. Mais tarde, essa Divisão se transformou no Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE), com a reorganização do MME, pela Lei 4.904, de 17/12/1965, que também criou oito Distritos vinculados ao DNAE, descentralizando as atividades de hidrologia, incluindo os serviços de hidrométrica (ANA, 2007).

Um dos produtos relevantes do trabalho dos Distritos do DNAE era a produção e publicação do "Boletim Fluviométrico", que eram dados coletados e analisados das bacias hidrográficas. O DNAE desenvolveu ainda o "Projeto Hidrologia", que tratava da elaboração de um conjunto de normas e procedimentos de operação, coleta, análise e processamento de dados hidrológicos (GONTIJO JÚNIOR, 2007 *apud* MONTE-MOR, 2012).

O DNAEE em parceria com o “U.S. Geological Survey-Water Resources Division”, por meio do programa da “Agency For International Development (USAID)” criou o Sistema de Informações Hidrológicas (SIH), marco da maior importância na modernização dos trabalhos do Departamento, possibilitando o tratamento informatizado dos dados hidrológicos (ANA, 2007).

No final da década de 1980, o DNAEE fomentou o desenvolvimento de um novo sistema gerenciador da base de dados hidrológicos, denominado Micro Sistema de Dados Hidrometeorológico (MSDHD). O objetivo foi facilitar o acesso nos dados hidrometeorológico por meio de um sistema que pudesse ser executado em um ambiente de operação mais amigável (PC) e por um número maior de usuários. Após dez anos o MSDHD foi substituído pelo sistema Hidro, que permitia a entrada de dados por parte das entidades que operavam a rede hidrometeorológica, cálculo de funções hidrometeorológicas básicas e visualização de dados hidrológicos em gráficos, imagens e etc (Hidro, 2001).

Ainda de acordo com a ANA (2007), em 1969 foi criada a então Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). A Companhia passou então a realizar os trabalhos de operação e manutenção das estações hidrometeorológicas. Entretanto, todas as atividades de hidrologia relativas aos aproveitamentos de energia hidráulica foram transferidas para a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), após sua instituição pela edição da Lei nº 9.427, de 26/12/1996.

Atualmente, a responsabilidade sobre a rede hidrometeorológico nacional é da ANA, criada em 2000. O órgão realiza o monitoramento de chuva, nível limimétrico, vazão, qualidade de água e sedimentos em diversos pontos distribuídos por todo o país. Todas as informações geradas são armazenadas no Banco de Dados HIDROWEB e disponibilizados na Internet.

### 3.2 Conceitos fundamentais e equipamentos

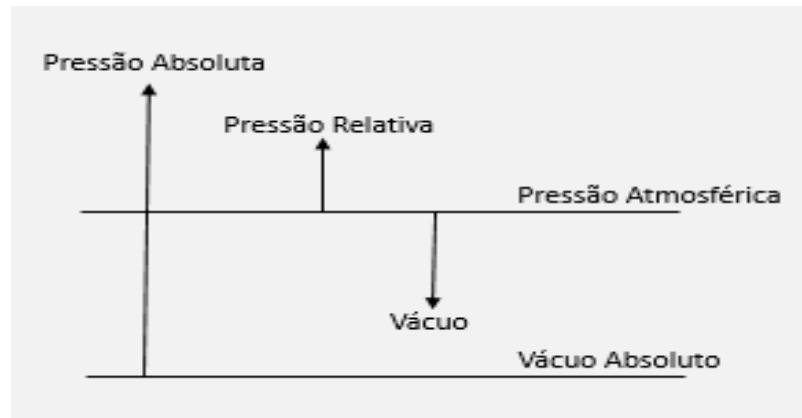
A seguir serão apresentados os conceitos básicos que facilitam a compreensão do trabalho. São abordadas variáveis físicas envolvidas no processo de cálculo da cota limnimétrica e os equipamentos utilizados na pesquisa.

### 3.2.1 Pressões absoluta e relativa

A pressão é uma das mais importantes variáveis de estados físicos. De maneira simples, ela é definida como uma força (FN) que age uniformemente sobre uma área (A). As pressões podem ser diferenciadas de acordo com as referências, como é o caso da pressão relativa e absoluta.

Se a pressão é medida em relação ao vácuo ou zero absoluto, ela é chamada de “pressão absoluta”. Se for medida adotando-se a pressão atmosférica como referência, é chamada de “pressão efetiva” ou “relativa”. A escala de pressão efetiva é importante, pois praticamente todos os aparelhos de medida de pressão registram zero quando abertos à atmosfera, medindo, portanto, a diferença entre a pressão do fluido e a do meio em que se encontra (BRUNETTI, 2008). As pressões absolutas são sempre positivas, enquanto as relativas podem ser tanto positivas (se for maior ou igual a atmosférica local) quanto negativas (se a pressão for menor que a atmosférica local). A Figura 1 traduz em imagem a explicação anterior.

**Figura 1:** Relação entre pressão absoluta, atmosférica e relativa



Fonte: elaboração própria.

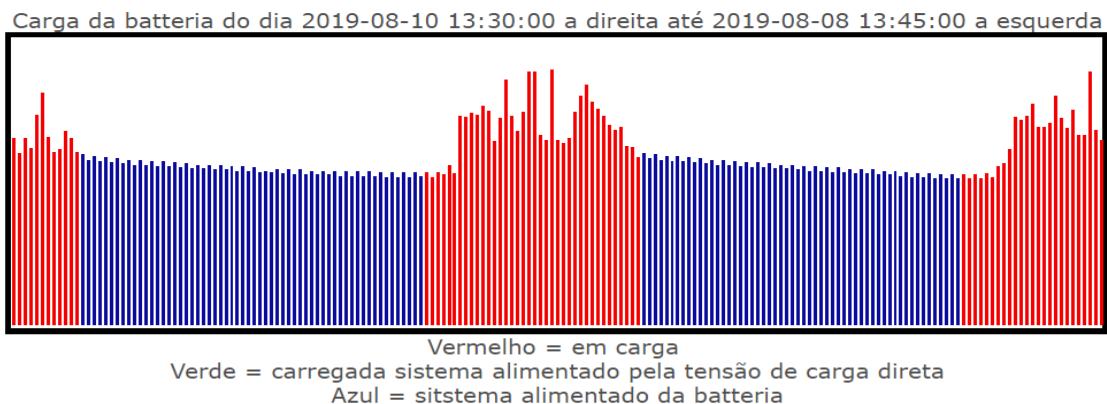
### 3.2.2 “Datalogger”

O “datalogger” é um equipamento abrigado em um gabinete simples, de reduzido tamanho e peso. Tem a função de processar os dados recebidos do sensor, memorizá-los no seu compartimento interno e transformá-los em informações compreensíveis para o usuário.

O “datalogger” da Ampeq (fabricante), usado na barragem Acauã, é constituído de policloreto de vinil (PVC), pesa 600 gramas e possui 23 cm de altura x 11 cm de largura x 4,8

cm de profundidade. Além disso, suporta uma amplitude térmica de até 65° C (de -15° C a 50° C). A sua alimentação é feita por bateria alcalina de 12 volts, que pode durar, aproximadamente, um ano se o “Datalogger” estiver configurado para o intervalo de medição de 30 minutos (AMPEQ, 2016). É possível ainda incorporar uma placa solar ao sistema de alimentação, e com isso, estender o período de monitoramento. A Figura 2 representa o funcionamento da placa solar e da bateria durante o dia 8 e 10 de agosto de 2019. A cor verde não consta no gráfico porque não houve alimentação pela tensão de carga direta.

**Figura 2:** Funcionamento de sistema de energia



Fonte: Ampeq (2019).

A memória do “Datalogger” Ampeq tem a capacidade de armazenar aproximadamente 32.000 medidas em memória não-volátil, ou seja, sem que se percam os dados quando está sem a fonte de alimentação (bateria). As opções de intervalo de medição podem variar de segundos a até horas, sendo ajustado de acordo com a necessidade. No caso da barragem Acauã, a resolução de medição é de 15 minutos. A Figura 3 mostra o “Datalogger” instalado.

**Figura 3:** “Datalogger” Ampeq e bateria de alimentação



Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.

### 3.2.3 Sensor de nível Ampeq

O Sensor é um equipamento de alta precisão tem a função de captar os dados sobre o nível de água dos reservatórios ou rios e enviá-los para o “datalogger”. O Sensor é composto por mecanismos elétricos e uma capa protetora em aço inox, como demonstrado na Figura 4.

O equipamento possui comprimento de 33,5 cm x 3,1 cm de diâmetro e pesa 700 gramas e seu tempo de medição é de 300 milisegundos. A faixa de temperatura segura para a operação do Sensor utilizado é de 2° C a 50° C.

Na água, sua faixa de medição pode ser de 5 m, 10 m e 25 m, com pressão máxima suportada de 15 m (para a faixa de medição de 5 m), de 30 m (para a faixa de medição de 10 m) e de 75 m (para a faixa de medição de 25 m). Ou seja, um sensor com faixa de medição de 10 m, consegue medir uma faixa de pressão de 10 mca e suportar, sem danificar, uma pressão de até 30 mca. A alimentação do sensor é feita através da conexão via cabo com o “datalogger”.

**Figura 4:** Sensor de nível da Ampeq acoplado a mangueira



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

O nível hidrostático nesses sensores é medido de forma indireta, ou seja, o nível é medido através da variação da pressão exercida pela coluna de líquido sobre o diafragma, uma membrana fina que sofre deflexão mecânica em função da variação da pressão exercida pela coluna de líquido sobre o mesmo. Para a compensação da pressão atmosférica, os sensores são ligados a mesma por meio do cabo de alimentação.

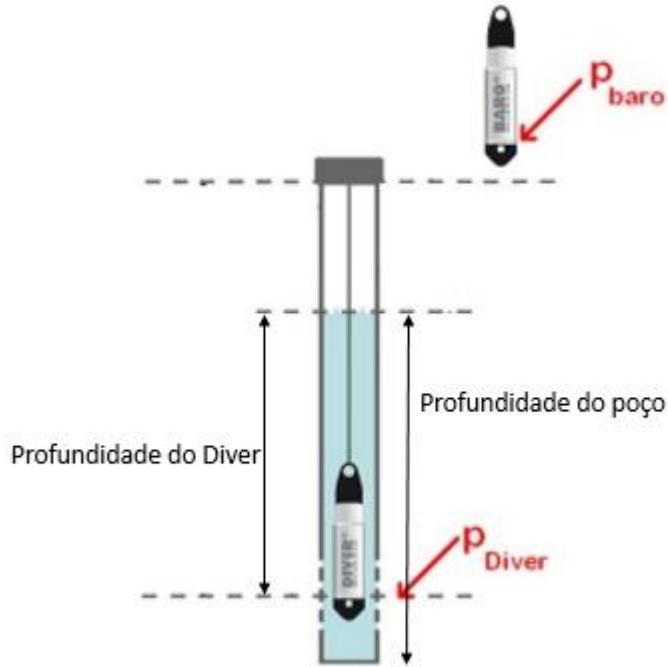
### 3.2.4 Diver e Baro

O Diver é um “datalogger” projetado para medir a pressão e a temperatura da água. As medições são armazenadas na memória interna do equipamento. O Diver mede a pressão absoluta, ou seja, o sensor de pressão não só mede a pressão da água, mas também a pressão do ar sobre a superfície da água. Se a pressão do ar variar, a pressão medida da água consequentemente, também variará sem, entretanto, variar o nível da água.

A altura da coluna de água acima do sensor de pressão do mergulhador é determinada com base na pressão medida, logo, quanto maior a pressão medida maior a coluna de água. Os valores da coluna d’água ajustados barometricamente podem ser relacionados a um ponto de referência, como a cota medida na régua.

A Figura 5 representa um exemplo de sistema de monitoramento de nível em um poço. O Baro mede a pressão atmosférica ( $P_{baro}$ ) e o Diver mede a pressão exercido pela coluna de água acima do mergulhador somado a pressão atmosférica ( $P_{diver}$ ).

**Figura 5:** Referências para instalação e calibração de um sistema Baro-Diver



Fonte: adaptado manual vanEssen instruments (2016).

A coluna de água acima do Diver pode ser expressa como:

$$ProfDiver = \left( \frac{P_{diver} - P_{baro}}{p * g} \right) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

ProfDiver: profundidade do sensor, em metros;

$P_{diver}$ : pressão no Diver (m.c.a);

$P_{baro}$ : pressão no Baro (m.c.a);

$p$ : densidade da água ( $\text{kg/m}^3$ );

O nível da água em relação ao referencial vertical pode ser calculado da seguinte forma:

$$Nível = (POP - POD) + ProfDiver (\pm CL) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

POP: profundidade do poço na hora x (m);

POD: profundidade do Diver (m);

ProfDiver: profundidade do diver calculada pela equação (m);

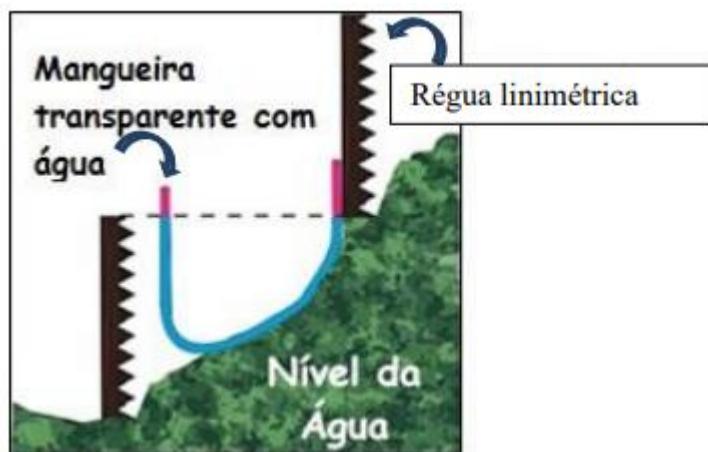
CL: ajuste para calibração (m).

### 3.2.5 Régua Limnimétrica

A cota de um reservatório pode ser obtida por meio da leitura direta de uma régua, denominada régua limnimétrica. A régua é graduada a cada um centímetro e numerada a cada dois centímetros. Ela pode ser constituída de materiais como alumínio, PVC ou fibra de vidro.

Para a leitura das cotas, as réguas devem ser instaladas em série, de maneira que a seção de réguas fique disposta como uma escada, ou seja, o fim de uma corresponde ao início da próxima. É importante que as réguas estejam niveladas topograficamente (ANA, 2014). Essa verificação é feita com o auxílio de nível topográfico e do teodolito ou mangueiras de nível, como na Figura 6.

**Figura 6:** Arranjo de réguas e verificação de nível com uma mangueira



Fonte: ANA - *Medindo as Águas do Brasil - Noções de Plu e Fluviométrica*.

### 3.2.6 Densidade

A densidade absoluta ou massa específica de um corpo é a relação entre o volume e a massa de um corpo. A Equação 3 representa a densidade:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$\rho$ : densidade ( $\text{kg/m}^3$ );

$m$ : massa (kg);

$v$ : volume ( $\text{m}^3$ ).

Ao aquecer um material, a intensificação da vibração molecular faz com que ocorra um distanciamento entre as moléculas que compõem a substância. Em outras palavras, o material irá alterar seu volume. A Equação 4 representa esta relação.

$$V2 = V1 * (1 + \gamma * \Delta T) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$V2$ : volume final ( $\text{m}^3$ );

$V1$ : volume inicial ( $\text{m}^3$ );

$\gamma$ : coeficiente de dilatação volumétrica ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ );

$\Delta T$ : variação da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Ou seja, a variação da temperatura interfere diretamente no volume e consequentemente na densidade. A Tabela 1 seguir representa a variação da densidade da água de acordo com a temperatura.

**Tabela 1:** Variação da densidade da água com a temperatura

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Densidade (g/mL)
15	0,9991
16	0,9989
17	0,9988
18	0,9986
19	0,9984
20	0,9982
21	0,9980
22	0,9978
23	0,9975
24	0,9970

25	0,9970
26	0,9968
27	0,9965
28	0,9962
29	0,9959
30	0,9956

*Fonte: adaptado de Handbook of Chemistry and Physics.*

### 3.2.7 Pluviógrafo

O pluviógrafo é um equipamento que tem a capacidade de registrar o volume precipitado em relação ao tempo, possibilitando diversas análises hidrológicas por meio da caracterização dos eventos de precipitação (ARAÚJO, 2017).

O pluviógrafo do tipo basculante, Figura 7, é um dos equipamentos mais utilizado no monitoramento de precipitação. Seu funcionamento consiste basicamente em registrar o número de vezes em que a água proveniente da precipitação, coletada através de um funil, preenche o volume de um dispositivo basculante, que desequilibra quando cheio, descartando o líquido acumulado e produzindo um pulso elétrico a cada movimento. Esse pulso é registrado em um datalogger e posteriormente é convertido em valores de precipitação (FERNANDES et al, 2006).

