



DÉBORA APARECIDA SILVA DOS SANTOS

**PROPOSTA DE MONITORAMENTO GEODÉSICO PARA UHE DE
CAMARGOS**

INCONFIDENTES-MG

2016

DÉBORA APARECIDA SILVA DOS SANTOS

**PROPOSTA DE MONITORAMENTO GEODÉSICO PARA UHE DE
CAMARGOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – *Campus* Inconfidentes, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientador: Paulo Augusto Ferreira Borges

INCONFIDENTES-MG

2016

DÉBORA APARECIDA SILVA DOS SANTOS

**PROPOSTA DE MONITORAMENTO GEODÉSICO PARA UHE DE
CAMARGOS**

Data de aprovação: ____/____/____

**Prof. Esp. Paulo Augusto Ferreira Borges
IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes**

**Prof. Esp. Fabiane Maciel
IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes**

**Prof. Dr. Ângelo Marcos Santos Oliveira
IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes**

INCONFIDENTES-MG

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, sabedoria, paciência e pelas bênçãos que me foram concebidas ao longo dessa caminhada. Agradeço ao meu paição, Lite por sempre ter me dado todo auxílio que precisei e nunca ter deixado que eu desistisse do meu objetivo, e sempre ter sido meu amigo nas horas que precisei, agradeço à mamãe Cláudia que sempre teve a paciência e serenidade nos meus dias difíceis, sempre tentando me ajudar da melhor maneira possível, vocês são minha vida.

Agradeço ao meu mestre Paulo Borges, pela atenção, paciência e dedicação, o dom de ensinar da melhor maneira possível, o qual sempre me cativou a querer chegar mais longe, você realmente é o melhor. Agradeço aos demais professores que me fizeram chegar até aqui, sem vocês isso não seria possível.

Agradeço aos meus avós Joaquim e Conceição que não estão mais nesse mundo, mas que onde estiverem sempre olharam por mim. Aos meus avós Joana e Modesto que me apoiaram e foram presentes em todos os momentos, sem vocês não teria chegado aqui. Aos meus irmãos Luís Cezar e Luís Fernando, por me apoiarem e incentivarem durante esses anos.

Queria agradecer imensamente meus amigos e amigas de Inconfidentes, em especial minhas amigas Tata e Letícia pela paciência e anos de companheirismo e amizade. Às minhas amigas de Itutinga pelos telefonemas nos dias difíceis e o apoio de estarem do meu lado mesmo longe. Agradeço imensamente à minha amiga Zayra a qual eu sempre liguei nas horas difíceis e sempre me consolou.

Agradeço a parceria realizada com a empresa CEMIG, em especial ao querido Marcio Werneck que sempre colocou grande empenho para que tudo fosse possível. A todos que de alguma forma estiveram no meu caminho me ajudando de alguma forma, obrigada.

RESUMO

Desde séculos atrás o homem teve grande interesse em saber o quão confiável eram suas estruturas, com o grande crescimento populacional houve o aumento gradual de barragens usadas para abastecimento de água, geração de energia entre outras finalidades. Assim o interesse em monitorar essas estruturas surgiu, levando em consideração a minimização dos acidentes ocorridos e dos danos resultantes. O trabalho realizado tem por objetivo mostrar alguns dos métodos usados para monitorar estruturas e propor uma metodologia para o monitoramento da barragem de Camargos, mostrando os resultados obtidos e comparando os dados das campanhas realizadas. A partir do método geodésico utilizando-se estação total a partir de um levantamento pelo método das direções, com quatro séries de visadas foram realizadas duas campanhas no mês de setembro. Os dados obtidos apresentaram alguns erros variando de 0 a 2 centímetros, sendo assim mostra a necessidade da utilização de centragem forçada e dos mini prismas para visadas mais perpendiculares. Pode-se concluir que o método aplicado apresenta resultados compatíveis com a precisão do instrumento, visto o resultado obtido pela poligonal principal, porém é necessário que sejam utilizados pilares geodésicos de centragem forçada e adequação dos refletores (prismas) posicionados nos pontos de controle para que os erros sejam minimizados.

Palavras-chave: Auscultação; Levantamentos Geodésicos; Barragens.

ABSTRACT

Since Centuries ago man have had great interest in knowing how reliable were your structures, as result of high population growth was gradual increase of the used dams water supply, power generation among other purposes. Thus, interest in monitoring these structures appeared taking into account the minimization of accidents occurred and caused damage resulting. The work performed has goal show some of the methods used to monitor structures and proportionate. A methodology for monitoring Camargos dam, showing the results and comparing the data of completed campaigns. From the method using total station applying the the directions method, with four target were series held two campaigns without month of september, the errors data obtained show some ranging from 0 to 2 centimeters, so show the need to use centering forced and mini-prisms paragraph targeted more perpendicular. It can be concluded that the method applied works and is need, as the result for the main polygonal, however they must be used the geodesic pillars and mini prisms for mistakes the be minimized, and work stay fully need.

Keywords: Auscultation; Geodesic Surveys; Dams.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO.....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	TIPOS DE BARRAGENS E FINALIDADES	4
3.1.1	Barragens de Concreto.....	5
3.1.2	Barragens de Abóbada.....	9
3.1.3	Barragens de Terra.....	10
3.1.4	Barragens de Enrocamento.....	12
3.1.5	Barragens de Concreto Compactado com Rolo.....	13
3.1.6	Barragem Mista	15
3.2	RECALQUE	16
3.3	ANOMALIAS NAS ESTRUTURAS.....	16
3.4	INSPEÇÃO E SEGURANÇA DE BARRAGENS	19
3.5	MÉTODOS DE MONITORAMENTO	22
3.5.1	Nivelamento Geométrico.....	23
3.5.2	Posicionamento GNSS	25
3.5.3	Trilateração	27
3.5.4	Irradiações	28
3.5.5	Estação Total	29
3.5.6	Levantamento Gravimétrico	29
3.5.7	Medidores Triortogonais	29
3.5.8	Medidores de Nível D'agua.....	31
3.5.9	Piezômetros	31
3.5.10	Técnica <i>Leap Frog</i>	31
3.6	Erros Envolvidos.....	33

3.7	AJUSTAMENTO DE POLIGONAL	33
3.7.1	Método de Variação de Coordenadas	34
3.8	PADRONIZAÇÃO DE PILARES GEODÉSICOS	34
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1	USINA HIDRELÉTRICA DE CAMARGOS	38
4.2	MATERIAIS UTILIZADOS	40
4.3	METODOLOGIA	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
6	CONCLUSÕES.....	58
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE TABELAS

Figura 1 – Barragem de Emossom.	6
Figura 2: Barragem de Guilhofrei.	7
Figura 3: Barragem principal de Itaipu.	8
Figura 4: Barragem de Castelo do Bode.....	9
Figura 5: Barragem de Alqueva.	10
Figura 6: Barragem Nurek Dam.	12
Figura 7: Barragem de Campos Novos.....	13
Figura 8: Barragem da Derivação do Rio Jordão.	14
Figura 9: Barragem do Sul.	15
Figura 10: Classificação da Consequência de Ruptura das Barragens.....	21
Figura 11: Nivelamento Geométrico.	24
Figura 12: Método Trilateração.....	27
Figura 13: Método de Irradiações.....	28
Figura 14: Medidor Triortogonal.....	30
Figura 15: Relógio Comparador.....	30
Figura 16: Técnica Leap Frog.	32
Figura 17: Pilar Geodésico.	36
Figura 18: Barragem de Camargos.....	39
Figura 19: Localização da Barragem da UHE de Camargos.....	40
Figura 20: Receptor GNSS rastreando marco M2.....	41
Figura 21: Receptor GNSS rastreando marco M3.....	42
Figura 22: Chapas com prismas instalados na estrutura.....	43
Figura 23: Ilustração dos marcos e prismas utilizados no monitoramento.....	44
Figura 24: Poligonal 05-09-2016.....	51
Figura 25: Poligonal Calculada 15-09-2016.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do posicionamento relativo estático.....	26
Tabela 2: Observações Médias.....	45
Tabela 3: Azimutes Obtidos em cada estação.	46
Tabela 4: Matriz A.....	46
Tabela 5: Matriz "P".....	47
Tabela 6: Vetor Lo.....	47
Tabela 7: Vetor Lb.....	47
Tabela 8: Vetor L.....	48
Tabela 9: Matriz "N".....	48
Tabela 10: Vetor "U".....	48
Tabela 11: Vetor "X"(m).....	49
Tabela 12: Vetor "Xa".....	49
Tabela 13: Vetor dos Resíduos.....	49
Tabela 14: MVC das Observações Ajustadas.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Diferença entre coordenadas das poligonais.	51
Quadro 2: Coordenadas X e Y da Estação 1 do Dia 05-09-2016.....	53
Quadro 3: Coordenadas X e Y da Estação 1 do Dia 15-09-2016.....	53
Quadro 4: Diferença entre as coordenadas da Estação 1.....	54
Quadro 5: Coordenadas X e Y da Estação 2 do Dia:05-09-2016.....	54
Quadro 6: Coordenadas X e Y da Estação 2 do Dia:15-09-2016.....	55
Quadro 7: Diferença entre as coordenadas da Estação 2.....	55
Quadro 8: Coordenadas X e Y da Estação 3 do Dia:05-09-2016.....	56
Quadro 9: Coordenadas X e Y da Estação 3 do Dia:15-09-2016.....	56
Quadro 10: Diferença entre as coordenadas da Estação 3.....	57

1 INTRODUÇÃO

Desde décadas passadas houve o interesse de se obter informações sobre o deslocamento de estruturas feitas pelo homem. Visando evitar possíveis danos em casos de rompimento das mesmas. Segundo Silveira (2006) há registros de início da utilização destes procedimentos já no século XIX na França.

Segundo o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002), a barragem é uma estrutura construída transversalmente à um rio ou a outra fonte abundante de água, para usos diversos, seja para fins de abastecimento, para geração de energia elétrica entre outras finalidades.

As barragens são obras que apresentam um nível crítico de segurança, uma vez que seu rompimento pode causar danos, prejudicando a fauna e a flora ribeira, e também perdas irreversíveis para as populações atingidas.

Devido à grande frequência de rompimentos de barragens traz a necessidade do monitoramento contínuo de tais estruturas, visto que o grande prejuízo causado é quase irreversível. Assim cada vez mais se faz necessário o planejamento e o monitoramento, sejam em tempo real ou ainda em intervalos regulares, obtendo se assim resultados rápidos e precisos, evitando-se desastres.

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA) (2014), existem 15000 (quinze mil) barragens no território brasileiro, as quais devem ser fiscalizadas e monitoradas segundo o nível de segurança apresentada pela mesma.

Para o controle dessas estruturas são utilizados diferentes métodos, que variam de acordo com a necessidade envolvida. O monitoramento pode ser realizado em diferentes intervalos de tempo, desde semanas a anos dependendo dos diferentes tipos de estruturas existentes como tipos de carga, o solo em que a mesma foi construída, dimensões, finalidade para qual a estrutura foi projetada, alterações de outros fatores que interfiram diretamente ou indiretamente na mesma entre outros (CORRÊA, 2012).

Os métodos usados no monitoramento dessas estruturas tiveram uma grande evolução nas últimas décadas, da topografia clássica realizada com teodolitos ótico-mecânicos, à topografia moderna que se utilizam de estações totais robotizadas, e mais recentemente a aplicação de métodos geodésicos por meio de receptores GNSS ou métodos avançados de varredura com *Laser Scanner* Terrestre.

Entre os itens analisados em um monitoramento, cita-se o controle de recalque sendo este um dos fatores que mais se destaca devido aos danos e degradações às estruturas, podendo provocar o desmoronamento ou ainda a ruptura total. O recalque pode estar presente em todas as estruturas podendo ou não ocorrer problemas significativos, porém, sua evolução deve ser monitorada visando avaliar a estabilidade de forma a evitar futuras perdas (CORRÊA, 2012).

Para realizar o monitoramento e obter dados precisos é possível realizar o método de nivelamento contínuo. Algumas estruturas apresentam dúvidas sobre sua segurança, sendo necessária uma análise minuciosa da mesma que é normalmente realizada por longos períodos de tempo. Este processo pode levar ao desgaste do observador, gerando dúvidas quanto aos dados obtidos (ANDOLFATO & FAGGION, 2011).

Além do nivelamento geométrico preciso, ainda são usadas outras técnicas geodésicas para obter os dados de deslocamento dessas estruturas, dentre elas estão o levantamento gravimétrico, posicionamento GNSS, triangulações e trilaterações (SIGUEL, 2013).

Neste trabalho propõe-se a implantação do método geodésico para fins de um monitoramento minucioso da barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) de Camargos, situada na cidade de Itutinga- MG, operada pela empresa CEMIG E TRANSMISSAO SA, utilizando métodos de topografia convencional a partir do uso de estação total, e ainda a implantação de pilares para apoio básico a partir do uso de receptores GNSS.

