FLÁVIO RAMOS MODESTO DE ANDRADE

GEORREFERENCIAMENTO DOS INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO DA USINA DE FUNIL UTILIZANDO AS TECNOLOGIAS DO GNSS E DA ESTAÇÃO TOTAL.

Trabalho de Conclusão de Curso no Formato de Nota Técnica, apresentado ao Curso de Especialização em Segurança de Barragem para usos Múltiplos; Departamento de Engenharia Ambiental- DEA; Escola Politécnica; Universidade Federal da Bahia- UFBA; Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico- ANA, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista.

Orientador: Profa. Dra. Fernanda Puga Santos

Coorientador: Prof. M.Sc. Edivaldo José da Silva Junior

Salvador
2024

Georreferenciamento dos Instrumentos de Monitoramento da Usina de Funil Utilizando as Tecnologias do GNSS e da Estação

Flávio Ramos Modesto de Andrade

Resumo

O georreferenciamento é um processo de obter coordenadas geográficas de objetos em relação ao globo terrestre muito utilizado em diversas áreas do conhecimento, como saúde, meio ambiente, engenharias, entre outros. O principal objetivo deste trabalho consistiu em realizar o georreferenciamento dos instrumentos de auscultação da usina de Funil – RJ e gerar diferentes mapas de localização dos instrumentos existentes na barragem citada. Com as coordenadas desses instrumentos, foi possível a visualização espacial dos diferentes instrumentos de auscultação permitindo aos técnicos realizarem análises mais detalhadas de uma eventual ocorrência na estrutura da barragem, tornando um elemento imprescindível em segurança de barragens. A metodologia de estudo foi o uso das tecnologias do GNSS e Estação Total para a obtenção das coordenadas dos instrumentos externos e em galerias respectivamente. Como resultados foram apresentadas tabelas com comparações de desnível dos marcos superficiais, comparação entre as coordenadas levantadas em campo as coordenadas arbitrárias dos prismas utilizados na usina e, no final, a geração de oito mapas de localização.

Palavras-chave: Georreferenciamento, Mapas, Instrumentos.

Abstract

Georeferencing is a processo of obtaining geographic coordinates of objects in relation to the globe widely used in various áreas of knowledge, such as health, environment, engineering, among others. The main objective of this work was to georeference the auscultation instruments of the Funil plant – RJ and generate diferente location maps of the instruments in the aforementioned dam. With the coordinates of these instruments, it was possible to visualize the diferente auscultation instruments in space, allowing technicians carry out more detailed analyzes of a possible occurrence in the dam structure, making it na essential elemento in dam safety. The study methodology was the use of GNSS and Total Station Technologies to obtain the coordinates of external instruments and in galleries respectively. As results, tables were presented with comparisons of the difference in level of surface landmarks, comparisons between the coordinates collected in the field and arbitrary coordinates of the prisms used in the plant and, in the end, the generation of eight location maps.

Keywords: Georeferencing, Maps, Instruments.

1 INTRODUÇÃO

A representação da superfície terrestre tem se mostrado bastante importante na organização da sociedade e no seu desenvolvimento como um todo. É uma técnica que vem sendo utilizada em diversas áreas e o conhecimento espacial tem sido de grande relevância, principalmente para traçar planos no desenvolvimento de uma metrópole como a distribuição da população, monitoramento de recursos naturais, infraestrutura, meio ambiente, sistemas rodoviários, entre outros.

O georreferenciamento é um procedimento feito a partir do levantamento topográfico ou geodésico, permitindo obter sua posição na superfície terrestre através de um sistema de coordenadas geocêntrico.

É um processo muito importante, sendo indispensável em várias áreas de atuação.

Para obter a localização de um determinado objeto, é necessário atribuir a esse objeto coordenadas geográficas possibilitando, assim, a representação em um mapa e sua posição no espaço. Com isso, a análise dos dados geográficos, as informações contidas nesse objeto e sua distribuição espacial facilita em uma tomada de decisão e a percepção entre os elementos no espaço geográfico.

Diante do exposto, foi feito o Georreferenciamento nos instrumentos de monitoramento na Usina Hidrelétrica de Funil-RJ pertencente a Furnas Centrais Elétricas – Eletrobras. A UHE Funil possui instrumentos de monitoramento na Barragem Principal, Casa de Força e Vertedouro da Margem Esquerda.

A importância desse Georreferenciamento para a Segurança de Barragem é obter a visualização espacial dos diferentes instrumentos de auscultação nas estruturas que formam o empreendimento. Dessa maneira, em uma eventual ocorrência de comportamentos anômalos, pode ser identificada a localização exata, avaliando o comportamento com outros instrumentos, não necessariamente do mesmo tipo, que possam existir no entorno facilitando a análise e a eventual tomada de decisão quanto à ocorrência. Ter essa componente geográfica possibilita uma futura análise espacial, por exemplo: ao criar a superfície piezométrica para estudo do potencial hidráulico, além de incluir nas análises da segurança do empreendimento, o fator localização no espaço geográfico.

Para os técnicos responsáveis que cuidam da segurança da barragem dessa usina, esse georreferenciamento tem uma significância muito grande, pois, com esses dados

dispostos em um mapa, possibilita analisar a localização do instrumento e obter a informação sobre o terreno em que este está.

Para os leituristas que tem uma rotina maior de leitura e, com isso, um trabalho mais extenuante, ter o mapa com a localização dos instrumentos contribui para planejar uma logística e uma rotina de leitura menos exaustiva.

A UHE Funil-RJ está localizada em Resende, no Estado do Rio de Janeiro e foi construída no rio Paraíba do Sul. É uma barragem do tipo abóbada de concreto com dupla curvatura e sua operação teve início em 1969. A Figura 1 mostra a usina e a identificação das estruturas.

Figura 1: Usina de Funil

Fonte: Autor, 2024.

Vale destacar alguns dados técnicos sobre essa usina, conforme Tabela 1:

Tabela 1: Características da usina de Funil

Barragem	Reservatório	Tomada d'Água	Vertedouro

Tipo: abóbada de dupla curvatura Altura máxima: 85m	Nível normal de operação: 466,50m Nível máximo maximorum: 466,87m Nível mínimo de operação: 444,00m	Comportas tipo lagarta	Comportas tipo segmento
Desenvolvimento no coroamento: 385m	Área inundada: 40 km²	Quantidade: 3	Quantidade: 1 MD e 2 ME
Largura do coroamento: 3,6m	Volume total: 8,9 bilhões m³	Largura: 4,5m	Largura: 11,47m MD e 13m ME
Elevação do coroamento: 468m	Volume útil: 6,2 bilhões m³	Altura: 6,2m	Altura: 16,53m MD e 14,16m ME

Fonte: Furnas, adaptado pelo autor, 2024

1.1 **OBJETIVO GERAL**

Elaborar mapas de localização dos instrumentos de auscultação da usina de Funil-RJ.

1.1.1 **Objetivos Específicos**

- Comparar o desnível entre as cotas dos marcos superficiais levantados e as cotas de campanhas existentes**.**
- Comparar as coordenadas arbitrárias dos primas com as coordenadas levantadas em campo do mesmo instrumento.
- Gerar oito mapas de localização dos instrumentos a saber: nivelamento de precisão, piezômetros casagrande, painéis de leitura, medidores de nível d'água, drenos, prumos, medidores de junta triortogonal e geodésia.
- Determinar a melhor escala de representação e o agrupamento ideal dos instrumentos existentes na usina de Funil para representação em diferentes mapas de localização.
- Organizar uma tabela de atributos referente aos instrumentos de monitoramento e disponibilizá-las para analistas da usina de Funil.

1.5 JUSTIFICATIVA

Ter a componente geográfica dos instrumentos de monitoramento para possibilitar uma futura análise espacial, uma vez que, a usina de Funil não tem em seus projetos a localização desses instrumentos. Com isso, cria-se uma As Built da instrumentação através desse levantamento de campo obtendo as coordenadas Norte, Este e a altitude ortométrica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados conceitos sobre os temas relacionados a esse artigo. Serão abordados assuntos que estão ligados ao tema proposto.

2.1 SEGURANÇA DE BARRAGENS

A barragem é um projeto que apresenta em sua construção diferentes funções e finalidades.

Filho e Reis (2020) diz que as barragens desempenham um papel social e econômico significativo, mas, por outro lado, possuem um enorme potencial de impacto negativo, em função do perigo e risco associados, possibilitando o abalo ao meio ambiente, especialmente quando elas não são adequadamente elaboradas, projetadas, construídas, operadas ou mantidas.

De acordo com Magalhães (1999?)[1] as barragens são obras geralmente associadas a elevado potencial de risco devido à possibilidade de um eventual colapso, com consequências catastróficas para as estruturas das próprias barragens, o meio ambiente, com destruição da fauna e flora, e, principalmente, pela perda de vidas humanas.

Segundo o Guia Básico de Segurança de Barragens (2001), uma barragem segura é aquela cujo desempenho garanta um nível aceitável de proteção contrarruptura, ou galgamento sem ruptura, conforme os critérios de segurança utilizados pelo meio técnico.

A segurança das barragens deve ser perseguida desde o início do projeto. A concepção geral do projeto, o arranjo e o dimensionamento das estruturas são fundamentais para o sucesso do empreendimento, pois erros ou estudos insuficientes

[1] Informação fornecida por Roberto de Oliveira Facchinetti. Aula Deterioração em Barragens de Terra e Enrocamento. 2023. Notas de aula.

podem levar a consequências graves. Os estudos geológicos/geotécnicos são fundamentais para a escolha do tipo de barragem no que se refere às fundações e aos materiais de construção (PIASENTIN, 2023).

Barragens existentes devem ser reavaliadas periodicamente a fim de se assegurar que elas estejam em condições seguras, de acordo com os padrões de segurança vigentes na data de avaliação. Com os conhecimentos hidrológicos, geológicos e de sismologia atuais, as barragens que outrora foram consideradas seguras, podem não mais se enquadrar nesta classificação (ZUFFO, 2005, p. 07).

A segurança de barragens e um aspecto fundamental para todas as entidades envolvidas, como as autoridades legais e os empreendedores, bem como os agentes que lhes dão apoio técnico nas atividades, relativas à concepção, ao projeto, a construção, ao comissionamento, a operação e, por fim, ao descomissionamento (desativação), as quais devem ser proporcionais ao tipo, dimensão e risco envolvido (ANA, p. 07).

2.2 INSTRUMENTAÇÃO

De acordo com Fonseca (apud PEREIRA, 2021, p. 20), a instrumentação de barragens é o uso de dispositivos para medir os parâmetros de segurança de tais barragens que, juntamente com inspeções visuais e outras medições feitas no local, fornece ferramentas poderosas para avaliar o desempenho e descobrir os primeiros sinais de comportamento anormal. Exame cuidadoso dos dados de instrumentação em uma base pode revelar uma possível condição crítica.

O termo instrumentação, segundo o ICOLD (2008), é o conjunto de dispositivos instalados nas barragens ou perto delas para efetuar medições que podem ser usadas para avaliar o comportamento estrutural e os parâmetros de desempenho da estrutura.

Refere-se ao conjunto de dispositivos instalados nas estruturas e em suas fundações objetivando monitorar seu desempenho através de medições de parâmetros, cujos resultados, devidamente analisados e interpretados, servirão para avaliar suas condições de segurança (SILVEIRA, 2015).

A instrumentação geotécnica de obras de engenharia constitui uma das ferramentas empregadas para a observação, detecção e caracterização de eventuais deteriorações que constituem risco potencial às condições da segurança global do empreendimento (FONSECA, 2003, p. 25).

No MANUAL DE SEGURANÇA E INSPEÇÃO DE BARRAGENS (2002, p. 29) diz que a instrumentação necessária para verificar a continuidade das condições de segurança de uma barragem, juntamente a qualquer sistema de aquisição, processamento e transmissão de dados, deve ser mantida em boas condições de funcionamento.

2.3 GEORREFERENCIAMENTO

Para falar de georreferenciamento, é necessário conceituar geoprocessamento e o Sistema de Informações Geográficas (SIG).