**Figura 7:** Pluviógrafo do tipo basculante

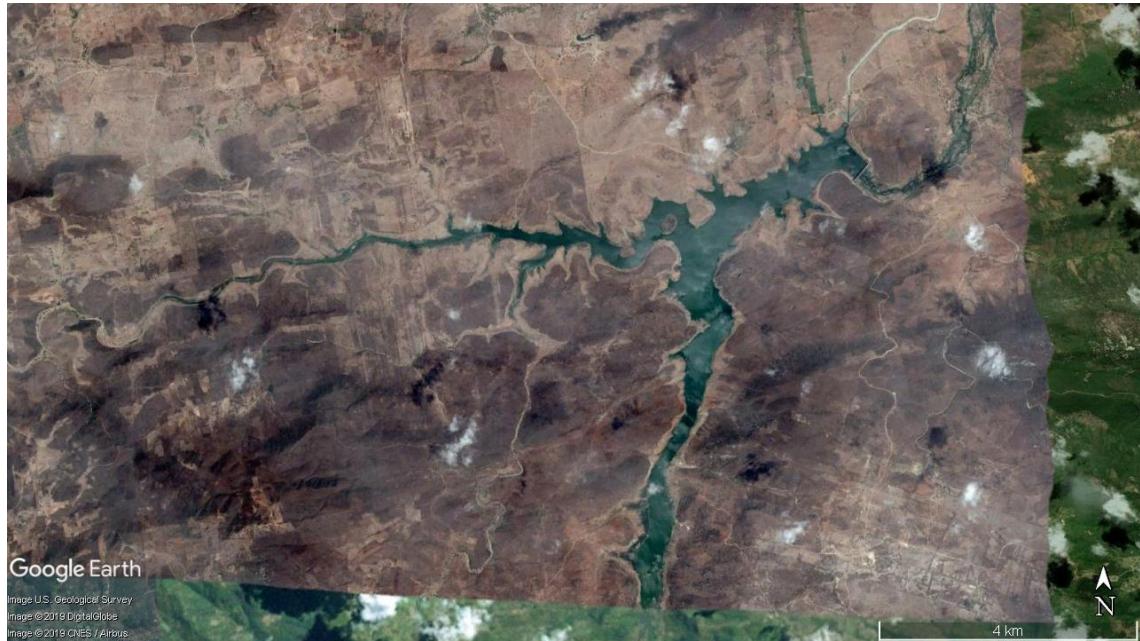


*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

## 4.0 ÁREA DE ESTUDO

Popularmente conhecido como Acauã, o reservatório Argemiro de Figueiredo foi inaugurado em 2002 e está localizado no município de Itatuba-PB. O reservatório tem uma capacidade de armazenamento de 253 milhões de metros cúbicos, fazendo com que este seja o 4º maior reservatório do estado da Paraíba, ficando atrás do complexo Coremas/Mãe D'Água (1.289.162.193 m<sup>3</sup>), Epitácio Pessoa (466.525.964 m<sup>3</sup>) e Engenheiro Ávidos (293.617.376 m<sup>3</sup>). Na Figura 8 é possível observar uma imagem de satélite do reservatório.

**Figura 8:** Imagem de satélite da barragem Acauã



Fonte: Google Earth Pro (2019).

Segundo dados disponibilizados pela OAS Engenharia, o reservatório possui uma crista com 452 m de comprimento e 47 m de altura. Além disso, a barragem possui uma bacia hidráulica de 2.300 ha, profundidade média de 25. De acordo com o portal da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), atualmente (24/09/2019) o reservatório possui 12,3% de sua capacidade máxima. É possível ter noção do tamanho da estrutura de barramento observando a Figura 9.

A barragem de Acauã foi construída com CCR (concreto compactado a rolo), possuindo dezesseis seções em um vertedouro e uma casa de máquinas, onde é controlada a abertura da comporta de liberação de água para o descarregador de fundo. A crista da barragem, acima da lâmina vertente, é composta em suas laterais por vários blocos de concreto, formando

as muretas que juntamente com os corrimões servem de proteção para visitantes e moradores que utilizam a barragem como caminho (BARBOSA, 2014). É possível evidenciar as informações pela Figura 10.

A sua face externa, apresentada na Figura 11, é constituída por degraus e um tanque de dissipação, que tem a finalidade de dissipar parte da energia existente durante o escoamento da lâmina vertente. Assim, o fluxo vertente não causa danos à estrutura durante seu escoamento (BARBOSA, 2014).

A barragem Acauã tem como principal finalidade o abastecimento humano aproveitamento hidroagrícola e amortecimento de enchente. Os municípios localizados na bacia do médio curso do rio Paraíba são os principais usuários do reservatório. A Figura 12 mostra um dos pontos de captação da água, na cidade de Itabaiana-PB.

**Figura 9:** Montante da barragem Acauã



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

**Figura 10:** Parte interna do vertedouro do reservatório



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

**Figura 11:** Parte externa do vertedouro do reservatório



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

**Figura 12:** Barragem de nível para captação de água em Itabaiana-PB



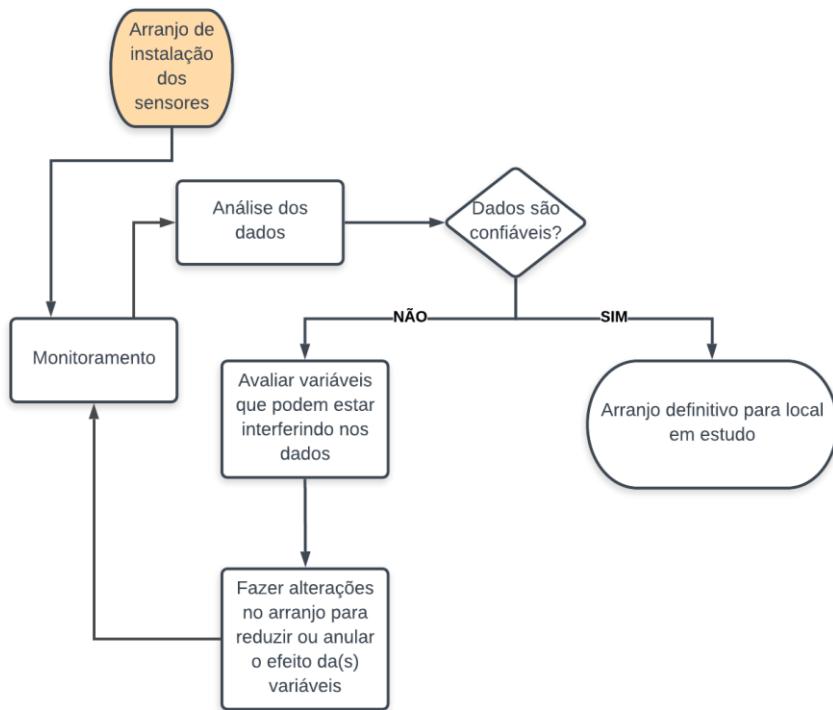
*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

A barragem Acauã é o ponto de partida de uma das maiores obras hídricas do estado da Paraíba: o canal Acauã-Araçagi, que visa distribuir as águas da transposição do Rio São Francisco para a região Norte da Paraíba. Este projeto irá atender 12 municípios diretamente e 35 indiretamente, totalizando um beneficiamento a aproximadamente 600 mil habitantes.

## 5.0 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho consistiu, de forma prática, em avaliar arranjos de instalação dos sensores que possibilitasse a obtenção de dados confiáveis e coerentes. O fluxograma da Figura 13 a seguir representa de maneira simples as etapas seguidas.

**Figura 13:** Fluxograma geral



*Fonte: elaboração própria.*

Inicialmente, no dia 27 de março de 2019, foi feita uma primeira visita ao reservatório, visando conhecer melhor a área e o sistema de monitoramento ali presente. O sistema já havia sido previamente instalado e estava arranjado da seguinte maneira: os três sensores de pressão (11, 12 e 13) estavam submersos na água e presos apenas pelo cabo de conexão (a numeração dos equipamentos foi de caráter aleatório, não existindo sensores de 1 a 10). Os outros componentes do sistema estavam na casa de máquina, onde ficaram os abrigos com o “datalogger” e sistema de envio de dados. Na parte superior estavam instaladas uma placa solar e uma antena para conexão. Nenhum dos sensores estava tocando no fundo do reservatório.

Nas Figuras 14 e 15, respectivamente, é possível observar os cabos dos três sensores submersos e o local de fixação deles.

**Figura 14:** Vista superior do local onde estão os três sensores de nível



Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.

**Figura 15:** Local onde os cabos dos sensores estão presos



Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.

A primeira mudança do sistema foi o incremento de ancoras nos três sensores. As ancoras tinham a finalidade de fornecer maior estabilidade. Além disso, o sensor 11 foi movido para um novo ponto, na base da parede.

A Figura 16 mostra um dos sensores com uma rocha servindo de anilha. Já a Figura 17 apresenta o local de instalação do sensor 11.

**Figura 16:** Rocha sendo usada como ancla para estabilização



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

**Figura 17:** Novo local de fixação do sensor 11



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

Outro procedimento feito na primeira visita foi a instalação de um Diver (Figura 18) e um Baro (Figura 19), nessa respectiva ordem. As Figuras 18 e 19 ilustram os equipamentos. Para o Diver foi necessário medir a distância entre o nível da água e a parte superior da parede, local apontado na Figura 20. Essa distância foi de 31,85 m. De posse dessa distância, uma corda com 37 m foi usada para amarrar o sensor e inseri-lo na água. O Diver também recebeu uma anora. O Baro foi instalado dentro de um dos abrigos, na casa de máquinas (Figura 22).

**Figura 18:** Diver



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

**Figura 19:** Baro



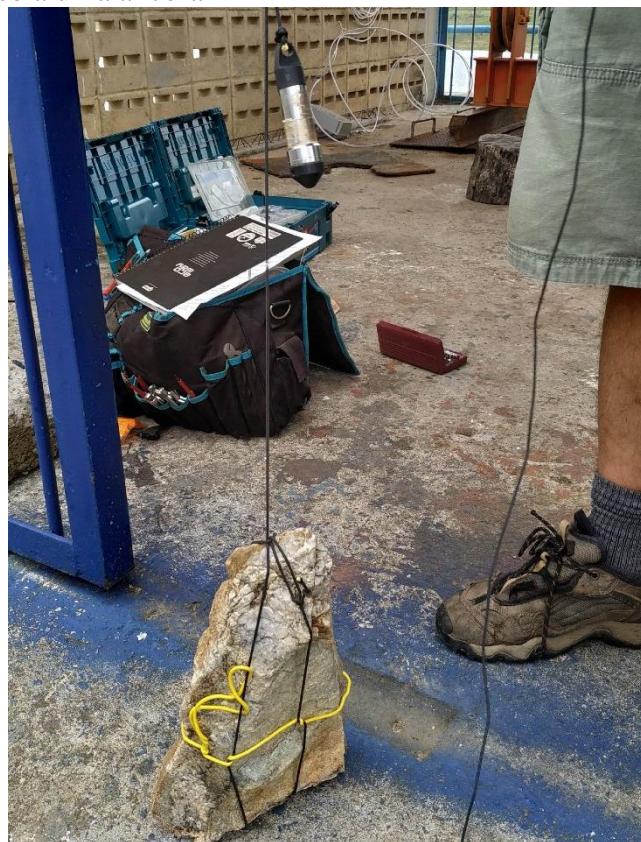
*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

**Figura 20:** Ponto onde foi realizada a medição da distância entre nível da água e parte superior da parede



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

**Figura 21:** Diver preso a uma ancora



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

**Figura 22:** Baro dentro de um dos abrigos na casa de máquinas



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

O último instrumento instalado na primeira visita foi o pluviógrafo, Figura 23. O intuito de sua instalação é ter um indicativo dos eventos de precipitação que eventualmente acontecessem durante o período analisado e verificar as respostas nos sensores. Nota-se, na próxima figura, que o pluviógrafo não foi instalado da forma correta, em termos de altura de instalação e ausência de obstáculos ao seu redor, mesmo assim ele foi instalado para indicar a ocorrência de precipitações na barragem.

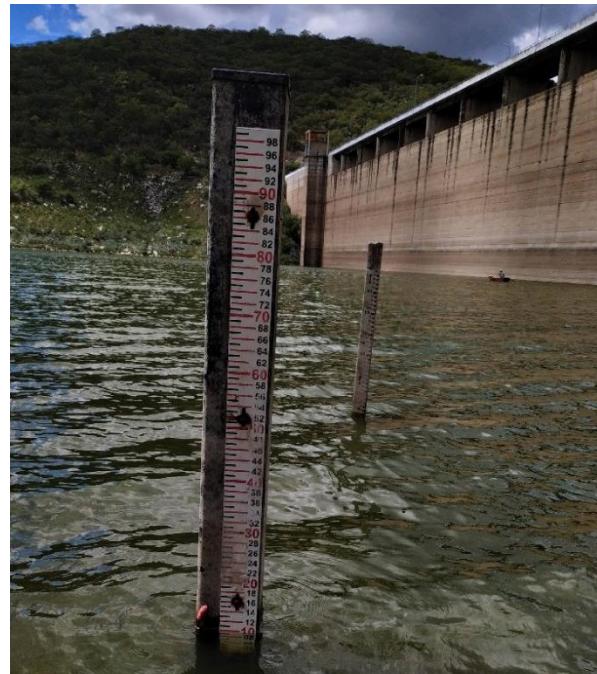
**Figura 23:** Local de instalação do pluviógrafo. Foi considerando a direção da chuva para realizar a instalação do equipamento.



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

Por fim, foi feita a leitura do nível na régua e a medição da profundidade do Diver (Figura 24). Essas informações foram necessárias para a calibração do equipamento. As Figuras a seguir mostram os procedimentos.

**Figura 24:** Leitura do nível na régua. Cota com 104,9 m



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

**Figura 25:** Medindo a profundidade do Diver



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 27/04/2019.*

Em uma segunda visita, no dia 11 de março de 2019, novos ajustes foram feitos. Foram instaladas novas ancoras pré-moldadas nos três sensores de pressão. O sensor 13 recebeu um suporte com 7 kg, o 11 recebeu um suporte com 2,5 kg em um formato circular, pois, este iria ficar dentro de um poço tranquilizante. O último foi o sensor 12, que recebeu um suporte com

14 kg e isolação térmica, para avaliar o quanto a temperatura interferia nas medições. A Figura 26 representa os três sensores e seus respectivos suportes, na ordem mencionada anteriormente. Após a instalação os sensores ficaram “fixos” no fundo do lago.

**Figura 26:** Sensores 13, 11 e 12 acoplados aos suportes



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 11/05/2019.*

Dando continuidade às modificações, a equipe se dirigiu pela segunda vez ao interior do reservatório, para fazer a instalação do poço tranquilizante. Com auxílio de uma furadeira foram feitas quatro perfurações na base da parede. Essas perfurações serviriam de suporte para fixar o cano, que possui, aproximadamente, 7 m de comprimento e 100 mm de diâmetro. Nas Figuras 27, 28 e 29 é possível acompanhar os procedimentos de instalação do poço e a distribuição espacial dos sensores ao fim da instalação.

**Figura 27:** Perfuração para instalar base de suporte do poço tranquilizante para o sensor 11



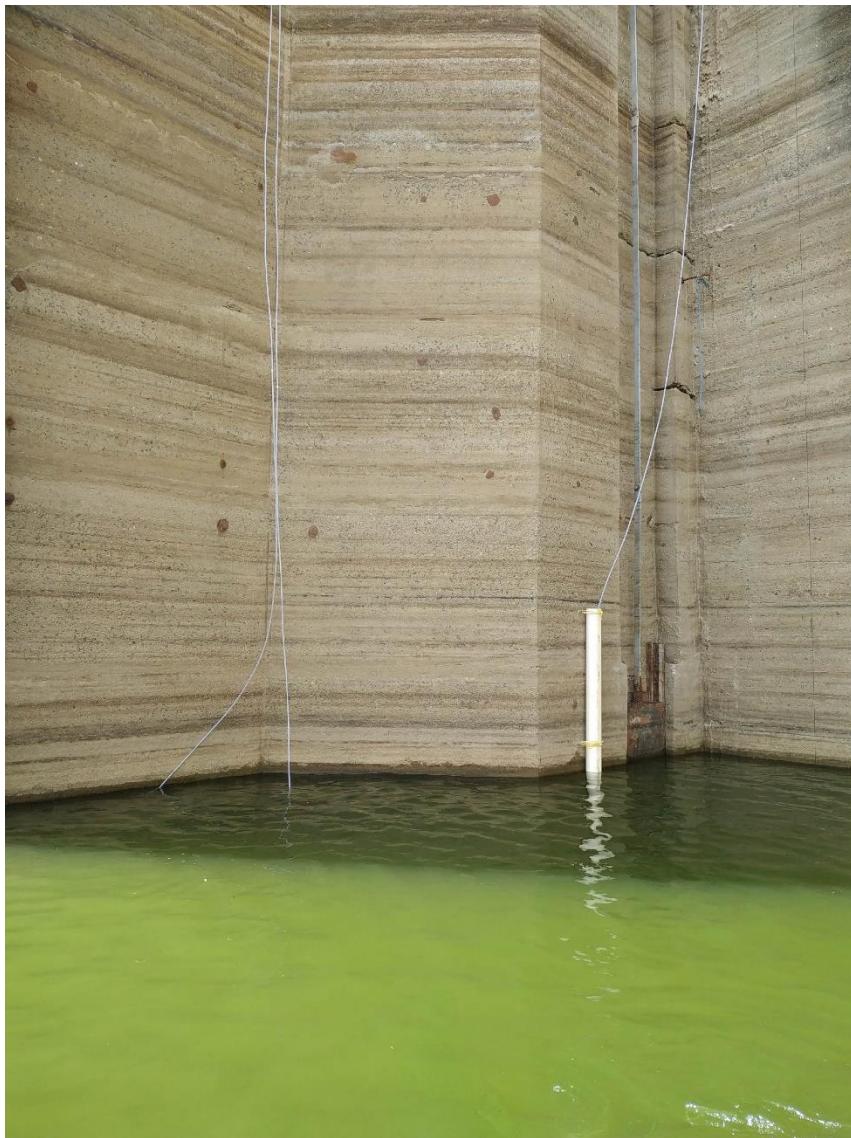
*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 11/05/2019.*

**Figura 28:** Introdução do sensor 11 ao poço tranquilizante



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 11/05/2019.*

**Figura 29:** Arranjo final dos sensores na segunda visita dia 11/03/2019



*Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 11/05/2019.*

Por fim, foi feita a leitura na régua, para posterior calibração dos instrumentos e a descarga dos dados do Diver e Baro.