2 OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo:

- Apresentar de forma detalhada o método geodésico de monitoramento de estruturas.
- Propor um estudo detalhado da barragem de Camargos definindo-se a melhor metodologia para implantação do monitoramento de sua estrutura pelo método geodésico;
- Utilizar de métodos de levantamento por topografia convencional, com estação total, para obtenção de dados de possíveis deslocamentos ou recalques na estrutura;
- Comparar os resultados obtidos pelos métodos utilizados, a partir de dados obtidos em diferentes campanhas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico será apresentada a revisão bibliográfica dos temas relacionados ao trabalho realizado levando em consideração os assuntos abordados para realização da pesquisa tais como: os tipos de barragens existentes e suas diferentes finalidades, definição de recalques em barragens, anomalias ocorridas nas estruturas, inspeção e segurança de barragens, os distintos métodos de monitoramentos para identificação de possíveis anomalias, padronização de marcos geodésicos, modelo de ajustamento de poligonais e a descrição da barragem em estudo.

3.1 TIPOS DE BARRAGENS E FINALIDADES

As barragens podem ser classificadas de acordo com a forma e o tipo dos materiais utilizados para sua edificação. As barragens são consideradas estruturas de contenção, podendo ser de rejeito ou água para geração de energia, como no caso da barragem em estudo.

Segundo a Comissão Internacional das Grandes Barragens (CIGB) (1989), as estruturas podem ser classificadas de acordo com outros critérios além dos já comentados, sendo eles, dimensão da estrutura, propósito para a qual foi construída, capacidade de armazenamento além de sua forma estrutural.

Segundo CIGB (1989) as barragens podem ser classificadas, em três tipos, denominadas de pequenas barragens, grandes barragens e barragens principais, tendo em conta a sua altura e volume de água armazenado.

O objetivo de destinação da barragem e o modelo do seu projeto hidráulico para qual foi projetada também pode ser levado em consideração na classificação das estruturas. O tipo de estrutura da barragem também pode ser importante em sua classificação, podendo a mesma ser de concreto, terra e enrocamento.

As barragens são distintas em sua finalidade, são construídas para armazenar uma alta quantidade água de acordo com sua estrutura, sendo utilizadas para abastecimento de água para residências, indústrias, fins agrícolas e para geração de energia. Algumas ainda são construídas para fins de contenção de rejeitos. Abaixo podem ser listados algumas de suas finalidades específicas:

- Supervisão de cheias: Relacionado ao número crescente de ocupação humana e o desgaste das bacias, há uma necessidade de conter essas águas a fim de evitar enchentes causadas pelos longos períodos de chuva.
- Rejeitos de mineração: São destinadas a conter a água de resíduos provenientes das atividades mineradoras, afim de diminuir a poluição das águas.
- Reservatório: Utilizado a fim de economizar água, para que possa ser utilizada em períodos de estiagem.

3.1.1 Barragens de Concreto

As barragens de concreto são estruturas construídas de forma similar a estruturas civis tais como pontes e viadutos, as quais exigem fundações e ombreiras em maciços rochosos. Segundo Schneider (2011) as barragens são constituídas de materiais conjuntos onde normalmente são construídas em concreto (simples, armado, protendido ou rolado) e alvenaria. Podem ser divididas em barragens de gravidade, barragens de gravidade aliviada e barragens de arco.

Abaixo na Figura 1, uma das maiores e bem estruturada obra em concreto feita pelo homem, a barragem de Emosson, situada na Suíça.

Figura 1 – Barragem de Emossom.



Fonte: www.swissinfo.ch.

3.1.1.1 Barragem de Gravidade

Segundo Costa (2011) essas barragens são maciças e construídas em concreto, possuem pouca armação, tem como característica física manter sua estrutura trabalhando apenas por compressão. Esse tipo de barragem pode ter seu traçado retilíneo ou em arco.

Ainda segundo Benevolo (1973) a forma fundamental desse tipo de barragem é a de um triângulo com seu vértice no nível mais alto possível, onde se superpõe um coroamento. De acordo com Moliterno (1995) as barragens de gravidade têm sua segurança assegurada pelo peso próprio da estrutura, que deve ser superior aos esforços que a estrutura esteja submetida, de modo a garantir a sua função de barrar uma grande quantidade de água.

As barragens de concreto de gravidade são consideradas as mais resistentes e que apresentam menor custo de manutenção. Esse tipo de barragem tem como característica a adaptação para qualquer local a ser construída, porém possui restrição quanto à altura, que é limitada pela resistência das fundações. Quando são fundadas a partir de materiais de aluvião a altura máxima é de 20 metros. Comparada às barragens de terra ou enrocamento são consideradas de alto custo (MARANGON, 2006).

Na Figura 2 há um exemplo de barragem de concreto de gravidade, situada na cidade de Guilhofrei, no distrito de Braga, em Portugal:

Figura 2: Barragem de Guilhofrei.



Fonte: http://cnpqb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/Guilhofrei.htm.

3.1.1.2 Barragem de Gravidade Aliviada

Essa estrutura é alternativa à barragem de gravidade maciça. Na de gravidade maciça o concreto está mal aproveitado porque as solicitações são muito menores que a resistência do concreto. Em comparação, pode-se dizer que a barragem de gravidade aliviada traz economia no volume e diminuição das áreas sobre as quais podem agir a subpressão e a pressão intersticial (GOUVEIA, 2016).

Segundo Costa (2011) é uma estrutura mais leve, a barragem de gravidade convencional encontra-se vazada com o objetivo de imprimir menor pressão às fundações podendo também economizar concreto. Nesse tipo de barragem ocorre maior quantidade de esforços de tração exigindo uma maior quantidade de armação na estrutura, podendo seu traçado ser retilíneo ou curvilíneo.

A principal barragem de Itaipu é de gravidade aliviada, e pode ser vista na Figura 3.

Figura 3: Barragem principal de Itaipu.



Fonte: <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2010/10/itaipu-binacional/1974--Itaipu---Barragem-Principal-LK3R3431CC.jpg/view>.

3.1.1.3 Barragem de Arco

Esse tipo de barragem é considerado mais raro, uma vez que seu comprimento deve ser menor em relação à sua altura, trazendo como exigência um material rochoso adequado e de grande resistência nas encostas do vale, sendo capaz de suportar as forças exercidas sobre a estrutura (MARANGON, 2006).

As barragens de arco são uma solução híbrida, entre as barragens de gravidade e as barragens abóbada. Conjugando as vantagens desses dois tipos de barragem citados, estas estruturas aparecem como uma solução bastante atrativa, no caso de vales mais largos para barragens abóbada, ou mais profundos, capazes de inviabilizar uma solução de gravidade devido ao grande volume de betão (mistura de concreto) (VIEIRA, 2009).

Ainda segundo Gouveia (2016) essas estruturas são mais apropriadas em regiões que possuem vales mais estreitos e com boas condições de ombreiras, ocorrendo a transmissão do empuxo hidráulico para suas ombreiras evitando-se assim a compressão do concreto.

As barragens do tipo de arco possuem vantagens, como o gasto menor de concreto em relação aos outros tipos de barragens, onde uma menor quantidade de carga é transferida para a fundação sendo, portanto possível a construção de uma fundação de menor qualidade. Entretanto suas ombreiras devem ser fortes e em boas condições (GOUVEIA, 2016).

Encontra se a seguir na Figura 4, um exemplo de barragem desse tipo, sendo uma das barragens portuguesas mais importantes, situada nos limites dos concelhos de Tomar e Abrantes no distrito de Santarém. É utilizada para fins de abastecimento de água, produção de energia, defesa contra cheias e atividades de lazer.

Figura 4: Barragem de Castelo do Bode.



Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1792241>.

3.1.2 Barragens de Abóbada

Entre os demais tipos de barragens, as abóbadas são talvez as mais esplêndidas realizações neste domínio. Tais estruturas confiam a sua estabilidade à reação provocada nos encontros, sendo de preferência adaptadas em vales mais apertados, principalmente do tipo V, de forma a aproveitar ao máximo o efeito de arco, tirando assim melhor proveito das propriedades mecânicas do betão (VIEIRA, 2009).

De acordo com Batista (1998), o método tradicionalmente utilizado para a construção das barragens de abóbada consiste na betonagem de um conjunto de consolas verticais, separadas por juntas de contração. Estas juntas são definidas no projeto e destinam-se, sobretudo, a minimizar os efeitos associados ao processo de cura e endurecimento do betão.

A determinação do local de inserção destas barragens deve ser feita de acordo com uma avaliação de diversos parâmetros, tendo como partida crucial dois fatores, relacionados à geotecnia e topografia da zona de instalação da barragem. A qualidade do maciço de fundação é fundamental para a transmissão do esforço resultante da pressão hidrostática, assim como a forma do vale que define a própria estrutura, tal que a transmissão desses esforços seja feita com a máxima eficácia. No entanto, caso as condições geotécnicas não sejam as ideais, poderá recorrer-se a estruturas específicas que permitam a degradação das cargas transmitidas à fundação e proceder-se a tratamentos mais intensos no próprio maciço de fundação (VIEIRA, 2009).

A barragem de Alqueva, na Europa é um exemplo de abóbada, considerada um dos maiores reservatórios de água do país, além de produzir energia para todo o distrito de Beja, que pode ser vista na Figura 5.

Figura 5: Barragem de Alqueva.



Fonte: <http://www.mouradigital.com/pag.php?se=moura&pa=alqueva>.

3.1.3 Barragens de Terra

Podem ser consideradas as primeiras barragens nos registros históricos, as quais eram construídas para o armazenamento de água para que posteriormente fosse usada para irrigação de plantações. Estes tipos de barragens apresentavam um tamanho considerável, sendo importante registrar a barragem construída no Ceilão em 504 A.C, possuindo 17 (dezesete) km

de comprimento, 21(vinte e um) metros de largura e aproximadamente 15 (quinze) milhões de metros cúbicos de material (MARANGON, 2006).

Marangon (2006) afirma que essas estruturas estavam cheias de erros, sensíveis a rupturas e rompimento total da mesma, visto que eram feitas empiricamente sem nenhum dado considerado seguro. Apenas em 1907 as estruturas passaram a ser construídas de forma mais adequada.

Segundo Costa (2011) as barragens de terra podem ser divididas em dois tipos:

- Homogêneas: Quando a barragem é composta de um único material em sua estrutura, podendo apresentar elementos como filtros, “rip rap” (de enrocamento ou cascalho, utilizado para proteger o talude). Deve ser excluído o material utilizado para os taludes, o qual deverá ser impermeável formando uma barreira adequada contra água.
- Zonadas: Aqui há um zoneamento de materiais terrosos. É representado por um núcleo central impermeável, envolvidos por zonas permeáveis compostas de materiais como cascalho, brita areias ou uma mistura de todos esses.

As barragens de terra apresentam algumas vantagens e desvantagens em relação a sua estrutura, que podem ser citadas segundo (STEPHENS, 2011).

Tem como vantagens:

- A utilização de materiais naturais que estão em ao redor de seu domínio.
- Simplicidade em seus projetos.
- Requisitos para sua fundação bem menos exigentes comparados aos de outros tipos de barragens.
- Resistência maior ao assentamento e movimentos.

Tem como desvantagens:

- É danificada mais facilmente pela água que entra em contato com sua estrutura.
- Deve ser compactada de modo adequado, assim apresentando integridade estrutural.
- Assim como nas outras, porém mais rigorosa, deve haver um monitoramento e inspeção contínua da estrutura, a fim de evitar danos que podem comprometer a estrutura.

A Figura 6 mostra a barragem de terra situada no Tajiquistão, considerada uma das mais altas com 300 metros de altura.

Figura 6: Barragem Nurek Dam.



Fonte: <http://gigantesdomundo.blogspot.com.br/2011/12/nurek-dam-tajiquistao-represa-mais-alta.html>.

3.1.4 Barragens de Enrocamento

É o tipo e barragem onde são utilizados blocos de rocha de vários tamanhos e uma faixa impermeável na face da montante. Sua utilização é recomendada em locais onde há um elevado custo do concreto, ou em locais carentes de materiais terrosos. Uma observação relevante é que, a rocha utilizada para a construção dessas barragens nem sempre pode ser utilizada na construção de barragens de concreto (MARANGON, 2006).

A rocha utilizada nessa construção não deve ter passado por nenhuma deformação ao longo do tempo, deve ser firme o suficiente para suportar os efeitos do tempo sobre ela, para que não seja facilmente desintegrada ou danificada de alguma forma (MARANGON, 2006).

Gouveia (2016) cita que as barragens de enrocamento com face em concreto são constituídas por placas de concreto no talude a jusante, no qual deve se ter uma atenção especial para com as ligações entre as mesmas, estas placas estão apoiadas sobre um meio que pode sofrer deformações, assim a barragem poderá apresentar recalques significativos para o comportamento da estrutura.

A Usina Hidrelétrica de Campos Novos possui uma barragem de enrocamento, com 202 metros de altura é considerada a terceira mais alta do mundo, destinada ao armazenamento de água para produção de energia, conforme a Figura 7:

Figura 7: Barragem de Campos Novos.



Fonte: <http://camposnovos.sc.gov.br/turismo/item/detalhe/7971>.