O Geoprocessamento engloba tecnologias que se dedicam à coleta de dados e no tratamento dessas informações espaciais atribuídas a esses dados. Algumas das tecnologias/ciências mais populares para obtenção de coordenadas espaciais são: Posicionamento Global por Satélites (GNSS), Estação Total para obter coordenadas Topográficas, Sensoriamento Remoto e Fotogrametria.

Todos os dados geoespaciais obtidos pelas ciências citadas são utilizados em ambiente SIG, onde são executadas todas as informações coletadas na primeira rotina que é o levantamento de dados disponíveis para a elaboração do projeto. Esses dados espaciais georreferenciados tem como saída produtos em forma de mapas, relatórios, entre outros.

O geoprocessamento trata das diversas técnicas empregadas na coleta, armazenamento, processamento, análise e representação de dados com expressão espacial, isto é, possíveis de serem referenciados geograficamente (georreferenciados). Essas técnicas podem ir desde a Topografia convencional, com o emprego de instrumentos simples como trena e bússola, até a utilização de satélites de posicionamento e imageamento (VETTORAZZI, 1996).

De acordo com Xavier-da-Silva (2000), “Geoprocessamento é um conjunto de técnicas de processamento de dados, destinado a extrair informação ambiental a partir de uma base de dados georreferenciada. Nesta definição, o geoprocessamento só é aplicado após a montagem de base de dados digital” (apud ROCHA, 2002, p.17).

Rocha (2002, p.210) define Geoprocessamento “como uma tecnologia transdisciplinar, que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.”

Geographic Information System (GIS) ou Sistema de Informação Geográficas (SIG) teve o seu início na década de 1960 no Canadá como parte de um programa de governo, como afirma ROSA (2013): “Na década de 1960, no Canadá, surgiram os primeiros Sistemas de Informação Geográfica como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais”.

O surgimento dos Sistemas de Informação Geográfica (GIS) com o advento dos computadores e dos primeiros conceitos de geografia quantitativa e computacional. Os primeiros trabalhos de GIS incluíram pesquisas importantes da comunidade acadêmica. Mais tarde, o *National Center for Geographic Information and Analysis*, liderado por Michael Goodchild, formalizou a pesquisa sobre os principais tópicos da ciência da informação geográfica, como análise espacial e visualização. Esses esforços alimentaram uma revolução quantitativa no mundo da ciência geográfica e estabeleceram as bases para o GIS (ESRI).

ROSA (2013) define o Sistema de Informação Geográfica como conjunto de ferramentas computacionais, composta por equipamentos e programas que, por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a disponibilização de informações georreferenciadas, que possibilitam maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas, referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão, relativas ao espaço geográfico.

O SIG é uma ferramenta capaz de armazenar banco de dados com informações espaciais georreferenciadas.

Para Aronoff (1989) define GIS como sistema de captação, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados (apud ROCHA, 2002).

Rocha (2002) define SIG como um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, processamento, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos.

Para Star & Estes (1991), os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) têm sido amplamente utilizados para a estruturação e organização de variáveis espaciais na geração de alternativas para problemas dessa natureza. Seu uso intenso justifica-se pelo fato de constituir uma poderosa ferramenta que integra o conjunto de rotinas de programação desenvolvidas para representar e manipular grandes quantidades de

dados armazenados em bancos de dados, os quais contêm informações representativas do mundo real, através de coordenadas geográficas, possibilitando análises espaciais (apud ZAMBONI et al).

O termo Sistemas de informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e armazenam a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica (CÂMARA et al, 2002, p. 06)

O georreferenciamento é o início de uma etapa que é a necessidade de verificar um ponto ou uma área a ser estudada obtendo as suas coordenadas referenciadas, ou seja, a sua localização no espaço geográfico.

Para obter essas coordenadas é necessária a escolha da melhor técnica para o levantamento de campo dependendo da área a ser levantada e de acordo com a finalidade do trabalho. É importante ter conhecimento prévio do local de inspeção para que não haja surpresa e ou falta de equipamento.

De acordo com a definição do INCRA, conforme citado por Pautz (2021, p.1779) “O georreferenciamento consiste na descrição do imóvel rural em suas características, limites e confrontações, realizando o levantamento das coordenadas dos vértices definidores dos imóveis rurais, georreferenciados ao sistema geodésico brasileiro, com precisão posicional fixada pelo INCRA (BRASIL, 2001, p.08).”

O Portal GeoSemFronteiras define Georreferenciamento como uma técnica que permite a localização precisa de objetos e áreas, usando coordenadas geográficas. Isso é realizado através da associação de informações geográficas, como latitude, longitude e altitude, a um objeto ou ponto específico.

O georreferenciamento torna-se importante para verificar uma localização sem a necessidade de se deslocar até lá, ou mesmo, ter conhecimento da área, de alguma superfície, em tempo real. Usando o Google Earth, se o objetivo for ver realmente onde ela se encontra no globo, ou como está atualmente o local, caso o projeto seja antigo (JANUÁRIO, 2019).

De uma forma geral, o georreferenciamento é utilizado em várias áreas a fim de obter informações sobre a localização precisa de um ponto desejado, auxiliando no monitoramento de áreas de preservação ambiental, invasões, focos erosivos e facilitando, por exemplo, a logística de uma inspeção em campo.

2.3.1 TÉCNICA GNSS

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é o nome dado para os sistemas de satélites que permitem que equipamentos forneçam, através da indicação de coordenadas, a localização tridimensional de determinado ponto na superfície terrestre. As constelações do Sistema de Posicionamento Global (GPS), *Global Navigational Satellite System* (GLONASS), Beidou e Galileo formam uma gama de constelações que são exemplos de GNSS, possibilitando o posicionamento dos objetos em tempo real.

Dispositivos móveis como celular, GPS de mão, GPS de carro entre outros são exemplos de uso da constelação GNSS que tem seus dispositivos receptores que recebem sinais desses satélites. Essas constelações têm o objetivo de determinar as coordenadas geodésicas (georreferenciar) objetos na superfície terrestre.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021) define GNSS *Global Navigation Satellite Systems* (Sistema Global de Navegação por Satélite) como denominação dada ao conjunto de sistemas globais de navegação por satélites, dentre os quais destacam-se o *Global Positioning System* - GPS (sistema norte-americano), o GLONASS (sistema russo), o Galileo (sistema europeu) e o BeiDou (sistema chinês). Essa tecnologia é utilizada em conjunto, ou separadamente, na obtenção de coordenadas tridimensionais (latitude, longitude e altitude elipsoidal ou geométrica).

Ainda segundo o IBGE (2024), esses sistemas são utilizados em diversas áreas, como mapeamentos topográficos e geodésicos, aviação, navegação marítima e terrestre, monitoramento de frotas, demarcação de fronteiras, agricultura de precisão, dentre outros usos.

Na aplicação dos métodos de posicionamento GNSS de precisão, adota-se, geralmente, o posicionamento relativo a partir do uso da fase da onda portadora, envolvendo a ocupação simultânea de estações com coordenadas conhecidas e das estações que se deseja determinar, surgindo, assim, o conceito das redes geodésicas “ativas”. Essas redes são compostas por estações com coordenadas determinadas com alta precisão e dotadas de equipamentos GNSS geodésicos de operação contínua, o que facilita o trabalho do usuário em termos de tempo e custo (IBGE, 2021).

2.3.2 ESTAÇÃO TOTAL

Estação Total que é um instrumento eletrônico topográfico utilizado na obtenção de ângulos e distâncias para gerar coordenadas no plano topográfico. Esses instrumentos são usados para representar graficamente uma área do terreno sem considerar a curvatura terrestre. Por ser um instrumento eletrônico, não há necessidade de anotações, pois todos os dados são gravados no seu interior e descarregados para um PC, através de um software, podendo ser trabalhados com auxílio de outros softwares.

Esse instrumento pode ser considerado como a evolução do teodolito, onde adicionou-se um distanciômetro eletrônico, uma memória temporária (processador), uma memória fixa (disco rígido) e uma conexão com um PC, montados num só bloco (FLORENTINO E LIMA, 2021, p. 42).

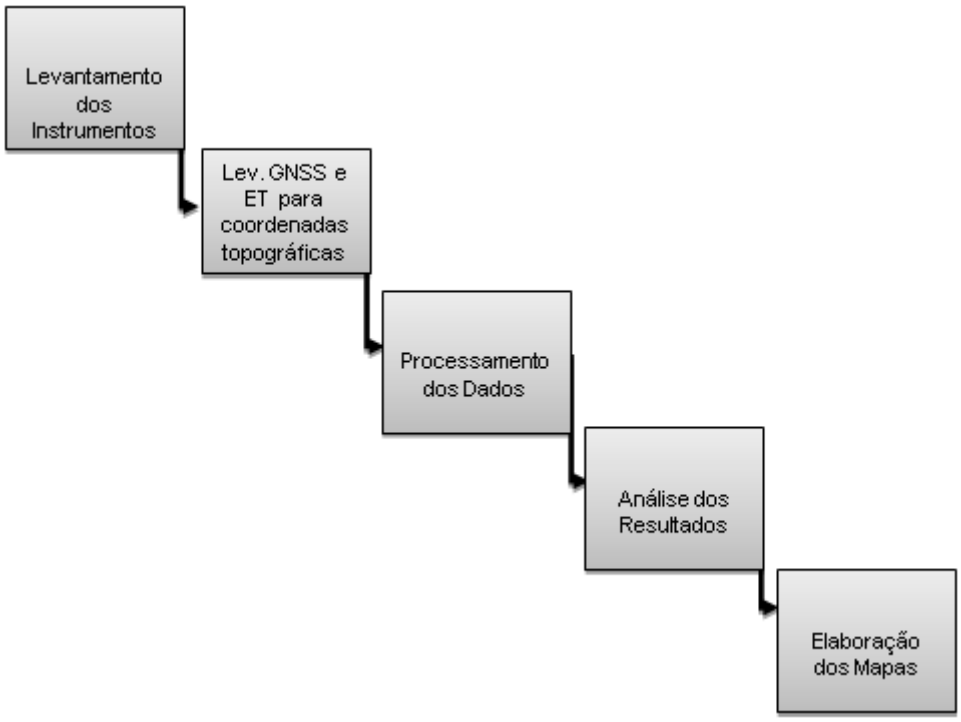
As Estações Totais, conseguem coletar e armazenar dados e organizá-los por número e códigos, bem como calcular através de programas internos diferenças de nível e inclinações, distâncias horizontais e inclinadas, medir ângulos, calcular áreas e volumes, medição e cálculo de coordenadas e também locação de pontos baseados em projetos, algumas estações são robotizadas onde a estação é operada através de uma coletora acoplada no bastão do prisma, também existe a estação com varredura scanner (LOOSE, 2022, p. 25).

A Estação Total, por exemplo, é um dos instrumentos mais utilizados nos levantamentos topográficos devido à precisão e rapidez oferecidas. Combina todas as vantagens de um teodolito eletrônico com um distanciômetro, pois além de medir ângulos e distâncias a campo, é capaz de realizar alguns cálculos ainda em campo (CARDOSO, 2020, p. 13.).

3 METODOLOGIA

A seguir, será apresentado o fluxograma da metodologia utilizada durante a execução do trabalho, conforme Figura 2.

Figura 2: Fluxograma Metodológico



Fonte: Autor, 2024

Primeiramente, foi realizada uma ampla pesquisa nos documentos técnicos do empreendimento, com a finalidade de obter informações sobre quais e quantos instrumentos estão instalados e ativos, juntamente com as respectivas localizações das instalações nas estruturas. Além disso, foi realizada uma busca por projetos ou documentos que contemplassem informações sobre as coordenadas dos instrumentos ativos, para que pudesse ser feita, em uma primeira etapa, um georreferenciamento com os dados disponíveis. Após a pesquisa dos documentos técnicos, foram encontrados muitos projetos com as seções transversais, porém, constatou-se que muitos deles não havia a disposição espacial desses instrumentos de auscultação. No total, foram encontrados 625 instrumentos em operação, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Instrumentos ativos na usina de Funil.