A terceira visita aconteceu no dia 29 de maio de 2019. Nessa visita foi instalado um novo Baro nas proximidades da casa de máquina, em um ponto onde a variação da temperatura fosse a mais natural possível. As Figuras 30 e 31 mostram o local onde foi realizada a instalação. Além disso, foram feitas as leituras dos dados do Diver e Baro que estavam anteriormente instalados.

**Figura 30:** Local aproximado onde foi feita instalação do segundo Baro



Fonte: arquivo pessoal (2019).

**Figura 31:** Baro instalado em uma árvore



Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 29/05/2019.

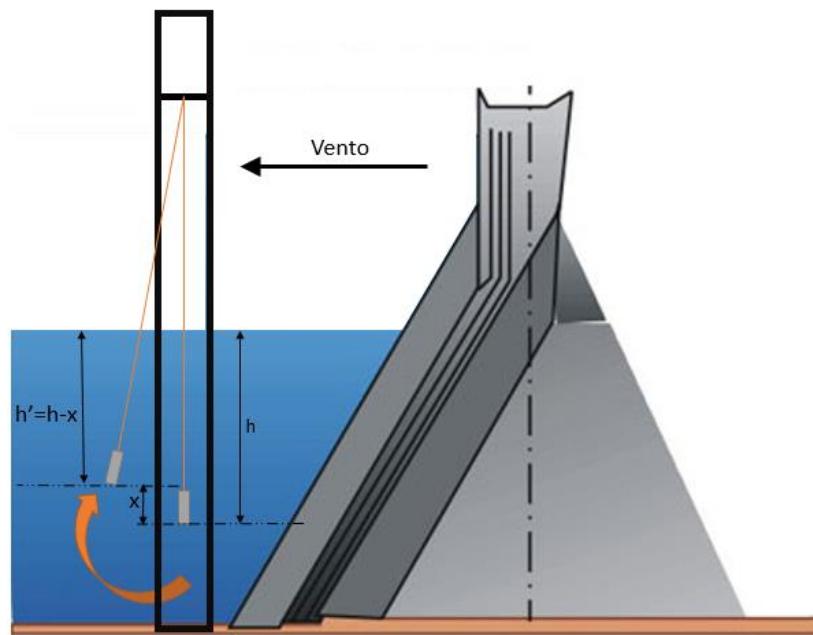
Além das visitas previamente programadas, foram realizadas quatro visitas técnicas para reparos de vazamento dos sensores. Os sensores 11 e 12, foram substituídos por novos equipamentos, que monitoram sob carga de até 25 m.c.a e suportam pressão de até 75 m.c.a. A princípio os três sensores da Ampeq eram de 10 m.c.a, suportando até 30 m.c.a.

## 6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Análise dos dados antes das modificações

O sistema no arranjo inicial funcionou entre os dias 17 e 27 de abril de 2019, onde durante esse período, não ocorreu nenhuma falha nos sensores. Entretanto, os dados apresentavam um comportamento que distava da realidade. Ao visitar a barragem pela primeira vez, foi possível constatar que o vento estava influenciando diretamente nas medições, pois o reduzido peso dos sensores atrelado a elevada distância entre o ponto de fixação e a água, possibilitava a movimentação dos instrumentos de acordo com a intensidade do vento. A Figura 32 ilustra o fato mencionado anteriormente. Sob efeito do vento os sensores reduzem a profundidade “h” e causam uma falsa diminuição da cota, medida pelos instrumentos.

**Figura 32:** Ilustração da ação do vento sobre os sensores

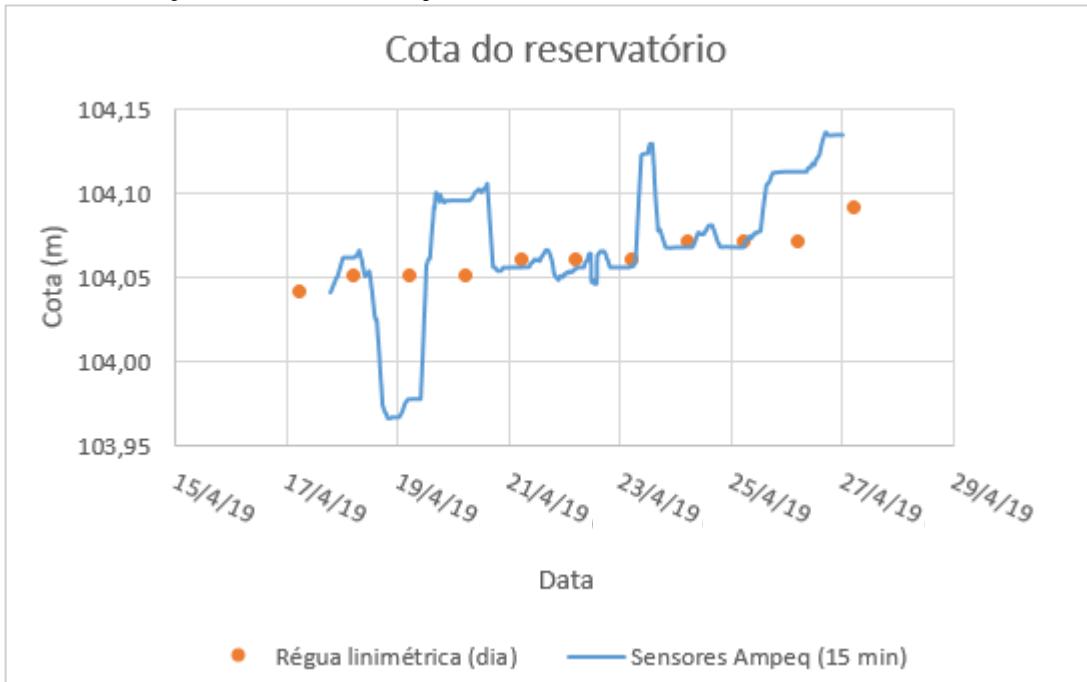


Fonte: adaptado da [Itaipu.gov.br](http://Itaipu.gov.br).

Esse comportamento de variação é observado no gráfico a seguir, feito com base na média da média de 10 dados com resolução temporal de 15 minutos. Foi avaliado a melhor quantidade de medidas para fazer a média, amortecendo as variações e aumentando a precisão.

Observou-se que a melhor média foi realizada com 10 medições. A média com 15 e 20 dados não apresentou, graficamente, mudança significativa em relação à média com 10.

**Figura 33:** Variação da cota no arranjo inicial do sistema, com média da média de 10 medidas

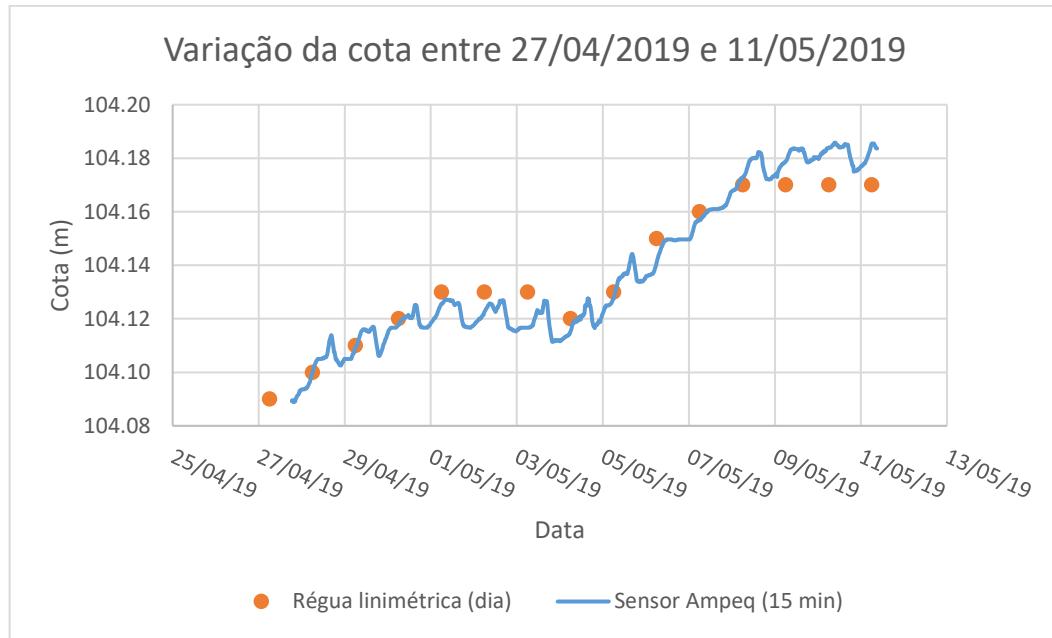


Fonte: elaboração própria.

## 6.2 Resultados após primeira modificação

Após o incremento das âncoras de rocha, o sistema passou a apresentar maior estabilidade em relação às variações provenientes da ação do vento. Entretanto, foi constatado que outro fator estava influenciando na geração de valores inconsistentes. A mangueira, assim como qualquer material, sofre dilatação devido à variação da temperatura. Logo, quando a temperatura começava a subir, a mangueira dilatava e os sensores ficavam em uma profundidade maior, já que não estavam encostados no fundo do lago. À noite, durante a redução da temperatura, a mangueira sofria o efeito inverso, ou seja, os sensores voltavam a sua posição inicial. Observando a Figura 34 é possível constatar que diariamente a cota aumenta e posteriormente reduz. O valor médio dessa variação é de 1 cm. Em termos de volume, um centímetro (considerando a área da cota 104,10 m) equivale a, aproximadamente, 25.307 m<sup>3</sup>, ou cerca de 0,01% da capacidade da barragem.

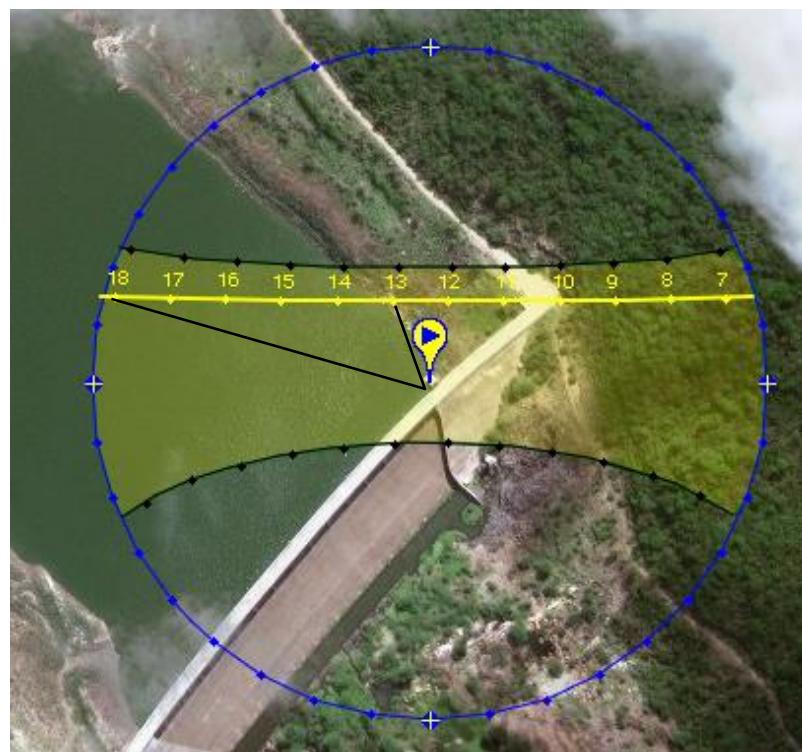
**Figura 34:** Variação da cota com base na média



Fonte: elaboração própria.

A Figura 35 mostra a variação da posição do sol durante o ano, em relação à posição dos sensores. A linha amarela remete as horas do dia. Fica evidente que durante todo o ano os sensores recebem radiação direta durante aproximadamente seis horas.

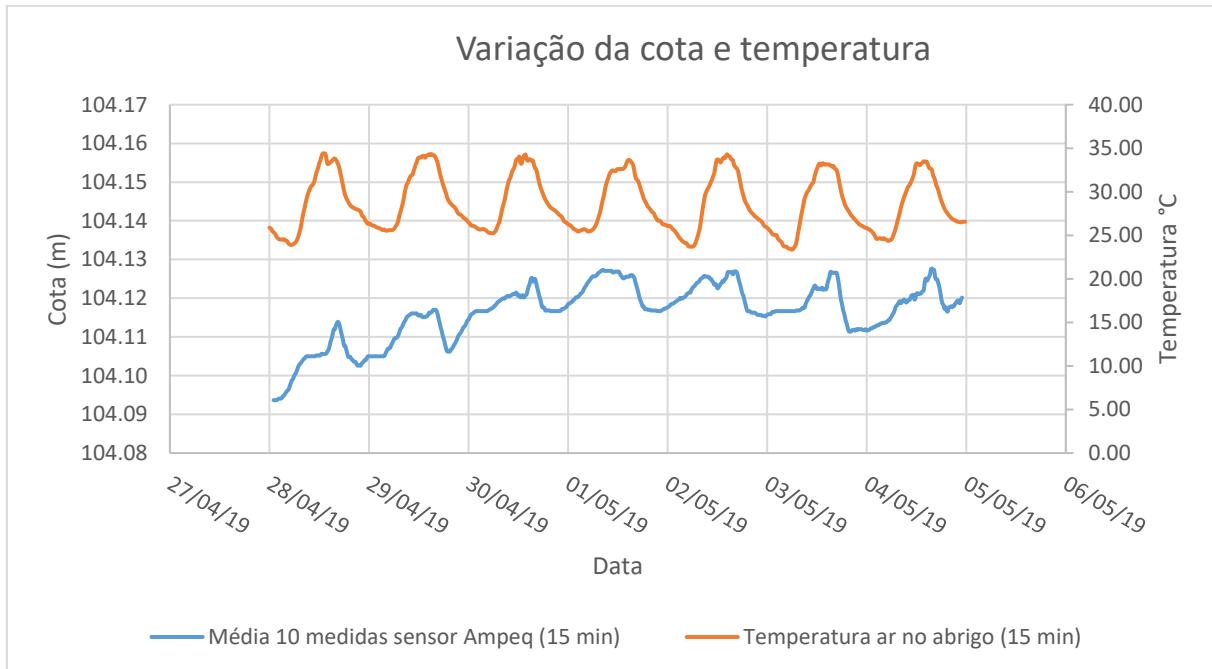
**Figura 35:** Posição do sol durante o ano em relação aos equipamentos



Fonte: adaptado de sunearthtools (2019).

A comprovação da relação cota x temperatura é evidenciada na Figura 36. A temperatura foi medida por meio do Baro, instalado em um dos abrigos que fica na casa de máquinas.