3.1.5 Barragens de Concreto Compactado com Rolo

O procedimento aplicado para a construção desse tipo de barragem não é uma técnica nova. Teve fundamentos na simplicidade e facilidade que, no início dos anos 70, o professor Jerome Raphael, da Universidade da Califórnia, em Berkeley, obteve uma metodologia para execução dessas barragens, tendo como ideia inicial no quesito materiais,

solo-cimento. O Concreto Compactado com Rolo (CCR) se desenvolveu a partir dessas misturas iniciais de agregados, cimento, areia e pouca água.

De acordo com Kavamura (2005) as barragens de concreto compactado com rolo são feitas principalmente pela vantagem na rapidez de sua construção, em relação aos outros métodos.

O concreto utilizado possui exigências diferentes em relação àqueles utilizados na construção de outras barragens, devendo estar quase seco para que o equipamento de rolo possa ser passado, do contrário o mesmo poderia afundar durante sua utilização. O CCR deve também estar suficientemente úmido permitindo uma distribuição uniforme da argamassa durante as operações de vibração (METHA e MONTEIRO, 1994 apud KAVAMURA, 2005).

Segundo Donadon (2015) existem no Brasil ao menos 64 barragens que foram construídas utilizando a técnica de concreto compactado com rolo.

Uma das barragens brasileiras em que a técnica do CCR foi aplicada e obteve-se um grande sucesso é a barragem de Derivação do Rio Jordao, que está entre os municípios de Foz do Jordao e Reserva do Iguacu, no estado do Paraná, a mesma pode ser vista na Figura 8.

Figura 8: Barragem da Derivação do Rio Jordão.



Fonte: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2>.

3.1.6 Barragem Mista

São consideradas mistas as barragens que em sua seção ou em seu traçado são constituídas por diferentes materiais podendo ser combinadas por diferentes métodos construtivos tais como, enrocamento/concreto, terra/concreto, ou ainda terra/enrocamento (COSTA, 2011).

Segundo Costa (2011) as barragens podem ser determinadas mistas quando, ao longo de seu traçado apresenta dois tipos de materiais distintos usados para sua construção, porém quando sua fundação é de terra ou enrocamento e seu vertedouro de concreto, a mesma não deve ser considerada mista.

A Figura 9 mostra a barragem do Sul, em Ituporanga-SC.

Figura 9: Barragem do Sul.



Fonte: <http://www.defesacivil.sc.gov.br/index.php/midia/galeria-de-fotos/category/43-barragem-sul-ituporanga.html>.

3.2 RECALQUE

O recalque é definido pelo deslocamento vertical descendente de um elemento estrutural, já o deslocamento ascendente representa a elevação. Deve ser representado convencionalmente pelo sinal positivo (ABNT, 1996).

Ainda pode ser considerado o recalque diferencial específico, também conhecido como distorção angular, que é a diferença entre os recalques de dois apoios e a distância entre os mesmos. Este tipo de recalque deve ser tratado com mais atenção, pois são os que podem prejudicar mais a estabilidade e o funcionamento de uma estrutura (ABNT, 1996).

Os recalques em fundações acontecem quando o contato entre a fundação e o solo se rompe, fazendo com que a fundação afunde mais do que foi planejado. Quando ocorre em toda a fundação é chamado de recalque total, quando ocorre em apenas um trecho é chamado de recalque diferencial (MILITITSKY, 2005).

Em qualquer obra podem ocorrer recalques nas fundações, sendo os recalques admissíveis parte importante nas análises e projetos de fundações, definindo um limite a partir do qual se considera problemática a segurança ou o desempenho da estrutura (MILITITSKY, 2005).

Os danos causados por recalques podem ser divididos em três grupos: visuais e estéticos (os quais não possuem riscos), danos comprometendo o uso e funcionalidade da estrutura e danos que podem comprometer a estabilidade da estrutura, pondo em risco a segurança prevista (MILITITSKY, 2005).

3.3 ANOMALIAS NAS ESTRUTURAS

Os diferentes tipos de anomalias e danos causados às estruturas aparecem desde o início, no seu desenvolvimento e no decorrer do tempo, em função de sua utilização. Diversos fatores podem vir a interferir na integridade da estrutura. A seguir serão descritos alguns destes danos.

1- Percolações

Ocorre quando a água que passa pelo maciço ou pela fundação, leva o solo ali presente, ou também quando ocorre o aumento da pressão na barragem. Podendo

ser definida não controlada, quando a drenagem interna não acontece. Para que esse problema possa ser evitado ou controlado devem ser realizadas medições de vazão e turbidez da água (GRANEMANN, 2005).

2- Sumidouros

São originados a partir de erosões internas no material do maciço da barragem. Pode ser evitado realizando inspeções rotineiras em outras áreas da barragem a fim de localizar infiltrações para chegar à causa exata do sumidouro, recomendando as possíveis ações a serem realizadas (MANUAL DESEGURANCA DE BARRAGENS, 2002).

3- Trincas

As trincas são comuns em diversas estruturas de concreto, e nas barragens podem ocorrer em vários lugares da estrutura, sendo mais frequente na crista, nos taludes e nas galerias internas. Para o controle devem ser realizadas observações criteriosas sobre a estrutura, realizando fotografias para posterior comparação, e monitoramento geodésico observando um possível aumento gradual (GRANEMANN, 2005).

4- Crista Desalinhada

Ocorre devido aos deslocamentos das partes adjacentes da estrutura, ou por alguma deformação ou ruptura próxima a área, tendo como consequência o desalinhamento e depressões na crista. Para solucionar o problema é necessária a colocação de marcos transversais à crista e o monitoramento para determinar a possível causa do problema.

5- Instabilidade dos Taludes

A instabilidade dos taludes está ligada aos deslizamentos que ocorrem e podem ser superficiais, que não causam danos significativos à estrutura, ou rasos que aumentam a declividade do talude e a perda de resistência do maciço. O monitoramento contínuo deve ser realizado para o acompanhamento contínuo da estabilidade da estrutura (GRANEMANN, 2005).

6- Rachaduras Longitudinais

Ocorrem a partir de dois fatores, por causa do ressecamento do material de superfície ou movimentos de assentamento no maciço a jusante. As rachaduras podem ser avisos de deslizamentos futuros, onde as rachaduras de contração permitem a penetração da água no maciço. Podem ser resolvidas com material bem compacto se forem de ressecamento, porém se forem extensivas é necessário que seja feito um estudo na área para que possa ser definido a melhor ação a ser tomada (MANUAL DE SEGURANCA DE BARRAGENS, 2002).

7- Rupturas

As rupturas estão ligadas a sérios problemas estruturais, podendo ser caracterizada por um talude de deslizamento íngreme, movimentos rotacional e horizontal bem definidos e trincas em formato de arco. As rupturas profundas indicam instabilidade na barragem, e devem ser inspecionadas evitando se danos maiores (GRANEMANN, 2005).

8- Deslocamento Vertical

É definido como o movimento vertical entre as seções do maciço da barragem. Trata-se da deformação estrutural causada por uma falha decorrida da instabilidade da fundação. Essa anomalia causa a instabilidade da estrutura e deve ser constantemente monitorada, para uma possível análise e solução do problema (MANUAL DE SEGURANCA DE BARRAGENS, 2002).

Existem diversos casos em que as barragens tiveram a ruptura total de sua estrutura, podendo ser explicados por dois fatores específicos: fatores naturais ou por falha no planejamento da estrutura.

Rompimentos causados por causas naturais, também são chamados de mistos e por sua vez, ocorrem quando há uma somatória entre as forças da natureza. Quando a causa está nos cálculos da estrutura pode-se definir como desastre tecnológico.

No Brasil os acidentes mais comuns ocorrem em barragens de rejeito, já na Europa, Ásia e América do Norte os acidentes mais comuns são em barragens de água.

Um acidente causado na Itália, em Dolomitas em 1963, com a barragem de Vajont, é marcado pelo número de vítimas fatais com 2600 mortos, em um acidente que não houve

ruptura total, porém, um grande vazamento foi a causa do desastre. Além desse pode-se citar, o da barragem de St. Francis em 1928 em Los Angeles causado por falhas tecnológicas, com um número de 450 óbitos; a barragem de Malpasset em 1959, na França com 420 óbitos. E o mais recente fora do Brasil foi na barragem do Sistema federal de diques, nos Estados Unidos (EUA), resultado de um furacão, onde 80% da cidade foi inundada, foram contabilizados 1836 óbitos e 705 desaparecidos.

No Brasil o número de acidentes também é relevante, principalmente no estado de Minas Gerais, onde nos últimos 15 anos, seis barragens se romperam. Cita-se as ocorrências em Itabirito em 1986, a Barragem de Fernandinho, destinada a contenção de rejeitos, com 7 vítimas; em Nova Lima em 2001, a Barragem de Macacos, com 5 óbitos; em Cataguases em 2003 causando contaminação da água para o abastecimento 600.000 (seiscentas mil) pessoas; Barragem da Rio Pomba em Mirai em 2007, desabrigando 4.000 (quatro mil) pessoas.

O caso mais recente no Brasil, ocorrido no ano de 2015, é o caso de Mariana, onde houve o rompimento das barragens de Fundão e de Santarém, com um total de 19 óbitos, 8 desaparecidos, 600 desabrigados ou desalojados, interrupção do abastecimento de água de milhares de pessoas e poluição do rio Doce e do mar no ES, interrupção da atividade pesqueira e prejuízos ao Turismo em Regência/ES.

A vulnerabilidade do Estado de Minas Gerais também é explicada pela maior exploração de atividade minerária, a qual necessita dessas estruturas em seu processo produtivo. A solução para minimizar os riscos desses eventos é a implantação de um monitoramento periódico mais rigoroso e a adoção de estudos e técnicas estruturais mais eficientes. Quanto à redução dos danos, mostra-se necessária a implantação de medidas preventivas como a instalação de sistemas de alerta precoce e de estruturas hábeis para resistir aos impactos nos locais possivelmente atingidos em caso de rompimento.

3.4 INSPEÇÃO E SEGURANÇA DE BARRAGENS

Um grande número de acidentes ambientais vem trazendo uma preocupação maior em relação ao assunto, em especial em barragens de terra para contenção de rejeitos e até mesmo em barragens com reservatório de água. Nesse cenário o poder público tem se mobilizado e caminha no sentido de regulamentar as situações que envolvam a operação de barragens.

Segundo Ribeiro (2008) em 1928 foi criada a Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB) que vem tendo um papel importante na área de segurança de barragens, desde então realizando diversos comitês de trabalho e apresentando recomendações e procedimentos no assunto segurança.

De acordo com CIGB (2011) em 1978 foi quando a comitê deu grande importância ao critério de segurança de barragens, visto que o número de novas barragens aumentava gradualmente e que as mesmas apresentavam falhas já no começo, pois eram feitas muitas vezes por pessoas inexperientes.

Em 1979 o representante do CIGB do Brasil, o CBDB (Comitê Brasileiro de Barragens), publicou um documento com diretrizes e ações que deveriam ser realizadas em todas as barragens de acordo com CIGB, logo em seguida foram criadas novas diretrizes e recomendações criadas pelo próprio CBDB (RIBEIRO, 2008).

De acordo com Silva (2012), no ano de 1979 ocorreu na Índia, o Congresso Internacional de Grandes Barragens, pois haviam sido notados incidentes relevantes, não só durante a construção das barragens, como também no seu tempo de vida útil onde muitas estavam envelhecidas.

A barragem deve ser classificada de acordo com os efeitos causados pela sua ruptura. Essa classificação é de extrema importância para a segurança da barragem. Pode ser analisada na Figura 10, que leva em consideração perdas de vidas e danos sociais (CBDB, 2001).

Figura 10: Classificação da Consequência de Ruptura das Barragens.

CLASSIFICAÇÃO DA CONSEQUÊNCIA DE RUPTURA DE BARRAGENS

POTENCIAL CONSEQUÊNCIA INCREMENTAL DA RUPTURA^(a)

CONSEQUÊNCIA DE RUPTURA	PERDA DE VIDAS	ECONÔMICO, SOCIAL E DANOS AMBIENTAIS
Muito alta	Significativa	Dano excessivo ^(a)
Alta	Alguma	Dano substancial
Baixa	Nenhuma	Dano moderado
Muito baixa	Nenhuma	Dano mínimo

Fonte: CBDB (2001).

Após a avaliação da barragem em estudo deve ser gerado o relatório de segurança de barragens que é um instrumento da política nacional de segurança de barragens obrigatório pela Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (RSB, 2015).

Ainda segundo o Relatório de Segurança de Barragens (2015) tem como principal objetivo informar um quadro da implantação da (PNSB) e de sua ação na segurança das barragens brasileiras, reduzindo acidentes e melhorando a gestão de riscos.

No dia 20 de setembro de 2010, o presidente da república Luís Inácio Lula da Silva sancionou a Lei 12.334/2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, que é designada ao acúmulo de água para todos os diversos tipos de aplicação, também está inserido na lei, a disposição final ou temporária de quaisquer rejeitos e a acumulação de resíduos industriais, criando o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB.

De acordo com a nova Lei, a Agência Nacional das Águas (ANA) ficará encarregada de organizar, implantar e gerir o SNISB, promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores das barragens e ainda coordenar o Relatório de Segurança de Barragem, encaminhando-o anualmente ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (ANA, 2010).