INSTRUMENTO	SIGLA	ATIVOS
Prumo	MHP	8
Medidor de Juntas Carlson	MJJ	26
Medidor de Juntas Triortogonal	MJT	64
Nivelamento de Precisão	MVN	72
Extensômetro no Concreto	DFC	108

Extensômetro na Rocha	DFR	26
Dreno	DRD	235
Piezômetro Casagrande	SPC	45
Medidor de Nível D'água	SPN	12
Pluviômetro	MCP	1
Limnímetro	NAN	1
Termômetro	TAT	2
Geodésia	MHG	17
Referência de Nível	RN	3
Pilar Geodésico	-	5

Fonte: Autor, 2024

Os instrumentos Medidor de Juntas Carlson (MJJ), Extensômetro no Concreto (DFC), Extensômetro na Rocha (DFR) e Piezômetro Casagrande (SPC) estão instalados no interior das estruturas ou dentro dos maciços rochosos de fundação, sendo que os instrumentos MJJ, DFC e DFR têm as suas leituras feitas em terminais através de painéis. Nesse caso, foi feito georreferenciamento do painel, onde são obtidas as leituras. As localizações exatas desses instrumentos dependem de outras informações como, por exemplo, as seções transversais dos projetos.

Diante dessas informações obtidas com a pesquisa da documentação técnica disponível da usina, foi necessário criar uma Nota Técnica que formalizasse diretrizes para os serviços de campo.

A Nota Técnica (2022, p. 03)[2] diz em seu conteúdo que:

> Uma das características mais importantes para o correto diagnóstico sobre o comportamento das estruturas civis é a localização do instrumento, não somente em relação à própria estrutura e aos instrumentos circundantes, mas também em relação ao espaço geográfico, tendo em vista a interação dos instrumentos com o relevo, por exemplo.

Esse documento estabelece as especificações técnicas mínimas para georreferenciar os instrumentos de monitoramento de segurança de barragens no empreendimento.

Com a Nota Técnica formalizada e, depois de seguir seus trâmites normais, essa foi enviada para equipe responsável pelo trabalho de campo que contou com um

[2] Nota Técnica: UHE Funil – Georreferenciamento da Instrumentação – Especificação Técnica. Rio de Janeiro, 2022, p. 03.

topógrafo e um auxiliar de topografia. A estratégia e a logística de como seriam levantados os instrumentos ficou sob responsabilidade da equipe de topografia.

O levantamento teve início nos instrumentos externos, utilizando o kit Receptor GNSS RTK em um ponto de Apoio Básico. Com o receptor base rastreando o ponto de apoio básico, o receptor *rover* foi rastreando os instrumentos um a um, corrigindo em tempo real do receptor base para o *rover*, sendo essa técnica denominada de *Real Time Kinematic* (RTK). Foram necessários 4 dias para todo levantamento na área externa da usina.

A utilização do sistema GNSS para o levantamento de instrumentos localizados dentro das galerias não foi possível, pois os sinais do GNSS são bloqueados ou apresentam ruídos quando utilizados em ambientes fechados ou em áreas bastante densas, afetando assim a precisão e a qualidade do posicionamento.

Devido a impossibilidade de utilizar o GNSS para o ambiente interno, ou seja, as galerias, foi necessária a utilização da Estação Total. O método de levantamento foi a poligonal enquadrada apoiada em 4 pontos, sendo usado como ponto de partida o mesmo ponto base coletado com o Receptor GNSS.

A leitura da Estação Total foi feita sem o uso do prisma. Para obter a cota altimétrica dos piezômetros e dos medidores de nível d'água, o laser foi posicionado na cota do topo desses instrumentos, gravando os dados na memória da estação.

As galerias de Funil têm como características ser muito estreita e com corredores em curvatura, dificultando a leitura da Estação Total para grandes distâncias, conforme Figura 3. Desta forma, foram necessários oito dias para finalizar o levantamento dentro das galerias, totalizando doze dias de trabalho de campo.

Figura 3: Galeria da usina de Funil

Fonte: Autor, 2022

Seguindo as orientações da Nota Técnica, todos os instrumentos tiveram suas coordenadas planialtimétricas levantadas. Instrumentos como piezômetros e medidores de nível d'água, foram levantadas as "cotas da boca" ou cota do topo do instrumento onde são feitas as leituras.

Os equipamentos utilizados pela equipe de topografia para a realização do trabalho em campo foram: Estação Total Geodetic GD2i-8 e dois Kits Receptor GNSS RTK da marca CHC modelo i50.

A tabela 3 mostra algumas informações relevantes da Estação Total Geodetic GD2i-8, de acordo com o catálogo da *Geodetic Geo Tecnnologies.*

Tabela 3: Especificação da Estação Total Geodetic GD2i-8.

GD2i-8	
Prisma Simples	5km
Prisma Triplo	5km
Sem Prisma	800m
Memória Interna: Obra/ Total	2MB
Precisão com Prisma	± (2mm +2ppm)
Precisão sem Prisma	± (5mm +2ppm)
MEDIÇÃO ANGULAR	
Precisão	2"

Fonte: CPE TECNOLOGIA (2023), adaptado pelo autor.

A tabela 4 mostra algumas informações relevantes do Kit Receptor GNSS RTK da marca CHC modelo i50, de acordo com o catálogo da *Geodetic Geo Tecnnologies*.

Tabela 4: Especificação do Receptor RTK CHC modelo i50.

CARACTERÍSTICAS GNSS	
Canais	624
GPS	L1C/A, L1C, L2, L2C, L2E, L5
GLONASS	L1 C/A,L1P, L2C/A, L2P
Galileo	E1, E5a, E5b
BeiDou	B1, B2, B3
SBAS	L1
QZSS	L1, L2, L5
ACURÁCIA GNSS	
Cinemático em tempo real (RTK)	Horizontal: 8 mm +1 ppm RMS Vertical: 15 mm + 1 ppm RMS Tempo de inicialização: < 10 s Confiabilidade de inicialização:>99.9%

Pós-processado cinemático (PPK)	Horizontal: 3 mm + 0.5 ppm RMS Vertical: 3.5 mm + 0.5 ppm RMS
Estático de alta precisão	Horizontal: 3 mm + 0.4ppm RMS Vertical: 3.5 mm + 0.4 ppm RMS
Pós-processado estático	Horizontal: 3 mm + 0.4ppm RMS Vertical: 3.5 mm + 0.4 ppm RMS
Pós-processado estático rápido	Horizontal: 3 mm + 0.5ppm RMS Vertical: 5 mm + 0.5 ppm RMS

Fonte: CPE TECNOLOGIA (2023), adaptado pelo autor.

Após o levantamento de campo, os arquivos brutos no formato *Rinex* provenientes do GNSS e o arquivo de texto no formato *txt* proveniente da Estação Total foram analisados e processados pela equipe de topografia antes do envio para os técnicos responsáveis.

Para fazer o pós-processamento dos dados obtidos pelo GNSS, foi utilizado o serviço online gratuito do IBGE chamado de IBGE-PPP. Nesse serviço online foi necessário o uso do arquivo *Rinex* para obter as coordenadas referenciadas ao SIRGAS2000.

Segundo o IBGE (2023) “O Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) é um pós-processamento de dados coletados em campo cujo objetivo é georreferenciar as coordenadas adquiridas através de um processamento preciso. Este método é utilizado quando não se conhece a posição (latitude/ longitude) do equipamento base utilizado durante o levantamento, sendo necessária a correção dos pontos de coleta do entorno do receptor. O PPP é realizado gratuitamente no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística”.

Diante dos arquivos emitidos pela topografia foi possível fazer uma análise dos resultados obtidos em campo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O produto final dos trabalhos foi a posição geográfica dos instrumentos, possibilitando a análise da segurança do barramento utilizando também a componente geográfica. Contudo, é importante a verificação da acurácia dos levantamentos e também verificar as informações contidas no banco de dados da empresa. A primeira verificação foi em altimetria, depois em planimetria, seguida da elaboração dos mapas dos levantamentos.

Com relação à altimetria, como já citado nesse artigo, os levantamentos de campo tiveram por referência o IBGE a partir do serviço PPP, tal serviço reflete os

ajustamentos altimétricos periódicos realizados pelo IBGE. Os ajustamentos periódicos são necessários para o acompanhamento do desenvolvimento científico-tecnológico da Geodésia, alterando nominalmente o valor da altitude atribuída a um marco.

Por outro lado, a usina possui um referencial altimétrico local mantido desde sua implantação, utilizado pela operação e informado para os órgãos regulatórios, não sendo, portanto, passível de revisões periódicas.

Deste modo os referenciais altimétricos do serviço PPP e da usina não são os mesmos, por isso, optou-se por fazer uma comparação dos desníveis entre os instrumentos localizados na barragem, pois a comparação entre as altitudes absolutas seria influenciada pela diferença que há entre os referenciais, por sua vez, os desníveis devem ser compatíveis, pois refletem a localização relativa entre os pontos.

A Tabela 5 mostra os desníveis entre os marcos superficiais levantados. A diferença foi feita entre os instrumentos em sequência, por exemplo, entre as altitudes, no sistema da usina e do IBGE, do marco superficial MVN01 e as altitudes em ambos os referenciais do marco superficial MVN02, depois entre as altitudes do MVN02 e as do MVN03 e assim sucessivamente. Para exemplificar, serão utilizadas para análise os primeiros 20 marcos superficiais. Deste modo, na primeira linha, o valor de 0,006m é a diferença entre a Cota Campo do marco MVN001, 469,071m, e a Cota Campo do marco MVN002, 469,065m.

Tabela 5: Desníveis entre os marcos superficiais levantados, utilizando as cotas PPP.

Identificação	Norte (m)	Este (m)	Cota (m) - Campo	Diferença (m)
MVN001	7508725,674	544273,438	469,0707	0,006
MVN002	7508718,489	544288,229	469,0707	0,002
MVN003	7508711,711	544301,559	469,0627	-0,017
MVN004	7508705,62	544314,231	469,0797	0,194
MVN005	7508703,674	544333,747	468,8857	0,009
MVN006	7508695,201	544354,142	468,8767	-0,186
MVN007	7508695,201	544367,967	469,0627	-0,010
MVN008	7508673,98	544379,187	469,0727	0,026
MVN009	7508661,994	544389,939	469,0467	-0,021
MVN010	7508649,225	544399,855	469,0677	0,005
MVN011	7508635,868	544408,866	469,0627	-0,004
MVN012	7508621,604	544416,686	469,0627	0,019
MVN013	7508604,118	544423,761	469,0477	-0,008
MVN014	7508583,058	544429,207	469,0557	0,006
MVN015	7508564,233	544431,460	469,0497	-0,005
MVN016	7508544,306	544431,280	469,0547	0,187
MVN017	7508522,647	544426,593	468,8677	-0,198
MVN018	7508522,647	544423,195	469,0657	0,004

MVN019	7508490,579	544417,027	469,0617	-0,021
MVN020	7508476,218	544409,595	469,0827	-0,012

Fonte: Autor, 2024.

Os marcos MVN004, MVN006, MVN016 e MVN017 apresentam-se com desníveis aproximados de 20cm devido as suas posições na crista da barragem. Os marcos estão instalados ao longo da calçada e do asfalto do barramento. O desnível do MVN004 é a diferença entre ele e o MVN005, ou seja, o MVN005 está posicionado no asfalto enquanto o MVN004 está posicionado na calçada.

A Tabela 6 mostra os desníveis entre os mesmos marcos superficiais obtidos nas campanhas anuais de monitoramento altimétrico. Deste modo, na primeira linha, o valor de 0,006m é a diferença entre a Cota (Escritório) do marco MVN001, 468,199m, e a Cota (Escritório) do marco MVN002, 468,193m.

Tabela 6: Desníveis entre os marcos superficiais das campanhas.