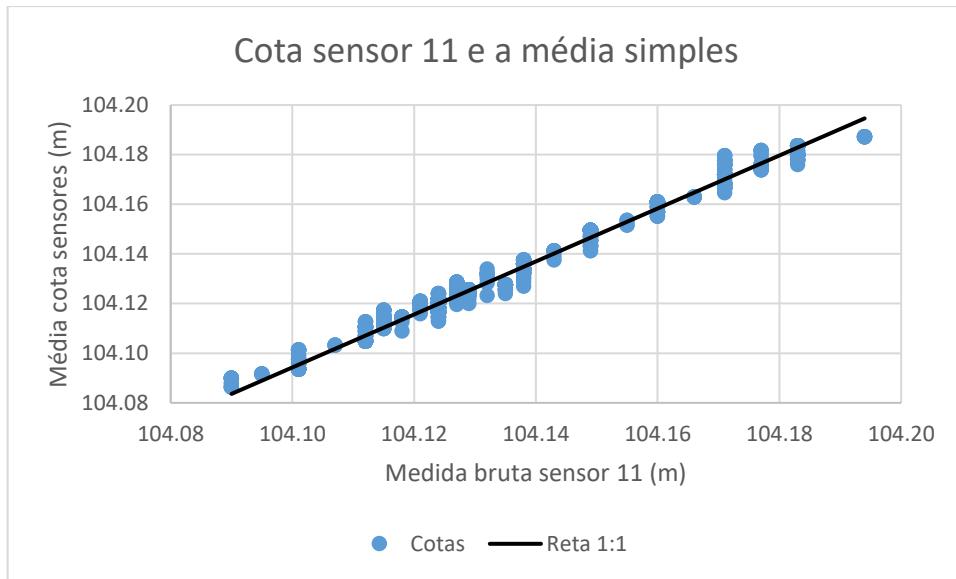
**Figura 36:** Variação da cota de acordo com a temperatura



*Fonte: elaboração própria.*

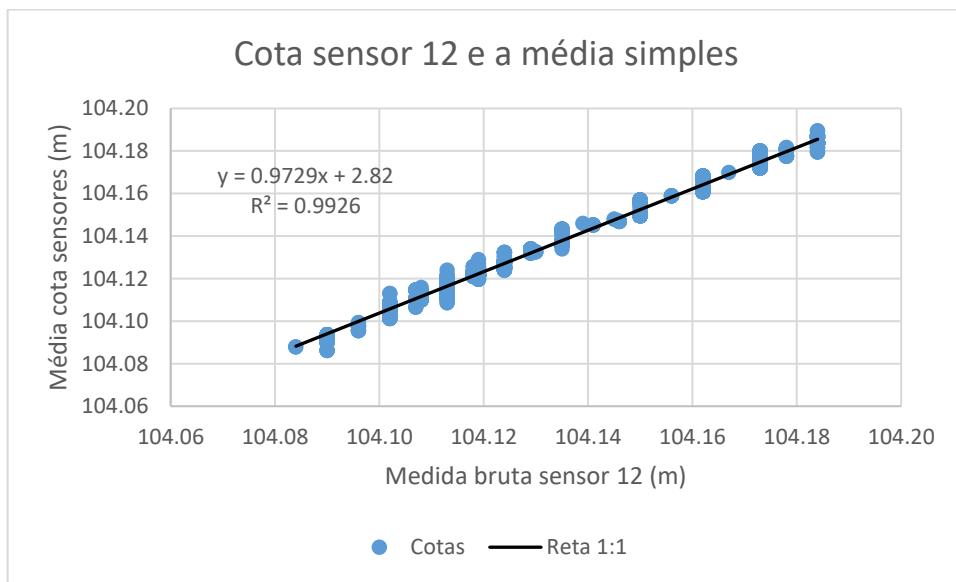
A seguir são apresentados os resultados das comparações dos dados de cada sensor com a média simples dos sensores. O sensor 11, que estava na base da parede apresentou maior variação em relação aos demais sensores. Acredita-se que devido a sua localização está mais propenso a receber uma quantidade maior quantidade de radiação solar direta, e que o efeito de dilatação também seja maior.

**Figura 37:** Comparação entre as cotas do sensor 11 e a média dos três sensores



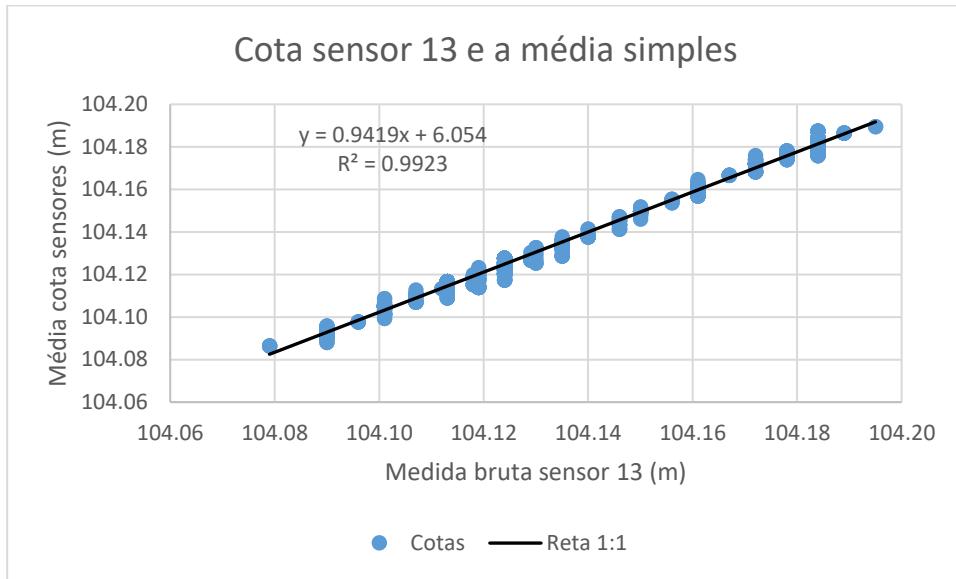
Fonte: elaboração própria.

**Figura 38:** Comparação entre as cotas do sensor 12 e a média dos três sensores



Fonte: elaboração própria.

**Figura 39:** Comparação entre as cotas do sensor 13 e a média dos três sensores



Fonte: elaboração própria.

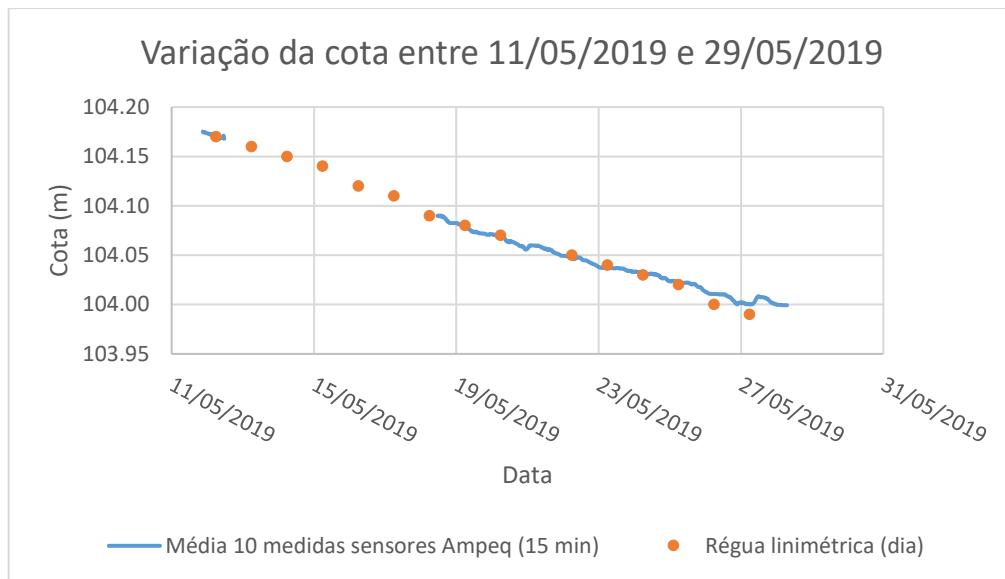
A maior variação dos sensores 11 e 12 em relação à média foi de 1,10 cm, com desvio padrão de 0,264 cm e 0,219 cm, respectivamente. Já o sensor 13 apresentou variação de 0,8 cm e desvio padrão de 0,188 cm.

Em relação à variação da medida bruta de um sensor para o outro o sensor 11 apresentou maior diferença, com 2,20 cm em relação ao sensor 12, seguido do sensor 11 em relação ao 13 com 1,40 cm e do 12 em relação ao 13 com 1,20 cm. Os respectivos desvios padrão foram de 0,415 cm, 0,413 cm e 0,409 cm.

### 6.3 Resultados após segunda modificação

Como já mencionado, nessa visita foi feita uma nova mudança no sistema. Os três sensores receberam novas ancoras feitas em molde. Além disso, o sensor 11 foi colocado em um poço tranquilizante e o sensor 12 ganhou uma isolamento térmica. Durante os dias 11/05 e 29/05 de 2019 o sistema se comportou conforme a Figura 40. Como é possível observar, os sensores fixos no fundo do lago contribuíram para com a precisão do sistema, que melhorou consideravelmente.

**Figura 40:** Variação da cota nos sensores e na régua

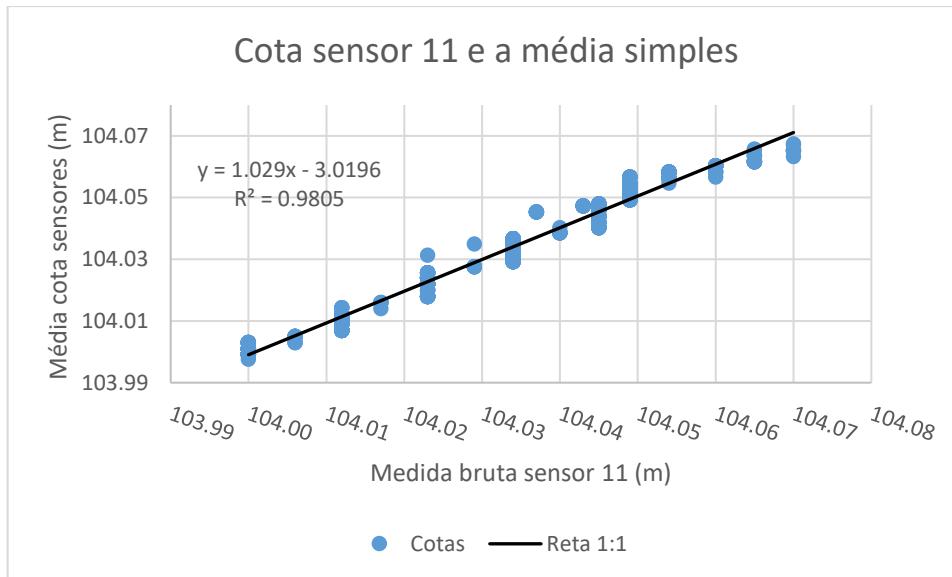


Fonte: elaboração própria.

Pelas interpretações dos dados do final desse período, acredita-se que as últimas duas leituras da régua apresentaram um certo desvio da realidade. Na última medida do dia 27, inclusive, aconteceu uma precipitação de, aproximadamente, 10 mm, e a variação da cota do reservatório apresentou variação de cerca de 1 cm (ou 10 mm). Esse fato reforça a teoria de leitura com erro na régua. Este tipo de erro é comum, pois a leitura é feita “no olho” e, principalmente, fatores como intensidade das ondas podem interferir nas leituras, cabendo aos profissionais ou técnicos interpretarem essas medidas, visando evitar o uso de dados equivocados na tomada de decisão. Foi observado durante leitura realizadas nas visitas, que a variação da onda na régua chegou a até 3 cm.

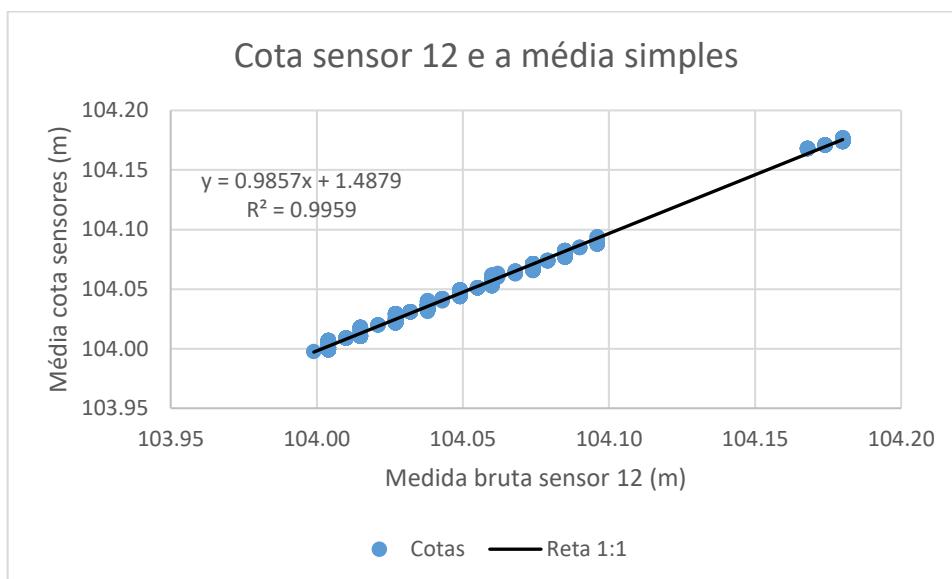
A comparação entre as medidas dos sensores e a média simples do sistema são apresentadas a seguir, nas Figuras 41, 42 e 43.

**Figura 41:** Comparação entre as cotas do sensor 11 e a média dos três sensores



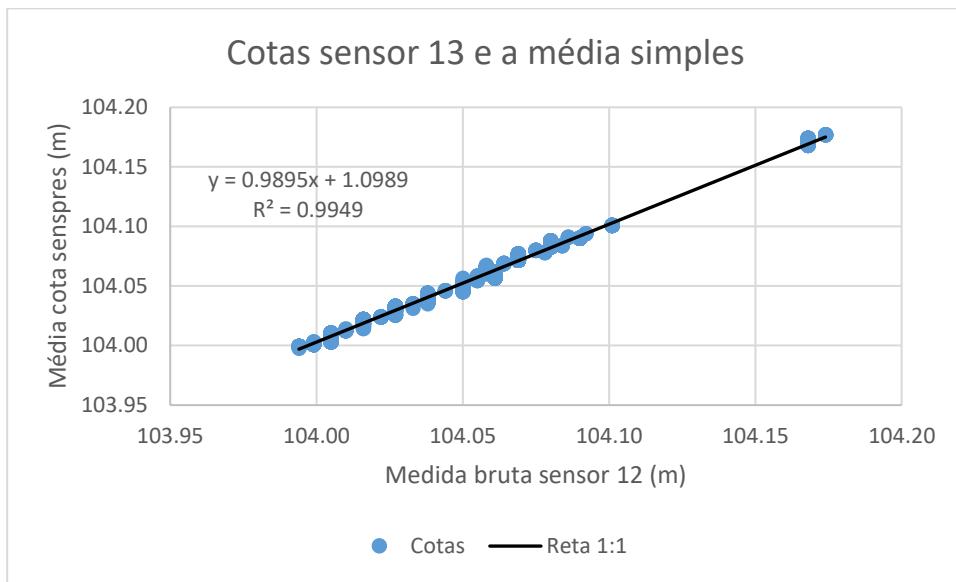
Fonte: elaboração própria.

**Figura 42:** Comparação entre as cotas do sensor 12 e a média dos três sensores



Fonte: elaboração própria.

**Figura 43** Comparação entre as cotas do sensor 13 e a média dos três sensores



Fonte: elaboração própria.

O sensor 11 apresentou maior variação dos valores em relação à média. Este fato é consequência de problemas técnicos a qual o sensor foi acometido durante este período de análise. Foi detectado um vazamento no equipamento, que precisou ser retirado para manutenção. Durante o procedimento de retirada verificou-se que o vazamento se deu devido um pequeno furo na mangueira. Além disso, este problema provocou um travamento do sistema, acarretando na perda de dados dos outros dois sensores entre os dias 12/05/19 e 18/05/19.

De maneira geral, o sensor 12 foi, novamente, o que apresentou maior estabilidade nas medições. Em relação a diferença das medições instantâneas entre os sensores, a maior diferença se deu entre os sensores 12 e 13, com 1,6 cm e desvio padrão de 0,460 cm. Já a diferença entre os sensores 11 e 12 foi de 1,5 cm com desvio padrão de 0,258 cm. A menor diferença se deu entre os sensores 11 e 13, apresentando variação de 1,3 cm e desvio padrão de 0,287 cm.

Já em relação à média dos sensores, o 11 teve variação máxima de 0,83 cm com desvio padrão de 0,175. Já os sensores 12 e 13 apresentaram 0,83 cm e 0,93 cm de variação máxima, com desvio padrão de 0,199 cm e 0,224 cm respectivamente.

Como é possível observar na Tabela 2, em praticamente todas as comparações das medições da régua, os sensores apresentaram diferença milimétrica.