A Lei tem como objetivo garantir um acompanhamento preciso dos padrões de segurança das barragens, de maneira que possam ser reduzidos os riscos e a possibilidade de acidentes, evitando suas impactantes consequências, além de regulamentar as ações e padrões de segurança (BRASIL, Lei 12.334/2010, 2010).

De acordo com a Lei 12.334/2010 cabem ao empreendedor o desenvolvimento e mantimento das ações de segurança da barragem, sendo ele o responsável legal para com todos os processos de segurança da mesma. Ela estabelece ainda que a fiscalização da segurança das barragens caberá à entidade que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos, observado o domínio desses recursos hídricos, com exceção de fins de aproveitamento hidrelétrico. Para fins de geração de energia elétrica, a fiscalização ficará nas mãos da entidade que estendeu ou autorizou o uso do potencial elétrico (BRASIL, Lei 12.334/2010, 2010).

A implantação do cadastro das barragens deve ser feita pelo órgão fiscalizador, seguindo o prazo de dois anos. Os empreendedores das barragens devem submeter à aprovação dos órgãos fiscalizadores, os relatórios, especificando as ações e os cronogramas para a implantação do Plano de Segurança de Barragem (BRASIL, Lei 12.334/2010, 2010).

3.5 MÉTODOS DE MONITORAMENTO

Existem diversos métodos de monitoramentos utilizados para identificar alterações na estrutura, os quais procuram monitorar a forma, tamanho e a posição da barragem. O monitoramento estabelece observações de alta precisão, observações repetidas ao longo do tempo, análise criteriosa dos dados obtidos das campanhas.

Os métodos geodésicos podem ser empregados a partir de nivelamentos geométricos, posicionamento GNSS, irradiações, trilaterações, levantamentos gravimétricos, técnica *Leap Frog*, etc.

Outros métodos não geodésicos serão apresentados, como, medidores de vazão, medidores triortogonais, piezômetros. Apesar da precisão inferior são bastante utilizados para o controle e monitoramentos das barragens, eles serão brevemente descritos, nos tópicos seguintes.

3.5.1 Nivelamento Geométrico

É um dos métodos geodésicos mais tradicionais e usuais para monitoramento de barragens e outras estruturas, permite a determinação da altitude precisa, e o controle de recalques nas mesmas, o recalque é geralmente determinado a partir do nivelamento geométrico sendo também usado em prédios, pontes e outras estruturas que apresentem esse tipo de deformação (CORRÊA, 2012).

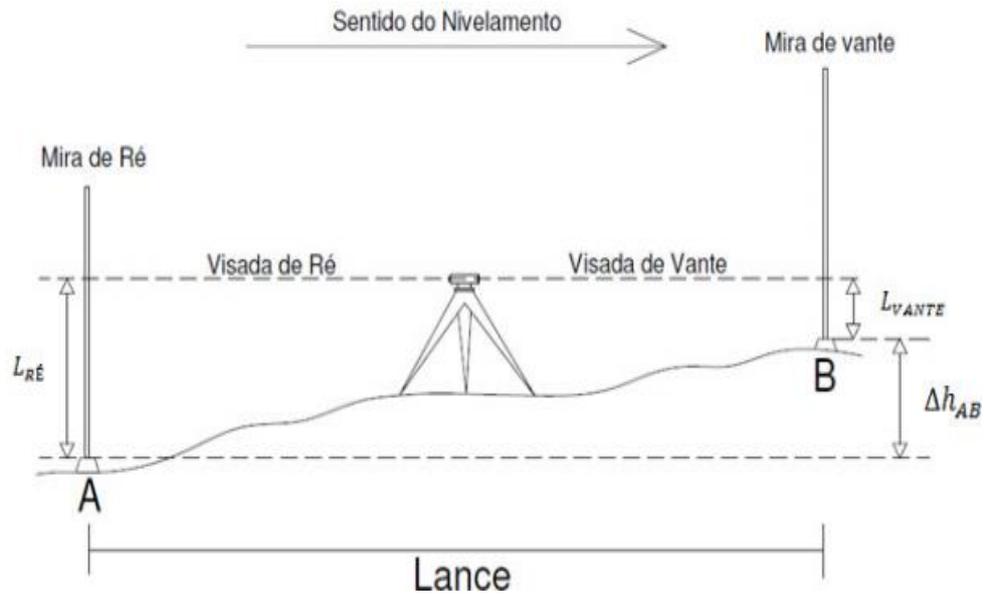
Corrêa (2012) assume que o monitoramento a partir do nivelamento geométrico, é possível realizar a determinação da diferença de nível entre dois pontos, a partir da leitura direta feita com o nível.

O nivelamento geométrico é muito utilizado em levantamentos de alta precisão, como no traçado de rodovias, ferrovias e também na obtenção do valor do deslocamento altimétrico em barragens (CASTRO, 2002).

O nivelamento geométrico pode ser dividido em quatro métodos distintos, visadas iguais, visadas extremas, visadas recíprocas e ainda visadas equidistantes. O método discutido abaixo será de visadas iguais, pois segundo Santos (2008) é muito indicado por apresentar grande precisão na eliminação de erros tais como, refração atmosférica, erros sistemático, colimação vertical e efeito da curvatura terrestre.

O método de visadas iguais, consiste em colocar o aparelho em distâncias aproximadamente iguais entre os pontos de Ré e Vante, recomendando se que a distância entre os mesmos não ultrapasse 50 metros, para que a precisão final esteja dentro das normas exigidas. A Figura 11 abaixo ilustra o método de visadas iguais.

Figura 11: Nivelamento Geométrico.



Fonte: SANTOS (2008).

Devem ser seguidas as normas da NBR 13133:1994 que estabelece quatro classes para nivelamentos geométricos:

Classe IN – nivelamento geométrico para a implantação de referências de nível (RN) de apoio altimétrico.

Classe IIN – nivelamento geométrico para a determinação de atitudes ou cotas em pontos de segurança (PS) e vértices de polígonos para levantamentos topográficos destinados a projetos básicos, executivos, como executado (*as built*) e obras de engenharia.

Classe IIN – nivelamento trigonométrico para a determinação de altitudes ou cotas em poligonais de levantamento, levantamento de perfis para estudos preliminares e/ou de viabilidade em projetos.

Classe IVN – nivelamento taqueométrico destinado a levantamento de perfis para estudos expeditos.

A precisão obtida utilizando níveis eletrônicos é mais confiável que outros equipamentos. Segundo Salvador (2008) o nivelamento geométrico utilizando níveis eletrônicos é o método mais utilizado dentre os outros aparelhos usados, além de ser o método de nivelamento considerado mais seguro, no quesito precisão dos dados. Devido à qualidade das observações obtidas é utilizado para trabalhos que requerem um alto nível de precisão.

3.5.2 Posicionamento GNSS

O posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é uma das tecnologias mais avançadas no quesito de posicionamento por satélite. Fazem parte do seu sistema as constelações GPS, GLONASS e GALILEO (MÔNICO, 2008).

O monitoramento de deformações estruturais em barragens exige o mais alto nível de acurácia. Dessa forma, a tecnologia GNSS tem sido utilizada no monitoramento da estabilidade de estruturas, sendo que em muitas situações, a informação fornecida pelo GNSS pode ser complementada por outras técnicas de monitoramento.

Diversos são os trabalhos de monitoramento que utilizam como método o posicionamento GNSS. Certas barragens, como a de Pacoima, Califórnia – Estados Unidos, com 113 metros de altura, em forma de arco, e a de Calgary – Canadá, com 160 metros de altura, possuem monitoramento contínuo com o uso do posicionamento por GNSS (MANAKE e KULKARNI, 2002 *apud* GRANEMANN, 2005).

Uma das vantagens desse método é a não necessidade de intervisibilidade entre as estações, facilitando assim o monitoramento de grandes estruturas, sendo também desnecessário um número considerável de pessoas, o que diminui os custos durante o processo.

A partir da técnica de posicionamento GNSS, existem os diferentes métodos que podem ser usados, segundo (MONICO, 2008) são:

- **Posicionamento Relativo Estático:** Os receptores dos vértices de interesse e os receptores dos vértices de referência permanecem estáticos durante todo o processo. Este método de posicionamento é utilizado para realização de transporte de coordenadas, a partir de dois ou mais receptores, instalados por um tempo estimado em função da distância em que se encontra a base geodésica mais próxima. De acordo com a Tabela 1, o tempo de rastreamento em função da distância em que se encontra a base geodésica mais próxima.

Tabela 1: Características do posicionamento relativo estático.

Distância (m)	Tempo (s)
0-10	20
10-20	30
10-20	60
20-100	120
100-500	240
500-1000	480

Fonte: MANUAL DE POSICIONAMENTO (2013).

- Posicionamento Relativo Estático Rápido: Similar ao método descrito anteriormente, porém com tempo máximo de permanência nos pontos de interesse de 20 minutos.
- Posicionamento Relativo Semi-cinemático: Conhecido também como “stop and go”, um receptor ocupa o vértice de referência enquanto os demais percorrem as informações de interesse, em um curto período de tempo.
- Posicionamento Relativo Cinemático: Nesse método enquanto um ou mais receptores permanecem nos pontos de referência, os demais coletam sem parar as informações das feições de interesse.
- Posicionamento a partir do código C/A: Esse método também exige que um ou mais receptores ocupem vértices de referência, o código C/A utiliza como observável a pseudodistância, enquanto os outros métodos utilizam a fase da onda portadora, suas coordenadas tridimensionais são obtidas a partir dos pós processamento dos dados.
- Posicionamento RTK e DGPS: São métodos de posicionamento instantâneo, onde os receptores móveis recebem correções em tempo real.

Apesar da grande precisão adquirida utilizando-se deste método, devem ser levados em consideração os erros obtidos, que são oriundos da antena, do receptor, erros de órbita, erros nos satélites entre outros (MONICO, 2008).

O posicionamento GNSS foi utilizado no trabalho para realização do transporte de coordenadas, assim utilizou-se o método relativo estático, para obtenção das coordenadas dos marcos de apoio.

3.5.3 Trilateração

O Manual de Posicionamento (2013) indica que o processo de trilateração consiste na obtenção das distâncias, entre os vértices intervisíveis de uma rede de triângulos.

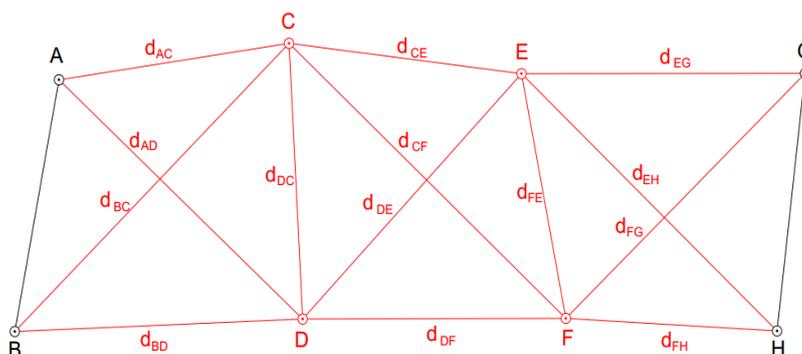
Segundo Granemann (2005), a trilateração é um processo similar ao de triangulação, porém são observados os lados dos triângulos ao invés de ângulos, a partir do uso de distânciômetros eletrônicos. Atualmente são utilizadas estações totais, que são instrumentos que atingem precisões milimétricas.

No método de trilateração são calculadas separadamente as coordenadas verticais e horizontais, mesmo assim os erros das coordenadas horizontais interferem na precisão das coordenadas verticais, porque as distâncias, em todos os arranjos são calculadas em função dos ângulos internos de cada triângulo, onde cada ângulo horizontal é obtido a partir das observações de ré e vante, fazendo com que os erros dos ângulos horizontais sejam propagados às coordenadas dos alvos (GRANEMANN, 2005).

Segundo Granemann (2005), este método tem como objetivo determinar as coordenadas de pontos materializados, visando estabelecer a estimativa da precisão destes pontos.

A Figura 12 abaixo mostra o posicionamento por meio da trilateração que é baseado na observação de distâncias entre os vértices intervisíveis de uma rede de triângulos (MANUAL DE POSICIONAMENTO, 2013).

Figura 12: Método Trilateração.

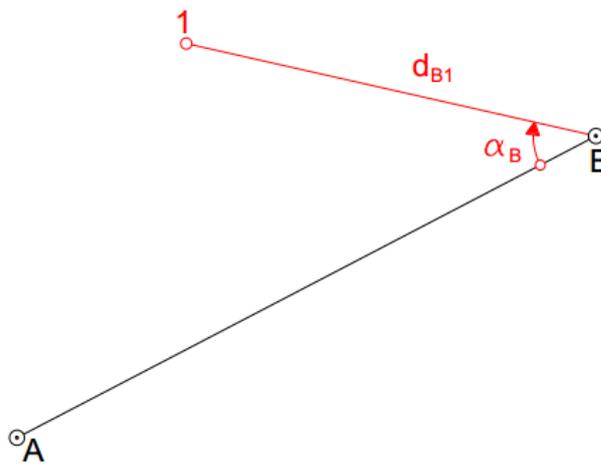


Fonte: MANUAL DE POSICIONAMENTO (2013).