Identificação	Norte (m)	Este (m)	Cota (m) -	Diferença (m)
MVN001	7508725,674	544273,438	468,1994	0,006
MVN002	7508718,489	544288,229	468,1934	0,005
MVN003	7508711,711	544301,559	468,1883	-0,010
MVN004	7508705,62	544314,231	468,1979	0,210
MVN005	7508703,674	544333,747	467,9883	-0,013
MVN006	7508695,201	544354,142	468,0015	-0,166
MVN007	7508695,201	544367,967	468,1676	-0,021
MVN008	7508673,98	544379,187	468,1885	0,019
MVN009	7508661,994	544389,939	468,169	-0,018
MVN010	7508649,225	544399,855	468,187	0,006
MVN011	7508635,868	544408,866	468,1814	-0,009
MVN012	7508621,604	544416,686	468,1902	0,018
MVN013	7508604,118	544423,761	468,1719	-0,010
MVN014	7508583,058	544429,207	468,1817	0,007
MVN015	7508564,233	544431,46	468,1748	-0,006
MVN016	7508544,306	544431,28	468,1808	0,192
MVN017	7508522,647	544426,593	467,9892	-0,204
MVN018	7508522,647	544423,195	468,1932	0,011
MVN019	7508490,579	544417,027	468,182	-0,026
MVN020	7508476,218	544409,595	468,2079	-0,008

Fonte: Autor, 2024.

A Tabela 7 a seguir mostra a comparação entre os desníveis das cotas levantadas para o georreferenciamento e as cotas das campanhas anuais feitas pela usina para o monitoramento altimétrico para controle de recalques. Conforme pode ser visto pela tabela, há compatibilidade entre os desníveis obtidos por ambas as metodologias, deste modo, como o levantamento altimétrico para o monitoramento de recalques é de maior acurácia, sendo considerado o padrão de referência, pode-se dizer que os

erros oriundos dos levantamentos para o georreferenciamento, no que tange à altimetria, está circunscrito a valores aceitáveis para trabalhos de engenharia.

Tabela 7: Comparação entre os desníveis dos marcos superficiais obtidos do georreferenciamento e das campanhas anuais.

Identificação	Campo Desnível (m)	Escritório Desnível (m)	$\Delta_{Desnível}$ (Campo-Escritório) (m)
MVN001	0,006	0,006	0,00
MVN002	0,002	0,005	-0,003
MVN003	-0,017	-0,010	-0,007
MVN004	0,194	0,210	-0,016
MVN005	0,009	-0,013	0,022
MVN006	-0,186	-0,166	-0,020
MVN007	-0,010	-0,021	0,011
MVN008	0,026	0,019	0,007
MVN009	-0,021	-0,018	-0,003
MVN010	0,005	0,006	-0,001
MVN011	-0,004	-0,009	0,005
MVN012	0,019	0,018	0,001
MVN013	-0,008	-0,010	0,002
MVN014	0,006	0,007	-0,001
MVN015	-0,005	-0,006	0,001
MVN016	0,187	0,192	-0,005
MVN017	-0,198	-0,204	0,006
MVN018	0,004	0,011	-0,007
MVN019	0,006	-0,026	0,005
MVN020	0,002	-0,008	-0,012

Fonte: Autor, 2024.

Com relação à planimetria, a comparação usará os alvos geodésicos que fazem parte do monitoramento planimétrico da estrutura. No monitoramento, são medidas as coordenadas dos alvos e comparadas com a campanha zero para se verificar o movimento horizontal. Como as coordenadas são conhecidas é possível calcular a distância horizontal entre os alvos. Do mesmo modo, é possível calcular-se a distância horizontal utilizando-se das coordenadas medidas para o georreferenciamento. Deste modo, na Tabela 8, estão comparadas as distâncias calculadas por ambas as fontes de coordenadas. Cabe ressaltar que as coordenadas utilizadas para o monitoramento geodésico do movimento horizontal estão em um referencial arbitrário. A Equação para o cálculo das distâncias é:

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

As colunas “Diferença” atribuídas ao campo e ao escritório foram obtidas utilizando a equação acima, por exemplo,

$\sqrt{(\text{Norte}_{MHG001} - \text{Norte}_{MHG002})^2 + (\text{Este}_{MHG001} - \text{Este}_{MHG002})^2}$. A coluna $\Delta_{\text{(campo-Arbitrário)}}$, foi obtida fazendo a diferença do MHG2 – MHG1, MHG3 - MGH2 e assim sucessivamente. O MHG17 foi obtido fazendo a diferença com o MHG1, conforme Tabela 8.

Tabela 8: Diferença entre as coordenadas planimétricas adquiridas no levantamento por GNSS e ET e as coordenadas arbitrárias utilizadas para os prismas.

Instrumento	Campo			Escritório (arbitrário)			Diferença (m)
Identificação	Norte (m)	Este (m)	Dif (m)	Norte (m)	Este (m)	Dif (m)	Δ(Campo - Arbitrário)
MHG001	7.508.567,755	544.425,567	14,565	1.208,115	1.163,430	14,550	0,015
MHG002	7.508.582,174	544.423,503	36,398	1.222,642	1.162,604	36,406	-0,008
MHG003	7.508.545,843	544.425,715	56,922	1.186,242	1.161,938	56,939	-0,017
MHG004	7.508.602,294	544.418,408	77,323	1.243,104	1.158,975	77,316	0,007
MHG005	7.508.525,102	544.422,912	90,942	1.165,801	1.157,546	90,935	0,008
MHG006	7.508.615,534	544.413,294	104,414	1.256,696	1.154,855	104,458	-0,044
MHG007	7.508.511,292	544.419,293	118,916	1.152,256	1.152,896	118,991	-0,075
MHG008	7.508.629,483	544.406,181	133,291	1.271,177	1.148,833	133,354	-0,063
MHG009	7.508.496,406	544.413,731	147,162	1.137,849	1.146,213	147,196	-0,034
MHG010	7.508.642,695	544.397,727	160,525	1.284,966	1.141,405	160,565	-0,040
MHG011	7.508.482,433	544.406,910	174,262	1.124,430	1.138,341	174,313	-0,050
MHG012	7.508.655,671	544.388,042	187,112	1.298,653	1.132,733	187,164	-0,052
MHG013	7.508.468,886	544.399,106	199,722	1.111,516	1.129,515	199,803	-0,081
MHG014	7.508.667,480	544.377,906	211,951	1.311,229	1.123,498	212,014	-0,063
MHG015	7.508.455,894	544.390,334	223,497	1.099,247	1.119,793	223,540	-0,042
MHG016	7.508.678,200	544.367,287	234,921	1.322,705	1.113,753	234,983	-0,062
MHG017	7.508.443,665	544.380,751	131,935	1.087,764	1.109,302	131,962	-0,027

Fonte: Autor, 2024.

Conforme pode ser visto pela tabela, há compatibilidade entre as distâncias obtidas por ambas as metodologias, deste modo, como o levantamento planimétrico para o monitoramento de deslocamento é de maior acurácia, sendo considerado o padrão de referência, pode-se dizer que os erros oriundos dos levantamentos para o georreferenciamento, no que tange à planimetria está circunscrito a valores aceitáveis para trabalhos de engenharia.

Elaboração dos Mapas

Depois de analisar os dados processados pela equipe de campo, foi possível a elaboração dos mapas com a localização dos instrumentos e algumas informações complementares para o enriquecimento do produto cartográfico.

Foram levantados ao todo 471 instrumentos e 36 painéis de leitura (Caixas de Leitura) onde são lidos os instrumentos MJJ, DFC, DFR e TCC, conforme Tabela 9.

Tabela 9: Instrumentos Levantados.

INSTRUMENTO	SIGLA	LEVANTADOS
Prumo	MHG	8
Medidor de Juntas Triortogonal	MJT	64
Nivelamento de Precisão	MVN	72
Caixa de Leitura	-	36
Referência de Nível	RN	3
Dreno	DRD	240
Piezômetro Casagrande	SPC	50
Medidor de Nível D'água	SPN	12
Pilar Geodésico	-	5
Geodésia	MHG	17

Fonte: Autor

Todas as informações contidas em cada ponto levantado serão introduzidas no novo sistema *web* que será implantado pela empresa. Esse sistema armazenará os dados georreferenciados e ficará disponível para consulta, visualização e manipulação das informações dentro da empresa.

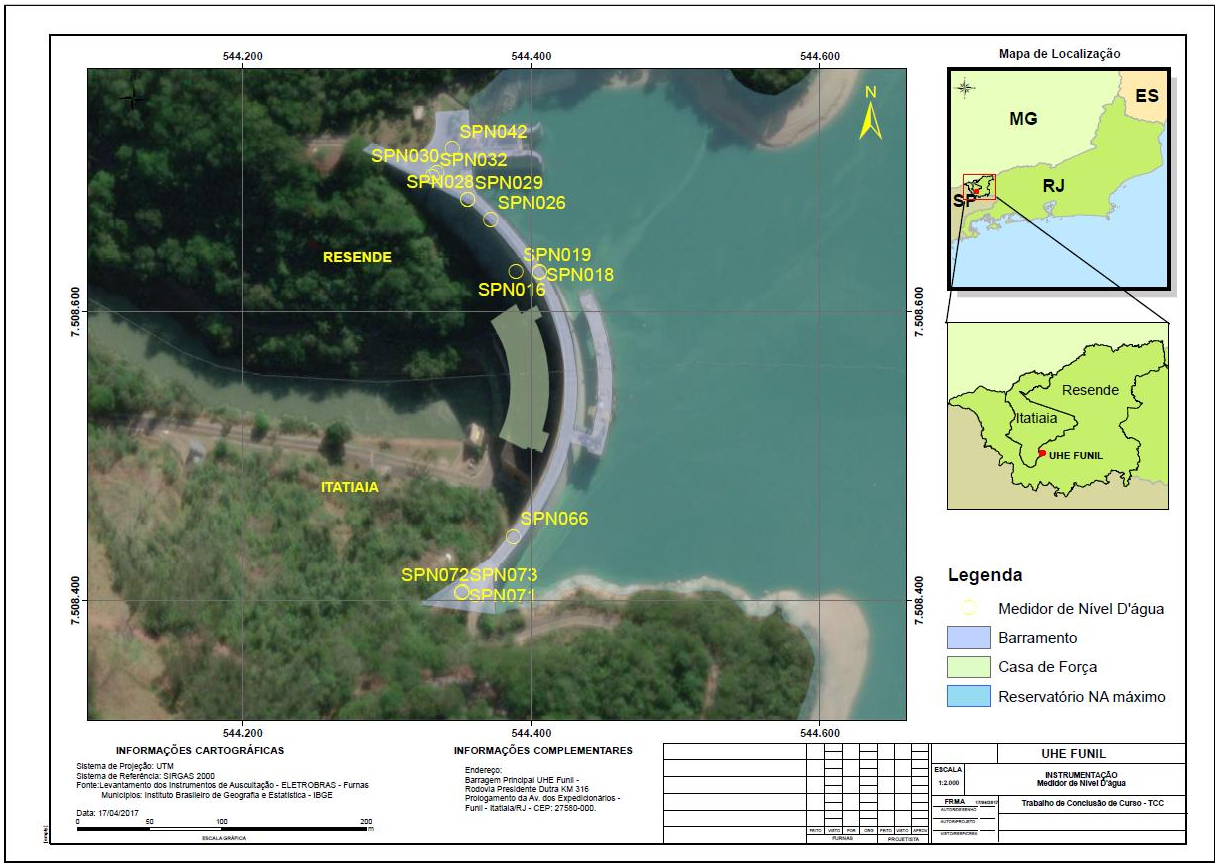
Para a confecção dos mapas foi escolhido o programa computacional *ArcGIS* 10.8.2 que é um *software* para mapeamento e análise espacial, onde na qual, a empresa detém a licença. O software foi configurado da seguinte forma:

- O Sistema Geodésico de Referência foi o SIRGAS2000, Projeção UTM, zona 23 sul.
- Imagem Basemap
- Escala 1:4.000
- Escala 1:2.000
- Folha no formato A3

Foi definida a escala 1:4.000 para mapa de Medidor de Juntas Triortogonal devido aos instrumentos localizados em pontos distantes do barramento principal e 1:2.000 para os demais mapas gerados. A escolha do valor da escala foi embasada na tentativa de contemplar os todos instrumentos presentes na usina de maneira que atingisse êxito na comunicação cartográfica. Desta forma, todos os pontos coletados em campo são passíveis de serem visualizados espacialmente. Como foram levantados 471 instrumentos e 36 painéis de leitura, foi necessária a elaboração de mais de um mapa devido ao excesso de informação para não criar uma poluição visual. Estarão dispostos no apêndice apenas oito mapas sendo eles: Mapa do Nivelamento de Precisão, Mapa do Piezômetro Casagrande, Mapa do Medidor de

Nível D’água e Mapa do Painel de Leitura, Mapa do Dreno, Mapa da Geodésia, Mapa do Prumo e Mapa do Medidor de Junta Triortogonal. A Figura 4 ilustra um dos mapas que estará no apêndice.