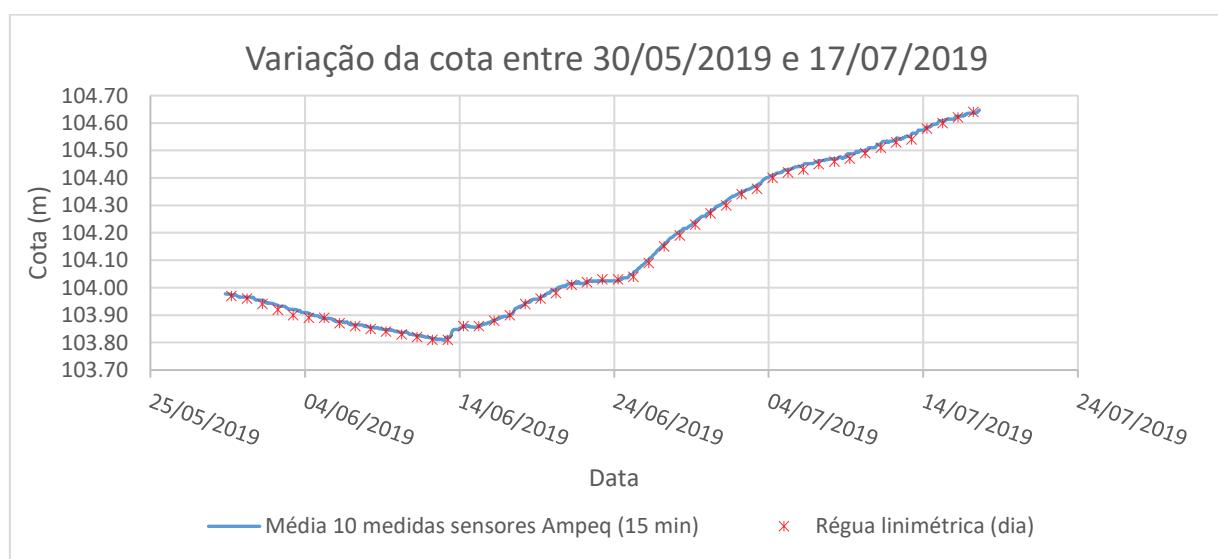
**Tabela 2:** Variação do volume em metros e em porcentagem de volume

Data	Cota régua (m)	Volume com cota da régua (%)	Cota sensor Ampeq média 10 medidas (m)	Volume com sensor Ampeq (%)
11/05/2019 06:00	104,17	5,90%	104,184	5,91%
12/05/2019 06:00	104,17	5,90%	104,170	5,90%
13/05/2019 06:00	104,16	5,89%	Vazamento/erro	Vazamento/erro
14/05/2019 06:00	104,15	5,88%	Vazamento/erro	Vazamento/erro
15/05/2019 06:00	104,14	5,87%	Vazamento/erro	Vazamento/erro
16/05/2019 06:00	104,12	5,85%	Vazamento/erro	Vazamento/erro
17/05/2019 06:00	104,11	5,84%	Vazamento/erro	Vazamento/erro
18/05/2019 06:00	104,09	5,82%	Vazamento/erro	Vazamento/erro
19/05/2019 06:00	104,08	5,81%	104,078	5,81%
20/05/2019 06:00	104,07	5,80%	104,068	5,80%
21/05/2019 06:00	Sem medida	Sem medida	104,060	5,79%
22/05/2019 06:00	104,05	5,78%	104,050	5,78%
23/05/2019 06:00	104,04	5,77%	104,037	5,76%
24/05/2019 06:00	104,03	5,76%	104,031	5,76%
25/05/2019 06:00	104,02	5,75%	104,022	5,75%
26/05/2019 06:00	104,00	5,73%	104,011	5,74%

Fonte: elaboração própria.

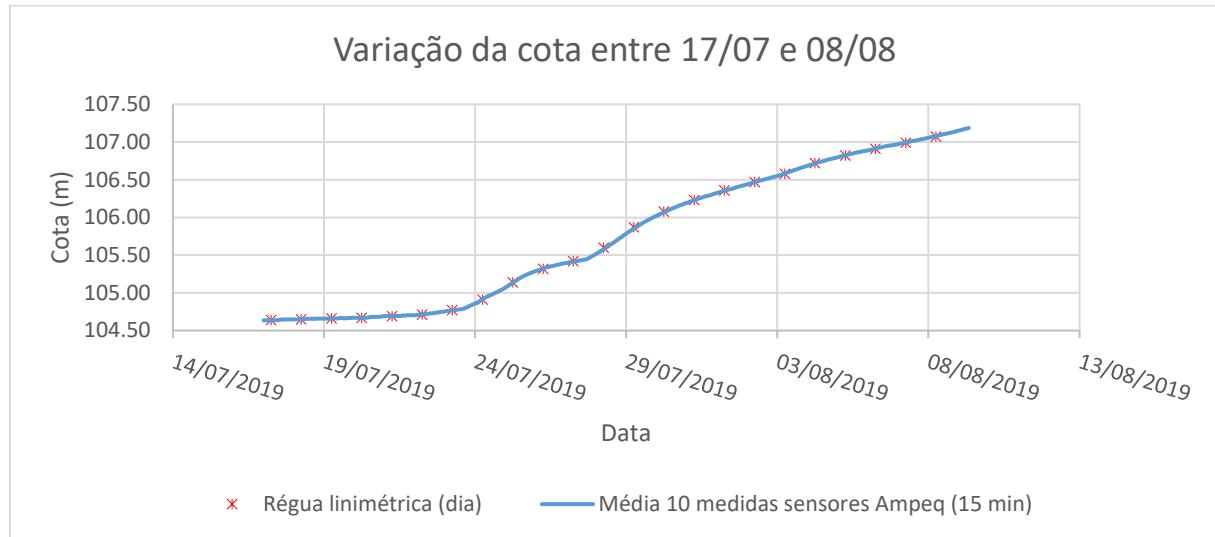
#### 6.4 Resultado final da instalação

De maneira geral, durante o período de 29/05/19 até 08/08/19 foi observado maior precisão nas medições. Os dados referentes a esse intervalo foram divididos em duas partes, visando melhor visualização das medições (Figuras 44 e 45)

**Figura 44:** Variação da cota entre 30/05/19 e 17/07/19

Fonte: elaboração própria.

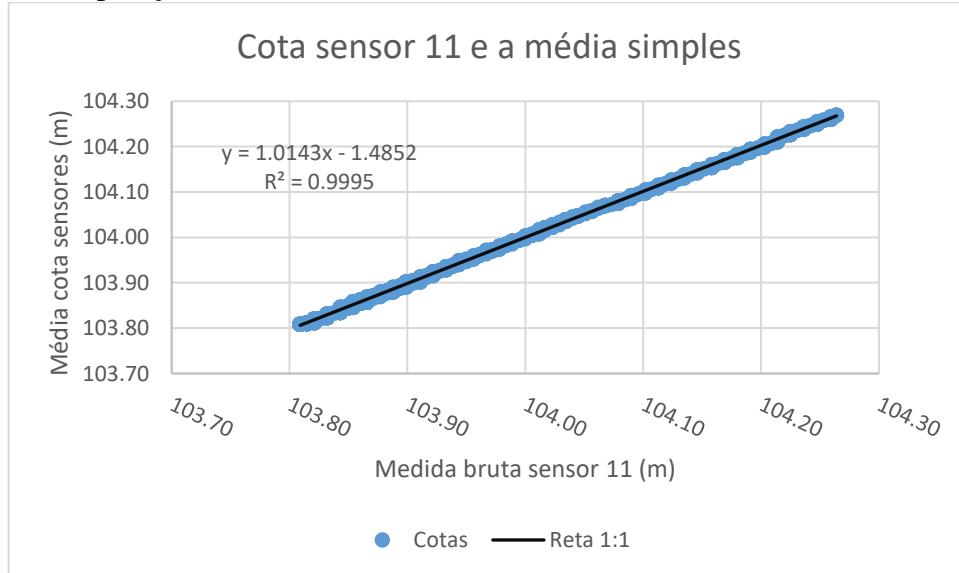
**Figura 45:** Variação da cota entre 17/07/19 até 08/08/19



Fonte: elaboração própria.

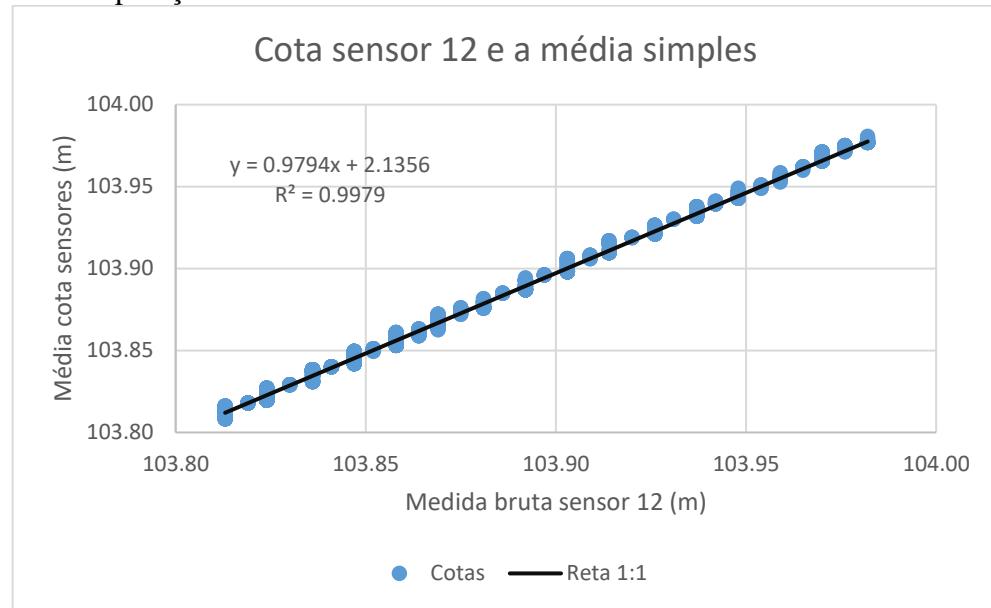
A seguir são apresentadas as Figuras 46, 47 e 48, com as comparações entre os sensores e as respectivas médias.

**Figura 46:** Comparação entre as cotas do sensor 11 e a média dos três sensores



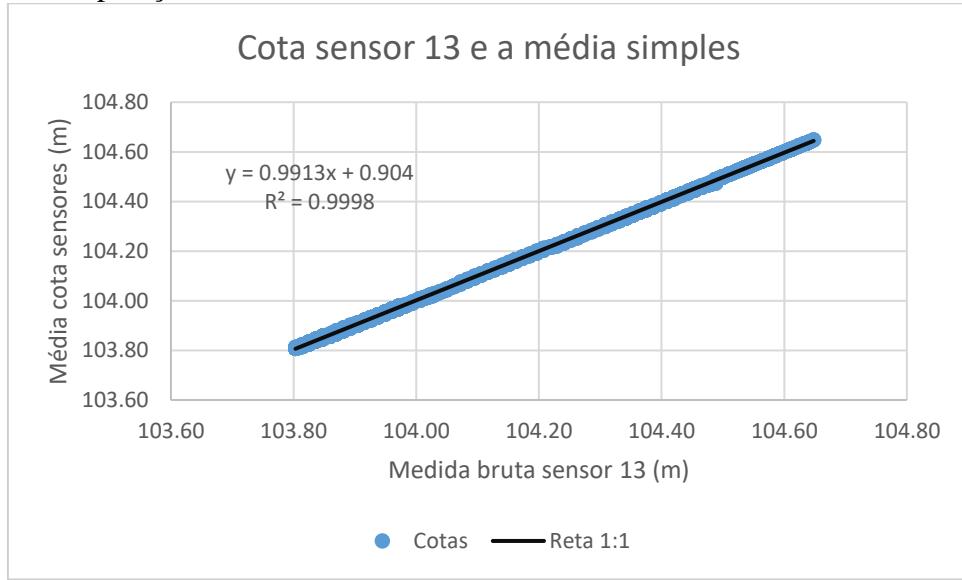
Fonte: elaboração própria.

**Figura 47:** Comparação entre as cotas do sensor 12 e a média dos três sensores



Fonte: elaboração própria.

**Figura 48:** Comparação entre as cotas do sensor 13 e a média dos três sensores



Fonte: elaboração própria.

Em relação à média, o sensor 13 apresentou maior diferença, com 1 cm e desvio padrão de 0,254. Posteriormente, vem o sensor 11 com 0,90 cm e desvio padrão de 0,220 e o sensor 12, com sua variação de 0,66 cm e desvio padrão de 0,171 cm.

A diferença das medições entre os sensores 11 e 13 foram a maior, com 1,9 cm e desvio padrão de 0,399 cm. Em seguida vem os sensores 12 e 13 com 1,31 cm e desvio padrão de 0,401. Por fim têm-se os sensores 11 e 12 com 1 cm e desvio padrão de 0,197.

Ao fim desse período de avaliação, ficou constatada a evolução da precisão do sistema de monitoramento em decorrência das alterações feitas na forma de instalação, e que, independente das variações entre os sensores, que são provenientes principalmente de ondas, as medições apresentaram boa precisão. As diferenças entre as medições de cada sensor e a média simples foram, em média, 87% menores que 0,5 cm. O volume referente a esta variação de cota foi, de aproximadamente, 0,006% do volume total do reservatório (considerando área da cota 105,00 m).

## 6.5 Quantidade necessária de sensores

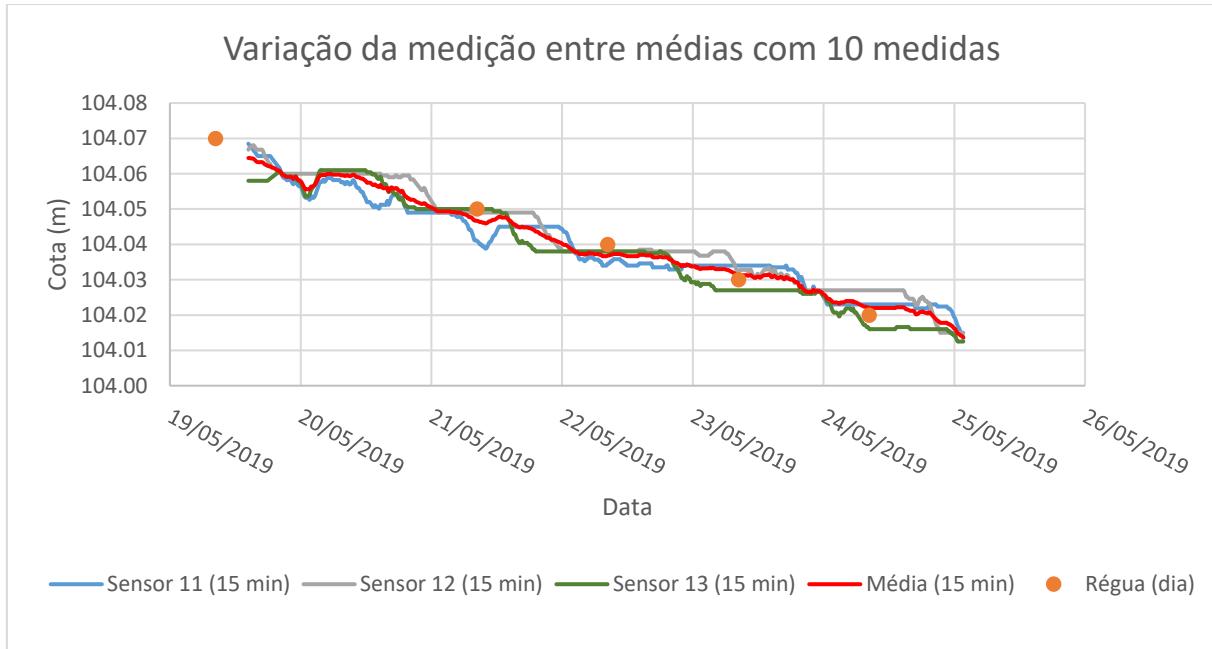
Durante o estudo foi analisado também se três sensores seriam realmente necessários para garantir um resultado coerente das medições. A princípio, é possível afirmar que dependendo da precisão desejada, um único sensor para monitoramento de um reservatório se torna insuficiente, pois, ao contrário de um poço, uma barragem tem variáveis que podem interferir diretamente nas medições, tais como: as ondas, atividades de pesca, variação da temperatura da água e animais aquáticos. Além disso, em caso de falhas é necessário deslocar uma equipe técnica para fazer o reparo do equipamento o mais rápido possível.

De maneira geral, em termos de medição, a utilização de dois sensores pode ser considerada suficiente, pois, com dois pontos de medição além de ser possível fazer uma média mais refinada, também é possível fazer a verificação de falhas, seja da medição na régua ou até mesmo de um dos sensores. Porém, se um dos dois sensores falhar por algum motivo, o sistema passa a contar com apenas um sensor, que não é suficiente.

Logo, se for levado em conta o fator financeiro, o modelo mais adequado para a medição de nível em barragens seria o de um sistema triplo, pois, a média seria ainda mais refinada. Além disso, em caso de falha de um dos sensores, ainda seria possível contar com outros dois. Sendo assim, o número de manutenção e reparo seria menor, fazendo com que a estação se torne mais barata a longo prazo.