3.5.4 Irradiações

Este método baseia-se na determinação de coordenadas a partir da observação de ângulos e distâncias ou azimutes e distâncias. As coordenadas do ponto de interesse são determinadas a partir da observação entre o vértice de referência ao de interesse, conhecendo assim o ângulo formado pelo alinhamento, conforme a Figura 13 (MANUAL DE POSICIONAMENTO, 2013).

Figura 13: Método de Irradiações.



Fonte: MANUAL DE POSICIONAMENTO (2013).

A irradiação tridimensional é determinada através do método 3D, que se baseia nas coordenadas obtidas a partir da estação de referência como direções horizontais, ângulos verticais e distâncias aos pontos de interesse. Além disso, são medidas as condições atmosféricas de pressão, temperatura seca e temperatura úmida para que se possa trabalhar com o efeito da refração atmosférica (NADAL, 2005).

Três eixos (retas orientadas) ortogonais entre si formam um sistema de coordenadas tridimensionais ortogonal que serve para fornecer coordenadas espaciais de um ponto, ou seja, permite definir a posição deste ponto do espaço. Para que um ponto seja estabelecido de forma única é necessário determinar suas coordenadas cartesianas ortogonais X, Y e Z, onde X é denominado de abscissa, Y de ordenada e Z de cota (MIRANDA *et al.*, 2009).

3.5.5 Estação Total

Todo equipamento atribuído de um teodolito eletrônico integrado com um medidor eletrônico de distâncias, e cujos dados podem ser armazenados dentro de um computador interno, pode ser denominado de estação total. O instrumento permite a medição de três parâmetros, ângulo horizontal, vertical e distâncias (RIBEIRO, 2008).

O método das direções é o mais utilizado para o monitoramento de barragens, com visadas diretas e inversas aos alvos monitorados, determinando assim os deslocamentos oriundos da estrutura.

3.5.6 Levantamento Gravimétrico

Os levantamentos gravimétricos são baseados em medidas das variações do campo da gravidade da Terra, portanto, a gravimetria consiste de um conjunto de técnicas que tem por finalidade a medida da intensidade da gravidade. A gravimetria exerce fundamental importância sobre os levantamentos geodésicos, principalmente entre as componentes geométricas dadas pelas técnicas de posicionamento, como por exemplo, a altitude elipsóidica e as componentes físicas dadas pelo campo gravitacional da Terra, como por exemplo, altitude “ortométrica” (FERREIRA, 2007).

De acordo com Ferreira (2007) os levantamentos gravimétricos com fins geodésicos requerem técnicas e níveis de precisão que permitam a qualidade das observações levantadas bem como um controle rigoroso destas mesmas informações após o processamento das mesmas.

3.5.7 Medidores Triortogonais

Utilizados para obtenção de deslocamentos em juntas e aberturas de fissuras de barragens, galerias, túneis, maciços rochosos e edificações. Os deslocamentos são medidos em três direções ortogonais com o auxílio de um sistema de apoios, construídos em aço inox e fixados convenientemente na estrutura. As medições são obtidas facilmente através de um relógio comparador, onde os dados obtidos são comparados aos dados das diferentes campanhas.

A figura 14 mostra o medidor triortogonal já instalado em uma das juntas da barragem da Usina de Camargos. Na Figura 15 tem se o relógio adaptado para realização das medições.

Figura 14: Medidor Triortogonal.



Fonte: A autora.

Figura 15: Relógio Comparador.



Fonte: A autora.

Consiste em duas peças de aço inox, combinadas, dotadas de braços orientados em três direções ortogonais. Cada parte é fixada em um lado da junta por meio de um gabarito. Para efetuar as leituras, utiliza-se um extensômetro com resolução de 0,01mm (relógio comparador adaptado).

3.5.8 Medidores de Nível D'água

Segundo Machado (2007) é considerado um dos instrumentos mais fáceis de construir e manusear, usado para determinar a posição da linha freática.

Possui a mesma configuração do piezômetro, porem o trecho perfurado do piezômetro possui maior extensão, atingindo a espessura do nível d'água no interior da fundação da barragem (MACHADO, 2007).

Para sua construção é necessária a perfuração do solo e obtenção da cota por meio de um instrumento desejado. Geralmente é utilizado um tubo de PVC (Policloreto de Vinila), para evitar possíveis corrosões ao longo do tempo, onde a ponta é toda perfurada afim de deixar que água entre.

3.5.9 Piezômetros

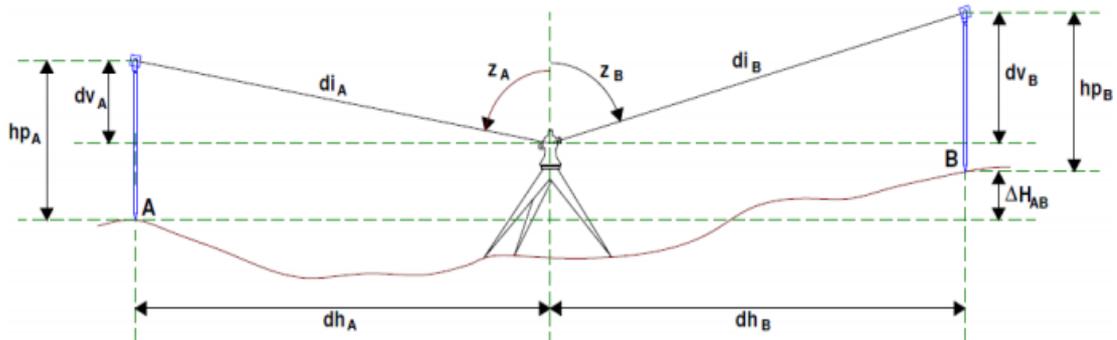
Os piezômetros são um aperfeiçoamento do medidor de nível d'água, é um instrumento bastante simples e fácil de trabalhar, sendo um dos mais utilizados no monitoramento de barragens (MACHADO, 2007).

São facilmente instalados e numerados em ordem crescente da jusante para montante, onde a leitura é realizada por um profissional qualificado ao longo do tempo e em intervalos regulares, permitindo a comparação das leituras.

3.5.10 Técnica *Leap Frog*

A técnica consiste em instalar a estação total entre os dois pontos dos quais se deseja obter o desnível, ao invés de colocá-la sobre um deles. Sobre esses pontos são instalados dois bastões com prismas refletores, que serão visados para obtenção das distâncias inclinadas e dos ângulos zenitais de ré e de vante, esse procedimento não exige que se tenha a altura do instrumento, conforme a Figura 16 (KAHMEN; FAIG, 1988, *apud* SILVA, 2012).

Figura 16: Técnica Leap Frog.



Fonte: SILVA (2012).

dv_A : Distância vertical entre o centro óptico do equipamento e o centro do alvo em A;

dv_B : distância vertical entre o centro óptico do equipamento e o centro do alvo em B;

hp_A : altura do alvo em A;

hp_B : altura do alvo em B;

di_A : distância inclinada entre a estação e o alvo A;

di_B : distância inclinada entre a estação e o alvo B;

dh_A : distância horizontal entre a estação e o alvo A;

dh_B : distância horizontal entre a estação e o alvo B;

Z_A : ângulo zenital da Estação para o alvo A;

Z_B : ângulo zenital da Estação para o alvo B;

ΔH_{AB} : desnível de A para B.

A fim de minimizar os efeitos de curvatura terrestre e refração atmosférica, a estação total deve ser instalada na distância equivalente entre os pontos de ré e de vante. No entanto, à medida que a diferença da visada de ré e vante aumenta é necessário aplicar a correção da curvatura e refração atmosférica (KAHMEN; FAIG, 1988, *apud* SILVA, 2012).

Segundo Chrzanowski (1989 *apud* SILVA, 2012), a *University of New Brunswick* no Canadá testou uma variação deste método com bastões projetados com altura de até 5 m e 3 ou 4 alvos dispostos em alturas diferentes.

3.6 Erros Envolvidos

Além dos possíveis erros gerados pelos equipamentos de topografia, ocorrem os erros dos métodos operacionais, devido às condições atmosféricas e de operação. Os erros podem ser grosseiros, sistemáticos e acidentais ou aleatórios.

- Os erros grosseiros ocorrem por enganos e descuidos do operador ou do auxiliar; normalmente são os que mais acontecem, sendo de fácil identificação.
- Os erros sistemáticos são os que se repetem do mesmo modo, sempre que uma determinada ação se repete nas mesmas circunstâncias, compreendem os erros instrumentais e ambientais, que assumem o mesmo valor em medições realizadas nas mesmas condições, instrumentais e ambientais. São erros que podem ser evitados pela adoção de técnicas especiais de observação, ou quando conhecidos, podem ser expressos por meio de uma formulação matemática que possibilite a sua eliminação posteriori (MOURA 2008, *apud* CORRÊA, 2012).
- Erros acidentais (ou aleatórios) são as imprevisões inevitáveis que afetam cada medida. Esses erros são provocados devido às imperfeições dos sentidos do operador, às irregularidades atmosféricas e aos pequenos erros inevitáveis na construção dos instrumentos. Os erros acidentais atuam de maneira completamente irregular sobre os resultados das medições e se apresentam com sinal positivo e negativo. Somente esses erros irregulares e acidentais são considerados na compensação e no ajustamento por meio de estatística, pois tendem a se neutralizarem à medida que se aumenta o número de observações.

3.7 AJUSTAMENTO DE POLIGONAL

Existem diversos métodos para realização do ajustamento em poligonais, no item a seguir será comentado o método de variação de coordenadas ou método paramétrico.

Só é válido aplicar o ajustamento quando se tem observações redundantes ou superabundantes (CAMARGO, 2000, p.31).

Vale lembrar que o ajustamento não melhora os resultados, apenas fornece uma estimativa da precisão dos resultados obtidos.

3.7.1 Método de Variação de Coordenadas

O método de variação de coordenadas é uma aplicação do método paramétrico de ajustamento para triangulações, trilaterações, poligonal ou a junção destes três, após o ajustamento realizado permite a obtenção das coordenadas finais, após as correções (dx e dy), a partir das coordenadas provisórias, calculadas dos valores observados (GEMAEL, 1994, p. 213, *apud* MORAES, 1997).

São observados ângulos e distâncias em uma poligonal que foi concebida sobre o plano topográfico, portanto faz-se necessário que sejam realizadas as equações que permitam a obtenção dos ângulos e distâncias, para que assim possa ser determinado o ajustamento das coordenadas (X,Y) da poligonal e o ajuste dos valores em estudo. Cada observação no método paramétrico gera uma equação, baseando-se em equações que representem a variação dos azimutes e de cada lado em questão (MORAES, 1997).

Ao final do ajustamento, é aplicado o teste X^2 da forma quadrática dos resíduos, para fazer a comparação entre a variância de unidade de peso *a priori* e a variância de unidade de peso *a posteriori*. Esta comparação permite indicar a qualidade do ajustamento (VANICEK and KRAKIWSKY, 1986, p. 237, *apud* MORAES, 1997).

3.8 PADRONIZAÇÃO DE PILARES GEODÉSICOS

Para leituras de extrema precisão são utilizados pilares geodésicos, pois a construção dos mesmos permite a instalação de equipamentos utilizando centragem forçada.

De acordo com IBGE (2008) os pilares devem ser:

- Formato cilíndrico;
- Diâmetro de 30 cm;
- Altura de 1,30 m;
- Base retangular com 1,30 m x 1,00 m;

- Base superior de alumínio ou similar com dispositivo de centragem forçada (disco) ou com pino ou parafuso de centragem forçada.

Para a construção deve ser utilizado uma forma de PVC cilíndrica, com 0,30 m de diâmetro e 1,30 m de altura.

Devem ser construídos seguindo um padrão proposto pelo IBGE (2008):

- Será adotado o traço proporcional de cimento, areia e pedra britada 1x3x3;
- Indica-se sempre a utilização de pedra britada número 0 (zero) ou 1 (um);
- O marco deverá ser confeccionado no local onde deverá ser implantado, utilizando-se forma de PVC. Na forma de PVC deve ser aplicado óleo queimado nas faces internas, para facilitar a posterior retirada. O concreto deve ser vibrado com vibrador portátil ou martelo de borracha;
- Após a colocação da forma da sapata e da forma do pilar, com suas respectivas ferragens amarradas, travadas, niveladas e aprumadas; efetuar a introdução do concreto, primeiramente nas brocas, depois na sapata retangular, por último no pilar redondo;
- Colocar o concreto aos poucos e envolver o PVC com braçadeiras ou arame para evitar deformação. No caso de pino, o concreto deverá ser colocado até que falem cerca de 10 cm para o topo do pilar;
- Imediatamente após a concretagem do pilar, colocar no seu topo:
 - Disco de imbuia com as mesmas dimensões do disco de alumínio, inclusive com os parafusos de fixação, tomando cuidado para que os parafusos fiquem no mesmo nível do disco de imbuia;
 - Forma de tubo de PVC de ½", até 10 cm de profundidade, e colocar massa ao seu redor. Nas partes internas e externas dessa forma deverá ser aplicado óleo queimado, para facilitar a retirada posterior.
- A forma de PVC do marco deverá ser retirada no prazo de 7 dias após a concretagem. Para facilitar a retirada da forma, o PVC deverá ser cortado nas laterais;
- O disco de imbuia deverá ser retirado, e no seu lugar fixado o disco de alumínio;
- Deverá ser colocada no pilar, na face de melhor visualização e a 20 cm abaixo do topo, chapa cravada padrão IBGE contendo a identificação de acordo com a norma para estação planimétrica;

A Figura 17, apresenta um pilar geodésico já instalado.