Figura 4: Mapa de localização do Medidor de Nível D’água.



Fonte: Autor, 2024.

A simbologia adotada para os instrumentos de auscultação e para o painel de leitura teve como referência o “Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas” da ELETROBRAS que definiu o critério para a codificação e representação gráfica de cada instrumento nas estruturas, permitindo a identificação de cada um desses instrumentos, uniformizando a linguagem representativa sugerida pelo CBDB (Comitê Brasileiro de Barragens). Tais simbologias foram criadas a partir do próprio software *ArcGIS* 10.8.2, sofrendo algumas adaptações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os instrumentos de auscultação georreferenciados, é possível uma análise espacial da localização dos diferentes instrumentos nas estruturas que formam o

empreendimento podendo-se, em uma eventual ocorrência de comportamento anômalo, identificar a localização exata e avaliar os instrumentos e o seu entorno, facilitando a tomada de decisão quanto à ocorrência.

A contribuição deste trabalho será a organização dos dados georreferenciados que farão parte do novo sistema que será implantado pela empresa para a segurança de barragens, facilitando a visualização e a busca de informações de cada instrumento levantado de forma mais interativa e dinâmica. Assim, haverá um ganho na busca dessas informações que poderá ser logado diante de um dispositivo móvel para uma inspeção *in loco.*

A componente geográfica possibilitará diagnósticos futuros de algumas características dos instrumentos como o potencial piezométrico do piezômetro e o nível freático do medidor de nível d'água utilizando análises geoestatísticas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Instruções para Apresentação do Plano de Segurança da Barragem**. v.1. Brasília, 2016, 128.

CARDOSO, E. F. **Análise Comparativa de Precisão e Eficiência no Levantamento Topográfico Realizado por Teodolito e Estação Total**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Pombal, PB, 68p. 2021.

CARNEIRO, A.A.F.M.; NEGRI, J.C.; SILVA, A.N.R.; ZAMBONI, K.L. **Análise de Decisão Multicritério na Localização de Usinas Termoelétricas Utilizando SIG**. 184p. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-74382005000200002>. Acesso em 15 nov. 2023.

COMISSÃO REGIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS; NÚCLEO REGIONAL DE SÃO PAULO. **Guia Básico de Segurança de Barragens**. São Paulo: CBDB, 2001. 17 p.

CPE TECNOLOGIA. **Estação Total Geodetic – Série G V2**. Disponível em <https://www.cpetecnologia.com.br/produto/610/gd2i-8>. Acesso em 21 jan. 2024.

CRITÉRIOS DE PROJETO CIVIL DE USINAS HIDRELÉTRICAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRAS. CBDB, 2003. 259 p.

DRUCK, S; CARVALHO, MARÍLIA SÁ; CÂMARA, GILBERTO; MONTEIRO, ANTÔNIO MIGUEL. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. EMBRAPA, Brasília, 2004.

ELETROBRAS FURNAS: **Usina de Funil**. Disponível em: < https://www.furnas.com.br/funil/?culture=pt>. Acesso em 05 jan. 2024.

ESRI: **História do GIS**. Disponível em: <https://www.esri.com/pt-br/what-is-gis/history-of-gis>. Acesso em 25 out. 2023.

FILHO, E. S. S. L.; REIS, M. S. **A importância do monitoramento e controle de barragens em mineradoras**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, GO, 55 p. 2020.

FLORENTINO, Eduardo Alves; LIMA, Julyanne de Moura. **Análise comparativa de levantamento topográfico entre estação total e GPS RTK**. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 68p. 2021.

FONSECA, A. R. **Auscultação por Instrumentação de Barragens de Terra e Enrocamento para Geração de Energia Elétrica – Estudo de caso das barragens da UHE São Simão.** 2003. 290 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Ouro Preto, MG, 2003.

GEOSEMFRONTEIRAS: **Georreferenciamento o que é e como funciona**. Disponível em: <https://geosemfronteiras.org/blog/georreferenciamento-o-que-e/>. Acesso em 29 out. 2023.

ICOLD - CIGB. **As Barragens e a Água do Mundo: Um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo**. Tradução Texto Faz Comunicação S/S Ltda. Curitiba: Núcleo regional do Paraná, 2008.

INPE: **Introdução ao Geoprocessamento**. Disponível em: <https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html>. Acesso em 11 nov. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Solução Multianual das Estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS no Período de 2000 a 2019**. V.49. Rio de Janeiro, 2021. 114 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101895>. Acesso em 15 nov. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **O que é Cartografia. GNSS**. Atlas Escolar**.** Disponível em: < https://atlasescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/sistema-global-de-navegac-a-o-por-sate-litess.html>. Acesso em 13 jan. 2024.

JANUÁRIO, G. **O que é Georreferenciamento**. Georreferenciamento, GeoSensori, Pernambuco, mai. 2019. Disponível em: < https://blog.fastformat.co/como-fazer-citacao-de-artigos-online-e-sites-da-internet/#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20NBR,%2C%20volume%2C%20n%C3%BAmero%20ou%20fasc%C3%ADculo.>. Acesso em 13 jan. 2024.

LOOSE, D. **Análise e Validação do Levantamento Topográfico Planialtimétrico com uso das Tecnologias Estação Total, GNSS RTK e RPA**. Universidade do Vale do Taquari. Curso de Engenharia Civil, UNIVATES, Lajeado, RS, 85p. 2022.

MAGALHÃES, R. A. **Barragens de Terra e Enrocamento – Deteriorações**. 1999. 205f. p. 02. Notas de Aula – Universidade Federal da Bahia, Departamento de Engenharia Ambiental, Bahia, Salvador, 2023.

MANUAL DE SEGURANÇA E INSPEÇÃO DE BARRAGENS – Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002. 148p.

PAUTZ, EDUARDO. (2021). **A IMPORTÂNCIA DO GEORREFERENCIAMENTO: DESAFIOS E POSSIBILIDADES**. Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação, 7(11), 1778– 1787. <https://doi.org/10.51891/rease.v7i11.3300>. Acesso em 13 jan. 2024.

PEREIRA, João Marcelino Lacerda. **Análise sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens com ênfase nos critérios de monitoramento/instrumentação**. 2021. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2021.

PIASENTIN, Corrado. **Módulo I – Barragens: Aspectos Legais, Técnicos e Socioambientais. Unidade 2: Aspectos Gerais da Segurança de Barragens**. Curso Segurança de Barragens.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento Tecnologia Transdisciplinar**. 2ªed. Juiz de Fora, MG, 2002. 210 p.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia, UFU, Instituto de Geografia, 2013. 4 p.

SANTIAGO E CINTRA: **O que é GNSS?**. Disponível em <https://santiagoecintra.com.br/blog/o-que-e-gnss/>. Acesso em 25 nov. 2023.

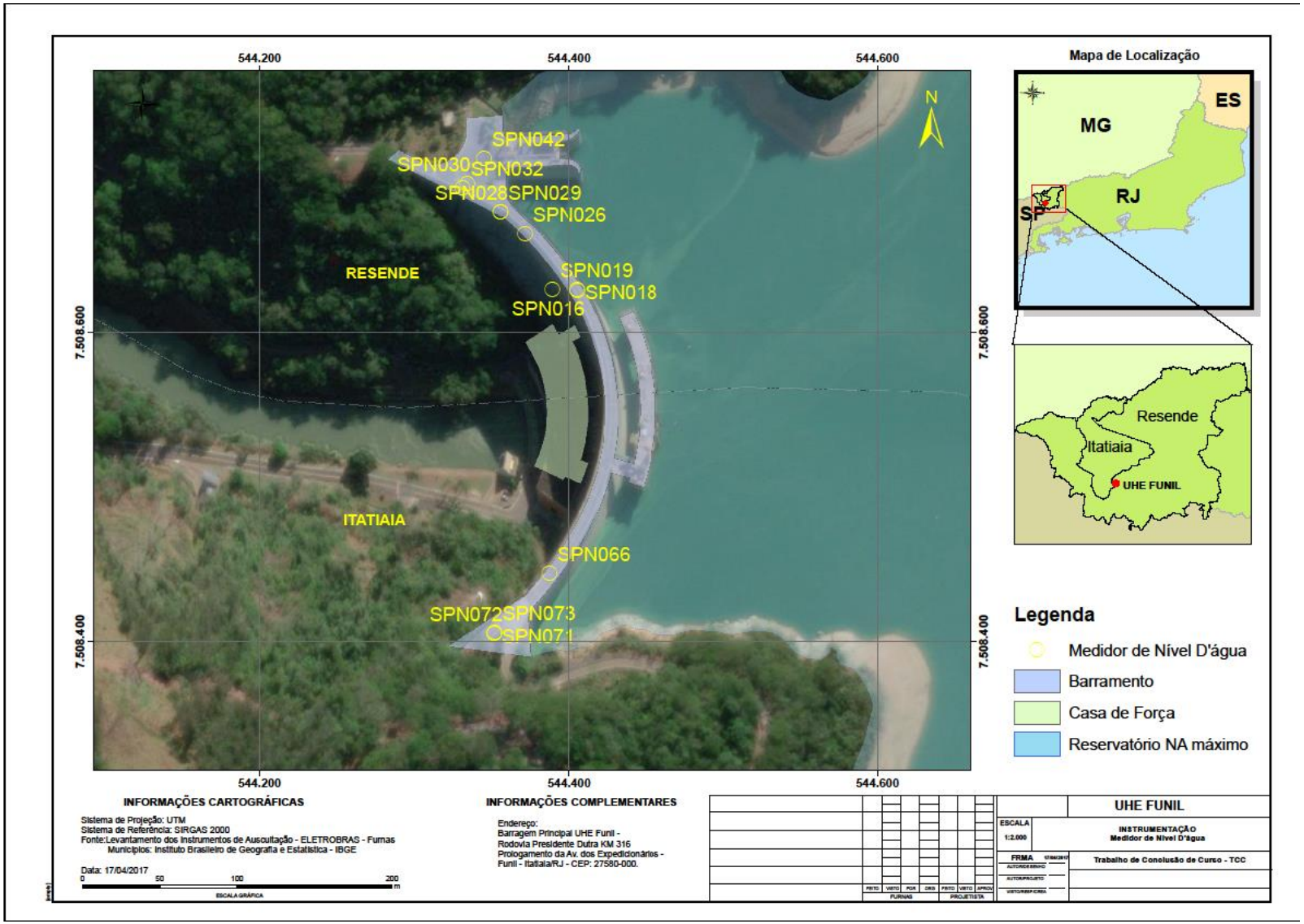
SILVEIRA, R. M. **Instrumentação e Procedimentos Visando a Segurança de Barragens**. 2015. p. 15. Notas de Aula – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Escola Politécnica, Instituto de Engenharia do Paraná, Paraná, Curitiba, 2015.

SPADINI, Allan S. **Georreferenciamento: O que é, uso e Ferramentas**. 2023. Artigo. Disponível em <https://www.alura.com.br/artigos/georreferenciamento-uso-ferramentas>. Acesso em 05 jan. 2024.