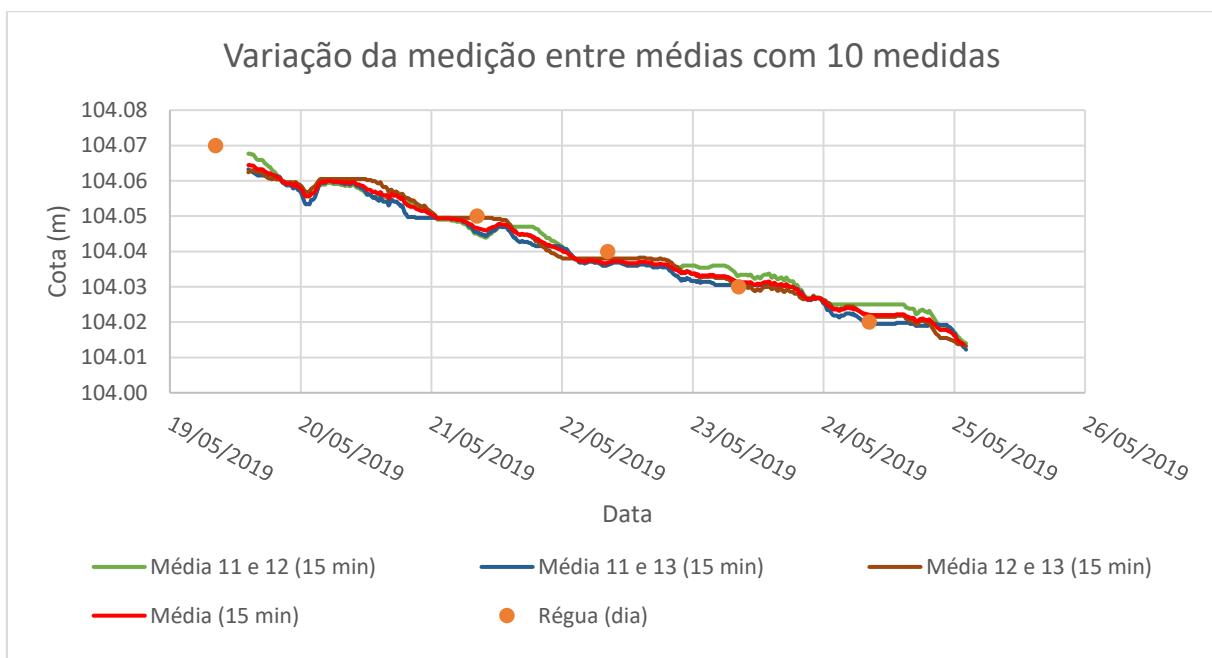
É possível acompanhar o comportamento de cada equipamento durante o período de cinco dias na Figura 49. Já a Figura 50 representa como cada média se comporta ao longo do tempo.

**Figura 49:** Comparação entre a medida dos três sensores e a média



Fonte: elaboração própria.

**Figura 50:** Comparação entre as médias com dois e três sensores



Fonte: elaboração própria.

## 6.6 Resolução de medição do sistema

Em se tratando de um reservatório de grande porte como o Acauã, as variações de nível decorrentes de chuvas no reservatório e cheias em córregos ou rios que desaguam na barragem são relativamente lentas. A Tabela 3 a seguir apresenta a recarga mais acentuada a qual o reservatório foi submetido durante o período analisado.

**Tabela 3:** Maior velocidade de recarga durante o período analisado

Data / Hora	Cota com média de 10 dados (m)	Data / Hora	Cota com média de 10 dados (m)
27/07/2019 00:00	105,395	27/07/2019 12:00	105,432
27/07/2019 01:00	105,397	27/07/2019 13:00	105,435
27/07/2019 02:00	105,402	27/07/2019 14:00	105,438
27/07/2019 03:00	105,406	27/07/2019 15:00	105,441
27/07/2019 04:00	105,408	27/07/2019 16:00	105,445
27/07/2019 05:00	105,412	27/07/2019 17:00	105,451
27/07/2019 06:00	105,416	27/07/2019 18:00	105,458
27/07/2019 07:00	105,418	27/07/2019 19:00	105,468
27/07/2019 08:00	105,419	27/07/2019 20:00	105,477
27/07/2019 09:00	105,422	27/07/2019 21:00	105,487
27/07/2019 10:00	105,426	27/07/2019 22:00	105,496
27/07/2019 11:00	105,430	27/07/2019 23:00	105,506

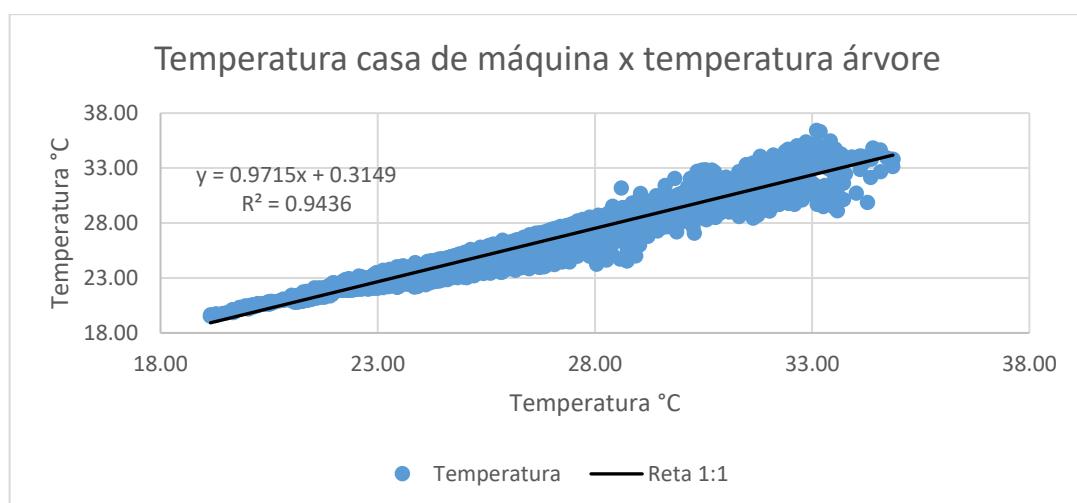
*Fonte: elaboração própria.*

Foi possível constatar que a cada 15 minutos o reservatório variou em média 1 mm. Já levando em conta uma resolução horária, essa variação seria de, aproximadamente, 1 cm. Portanto, considerando a que essa seria a média máxima de variação do reservatório, um monitoramento com resolução horária seria suficiente. Entretanto, este passo de tempo tem a desvantagem de que, caso o sistema falhe em uma medição, a quantidade de informação perdida será muito maior do que um sistema com resolução de 15 minutos. Em termos de volume, durante o dia 27/07/2019 o reservatório variou cerca de 0,13%, ou 326.540,6 m<sup>3</sup>.

## 6.7 Comparação entre Diver e os Baros

Os dados coletados nos dois pontos de monitoramento pelos Baros apresentaram relativa diferença. A temperatura do equipamento instalado na casa de máquina demonstrou variação de temperatura maior que o esperado. O segundo Baro, instalado em uma árvore comprovou que de fato, o primeiro Baro estava medindo temperatura mais elevada que o normal, pelo fato de estar instalado dentro de um abrigo. Em 75% dos dados coletados, a temperatura na casa de máquina foi maior, como é possível observar na Figura 51.

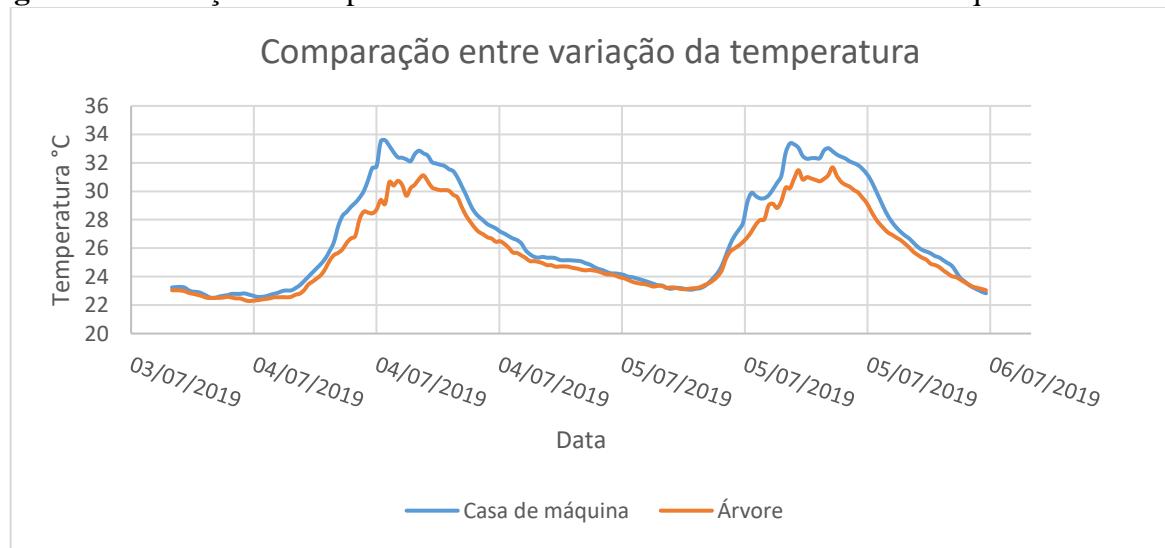
**Figura 51:** Variação da temperatura nos dois pontos de monitoramento



*Fonte: elaboração própria.*

A Figura 52 mostra a diferença das medições entre os dois pontos durante dois dias.

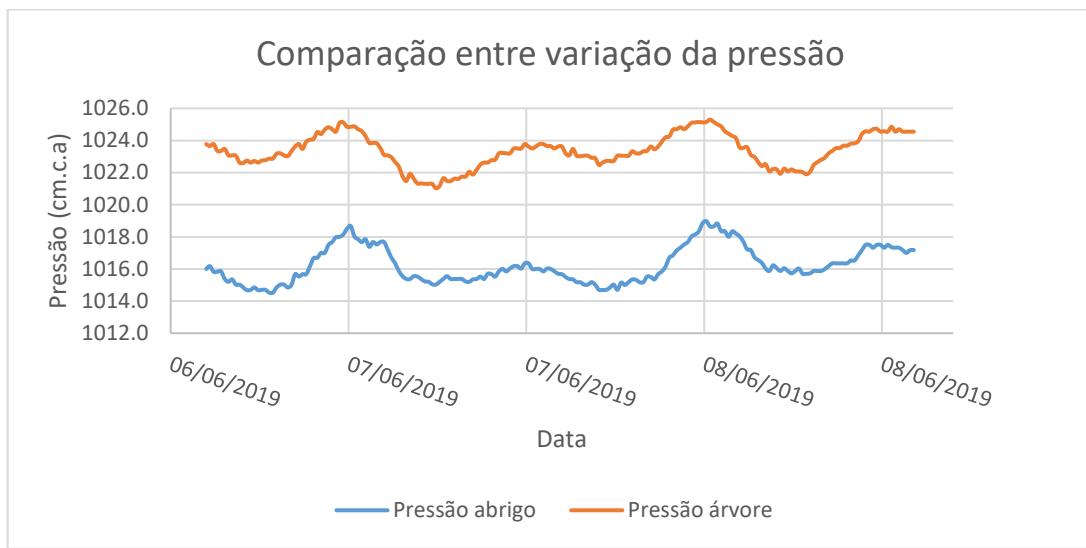
**Figura 52:** Variação da temperatura entre os Baros instalados na casa de máquina e na árvore



*Fonte: elaboração própria.*

Se considerado todo o período de análise, a maior diferença de temperatura foi de, aproximadamente  $4,47^{\circ}\text{C}$ , com desvio padrão de  $0,61^{\circ}\text{C}$ . A consequência direta disso, é a aparente alteração da pressão atmosférica, pois quanto menor a temperatura do ar, maior é a pressão atmosférica. A Figura 53 evidencia como a temperatura pode alterar a pressão.

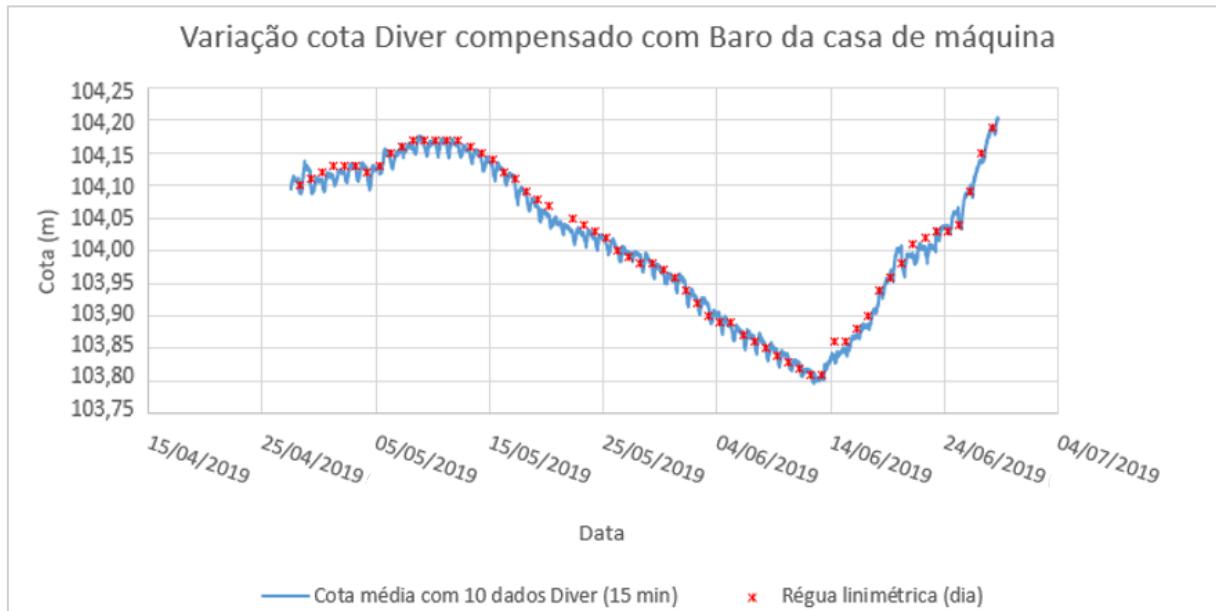
**Figura 53:** Variação da pressão atmosférica entre os Baros instalados na casa de máquina e na árvore



*Fonte: elaboração própria.*

Considerando que um dos dados de entrada para calcular a cota é a pressão, as cotas calculadas com a compensação do Baro da casa de máquina não podem ser usadas para comparação estatística com os sensores da Ampeq. Como é possível observar na figura 54, durante todo o período analisado, o Diver apresentou variações que fogem completamente da realidade, devido à dilatação do cabo e, principalmente, à variação da temperatura e, consequentemente, da pressão.

**Figura 54:** Variação da cota com o Diver compensado pelo Baro da casa de máquina



Fonte: elaboração própria.

Comparando os dados compensados com o Baro da casa de máquina e aquele instalado na árvore é possível constatar, pelas figuras 55 e 56, que os dados compensados com o Baro da casa de máquina apresentam maior “serrilhamento” dos dados.

**Figura 55:** Variação da cota com o Diver compensado pelo baro da árvore



Fonte: elaboração própria.

**Figura 56:** Variação da cota com Diver compensado pelo Baro da casa de máquina



Fonte: elaboração própria.

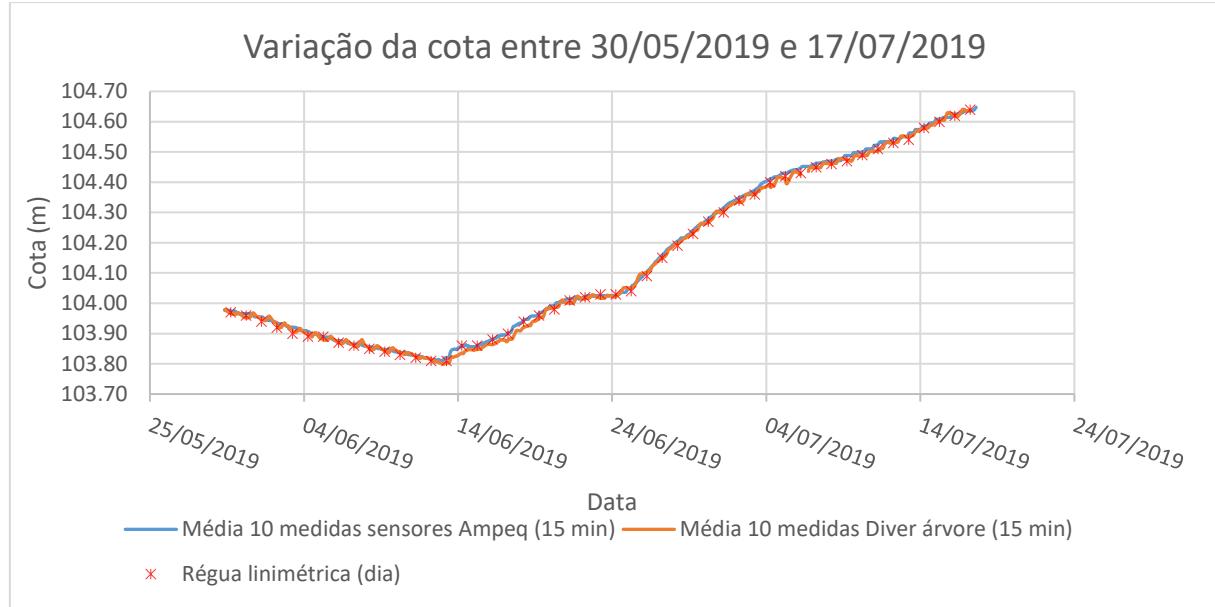
Apenas entre 22/07/19 e 08/08/19 os dados compensados com o Baro da casa de máquina não apresentaram variação significativa. Durante esse período, a barragem recebeu água liberada do açude Presidente Epitácio Pessoa, popularmente conhecido como açude de Boqueirão. Não foi possível chegar a nenhuma conclusão acerca da estabilidade dos dados nesse período.

## 6.8 Comparação entre os sistemas de medição de nível Ampeq e Diver/Baro

O primeiro Baro instalado durante o estudo não pode ser usado a critério de comparação estatística. Como já mencionado, o local de instalação apresentou variações de temperatura e pressão fora do padrão, e esse fato comprometeu praticamente todos os dados.

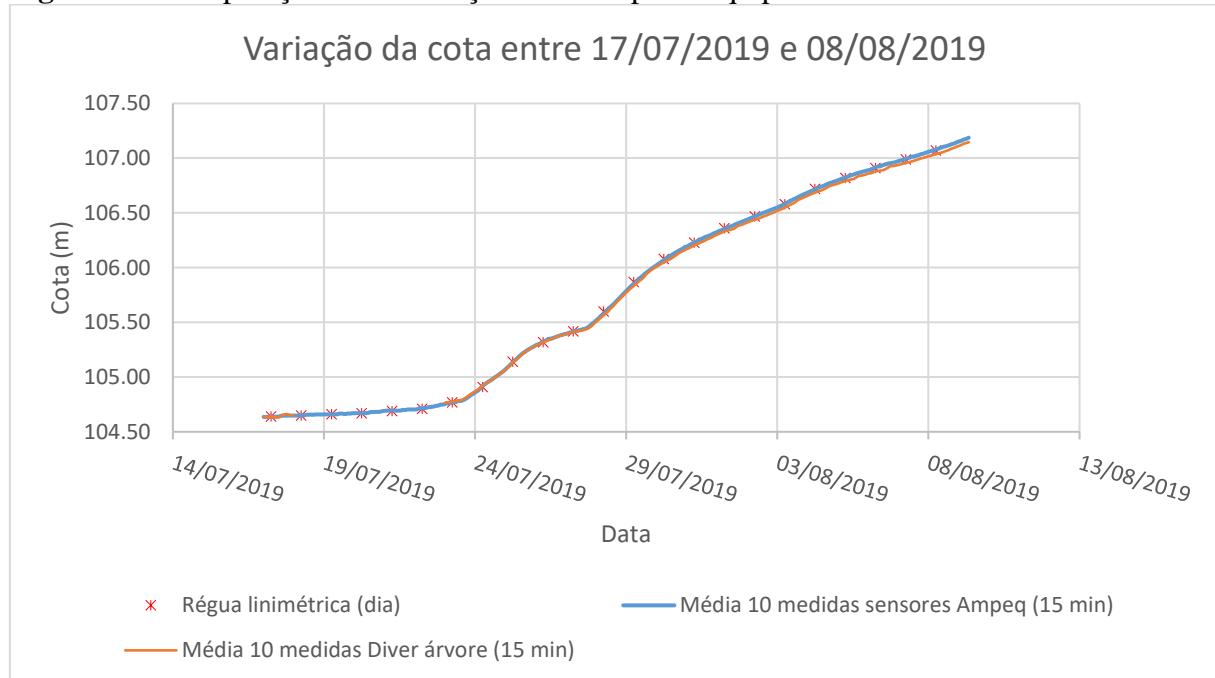
Como foi possível observar, o sistema de monitoramento de nível evoluiu consideravelmente em termos de precisão durante o período analisado. É possível afirmar ainda que, em média, os dois sistemas, considerando os sensores Ampeq e o dados do Diver compensados com o Baro da árvore, apresentam precisão equivalente, e em poucos momentos, as medições dos dois equipamentos se distanciaram da medição na régua. Além disso, levando em conta que as medições nas réguas podem conter erros de em média  $\pm 1$  cm, pode-se afirmar que as medições tiveram excelente precisão. As Figuras 57 e 58 mostram a variação da cota de acordo os 3 tipos de medições.

**Figura 57:** Comparação entre medições de cota pelos equipamentos



Fonte: elaboração própria.

**Figura 58:** Comparação entre medições de cota pelos equipamentos

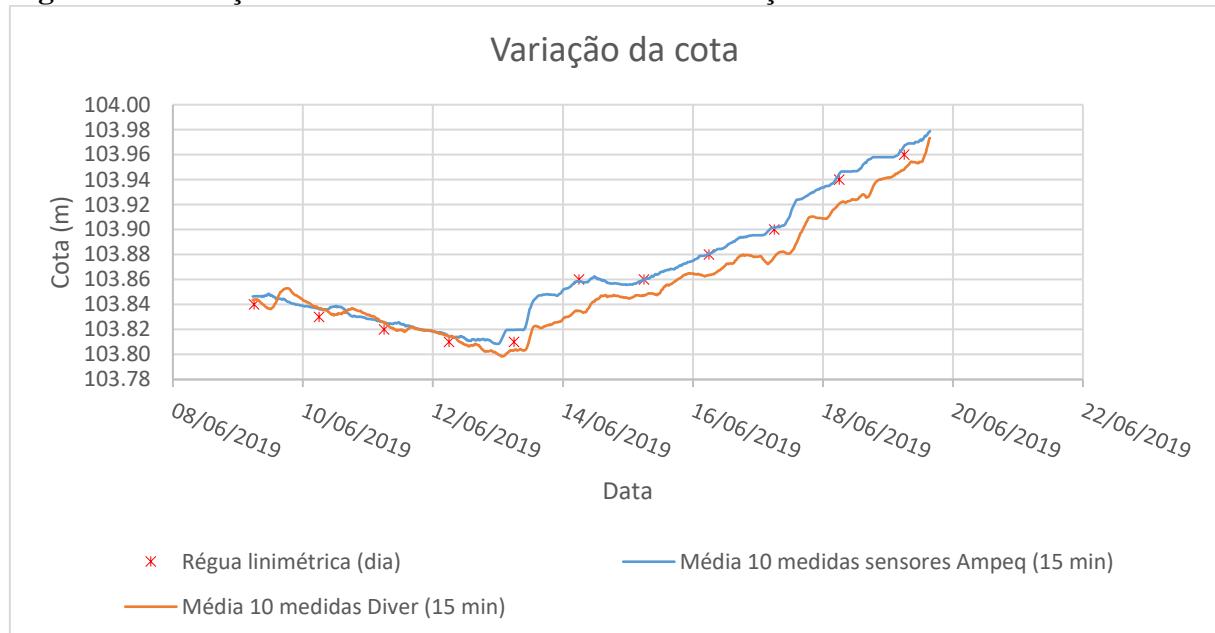


Fonte: elaboração própria.

É necessário ressaltar que o sistema composto pelo Diver apresentou o mesmo problema de dilatação que foi observado nos sensores da Ampeq no início do projeto. Entretanto, o nível de variação em virtude desse fenômeno no Diver foi relativamente menor. Logo, para efeito de comparação estatística entre os sistemas, foram desconsiderados os dados medidos pelo Diver entre 05:00h e 20:00h, pois foi observado que, em média, esse é o horário de maior variação.

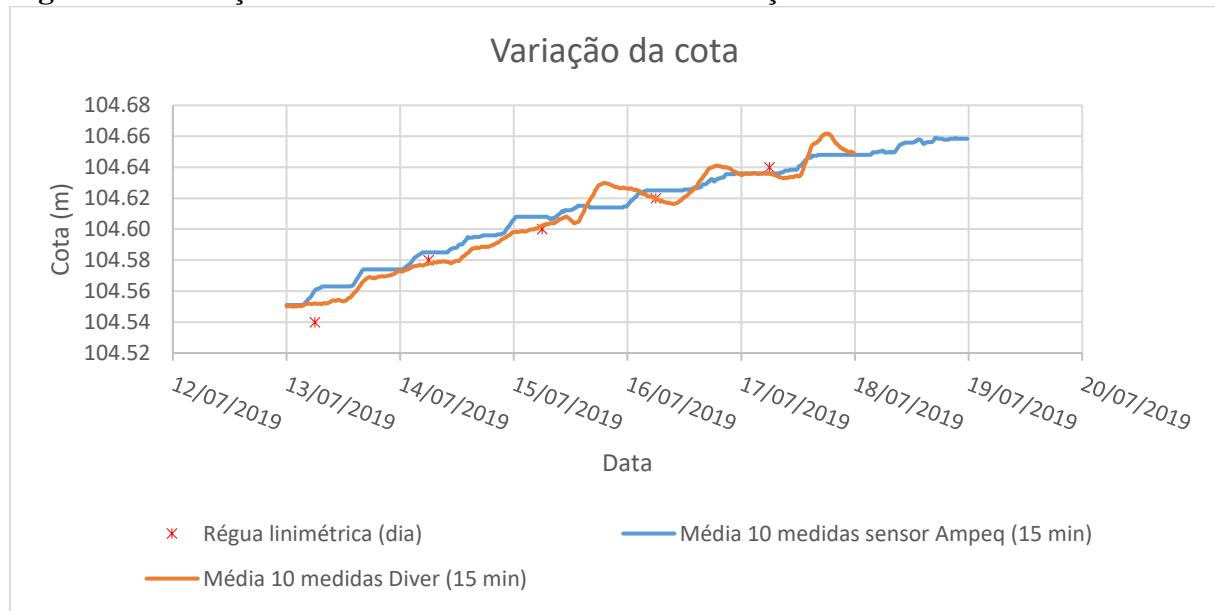
Desta maneira, foi verificado que a maior diferença entre os sistemas foi de, aproximadamente, 2,65 cm e o desvio padrão durante o todo o período foi de 0,613 cm. É necessário ressaltar que o valor de 2,65 cm é proveniente de alguns “saltos” do sistema composto pelo Diver, como o exposto pelas da Figuras 59 e 60. Em termos de volume, 2,65 cm equivale a 0,026% ou aproximadamente 64,5 mil m<sup>3</sup>

**Figura 59:** Variação da cota entre os três sistemas de medição



Fonte: elaboração própria.

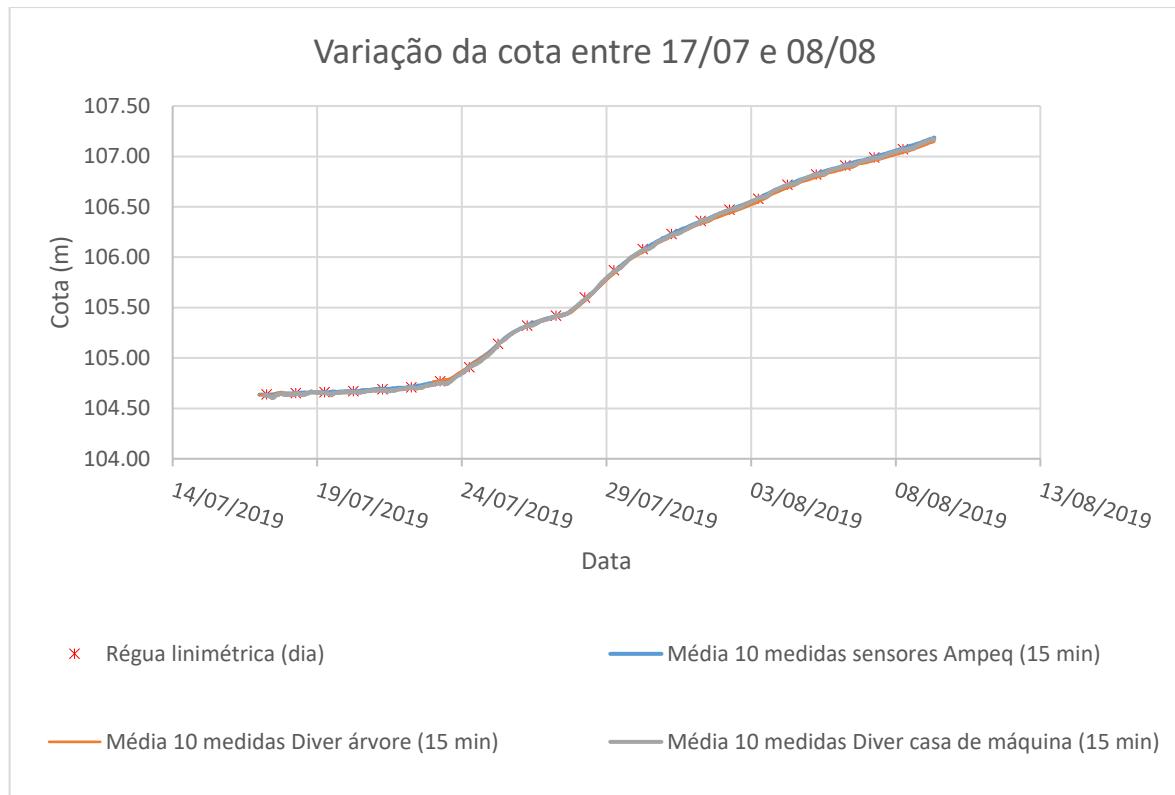
**Figura 60:** Variação da cota entre os três sistemas de medição



Fonte: elaboração própria.

Considerando o período onde o Diver compensado pelo Baro da árvore e da casa de máquina apresentaram maior precisão, foi gerada a Figura 61, que expressa a variação do volume no tempo. É possível comprovar que todos os equipamentos foram precisos nesse período.

**Figura 61:** Variação do volume em porcentagem e em metro cúbico considerando todos os equipamentos



Fonte: elaboração própria.

## 6.9 Falhas do sistema

No decorrer do trabalho, o sistema apresentou algumas falhas inerentes ao processo de testes. O principal problema encontrado durante o período de estudo foi relacionado a umidade nos sensores. Aconteceram três episódios de vazamento, dois no sensor 11 e um no sensor 12. No primeiro caso, com o sensor 11, foi localizado um pequeno furo na mangueira. Realizou-se um corte da parte comprometida, bem como realizada a manutenção do sensor. No segundo evento de vazamento, agora com o sensor 12, percebeu-se que o formato do pequeno furo se aproximava de mordidas de peixe. Todas as partes do sistema que ficam sob a água estão sujeitas ao desenvolvimento de musgos, que servem de alimento para os animais. Ao tentar alimentar-se desse substrato da mangueira, acabam acontecendo pequenas perfurações. O

terceiro evento de vazamento foi novamente com o sensor 11. Nesse caso não foi encontrado nenhum furo e o acúmulo de água se deu por condensação da umidade do ar no interior da mangueira.

Logo, foi instalado nos dois sensores (11 e 12) uma proteção para a mangueira. Foram usados pedaços de cano de PVC de 50 mm de diâmetro, como mostra a Figura 62.

**Figura 62:** Cano de PVC encobrindo mangueira



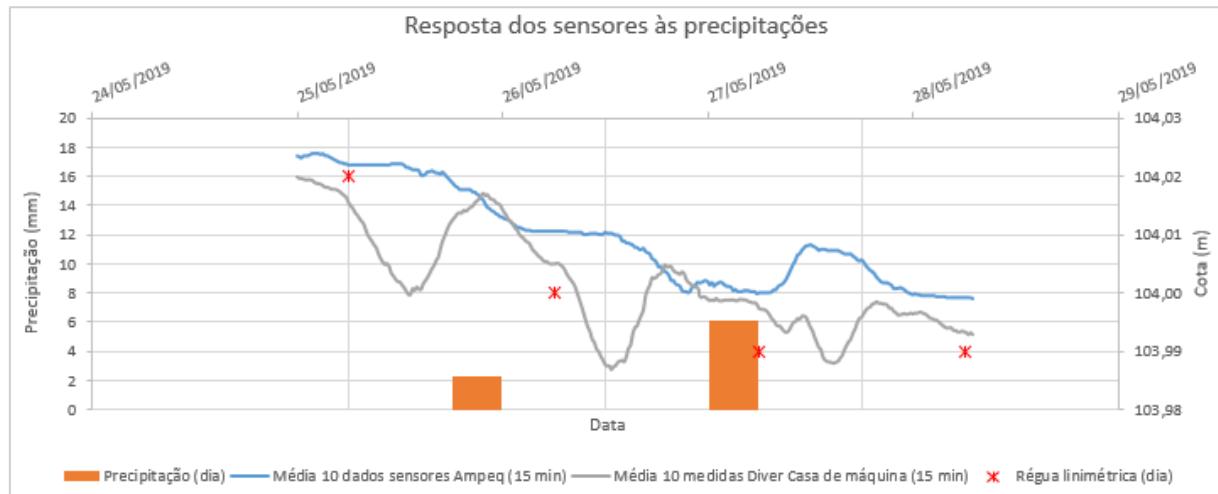
Fonte: arquivo pessoal. Data da foto: 08/08/2019.

#### 6.10 Resposta dos sensores às precipitações

Durante o período de monitoramento, aconteceram poucos eventos de precipitação. O maior volume precipitado foi de, aproximadamente, 19 mm no dia 13/06/2019. Mas, mesmo

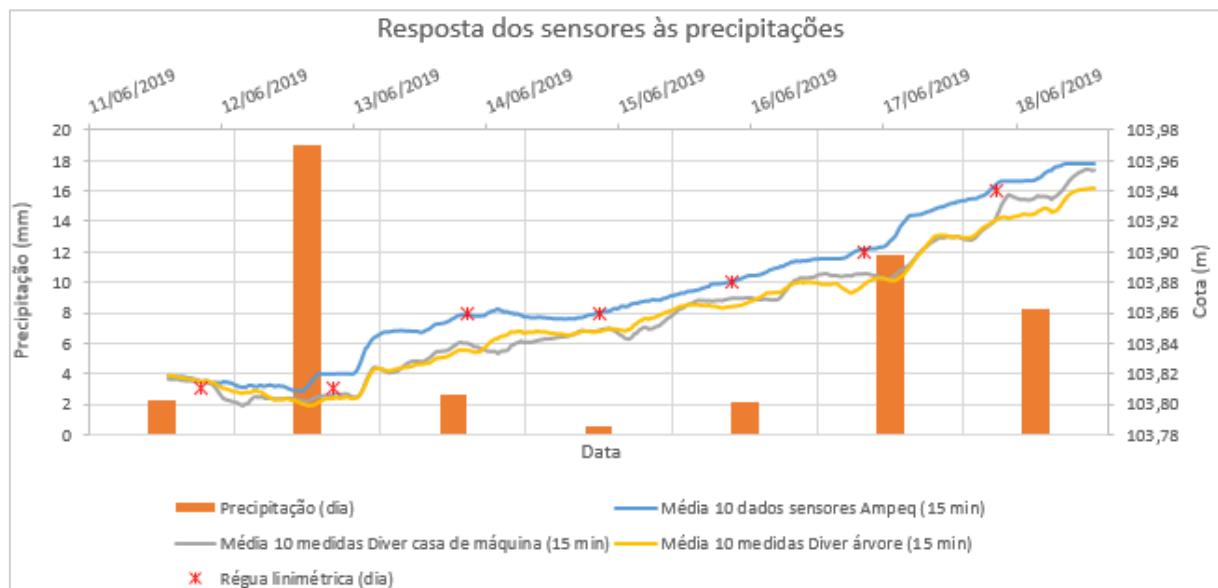
assim, foi possível observar respostas do nível a tais eventos. As Figuras 63 e 64 mostram todos os eventos registrados na barragem e o respectivo comportamento dos sensores durante o período. Como já mencionado, durante esse período da Figura 63 as cotas da régua apresentaram fortes indícios de erro de leitura.

**Figura 63:** Variação da cota registrado pelos sensores às precipitações



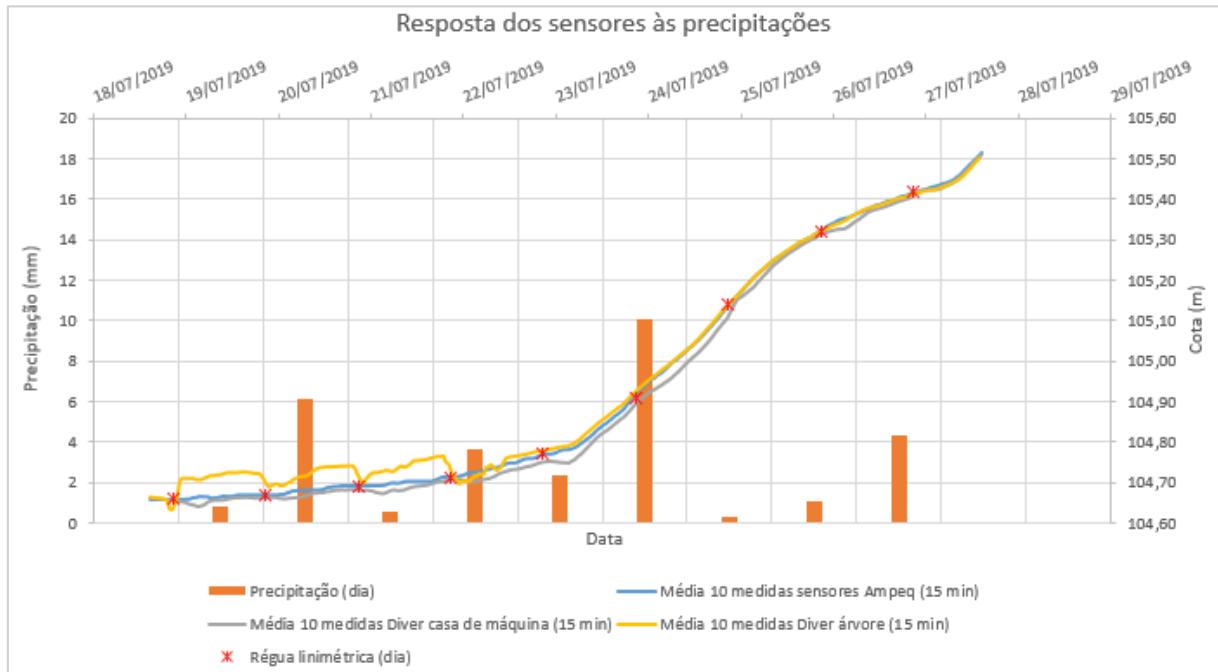
Fonte: elaboração própria.

**Figura 64:** Variação da cota registrado pelos sensores às precipitações



Fonte: elaboração própria.

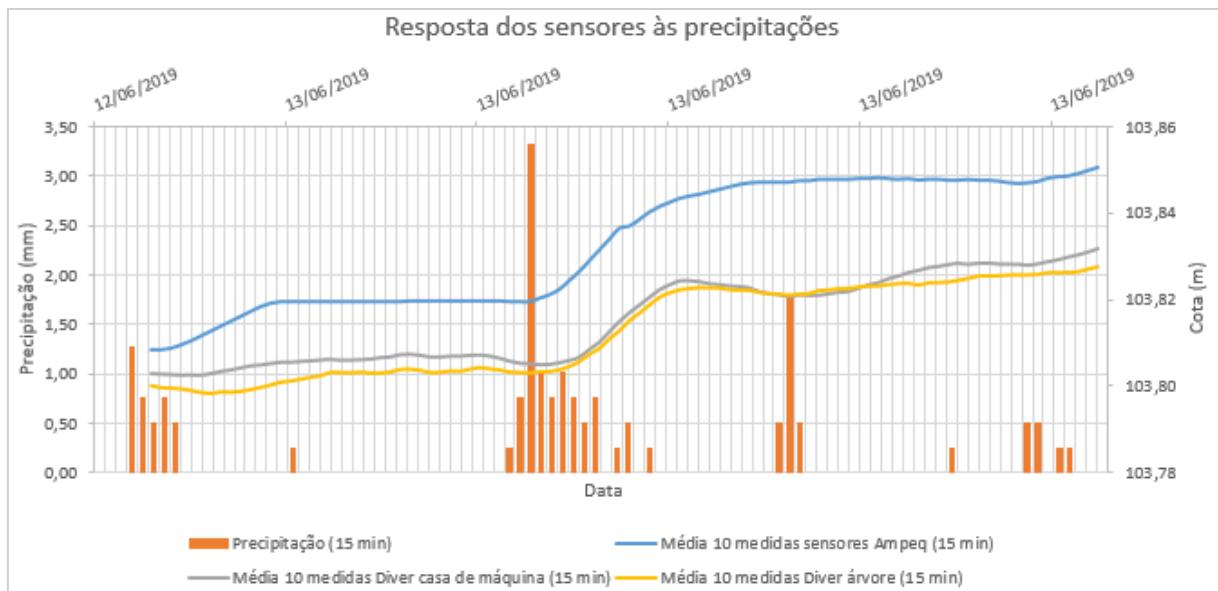
**Figura 65:** Variação da cota registrado pelos sensores às precipitações



Fonte: elaboração própria.

Para melhor visualização dos resultados, foi gerada a Figura 66 com precipitação e cota em resolução temporal de 15 minutos durante o dia de maior volume precipitado.

**Figura 66:** Resposta dos sensores no dia de maior precipitação



Fonte: elaboração própria.

Os sensores da Ampeq se mostraram mais eficientes em termos de respostas às precipitações. Entre todos os eventos o Diver apresentou comportamento semelhante aos sensores da Ampeq apenas uma vez, no dia 13/06/2019.

## 7.0 CONCLUSÕES

A partir das análises e reflexões tecidas neste TCC, foi possível concluir que a eficiência e correto funcionamento de um sistema de monitoramento é resultado, principalmente, das condições de instalação. Não menos importante deve ser a manutenção dessas estações. Os procedimentos para a instalação devem ser feitos por profissionais que conheçam bem os equipamentos e suas limitações. Recomenda-se que antes da instalação seja feita uma visita prévia ao local, visando conhecer a área e os parâmetros que auxiliem nos procedimentos de implementação dos sensores.

Ao realizar a comparação entre os dados dos equipamentos da Ampeq, foi possível constatar a redução da variação das medições. Inicialmente, a cota do sensor chegou a se distanciar da régua em, aproximadamente, 10 cm. Após todos os ajustes, em média, os sensores passaram a apresentar uma diferença de ordem milimétrica. Em relação a comparação entre as medidas individuais de cada sensor ao fim das modificações, o menor desvio padrão na comparação entre as medições dos sensores foi de 0,197 cm (sensor 11 e sensor 12), já a maior foi de 0,401 cm (sensor 12 e sensor 13). Em relação à média, os sensores apresentaram variação máxima de 1 cm, com desvio padrão de 0,254 (sensor 13) e menor variação de 0,66 cm, com desvio padrão de 0,171 cm (sensor 12). Em termos de porcentagem de volume, 1 cm equivale (na maior cota registrada, 107) a, aproximadamente, 0,0149% do volume total. Por analogia, seria o equivalente a acrescentar ou remover três litros de uma caixa d'água com capacidade de 20.000 L.

A resolução temporal das medições, 15 minutos, neste caso, pode variar a depender do reservatório, considerando sua capacidade de armazenamento. No caso de Acauã, embora sua variação máxima se dê em média 1 cm por hora (considerando o período de estudo), é recomendado que o monitoramento seja feito preferencialmente a cada 15 ou 30 minutos, pois, caso aconteça alguma falha, a quantidade de dados perdidos será irrelevante.

A melhor quantidade de sensores necessários para monitoramento do nível de água em uma barragem depende da precisão almejada, distância de deslocamento para se chegar ao local monitorado e disponibilidade de recursos para descolamentos (manutenção). Com base nos resultados, um único equipamento se mostrou insuficiente para realizar medições precisas, além de elevar a vulnerabilidade do sistema no que tange a perca de dados. A utilização de dois sensores se mostrou eficiente em termos de precisão das medições. Entretanto, caso um dos equipamentos falhe, o sistema de monitoramento de nível volta ao caso mencionado

anteriormente. Já em termos de precisão e redução de custos ao longo do tempo, três sensores de pressão foi a opção que se mostrou mais viável.

Os dois sistemas de monitoramento de nível que foram estudados apresentaram coerências nas medições e em poucos momentos os dados ficaram com diferença expressiva. Mas, de maneira geral, os sensores da Ampeq se mostraram mais precisos nas medições.

É importante destacar a importância das medições manuais, pois esses dados são fundamentais para a calibração e acompanhamento do sistema. Recomenda-se que após o período de estabilização (após a instalação) a cota do sensor seja comparada a da régua uma vez a cada 15 ou 30 dias. Essa verificação deve ser durante em média três dias seguidos ou intercalados, para evitar erros.

Do ponto de vista social, o valor mensal recebido pelos moradores que realizam as medições é um importante complemento de renda. Outro fator importante a ser citado, é que ao receber esse valor, as pessoas se sentem mais motivadas e acabam “cuidando” dos equipamentos, evitando que terceiros venham a interferir nas instalações ou até mesmo venham a furtar os equipamentos.

Em relação à isolação térmica do sensor, conclui-se que, de fato, contribuiu para com a maior estabilização das medições em relação aos demais sensores. O poço tranquilizante também se mostrou bastante eficiente no amortecimento do efeito das ondas. Portanto, visando garantir o mínimo de interferência e o máximo de estabilidade possível, é recomendado que todos os sensores sejam instalados em poços tranquilizantes e que, além disso, recebam isolação térmica.

Outro ponto importante é a inclusão de mecanismos de controle de umidade do ar dentro dos sensores, bem como a instalação de um sistema de proteção dos cabos. Nestas condições o sistema estaria menos vulnerável ao aumento do teor de umidade nos componentes eletrônicos e a vazamentos, que foi o maior causador de falhas durante a pesquisa.

Em relação ao comportamento dos sensores de pressão aos eventos de precipitação, foi possível constatar que o equipamento da Ampeq se mostrou mais eficiente. Além disso, a combinação dos sensores de pressão e o pluviógrafo se mostrou bastante vantajosa.

Um sistema de medição automático e em tempo real se mostrou de grande valia no estudo, principalmente considerando o tempo de viagem para chegar ao local de pesquisa. Em média, saindo de João Pessoa, Capital do estado da Paraíba, a viagem para Acauã dura, aproximadamente, duas horas e meia. Considerando que o tempo para baixar os dados do Diver e dos Baros é de, aproximadamente, 8 minutos, o monitoramento “off-line” se torna menos vantajoso. Outra desvantagem desse modo de monitoramento é que caso os sensores falharem,

tal problema só será constatado quando os dados forem baixados em uma visita ao local. Como em média as visitas acontecem a cada dois ou três meses, a quantidade de dados perdidos seria muito grande.

Por fim, conclui-se que, considerando o monitoramento em resolução intradiária do volume de água, o uso de sistemas de monitoramento em tempo real em barragens é a maneira mais viável de acompanhar a variação do nível, principalmente considerando os reservatórios mais distantes, cujo deslocamento até o local é demorado e, principalmente, custoso. Este mecanismo de monitoramento, não só em Acauã, mas nos principais reservatórios da Paraíba seria uma importante ferramenta de gestão dos recursos hídricos, fazendo com que o Estado se tornasse referência em tal área.

## 8.0 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **Medindo as águas do Brasil : noções de plu e fluviometria Curso a distância**. Acervo Educacional Sobre Água - ANA, p. 25, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **HidroWeb: Rede Hidrometeorológica Nacional**. ANA, 2018. Disponível em: <<http://www.snhirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 12 junho 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **Inventário estações pluviométricas**. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/InventariodasEstacoesPluviometricas.pdf>>. Acesso em: 10 setembro 2019.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Evolução da Rede Hidrometeorológica Nacional, Brasília**, v. 1, n.1, p. 1-15. Abr. 2007.

AMPEQ Medição de nível. **Portifólio**. Disponível em: <<http://ampeq.ch/pt/portfolio.html>>. Acesso em: 15 maio 2019

ARAUJO, A. R. M. **Desenvolvimento e calibração de um pluviógrafo**. Tese (Graduação em Engenharia Civil ), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, 2017.

BARBOSA, D. T. **Diagnóstico e recuperação da barragem Argemiro de Figueiredo (Acauã)**. Tese (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, 2014.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. [s.l: s.n.].

FERNANDES, C.; BRAGA, S. **Performance de sensores de precipitação do tipo Tipping Bucket (Báscula) um alerta para a ocorrência de erros**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, n. 1, p. 197–204, 2006.

FREITAS, M. A. V. DE. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. ANA/ANEEL, 2001.

HERNÁNDEZ, L. et al. **Estación hidrométrica automática en la cuenca alta del Río de Oro**. XVIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, 2008.

Hidro. **Sistema de informações hidrológicas, versão 1.0.4**, Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília/DF, Brasil. 2001.

MONTE-MOR, R. C. A. **Análise de processos hidrológicos em bacias de rios intermitentes no semiárido**. Dissertação de Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais. 2012.

PECHOTO, M. M.; UEYAMA, J.; ALBUQUERQUE, J. P. DE. **E-noé: rede de sensores sem fio para monitorar rios urbanos**. Congresso Brasileiro Sobre Desastres Naturais, 2012.

RODRIGUES, M. S. **Controle de qualidade on-line de dados hidrológicos tele transmitidos.** Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá. 2002.

## ANEXOS

**Tabela A4:** Calibração dos instrumentos durante a pesquisa

<b>Data de calibração dos sensores de pressão</b>				
<b>Diver/Baro da árvore</b>	<b>Diver/ Baro casa de máquina</b>	<b>Sensor 11 Ampeq</b>	<b>Sensor 12 Ampeq</b>	<b>Sensor 13 Ampeq</b>
29/05/2019	27/04/2019	27/04/2019	27/04/2019	27/04/2019
02/06/2019	11/05/2019	03/05/2019	03/05/2019	03/05/2019
22/06/2019	17/05/2019	11/05/2019	11/05/2019	06/05/2019
24/06/2019	17/05/2019	14/05/2019	14/05/2019	11/05/2019
19/07/2019	01/06/2019	18/05/2019	18/05/2019	18/05/2019
22/07/2019	18/06/2019	20/05/2019	20/05/2019	20/05/2019
	20/06/2019	11/07/2019	16/06/2019	15/07/2019
	23/06/2019			26/07/2019
	25/06/2019			
	18/07/2019			
	25/07/2019			
	01/08/2019			