Figura 17: Pilar Geodésico.



Fonte: <https://portoimagem.wordpress.com>.

Para sua implantação devem ser seguidos os padrões dispostos pelo IBGE:

- O local de estabelecimento deverá ser público, como escolas, *campus* de universidades, etc; ter horizonte livre, solo firme, fácil acesso, segurança e, preferencialmente, próximo de fonte de energia elétrica;
- Abrir uma cava retangular de 1,40 m x 50 cm de lado com profundidade de 60 cm.
- A aproximadamente 20 cm da ponta da cava retangular abrir com trado de 20 cm de diâmetro um buraco até encontrar solo resistente ao trado;
- Fazer estacas com ferragens (ferro 3/8 de polegada) na mesma metragem dos buracos feitos com o trado, com pontos de amarração e introduzi-las nos buracos;
- Fazer *radier* de 1,30 m x 40 cm.
- Organizar a amarração da seguinte forma: estaca, *radier* e pilar, amarrá-la com arame recozido à armação de ferro da estaca. A ferragem do pilar deverá também ser amarrada com arame recozido à estrutura da sapata. Tomar cuidado com a ligação da ferragem do pilar com a da sapata, para não haver degola do pilar, colocando ferros de ligação.

- Após a colocação desta base retangular, introduzir massa com o traço especificado até cobri-la totalmente.
- Quando a massa da base retangular estiver com consistência suficiente, introduzir a forma do pilar, verticalizando a estrutura com auxílio de fio prumo de pedreiro, colocando escora para que na concretagem do marco não ceda.
- Após a concretagem, colocar no topo do marco:
 - Disco de imbuia das mesmas dimensões do disco de alumínio, com os parafusos necessários para posterior fixação do disco definitivo; ou
 - Forma de PVC de ½ polegada para posterior fixação do pino ou parafuso de centragem forçada.
- A forma deverá ser retirada 7 dias após a concretagem.
- Após a retirada da forma será colocado o disco de alumínio definitivo, o qual será fixado pelos parafusos com rosca ou o pino / parafuso de centragem forçada, que será nivelado por equipamento específico e fixado com epóxi especial para ferro / concreto.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nos próximos tópicos serão descritos itens importantes usados para realização deste trabalho, o local estudado, os materiais utilizados para realização do experimento e os métodos aplicados para obtenção dos dados.

4.1 USINA HIDRELÉTRICA DE CAMARGOS

A seguir uma breve história da Usina de Camargos, retirada do acervo da página Histórias das Usinas.

- A barragem de Camargos começou a ser planejada e logo construída em março de 1956, pela Companhia Momson Knudsen do Brasil.
- Com a dificuldade da época a barragem levou 3 anos para ser finalizada, portanto em maio de 1959 a barragem estava levantada.
- Mesmo construída, apenas em agosto, de 1960 a primeira unidade operadora da barragem entrou em funcionamento.
- Em janeiro, de 1961 a usina foi inaugurada e teve como participantes o governador Jose Francisco Bias Forte e do então presidente da CEMIG.
- Em 1998 a concessão foi prorrogada por mais 20 anos, contados desde 1995.
- Neste ano a CEMIG venceu o leilão e novamente recuperou a Usina de Camargos.

A barragem de Camargos situa-se no município de Itutinga-MG, latitude $21^{\circ}19'34''$ e longitude $44^{\circ}36'53''$.

Tem como curso d'água o Rio Grande, sub bacia o mesmo, e bacia o Rio Paraná.

A estrutura da sua barragem é considerada do tipo de gravidade, mista, visto que é composto por material terroso e concreto.

Possui 598 metros de crista, e 37 metros de altura máxima, a cota na crista é de 915 metros.

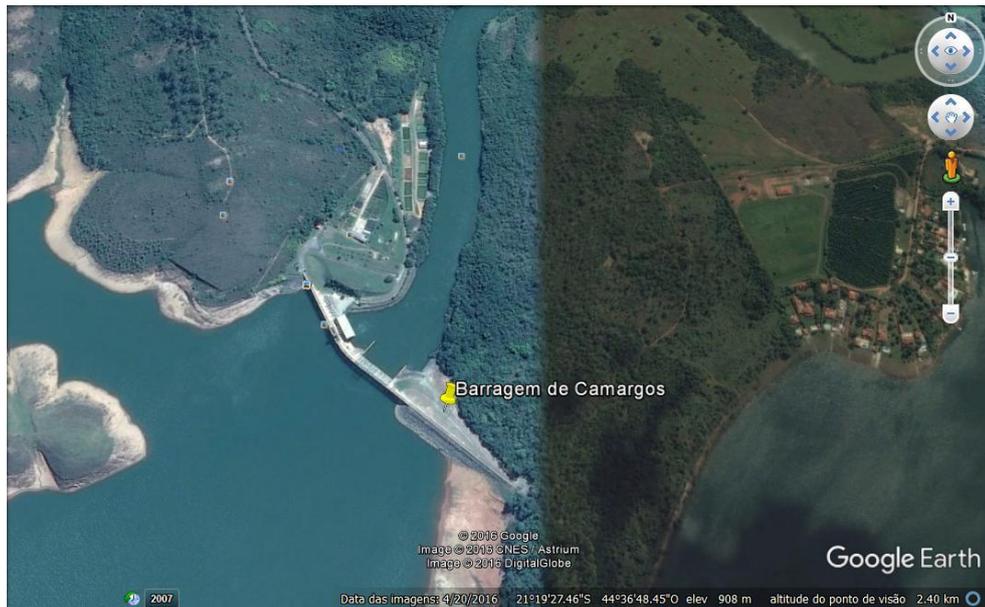
A Usina tem potencial elétrico de 46 MW, e potencial firme de 21 MW.

A Figura 18 apresenta uma imagem da barragem de Camargos, retiradas nos dias de hoje e a Figura 19 representa a localização da Barragem.

Figura 18: Barragem de Camargos.



Figura 19: Localização da Barragem da UHE de Camargos.



Fonte: Google Earth (2007).

4.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para realizar a medição das coordenadas geodésicas dos marcos de referência foram utilizados GPS Leica Viva;

- 3 Tripés;
- 3 Marcos Piramidais.

No processo de monitoramento foram utilizados:

- Estação Total TOPCON, com precisão angular de 1" e linear de 2mm + 2ppm (partes por milhão);
- Trena;
- 3 Tripés;
- 4 Prismas;
- 2 Bases Nivelantes.

4.3 METODOLOGIA

Após o reconhecimento e análise da área de estudo foram instalados três marcos tronco piramidais, em locais que dariam intervisibilidade entre as estações. Inicialmente estava previsto a implantação de pilares de centragem forçada padrão IBGE, porém em função do tempo, não foi possível a implantação optando-se pelo marco padrão INCRA. Além de ficarem intervisíveis, os mesmos se encontram em locais que não sofrem influência da barragem. É sabido que para uma precisão considerada devem ser construídos pilares geodésicos, pois a partir deles é possível realizar centragem forçada, como descrito na revisão, porém para esse estudo não foi possível, por falta de recursos disponíveis.

Utilizando dois receptores GNSS, foi aplicado o método relativo estático para realização do transporte de coordenadas, para obtenção das coordenadas de cada marco geodésico instalado.

Os dois receptores foram instalados em dois dos marcos implantados, os mesmos foram nivelados e configurados para então dar início ao rastreamento simultâneo.

Os receptores foram colocados precisamente sobre os marcos e deu se início a coleta de dados, como mostram a Figura 20 e Figura 21.

Figura 20: Receptor GNSS rastreando marco M2.



Figura 21: Receptor GNSS rastreando marco M3.



O tempo total de rastreamento foi de aproximadamente 120 minutos, seguindo a Tabela 1, visto que a base geodésica mais próxima se encontra em Varginha-MG, à cerca de 100 km do local de estudo.

Os dados obtidos nos receptores foram transferidos e calculados no *Software GNSS Solutions*, obtendo-se então as coordenadas dos marcos de apoio, as quais foram trabalhadas no plano topográfico local com origem georreferenciada.

Após a obtenção das coordenadas foi realizado um estudo detalhado, para propor a melhor metodologia para realização do monitoramento da barragem. O método proposto utilizando-se de uma estação total, foi o método das direções com 4 séries de leitura em cada ponto.

Antes da coleta de dados, foram colocados na estrutura, chapas de ferro, seguindo a direção dos medidores triortogonais que se encontram dentro da galeria, em cada ponto de junta foram colocadas duas chapas a uma distância de aproximadamente 1 metro para esquerda e para a direita.

Essas chapas são usadas para instalação dos prismas na estrutura, onde são feitas as visadas para obtenção do valor de seus deslocamentos. Foram implantados 5 pontos (juntas), 2 chapas para cada ponto, totalizando 10 posições dispostas pela estrutura.

A Figura 22 mostra as chapas, com os prismas instalados.

Figura 22: Chapas com prismas instalados na estrutura.



Figura 23: Ilustração dos marcos e prismas utilizados no monitoramento.



A estação total foi posicionada em cada marco, instalada e nivelada. Em seguida fez-se a visada a ré com um ângulo de 0° e em seguida fez-se a leitura direta e inversa na vante, o mesmo processo é realizado com angulosas direções iniciais de 45° , 90° e 135° .

Feito isto foram realizadas as leituras sobre os alvos na estrutura, com visadas direta e inversa em todos os pontos.

O mesmo procedimento foi realizado nos 3 marcos de referência. Foram feitas duas campanhas para a obtenção dos dados, uma no dia 05-09-2016 e a segunda no dia 15-09-2016, seguindo o mesmo processo descrito acima.

Os dados foram transferidos no *software* DataGeosis Office Educacional, calculados, e então foi realizado o ajustamento da poligonal. O ajustamento também foi realizado utilizando uma planilha elaborada no Excel, para uma análise dos dois ajustamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ajustamento da poligonal levantada no dia 05-09-2016 foi realizado a partir de uma planilha realizada no Excel para cálculo do modelo da poligonal em questão.

Abaixo serão descritos passo a passo, os cálculos utilizados e os respectivos resultados obtidos, para realização do ajustamento pelo método paramétrico.

Foram observadas três distâncias e três ângulos, os quais serão utilizados para o cálculo e ajustamento, conforme disposto na Tabela 2.

Tabela 2: Observações Médias.

Ré	Estação	P. Visado	AH Lido (° ' ")	D Horizontal
E2	E3	E1	14°54'46,83"	279,9147
E3	E1	E2	130°38'55,5"	127,3913
E1	E2	E3	34°26'13,88"	375,5752

Os dados acima foram calculados a partir das médias em cada estação obtendo se assim as distâncias médias e os ângulos médios.

Para cálculo do azimute foi utilizado a Equação 1 abaixo:

$$Az = Azi + AH \pm 180^\circ \quad (1)$$

Sendo: Az (azimute encontrado);

Azi (azimute inicial);

AH (ângulo horizontal).

Obteve se assim os seguintes azimutes conforme Tabela 3:

Tabela 3: Azimutes Obtidos em cada estação.

Ré	Estação	P. Visado	Azimutes(decimal)
E2	E3	E1	151,90945342318
E3	E1	E2	102,55820342318
E1	E2	E3	316,99539231207
E2	E3	E2	136,99539231207

Com estes dados mostrados acima tem início o cálculo das matrizes.

- 1- Matriz “A” que é definida como matriz das derivadas parciais. Sua dimensão é definida pelo número de equações em “i” e incógnitas em “j”. Sendo assim a Tabela 4, mostra como ficou para o ajustamento da poligonal em estudo.

Tabela 4: Matriz A.

0,4708663389	-0,8822045788	0	0
-0,9760756033	0,2174311747	0,9760756033	-0,2174311747
0	0	0,6820097546	-0,7312540072
-650,0828877747	-346,9741109218	0	0
1002,1351795134	1927,3806629616	-352,0522917387	-1580,4065520398
-352,0522917387	-1580,4065520398	-49,5502797565	1205,8487806562
0	0	401,6025714952	374,5577713837

- 2- Matriz “P” matriz dos pesos. Dada pela Equação 2:

$${}_7P_7 = \sigma_0^2 ({}_7 \Sigma L_7^b) \quad (2)$$

Na Tabela 5, tem se a matriz dos pesos, calculada a partir da precisão esperada para medições angulares (1”) e lineares (2mm + 2ppm).

Tabela 5: Matriz “P” (m).

P =	0,002500	0	0	0	0	0	0
	0	0,002500	0	0	0	0	0
	0	0	0,002500	0	0	0	0
	0	0	0	0,250000	0	0	0
	0	0	0	0	0,250000	0	0
	0	0	0	0	0	0,250000	0
	0	0	0	0	0	0	0,250000
	0	0	0	0	0	0	0,250000

- 3- Vetor dos Termos independentes “L”, que se dá pela subtração entre os valores observados Tabela 6 e os obtidos Tabela 7 a partir dos parâmetros aproximados, como mostra a Equação 3, com o resultado apresentado na Tabela 8

$$L = L_0 - L_b \quad (3)$$

Tabela 6: Vetor Lo.

279,9147039052
127,3912935686
375,5507358211
14,9130081631
130,6487455721
34,4374277952
0,0008184696

Tabela 7: Vetor Lb.

279,9147
127,3913
375,5752
14,9130083
130,6487500
34,4371889
0,0000000

Tabela 8: Vetor L.

0,00000390519
-0,00000643141
-0,02446417891
-0,00061290930
-0,01594029674
0,86006264533
2,94649056084

4- Cálculo das Equações Normais, dado por:

$$N = A^T \cdot P \cdot A \quad (4)$$

E por:

$$U = A^T \cdot P \cdot L \quad (5)$$

Obtendo se assim os valores como mostram as Tabelas 9 e 10 respectivamente.

Tabela 9: Matriz “N”.

387705,87671	678360,91023	-83839,92664	-502075,70708
678360,91023	1583218,03290	-150057,29764	-1237944,08555
-83839,92664	-150057,29764	71920,17149	161764,74029
-502075,70708	-1237944,08555	161764,74029	1023012,42037

Tabela 10: Vetor “U”.

-79,59072888
-347,43974898
286,57837313
541,48218958

5- Vetor das incógnitas, dado pela equação abaixo.

$${}_4X_1 = -N^{-1}U \quad (6)$$

Como resultado tem se os valores abaixo, na Tabela 11.

Tabela 11: Vetor "X"(m).

0,00454881
-0,01125507
0,00719808
-0,01305475

6- Vetor das coordenadas ajustadas. Obtido por:

$${}_4X_1^a = X^0 + X \tag{7}$$

Assim tendo como valor de coordenadas ajustadas, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12: Vetor "X_a".

150131,8069
249753,0467
150256,1531
249725,3468

7- Vetor dos resíduos.

$$V = AX + L \tag{8}$$

Tendo como resultado os valores encontrados na Tabela 13.

Tabela 13: Vetor dos Resíduos.

0,0121
0,0029
-0,0100
0,9475
0,9475
0,9475
0,94750

8- Variância da unidade peso *a posteriori*. Obtida a partir da equação abaixo.

$$\hat{\sigma} = \frac{V^T.P.V}{n-u} \tag{9}$$

O valor resultante da variância peso *a posteriori* foi de 0,2992522957.

9- MVC (matriz variância covariância) das coordenadas ajustadas. Calculada a partir da equação a seguir.

$$\sum X^a = \sigma_o^2 \cdot N \quad (10)$$

Tendo como resultado a matriz da Tabela 14.

Tabela 14: MVC das Observações Ajustadas.

$\sum X =$	8,826651880384	-16,537412173060	17,153786347065	-18,392368973020
	-16,537412173060	30,984122961716	-32,138947348939	34,459530134341
	17,153786347065	-32,138947348939	33,336820237396	-35,743889044668
	-18,392368973020	34,459530134341	-35,743889044668	38,324765477515

10- Teste Qui Quadrado

Teste X^2 da forma quadrática dos resíduos:

Hipótese básica: $H_0: \sigma^2 = \hat{\sigma}^2$

Hipótese alternativa: $H_1: \sigma^2 \neq \hat{\sigma}^2$

$$X^2 \text{ calculado, } X^2 = \frac{\sigma^2}{\hat{\sigma}^2} (n - u) = \sigma^2 (n - u)$$

O mesmo resultou em um valor de 0,897756887

X^2 teórico com $\alpha = 1\%$

0,5 $\alpha = 0,005$

1 - 0,5 $\alpha = 0,995$

Sendo, portanto aceito no teste realizados.

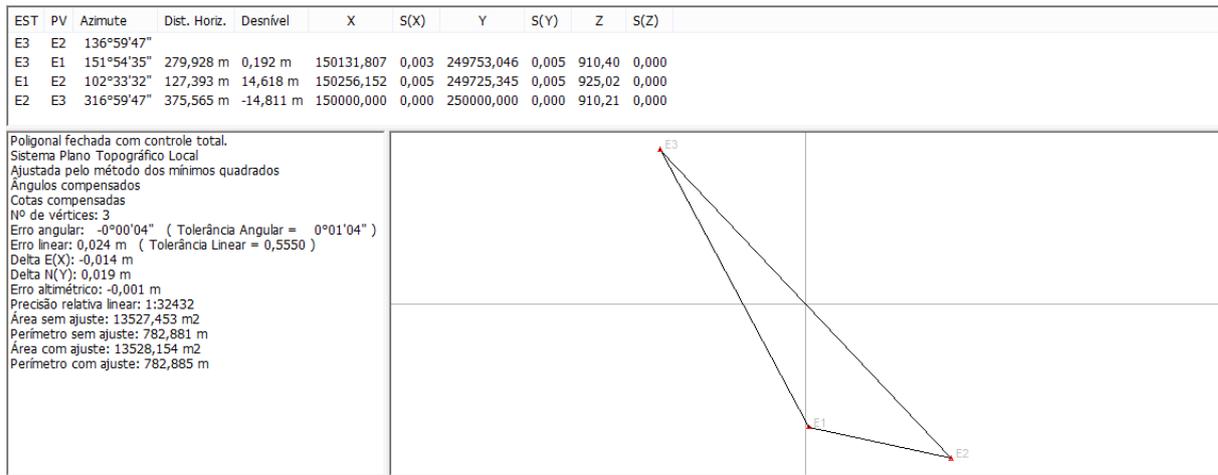
Sendo a hipótese básica aceita no teste realizado.

Os dados obtidos no ajustamento utilizando a planilha do Excel, comparados aos cálculos no *software* DataGeosis foram avaliados resultando em valores mínimos, mostrando a eficiência do *software* utilizado, portanto os dados da segunda campanha realizada dia 15-09-2016, foram calculados utilizando-se o *software* DataGeosis office.

A seguir serão mostrados os dados obtidos após o cálculo e ajustamento das poligonais realizadas.

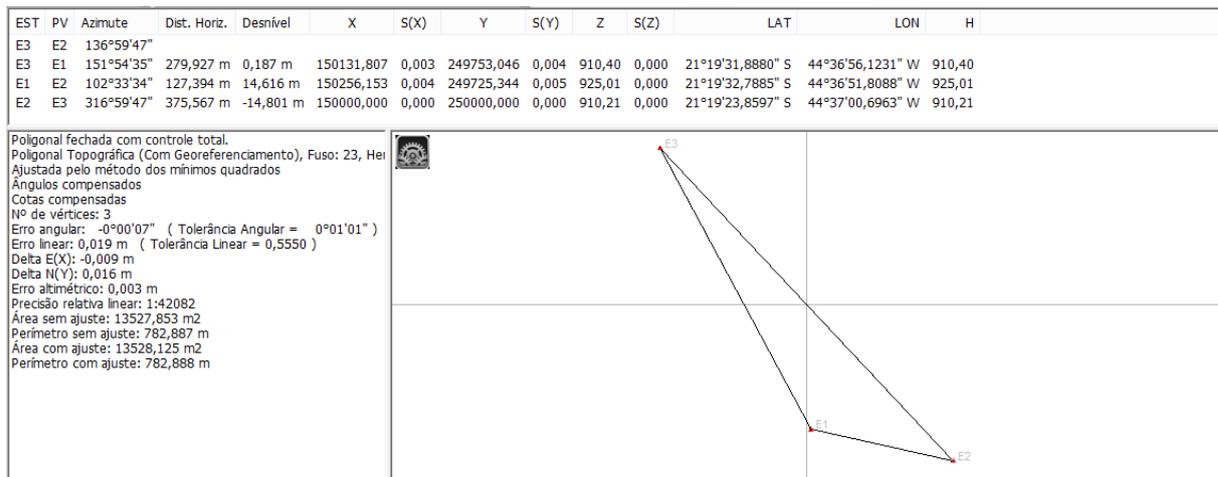
A Figura 24, mostra a poligonal realizada no dia 05-09-2016, calculada e ajustada com seus respectivos erros e coordenadas obtidos.

Figura 24: Poligonal 05-09-2016.



A Figura 25 mostra a poligonal do dia 15-09-2016, contendo os mesmos dados da Figura 24.

Figura 25: Poligonal Calculada 15-09-2016.



O Quadro 1, mostra a diferença obtida entre as coordenadas das duas poligonais realizadas, em X e Y, ajustada pelo software DataGeosis.

Quadro 1: Diferença entre coordenadas das poligonais.

Data	Estação	PV	Coordena X (m)	Coordenada Y (m)	Diferença Obtida em X(m)	Diferença Obtida em Y(m)
05/set	E3	E1	150131,801	249753,057	-0,004	0
	E1	E2	150256,144	249725,357	-0,009	-0,001
	E2	E3	149999,986	250000,019	0,001	-0,001
15/set	E3	E1	150131,805	249753,057		
	E1	E2	150256,153	249725,358		
	E2	E3	149999,985	250000,02		

O resultado das diferenças das coordenadas mostrado acima apresenta um erro milimétrico entre as duas campanhas, sendo, portanto, consideradas campanhas precisas quando se avalia os resultados da poligonal principal. Possíveis erros sistemáticos podem estar associados às observações justificando os valores superiores a dois milímetros encontrados para as diferenças. Um exemplo refere-se à centragem do equipamento estar sendo realizada a partir de tripés de alumínio. Este problema está previsto ser sanado a partir do momento em que se realizar a implantação dos pilares de centragem forçada padrão IBGE. Diante dessas considerações pode-se afirmar que a metodologia proposta irá atender aos níveis de precisão necessários para auscultação da barragem.

Apesar destas diferenças serem consideradas aceitáveis, a mesma pode ser melhorada, para que a precisão das observações aumente também, sendo assim se faz necessário novas campanhas.

No Quadro 2, seguinte apresenta as coordenadas calculadas obtidas da Estação 1, dos alvos instalados na estrutura do dia 5-09-2016.

Quadro 2: Coordenadas X e Y da Estação 1 do Dia 05-09-2016.

Coordenadas X e Y da Estação 1 do Dia:05-09			
Alvo	Estação	X(m)	Y(m)
A1	ESTACAO 1	150091,555	250001,613
A2	ESTACAO 1	150093,175	250000,335
A3	ESTACAO 1	150183,897	249928,02
A4	ESTACAO 1	150185,378	249926,521
A5	ESTACAO 1	150205,589	249888,810
A6	ESTACAO 1	150206,528	249887,045
A7	ESTACAO 1	150224,494	249860,369
A8	ESTACAO 1	150225,447	249858,570
A9	ESTACAO 1	150231,529	249847,109
A10	ESTACAO 1	150232,486	249845,308

Quadro 3: Coordenadas X e Y da Estação 1 do Dia 15-09-2016.

Coordenadas X e Y da Estação 1 do Dia:15-09-2016			
Alvo	Estação	X(m)	Y(m)
A1	ESTAÇÃO 1	150091,525	250001,608
A2	ESTAÇÃO 1	150093,159	250000,333
A3	ESTAÇÃO 1	150183,886	249928,025
A4	ESTAÇÃO 1	150185,363	249926,526
A5	ESTAÇÃO 1	150205,583	249888,814
A6	ESTAÇÃO 1	150206,524	249887,048
A7	ESTAÇÃO 1	150224,484	249860,378
A8	ESTAÇÃO 1	150225,440	249858,574
A9	ESTAÇÃO 1	150231,522	249847,113
A10	ESTAÇÃO 1	150232,478	249845,315

No quadro 4 a seguir tem se o resultado da diferença entre as coordenadas obtidas da Estação 1, nos dias 05-09-2016 e 15-09-2016.

Quadro 4: Diferença entre as coordenadas da Estação 1.

Diferença entre as coordenadas X e Y da Estação 1	
0,030	0,005
0,016	0,002
0,011	-0,005
0,015	-0,005
0,006	-0,004
0,004	-0,003
0,010	-0,009
0,007	-0,004
0,007	-0,004
0,008	-0,007

Pode se dizer que a partir dos dados da comparação entre essas coordenadas, há um erro maior nas coordenadas X, nas primeiras leituras, as seguintes mostram uma melhora, porém ainda possuem erros que devem ser minimizados.

No Quadro 5, seguinte apresentam-se as coordenadas calculadas obtidas da Estação 2, dos alvos instalados na estrutura do dia 05-09-2016.

Quadro 5: Coordenadas X e Y da Estação 2 do Dia:05-09-2016.

Coordenadas X e Y da Estação 2 do Dia:05-09-2016			
Alvo	Estação	X(m)	Y(m)
A1	ESTAÇÃO 2	150091,510	250001,614
A2	ESTAÇÃO 2	150093,136	250000,335
A3	ESTAÇÃO 2	150183,877	249928,031
A4	ESTAÇÃO 2	150185,347	249926,527
A5	ESTAÇÃO 2	150205,578	249888,821
A6	ESTAÇÃO 2	150206,520	249887,055
A7	ESTAÇÃO 2	150224,488	249860,374
A8	ESTAÇÃO 2	150225,441	249858,573
A9	ESTAÇÃO 2	150231,519	249847,110
A10	ESTAÇÃO 2	150232,476	249845,3110

No Quadro 6, seguinte apresentam-se as coordenadas calculadas obtidas da Estação 2, para os alvos instalados na estrutura no dia 15-09-2016.

Quadro 6: Coordenadas X e Y da Estação 2 do Dia:15-09-2016.

Coordenadas X e Y da Estação 2 do Dia:15-09-2016			
Alvo	Estação	X(m)	Y(m)
A1	ESTACAO 2	150091,536	250001,625
A2	ESTACAO 2	150093,172	250000,353
A3	ESTACAO 2	150183,892	249928,031
A4	ESTACAO 2	150185,382	249926,536
A5	ESTACAO 2	150205,590	249888,821
A6	ESTACAO 2	150206,531	249887,054
A7	ESTACAO 2	150224,494	249860,375
A8	ESTACAO 2	150225,451	249858,576
A9	ESTACAO 2	150231,534	249847,112
A10	ESTACAO 2	150232,492	249845,311

No Quadro 7 abaixo tem-se o resultado da diferença entre as coordenadas obtidas da Estação 2, nos dias 05-09-2016 e 15-09-2016.

Quadro 7: Diferença entre as coordenadas da Estação 2

Diferença entre as coordenadas X e Y da Estação 2	
-0,026	-0,011
-0,036	-0,018
-0,015	0,000
-0,035	-0,009
-0,012	0,000
-0,011	0,001
-0,006	-0,001
-0,010	-0,003
-0,015	-0,002
-0,016	0,000

A partir da comparação a precisão é melhor que a da Estação 1, porém não muito significativa, apresenta melhores resultados em Y e piores em X.

No Quadro 8, seguinte apresentam-se as coordenadas calculadas obtidas da Estação 3, para os alvos instalados na estrutura no dia 05-09-2016.

Quadro 8: Coordenadas X e Y da Estação 3 do Dia:05-09-2016.

Coordenadas X e Y da Estação 3 do Dia:05-09-2016			
Alvo	Estação	X(m)	Y(m)
A1	ESTAÇÃO 3	150091,525	250001,618
A2	ESTAÇÃO 3	150093,157	250000,346
A3	ESTAÇÃO 3	150183,884	249928,035
A4	ESTAÇÃO 3	150185,365	249926,532
A5	ESTAÇÃO 3	150205,579	249888,820
A6	ESTAÇÃO 3	150206,520	249887,052
A7	ESTAÇÃO 3	150224,489	249860,377
A8	ESTAÇÃO 3	150225,444	249858,572
A9	ESTAÇÃO 3	150231,522	249847,109
A10	ESTAÇÃO 3	150232,475	249845,300

No Quadro 9, seguinte apresentam-se as coordenadas calculadas obtidas da Estação 3, para os alvos instalados na estrutura no dia 15-09-2016.

Quadro 9: Coordenadas X e Y da Estação 3 do Dia:15-09-2016.

Coordenadas X e Y da Estação 3 do Dia:15-09-2016			
Alvo	Estação	X(m)	Y(m)
A1	ESTACAO 3	150091,526	250001,628
A2	ESTACAO 3	150093,157	250000,353
A3	ESTACAO 3	150183,887	249928,050
A4	ESTACAO 3	150185,368	249926,545
A5	ESTACAO 3	150205,587	249888,840
A6	ESTACAO 3	150206,529	249887,074
A7	ESTACAO 3	150224,497	249860,395
A8	ESTACAO 3	150225,455	249858,595
A9	ESTACAO 3	150231,530	249847,125
A10	ESTACAO 3	150232,486	249845,323

No Quadro 10 abaixo tem-se o resultado da diferença entre as coordenadas obtidas da Estação 3, nos dias 05-09-2016 e 15-09-2016.

Quadro 9: Diferença entre as coordenadas da Estação 3.

Diferença entre as coordenadas X e Y da Estação 3	
-0,001	-0,010
0,000	-0,007
-0,003	-0,015
-0,003	-0,013
-0,008	-0,020
-0,009	-0,022
-0,008	-0,018
-0,011	-0,023
-0,008	-0,016
-0,011	-0,023

Na última comparação pode se dizer que os resultados melhoram em X e a diferença em Y aumenta.

Observando-se os resultados apresentados nos quadros 4, 7 e 10 verificam-se diferenças acima do centímetro para alguns vértices. Essas diferenças são justificadas devido à utilização de prismas padrão, os quais, pelo seu tamanho, não está sendo possível realizar o direcionamento de maneira perpendicular à linha de visada devido à existência de uma grade de proteção ao longo da crista da barragem. Este problema será resolvido com a utilização de mini-prismas os quais poderão ser posicionados em quaisquer direções devido ao seu menor tamanho.

Outra justificativa refere-se a não utilização de bases nivelantes nas posições dos prismas, restando a possibilidade de análise dos vértices apenas entre as mesmas estações de levantamento. Assim com a utilização de mini-prismas todas as visadas de uma mesma estação serão realizadas com os alvos na mesma direção (centragem forçada).

6 CONCLUSÕES

O trabalho apresentado teve o objetivo de propor uma metodologia para realização do monitoramento da UHE de Camargos, desde a materialização de coordenadas ao resultado final obtido.

Entretanto, pode se dizer que a precisão obtida foi esperada e considerada boa para o estudo, sabendo-se da existência dos erros sistemáticos que serão posteriormente corrigidos, com adoção de pilares de centragem forçada e uso de mini prismas, no quesito planimetria. A parte altimétrica também será aprimorada a partir da utilização de nivelamento geométrico para todos os pontos da estrutura, considerando-se dois dos pilares a serem implantados como referências de partida e chegada.

Os dados obtidos das coordenadas dos alvos possuem erros oriundos das visadas em que os prismas não permitem a leitura no centro.

Pode se concluir que a metodologia proposta, funciona e é precisa, quando se observa os dados da poligonal, porém pode-se afirmar que os erros podem ser minimizados com o auxílio da construção dos pilares geodésicos como recomendado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6122: projeto e execuções de fundações. Rio de Janeiro. 1996.

ANDOLFATO, Silvio Henrique Dellesposte; FAGGION, Pedro Luis. Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Níveis Digitais. Bol. Ciênc. Geod, Curitiba, v. 17, n. 16, p.188-199, jun. 2011.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Geração: 2014. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=8938> Acessado em 20 de fevereiro de 2016.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Geração: 2010. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=8938> Acessado em 20 de agosto de 2016.

BARRAGON. SkyscraperCity. 2015. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/index.php>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

BATISTA, E. T.; GRAÇA, N. G.; PACELLI, W. A. Execução de concreto compactado com rolo em Lajeado – Consolidação da experiência. In: Congresso Brasileiro do Concreto. 44. 2002, Belo Horizonte, 2002. p.156.

BEBIANO, Rui. Moura Digital. 1993/2013. Disponível em:

<<http://www.mouradigital.com/pag.php?se=moura&pa=alqueva>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

BENEVOLO, Nahul. Diretrizes para o projeto de barragens de concreto. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. Rio de Janeiro, 1973. p. 1 - 21.

BRADLEY, Simon. Uma viagem para conhecer o gigante de concreto. 2011.

Disponível em: <<http://www.swissinfo.ch/por/uma-viagem-para-conhecer-o-gigante-de-concreto/5536108>>. Acesso em: 12 set. 2016

BRASIL, Portal.1974-Itaipu- Barragem Principal. 2013. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2010/10/itaipu-binacional/1974---Itaipu---Barragem-Principal-.jpg/view>. Acesso em: 16 ago. 2016.

BRASIL, Decreto-Lei n. 12.334 de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 181, p.1, 21 set., 2010. Seção 1.

CAMARGO, Paulo de Oliveira. Ajustamento de Observações. Notas de Aulas do Curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura. FCT/UNESP, São Paulo, 2000.

CASTRO, André Luís Pereira de. NIVELAMENTO ATRAVÉS DO GPS: avaliação e proposição de estratégias. 2012. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp, Presidente Prudentes, 2012.

CBDB. COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS. Núcleo de São Paulo. Guia Básico de Segurança de Barragens, São Paulo: 1989. 78p. Manual.

CIVIL, Defesa. Barragem do Sul. Disponível em: <<http://www.defesacivil.sc.gov.br/index.php/midia/galeria-de-fotos/category/43-barragem-sul-ituporanga.html>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

CNPGB. Large Dams in Portugal. 1992. Disponível em: <http://cnpgb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/Guilhofrei.htm>. Acesso em: 10 ago. 2016.

COPEL. Usina Derivação do Rio Jordão. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/044b34faa7cc1143032570bd0059aa29/20f22e14cbf1ebbd032574120053221d>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

CORRÊA, Cícero Pimentel. Metodologia para controle de recalques em estruturas de concreto armado por meio de nivelamento geométrico de precisão. 2012. 53 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

COSTA, Walter Duarte. Geologia de Barragens. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

DIEL, Vitor. Região Metropolitana. 2007. Disponível em: <<https://portoimagem.wordpress.com/2011/04/17/marcos-geodesicos-chamam-a-atencao-em-pontos-da-cidade/>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

DONADON, José Marcos. PROGRESSOS RECENTES NO PROJETO E CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO. Xxx Seminário Nacional de Grandes Barragens, Foz do Iguaçu, maio 2015.

FERREIRA, Vagner Gonçalves. LEVANTAMENTOS GRAVIMÉTRICOS. 2007. 21 f. Curitiba, 2007

GOUVEIA, Fernanda. Tipos de barragens. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/tipos-de-barragens_13731_10_0>. Acesso em: 02 ago. 2016.

GRANEMANN, D. C. Estabelecimento de uma rede geodésica para o monitoramento de estruturas: estudo de caso na Usina Hidrelétrica Salto Caxias, Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. NS DGC NO 29/88: Padronização de Marcos Geodésicos, 2008. 28 p.

KAVAMURA, Emílio Eiji. Estudo do comportamento termo estrutural bidimensional de barragens de concreto utilizando o Método dos Elementos Finitos. 2005. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MACHADO, Willian Glandstone de Freitas. Monitoramento de Barragens de Contencão de Rejeitos da Mineração. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARANGON, Marcio. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006. 1 v.

MANUAL DE POSICIONAMENTO. Ministério do desenvolvimento agrário. Brasília, 2013.

MANUAL DE SEGURANÇA E INSPEÇÃO DE BARRAGENS. Ministério da Integração Nacional. Brasília, 2002.

MILITITSKY, J.; SCHINAID, F CONSOLI, N. C.; Patologias das Fundações. 2ª. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2015. 63p.

MIRANDA, F. A., FAGGION P. L., VEIGA, L. A. Método para o monitoramento de pontos em áreas instáveis. Boletim de Ciências Geodésicas, sec. Artigos, Curitiba, v. 15, n° 4, p.498-513, outubro a dezembro, 2009.

MOLITERNO, A. Caderno de estruturas em alvenaria e concreto simples, São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

MÔNICO, João Francisco Galera. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2008. 473 p.

MONTEIRO, Gilberto da Silva et al. Análise sísmica e avaliação da segurança estrutural de barragens gravidade de betão compactado com cilindro. 2013.

MORAES, Carlito Vieira de. Aplicação do ajustamento às poligonais. 1997. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

NADAL, Carlos Aurélio. Monitoramento Geodésico da Barragem Salto de Caxias. In: XXVI SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. Goiania, 2005. p. 1 - 11.

Prefeitura de Campos Novos. Guia Da Cidade. Disponível em: <<http://camposnovos.sc.gov.br/turismo/item/detalhe/7971>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

RELATORIO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (RSB). Barasilia: Agência Nacional de Águas (ANA), 2015. 160 p.

RIBEIRO, Fernando Cesar Dias. Proposta de metodologia para verificação da estabilidade dos pilares de redes para monitoramento geodésico de barragens - Estudo de caso. 2008. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SALVADOR, Dalvino Francisco. Topografia Prática. 5. ed. Blumenau: Editora FURB, 2008. 77 p.

SANTOS, D. P.; Avaliação do uso de nivelamento trigonométrico no transporte de altitudes para regiões de difícil acesso. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

SCHNEIDER, Samuel Augusto. Dimensionamento e análise de estabilidade de barragem de gravidade em concreto. 2011. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2011.

SIGUEL, A. R.; FAGGION, P. L.; VEIGA, L. A. K.; NADAL, C. A.; MATTOS, M. DAS.; SOARES, M. A. Aplicação do método de irradiação tridimensional no monitoramento de barragens. Boletim de Ciências Geodésicas (Online) v. 19, p. 391-406, 2013.

SILVA, Raquel Naiara Fernandes. Avaliação do método de nivelamento trigonométrico, técnica leap-frog, na determinação de recalque em grandes estruturas: Estudo de caso para a UHE Mauá. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SILVEIRA, João Francisco Alves. Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 416 p.

STEPHENS, Tim. Manual sobre pequenas barragens de terra: Guia para a localização, projeto e construção. Roma: Fao, 2011. 120 p.

VIEIRA, Bruno Filipe Quintas. Análise do comportamento estrutural de barragens abóbada com descarregadores de superfície de grandes dimensões. 2009. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Portugal, 2009.