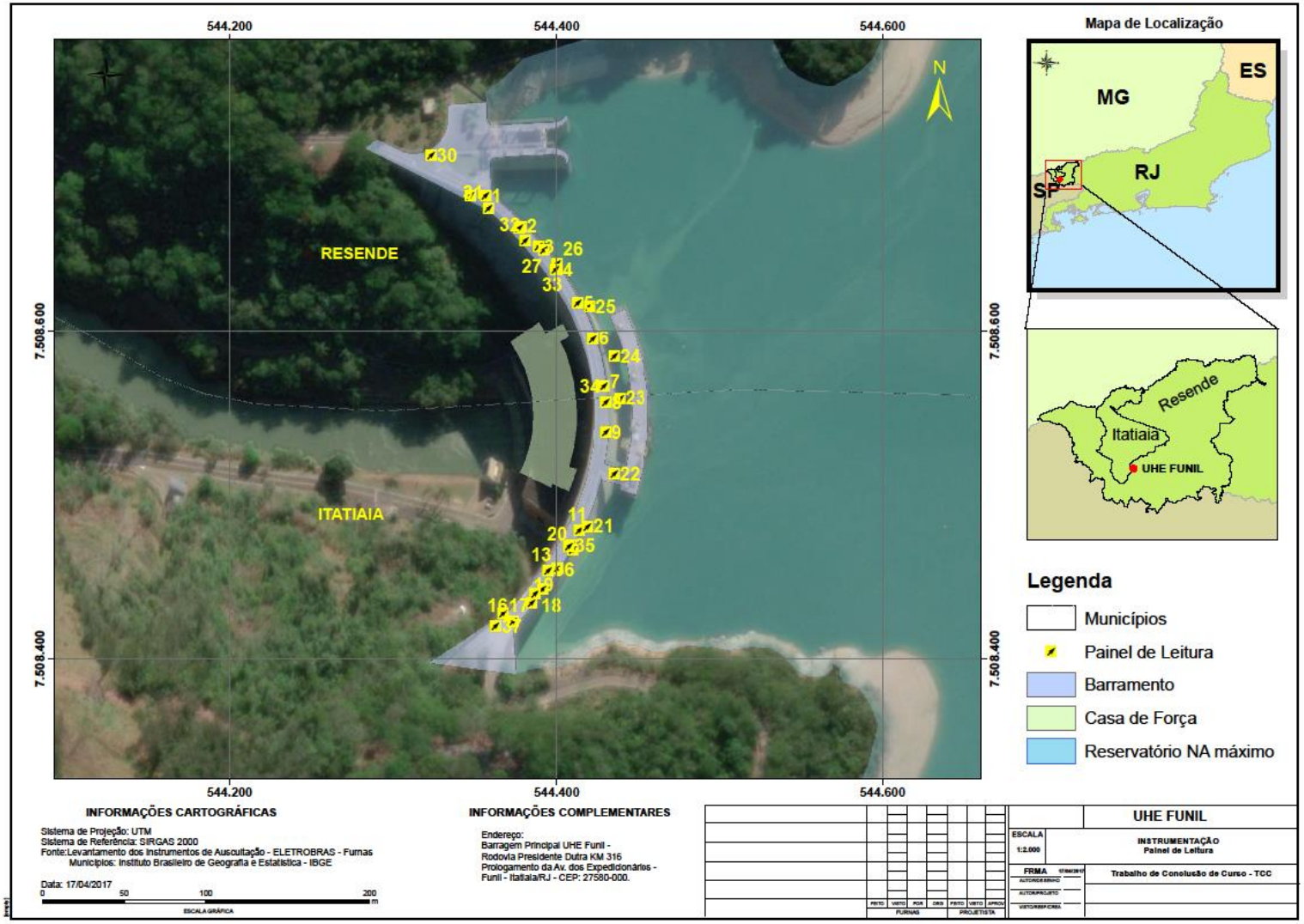
VETTORAZZI, Carlos A. **Técnicas de Geoprocessamento no Monitoramento de Áreas Florestadas**. V.10, n.29. Piracicaba. Série Técnica IPEF: Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP. 1996, p. 45-51.

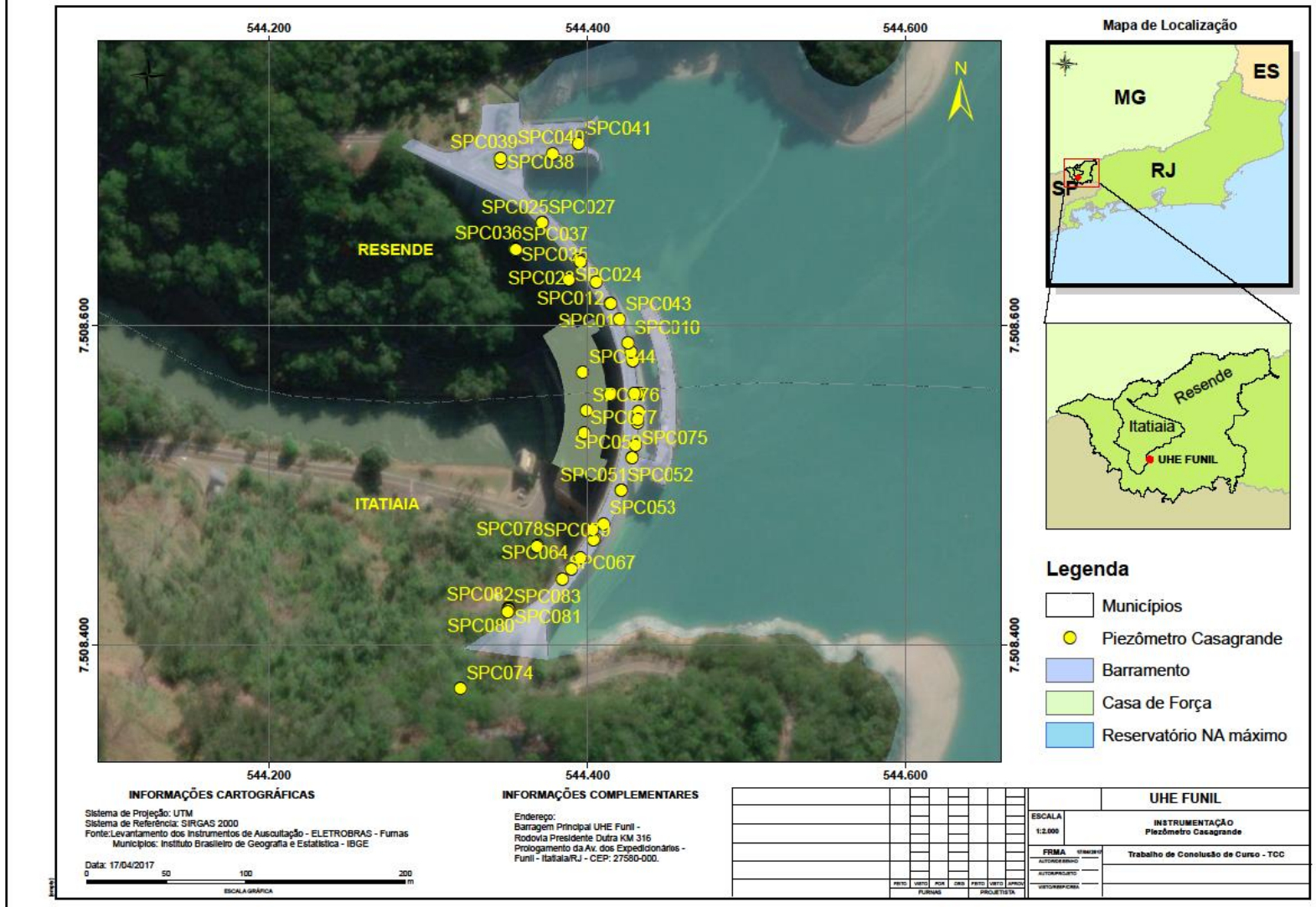
ZUFFO, M. S. R. **Metodologia para Avaliação da Segurança de Barragens**. 2005. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas. Orientada pela Profa. Dra. Ana Inés Borri Genovez.

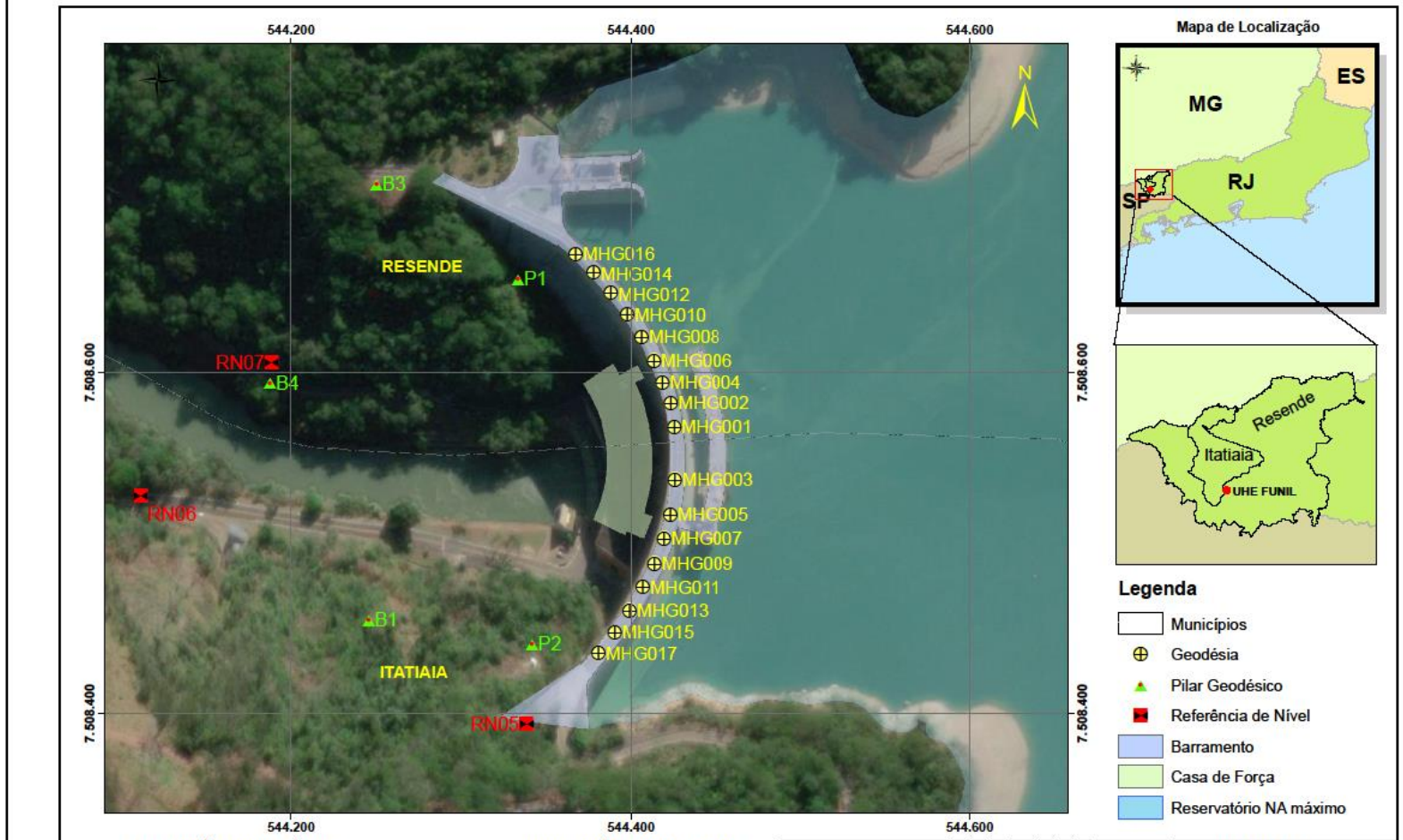
APÊNDICES



544.200
544.400
544.600
7.508.600
7.508.400
N
SPN042
SPN030
SPN032
SPN028
SPN029
SPN026
RESENDE
SPN019
SPN018
SPN016
ITATIAIA
SPN066
SPN072
SPN073
SPN071
Mapa de Localização
MG
ES
RJ
SP
Resende
Itatiaia
UHE FUNIL
Legenda
Medidor de Nível D'água
Barramento
Casa de Força
Reservatório NA máximo
INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS
Sistema de Projeção: UTM
Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Fonte:Levantamento dos Instrumentos de Auscultação - ELETROBRAS - Furnas
Municípios: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Data: 17/04/2017
0 50 100 200 m
ESCALA GRÁFICA
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES
Endereço:
Barragem Principal UHE Funil -
Rodovia Presidente Dutra KM 316
Prologamento da Av. dos Expedicionários -
Funil - Itatiaia/RJ - CEP: 27580-000.
UHE FUNIL
ESCALA
1:2.000
INSTRUMENTAÇÃO
Medidor de Nível D'água
FRMA
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC


544.200
544.400
544.600
7.508.600
7.508.400
RESENDE
ITATIAIA
N
Mapa de Localização
ES
MG
RJ
SP
Resende
Itatiaia
UHE FUNIL
Legenda
Municípios
Painel de Leitura
Barramento
Casa de Força
Reservatório NA máximo
INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS
Sistema de Projeção: UTM
Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Fonte:Levantamento dos Instrumentos de Auscultação - ELETROBRAS - Furnas
Municípios: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Data: 17/04/2017
0 50 100 200 m
ESCALA GRÁFICA
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES
Endereço:
Barragem Principal UHE Funil -
Rodovia Presidente Dutra KM 316
Prolongamento da Av. dos Expedicionários -
Funil - Itatiaia/RJ - CEP: 27580-000.
FURNAS
PROJETISTA
UHE FUNIL
ESCALA
1:2.000
INSTRUMENTAÇÃO
Painel de Leitura
FRMA
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC


544.200
544.400
544.600
7.508.600
7.508.400
N
SPC039
SPC040
SPC041
SPC038
SPC025
SPC027
SPC036
SPC037
RESENDE
SPC035
SPC028
SPC024
SPC012
SPC043
SPC010
SPC044
SPC076
SPC077
SPC075
SPC051
SPC052
ITATIAIA
SPC053
SPC078
SPC064
SPC067
SPC082
SPC083
SPC081
SPC080
SPC074
Mapa de Localização
ES
MG
RJ
SP
Resende
Itatiaia
UHE FUNIL
Legenda
Municípios
Piezômetro Casagrande
Barramento
Casa de Força
Reservatório NA máximo
INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS
Sistema de Projeção: UTM
Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Fonte:Levantamento dos Instrumentos de Auscultação - ELETROBRAS - Furnas
Municípios: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Data: 17/04/2017
0
50
100
200
m
ESCALA GRÁFICA
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES
Endereço:
Barragem Principal UHE Funil -
Rodovia Presidente Dutra KM 316
Prologamento da Av. dos Expedicionários -
Funil - Itatiaia/RJ - CEP: 27580-000.
FURNAS
PROJETISTA
UHE FUNIL
ESCALA
1:2.000
INSTRUMENTAÇÃO
Piezômetro Casagrande
FRMA
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC



INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS

Sistema de Projeção: UTM
Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Fonte:Levantamento dos Instrumentos de Auscultação - ELETROBRAS - Furnas
Municípios: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE

Data: 17/04/2017

0 50 100 200 m

ESCALA GRÁFICA

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Endereço:
Barragem Principal UHE Funil -
Rodovia Presidente Dutra KM 316
Prologamento da Av. dos Expedicionários -
Funil - Itatiaia/RJ - CEP: 27580-000.

	FURNAS				PROJETISTA		
	PROJ.	VISTO	POR	DES.	PROJ.	VISTO	APROV.

UHE FUNIL

ESCALA 1:2.000

INSTRUMENTAÇÃO
Geodésia

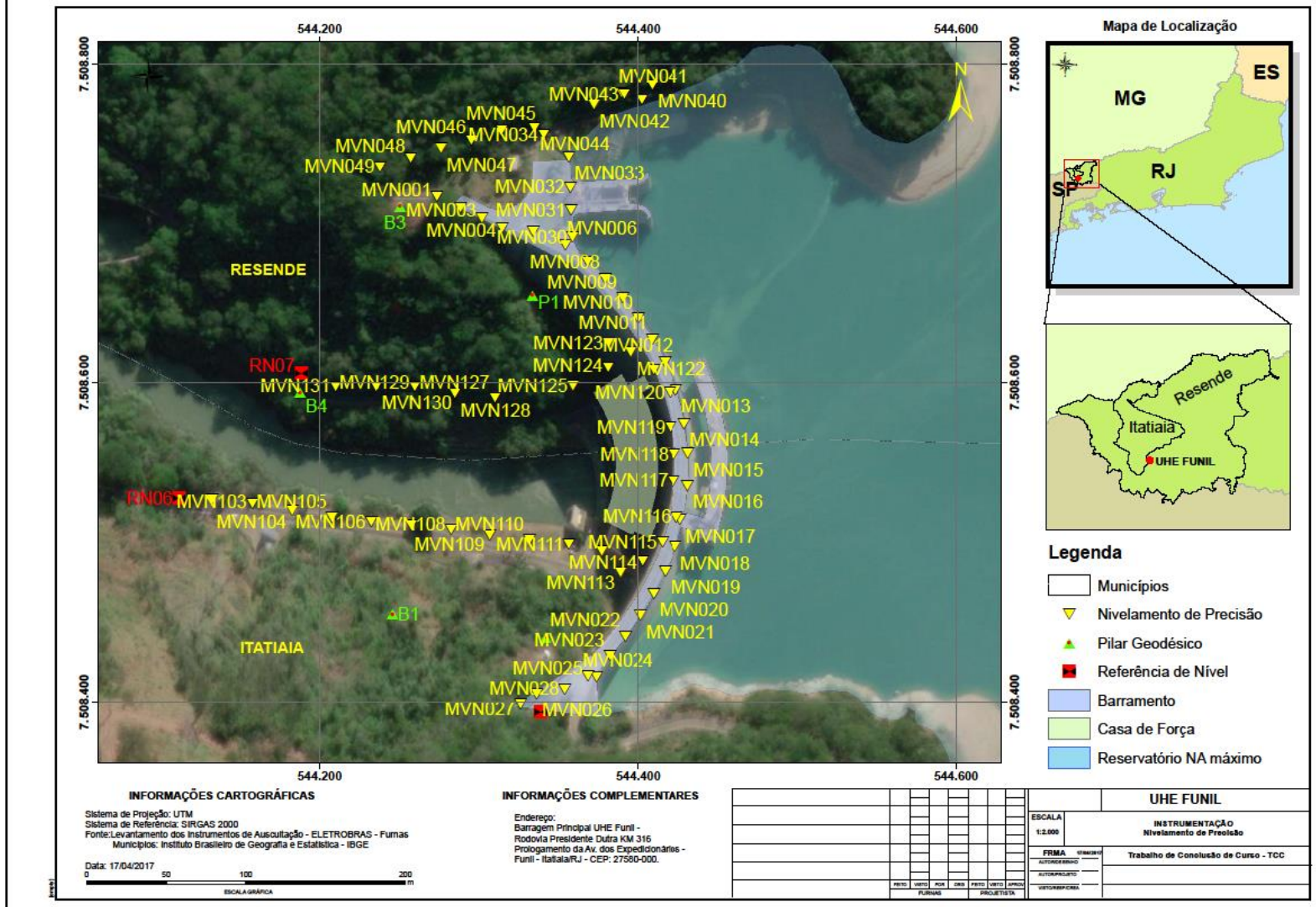
FRMA

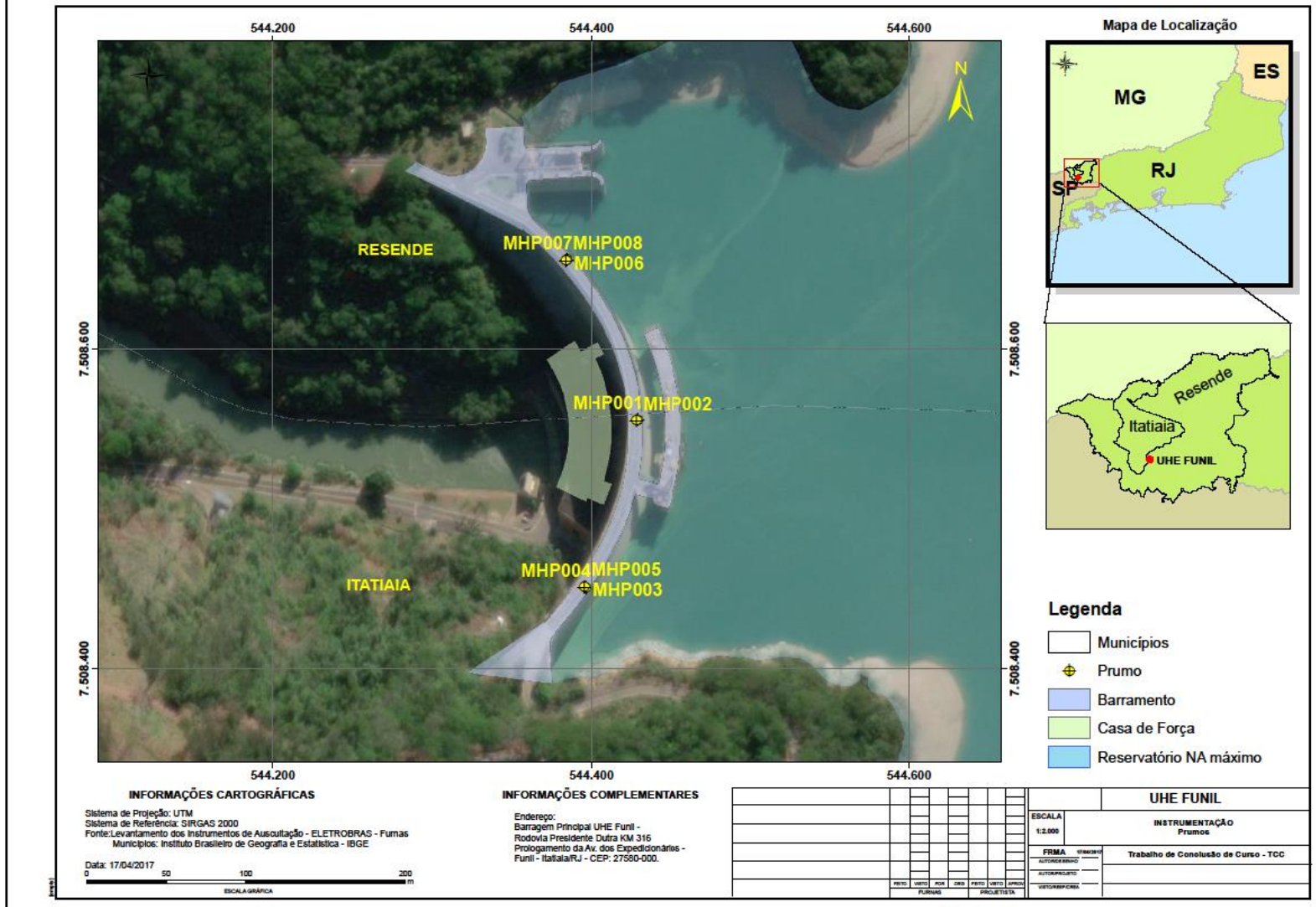
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC

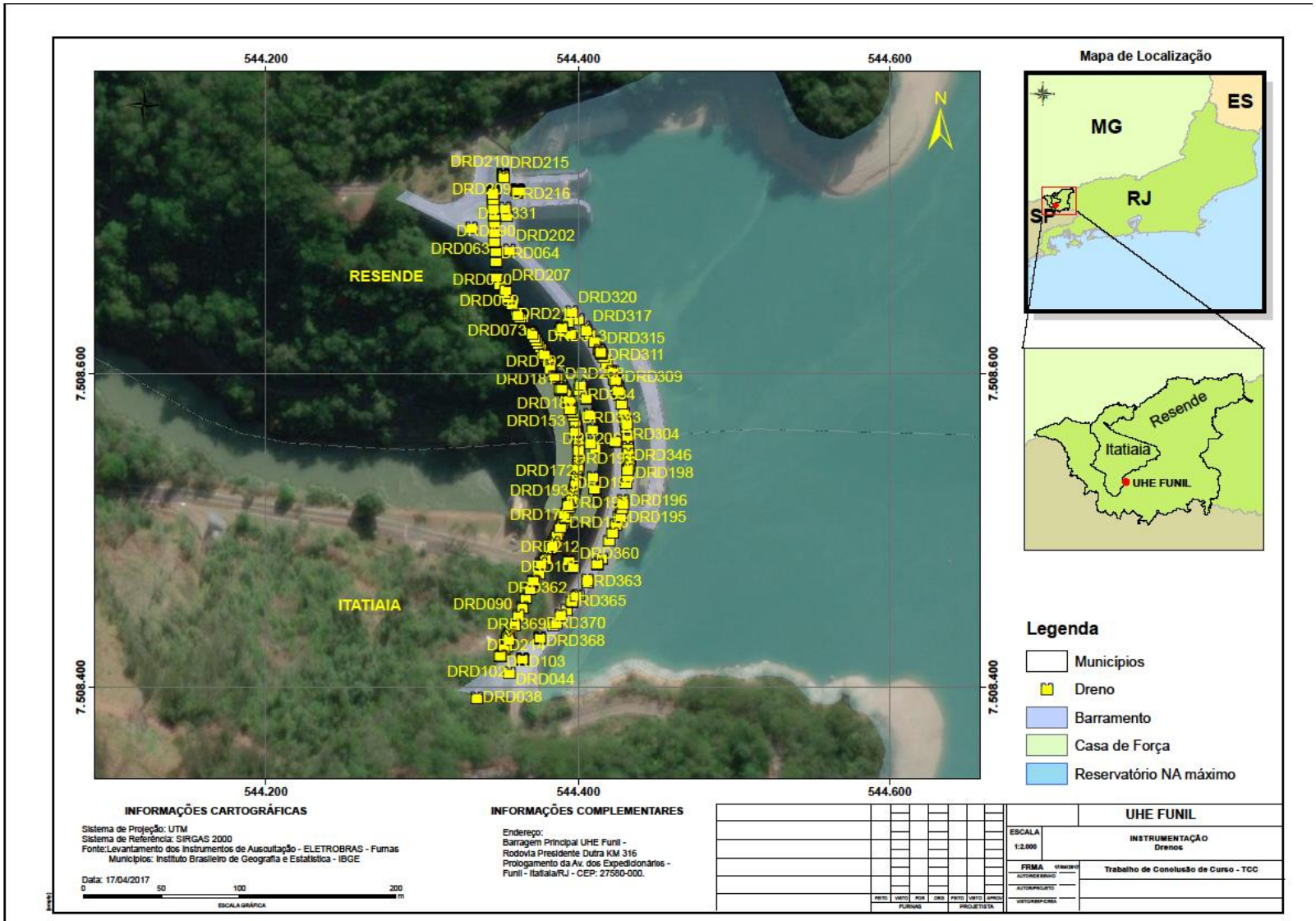
AUTOR/DESENHO

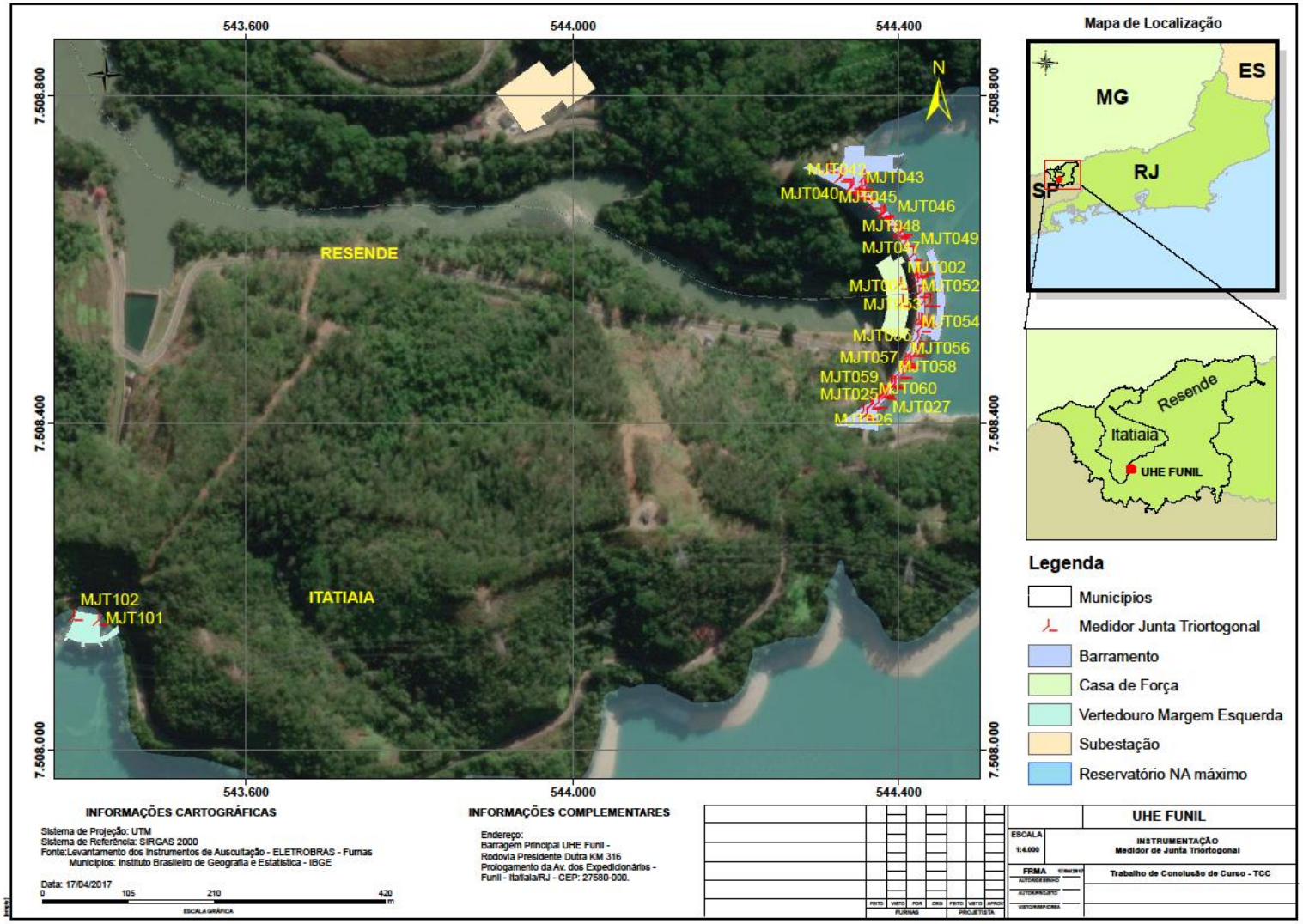
AUTOR/PROJETO

VISTO/RESPONSÁVEL


544.200
544.400
544.600
7.508.800
7.508.600
7.508.400
N
RESENDE
ITATIAIA
MVN041
MVN043
MVN040
MVN045
MVN042
MVN046
MVN034
MVN044
MVN048
MVN049
MVN047
MVN033
MVN032
MVN001
MVN003
MVN031
B3
MVN004
MVN006
MVN008
MVN009
P1
MVN010
MVN011
MVN123
MVN012
RN07
MVN124
MVN122
MVN131
MVN129
MVN127
MVN125
MVN120
B4
MVN130
MVN128
MVN013
MVN119
MVN014
MVN118
MVN015
MVN117
RN06
MVN103
MVN105
MVN016
MVN104
MVN106
MVN108
MVN110
MVN116
MVN109
MVN111
MVN115
MVN017
MVN114
MVN018
MVN113
MVN019
B1
MVN020
MVN022
MVN021
MVN023
MVN025
MVN024
MVN028
MVN027
MVN026
Mapa de Localização
ES
MG
RJ
SP
Resende
Itatiaia
UHE FUNIL
Legenda
Municípios
Nivelamento de Precisão
Pilar Geodésico
Referência de Nível
Barramento
Casa de Força
Reservatório NA máximo
INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS
Sistema de Projeção: UTM
Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Fonte:Levantamento dos Instrumentos de Auscultação - ELETROBRAS - Furnas
Municípios: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Data: 17/04/2017
0
50
100
200
m
ESCALA GRÁFICA
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES
Endereço:
Barragem Principal UHE Funil -
Rodovia Presidente Dutra KM 316
Prologamento da Av. dos Expedicionários -
Funil - Itatiaia/RJ - CEP: 27580-000.
FURNAS
PROJETISTA
UHE FUNIL
ESCALA
1:2.000
INSTRUMENTAÇÃO
Nivelamento de Precisão
FRMA
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC


544.200
544.400
544.600
7.508.600
7.508.400
N
RESENDE
ITATIAIA
MHP007MHP008
MHP006
MHP001MHP002
MHP004MHP005
MHP003
Mapa de Localização
MG
ES
RJ
SP
Resende
Itatiaia
UHE FUNIL
Legenda
Municípios
Prumo
Barramento
Casa de Força
Reservatório NA máximo
INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS
Sistema de Projeção: UTM
Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Fonte:Levantamento dos Instrumentos de Ausculatação - ELETROBRAS - Furnas
Municípios: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Data: 17/04/2017
0 50 100 200 m
ESCALA GRÁFICA
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES
Endereço:
Barragem Principal UHE Funil -
Rodovia Presidente Dutra KM 316
Prologamento da Av. dos Expedicionários -
Funil - Itatiaia/RJ - CEP: 27580-000.
FURNAS
PROJETISTA
UHE FUNIL
ESCALA
1:2.000
INSTRUMENTAÇÃO
Prumos
FRMA
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC


544.200
544.400
544.600
7.508.600
7.508.400
N
RESENDE
ITATIAIA
DRD210
DRD215
DRD216
DRD202
DRD063
DRD064
DRD207
DRD320
DRD317
DRD315
DRD311
DRD309
DRD304
DRD346
DRD198
DRD196
DRD195
DRD360
DRD363
DRD365
DRD090
DRD370
DRD368
DRD103
DRD044
DRD038
Mapa de Localização
ES
MG
RJ
SP
Resende
Itatiaia
UHE FUNIL
Legenda
Municípios
Dreno
Barramento
Casa de Força
Reservatório NA máximo
INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS
Sistema de Projeção: UTM
Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Fonte:Levantamento dos Instrumentos de Auscultação - ELETROBRAS - Furnas
Municípios: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Data: 17/04/2017
0
50
100
200
m
ESCALA GRÁFICA
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES
Endereço:
Barragem Principal UHE Funil -
Rodovia Presidente Dutra KM 316
Prologamento da Av. dos Expedicionários -
Funil - Itatiaia/RJ - CEP: 27580-000.
FURNAS
PROJETISTA
UHE FUNIL
ESCALA
1:2.000
INSTRUMENTAÇÃO
Drenos
FRMA
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC


543.600
544.000
544.400
7.508.800
7.508.400
7.508.000
N
RESENDE
ITATIAIA
MJT102
MJT101
MJT043
MJT040
MJT045
MJT046
MJT048
MJT049
MJT047
MJT002
MJT052
MJT054
MJT056
MJT057
MJT058
MJT059
MJT025
MJT060
MJT027
Mapa de Localização
ES
MG
RJ
SP
Resende
Itatiaia
UHE FUNIL
Legenda
Municípios
Medidor Junta Triortogonal
Barramento
Casa de Força
Vertedouro Margem Esquerda
Subestação
Reservatório NA máximo
INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS
Sistema de Projeção: UTM
Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Fonte:Levantamento dos Instrumentos de Auscultação - ELETROBRAS - Furnas
Municípios: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Data: 17/04/2017
0
105
210
420
m
ESCALA GRÁFICA
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES
Endereço:
Barragem Principal UHE Funil -
Rodovia Presidente Dutra KM 316
Prolongamento da Av. dos Expedicionários -
Funil - Itatiaia/RJ - CEP: 27580-000.
FURNAS
PROJETISTA
UHE FUNIL
ESCALA
1:4.000
INSTRUMENTAÇÃO
Medidor de Junta Triortogonal
FRMA
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC