

Padronização de infraestrutura e metodologia nos levantamentos topográficos de monitoramento de barragens com estudo de caso

Standardization of infrastructure and methodology in topographic surveys for monitoring dams with a case study

Cintia Ribeiro Daher (1); Flavio Esser Sant'Ana (2)

(1) Engenheira Civil, PUC-PR, Copel Geração e Transmissão - cintia.daher@copel.com

(2) Engenheiro Eletricista, Estácio de Sá, Copel Geração e Transmissão - flavio.esser@copel.com

Resumo

Nos últimos anos ocorreram dois acidentes com barragens de proporções catastróficas, Córrego do Feijão em Brumadinho e Fundão em Mariana, barragens de rejeito, ambas no estado de Minas Gerais. Estes eventos levantaram inúmeros questionamentos e deram enfoque ao monitoramento dessas estruturas. Os instrumentos e toda a metodologia aplicada para esta finalidade passaram a receber um olhar mais crítico. Este movimento proporcionou a entrada e difusão de inúmeras tecnologias. A evolução de equipamentos já consolidados e a entrada de outros que antes tinham aplicação em finalidades diferentes, passaram a integrar esses monitoramentos. Estas tecnologias, recentes ou mais antigas, foram adaptadas ou mescladas e passaram a auxiliar no monitoramento, seja em tempo real ou em períodos intermitentes. Este trabalho visa propor a aplicação de uma padronização dos métodos e da infraestrutura usualmente empregados no monitoramento além dos procedimentos relacionados aos levantamentos topográficos de marcos superficiais de barragens, buscando assim garantir confiabilidade e segurança na obtenção dos dados colhidos em campo, minimizando assim eventuais erros advindos desses levantamentos. A proposta envolve um estudo de caso demonstrando os ganhos dessa padronização na em relação com o praticado atualmente.

Palavra-Chave: topografia, marcos superficiais de barragens, método, procedimentos, barragens.

Abstract

In recent years there have been two accidents with dams of catastrophic proportions, Córrego do Feijão in Brumadinho and Fundão in Mariana, tailing dams, both in the state of Minas Gerais. These events raised numerous questions and focused on monitoring these structures. The instruments and all the methodology applied for this purpose started to receive a more critical look. This movement provided the entry and diffusion of numerous technologies. The evolution of already consolidated equipment and the entry of others that used to be used for different purposes now integrate this monitoring. These technologies, recent or older, were adapted or merged and started to assist in monitoring, either in real time or in intermittent periods. This work aims to propose the application of a standardization of methods and infrastructure usually employed in monitoring, in addition to the procedures related to topographic surveys of dam surface landmarks, thus seeking to ensure reliability and safety in obtaining data collected in the field, thus minimizing any errors arising of these surveys. The proposal involves a case study demonstrating the gains of this standardization in relation to what is currently practiced.

Keywords: topography, dam's superficial landmarks, methodology, procedures, dams

1 Introdução

A topografia tem como finalidade determinar as dimensões e contornos da superfície física da Terra, desconsiderando a curvatura resultante de sua esfericidade, por meio da medição de distâncias, direções e altitudes. Especialmente na construção de uma barragem onde atua em todas as etapas, na fase de inventário, projeto, até na construção do corpo da barragem e de todas as outras estruturas associadas ao empreendimento. Depois de construída, a topografia ainda é fundamental no monitoramento durante toda a vida útil da barragem.

Este monitoramento é composto pela instrumentação, em que a topografia está inserida e pelas inspeções visuais, visando analisar o comportamento e desempenho da estrutura, sem comprometê-la. Dentre as atividades de cada etapa destacam-se:

- Instrumentação: processo de aquisição, registro e processamento sistemático dos dados obtidos a partir dos instrumentos de medida instalados no maciço ou nas fundações da barragem.
- Inspeção visual: processo da auscultação qualitativa, através de vistorias periódicas de campo e a execução de ensaios.

Estes processos devem ser realizados em conjunto durante toda a vida útil da barragem, de forma a fornecer subsídios necessários para uma eventual revisão (KUPERMAN, MORETTI, *et al.*, 2005) ou adaptação dos procedimentos adotados na construção, operação ou manutenção da barragem, definindo a etapa de controle do empreendimento, permitindo ainda verificar se uma dada condição de risco está se desenvolvendo ou se é potencialmente viável de ocorrer (FUSARO, 2005).

A instrumentação se refere a aquisição dos dados nas medições das grandezas físicas e químicas por um período de tempo, que mostram o comportamento da estrutura e de suas fundações a médio e longo prazo, resultado da variação do comportamento dinâmico (RIBEIRO, 2008).

Diversas grandezas podem ser monitoradas como deslocamentos, variações de temperatura, deformações, tensões, poro pressões e outros parâmetros relacionados a estabilidade física e química da estrutura.

A respeito dos deslocamentos e deformações, os métodos e técnicas topográficas e geodésicas são de extrema importância para auxiliar no monitoramento das estruturas, pois são obtidos dados através das observações se obtém de forma direta, e confiáveis, quando coletados corretamente (NADAL, C A, 2015).

Cabe destacar que os cuidados e observância na implementação de eficientes sistemas de monitoramento estrutural, tem estado mais em evidência devido a acidentes recentes e por força da legislação (CAMPAGNOLI e DINIZ, 2012).

Este trabalho descreve um conjunto de instrumentos (Marcos de rede de referência e marcos superficiais) mais comuns utilizados nos levantamentos para controle de movimentação de barragens e propõe um olhar crítico sobre os levantamentos topográficos dos marcos superficiais instalados em barragens de terra, enrocamento e de concreto, sob o aspecto da instalação dos marcos de referência utilizados nos levantamentos; dos diferentes tipos de marcos superficiais; do posicionamento e distribuição destes marcos na estrutura da barragem, bem como dos melhores métodos e técnicas a serem empregados nestes levantamentos. Sendo assim, objetiva sugerir uma padronização metodológica e de procedimentos, para um mais efetivo monitoramento topográfico dos marcos superficiais em barragens. Demonstra através de um estudo de caso a melhoria da sua rede de referencia em relação ao praticado e seu possível ganho na qualidade de obtenção dos dados.

2 Revisão bibliográfica

Na sequência serão apresentados alguns dos métodos e técnicas comumente utilizados em levantamentos topográficos, bem como alguns exemplos de infraestruturas mais comuns implantadas para dar suporte a estes levantamentos.

2.1 O papel da topografia no monitoramento de barragens

Em estruturas de grande porte, sabe-se que os deslocamentos e deformações ao longo do tempo, são causados por diversos agentes naturais e antrópicos, tais como: fatores climáticos, marés, vibrações e recalques, e fatores intrínsecos às características do material utilizado na construção. Desta forma, variações na estrutura podem ocorrer em sua posição inicial em repouso, caracterizando um deslocamento, ou na geometria interna ou externa, refletindo deformações em sua estrutura (FAZAN, 2010).

Ainda segundo Fazan (2010), todas as barragens, sejam elas, construídas de terra, enrocamento e concreto estão constantemente sujeitas a deslocamentos e deformações, em função de sua própria natureza e dimensões.

Desta forma, é importante investigar detalhadamente o fenômeno e o emprego de novas tecnologias e métodos que possam auxiliar no monitoramento adequado de barragens (RIBEIRO, 2008).

Considerando a grandeza desses deslocamentos e deformações, geralmente na ordem de milímetros, a topografia é a maior aliada dos empreendedores neste monitoramento, pela precisão dos equipamentos e os métodos de levantamento tradicionais e consolidados.

Outra vantagem relacionada à topografia é o custo envolvido. A implantação de marcos e a contratação de empresas de topografia tem o custo ínfimo se comparado a outros instrumentos, que demandam materiais caros (por exemplo: fibra ótica e sensores elétricos) e equipe muito especializada para implantação e leitura.

Com relação aos erros em um levantamento, Koenig Veiga et al. (2007) define que estes podem ser classificados por erros grosseiros e erros sistemáticos. O primeiro trata de erros ocorridos por engano, por leitura errada de um instrumento relacionados a desatenção do operador. A repetição de leituras pode evitar tal erro. Já os sistemáticos são erros cuja magnitude e sinal algébrico podem ser determinados, seguindo leis matemáticas ou físicas. São produzidos por causas conhecidas que podem ser evitados através de técnicas particulares de observação ou até mesmo eliminados com aplicação de fórmulas específicas.

2.2 Métodos para os levantamentos planimétrico

Conforme Koenig Veiga et. al (2007), o método de poligonação é um dos mais empregados na determinação de coordenadas de pontos em Topografia, principalmente na definição de pontos de apoio planimétricos. Uma poligonal é determinada por uma série de linhas consecutivas onde são conhecidos os comprimentos e direções, obtidos através de medições em campo.

No levantamento de uma poligonal realizado através do método de caminhada, percorre-se o contorno de um itinerário definido por uma série de pontos, medindo-se todos os ângulos, lados e uma orientação inicial conforme a Figura 1. A partir destes dados e de uma coordenada de partida é possível calcular as coordenadas de todos os pontos que formam esta poligonal.

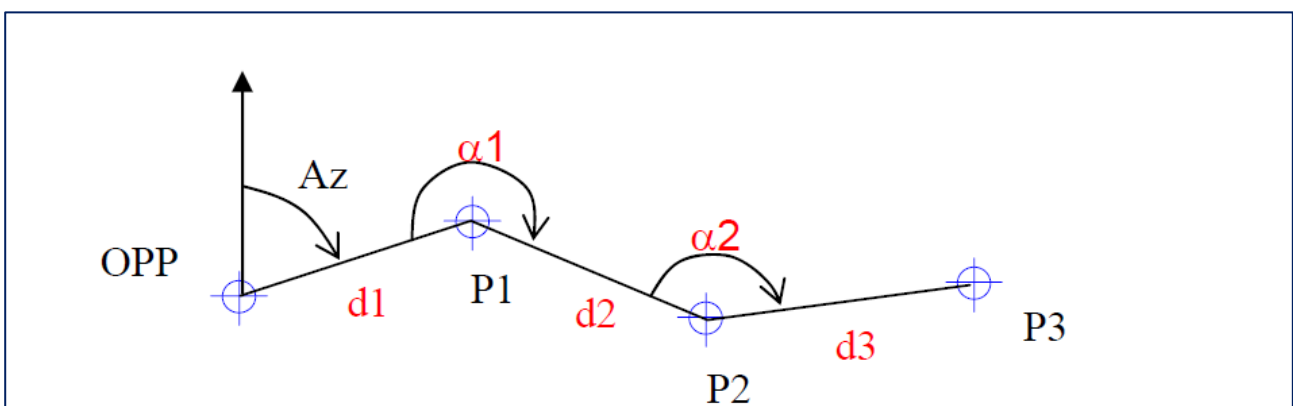


Figura 1 - Levantamento de uma poligonal. Autor: (KOENIG VEIGA, Z. ZANETTI e FAGGION, 2007)

Ainda segundo Koenig Veiga et. al (2007), utilizando-se uma poligonal é possível definir uma série de pontos de apoio ao levantamento topográfico, a partir dos quais serão

determinadas coordenadas de outros pontos, utilizando, por exemplo, o método de irradiação.

A ABNT NBR 13133 (ABNT, 1994) classifica as poligonais em principal, secundária e auxiliar, conforme segue:

- Poligonal principal: poligonal que determina os pontos de apoio topográfico de primeira ordem;
- Poligonal secundária: aquela que, apoiada nos vértices da poligonal principal, determina os pontos de apoio topográfico de segunda ordem;
- Poligonal auxiliar: poligonal que, baseada nos pontos de apoio topográfico planimétrico, tem seus vértices distribuídos na área ou faixa a ser levantada, de tal forma que seja possível coletar, direta ou indiretamente, por irradiação, interseção ou ordenadas sobre uma linha de base, os pontos de detalhes julgados importantes, que devem ser estabelecidos pela escala ou nível de detalhamento do levantamento.

As poligonais levantadas em campo poderão ser fechadas, enquadradas ou abertas.

Especificamente a poligonal fechada, parte de um ponto com coordenadas conhecidas e retorna ao mesmo ponto conforme Figura 2 . Sua principal vantagem é permitir a verificação de erro de fechamento angular e linear.

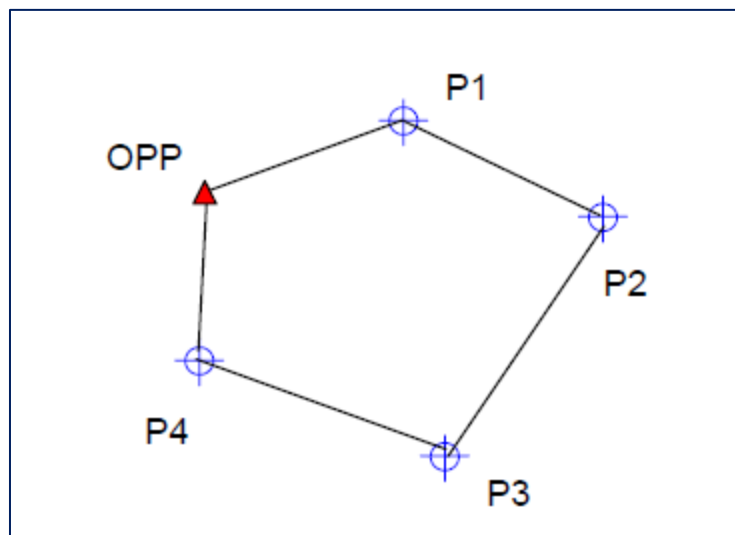


Figura 2 - Poligonal Fechada. Autor: (KOENIG VEIGA, Z. ZANETTI e FAGGION, 2007)

2.3 Métodos utilizadas nos nivelamentos

Segundo Nadal (2015), as referências de nível do apoio topográfico altimétrico, sempre que possível, devem estar vinculadas às referências do nível do apoio geodésico de alta precisão, ou de fins topográficos. A vinculação deve-se dar por intermédio de nivelamento

geométrico duplo (nivelamento e contranivelamento), desde a referência de nível de apoio geodésico até uma das referências de nível do apoio topográfico. As precisões e tolerâncias nos nivelamentos devem atender ao estabelecido na ABNT NBR 13133 - Execução de levantamento topográfico (ABNT, 1994). Os níveis são classificados segundo desvio-padrão em 1 km de duplo nivelamento, conforme Tabela 1

Tabela 1 - Classificação dos níveis Fonte: ABNT 1994

Classes de níveis	Desvio-padrão
1 - Precisão baixa	$> \pm 10 \text{ mm/km}$
2 - Precisão média	$\leq \pm 10 \text{ mm/km}$
3 - Precisão alta	$\leq \pm 3 \text{ mm/km}$
4 - Precisão muito alta	$\leq \pm 1 \text{ mm/km}$

O nivelamento geométrico é o método que determina a diferença de nível entre pontos do terreno através de visadas horizontais, em miras posicionadas na vertical sobre os pontos, determinadas com um nível (ABNT, 1994).

O nível é um instrumento geodésico/topográfico de medição que tem por finalidade realizar em campo um plano horizontal. Este possui algumas características geométricas básicas que devem ser verificadas e testadas. Deve-se ter cuidados em seu manuseio, para que as configurações geométricas de seus eixos, não possam se modificar. Caso isso ocorra, deve-se submeter a verificações a fim de garantir os resultados das observações em campo e minimizar os inevitáveis erros sistemáticos durante seu manuseio. Portanto, as medições são ordenadas de forma a evitar que pequenos erros influenciem os resultados das observações (DEUMILICH e STAIGER, 2002). A Figura 3 mostra um esquema de nivelamento geométrico com um lance.

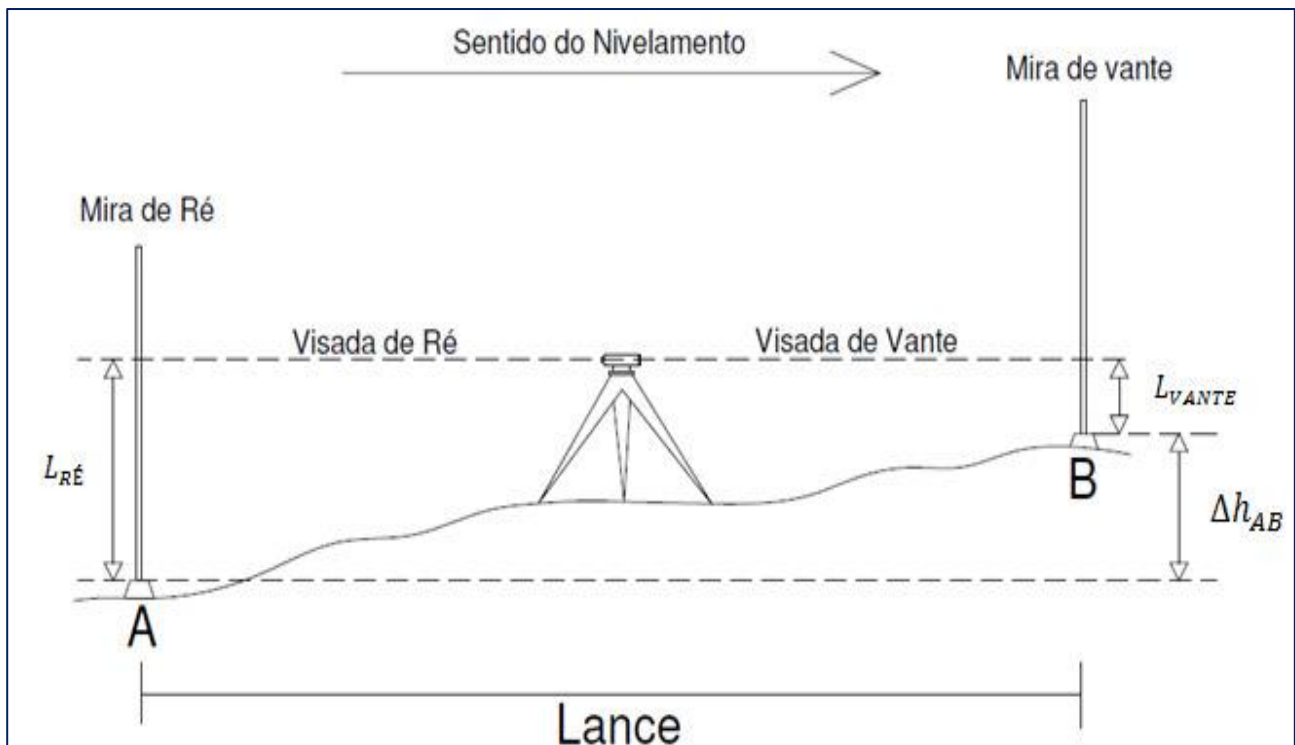


Figura 3 -Nivelamento geodésico/topográfico (ERNANDES SILVA, 2012)

2.4 Rede de marcos de referência

A determinação de uma rede de referência consiste primeiramente na escolha espacial adequada, levando em consideração diversos fatores como: estrutura de fundação do terreno; inter visibilidade entre os marcos que compõem a rede de referência; disposição dos marcos superficiais na estrutura; ausência de obstáculos nas visadas; e fácil acesso a essas estruturas. A Figura 4 exemplifica uma distribuição espacial, demonstrando a inter visibilidade entre os marcos de referência (*benchmark*). Já a Figura 5 mostra a visibilidade em relação aos marcos superficiais distribuídos na estrutura, que serão monitorados através da irradiação.

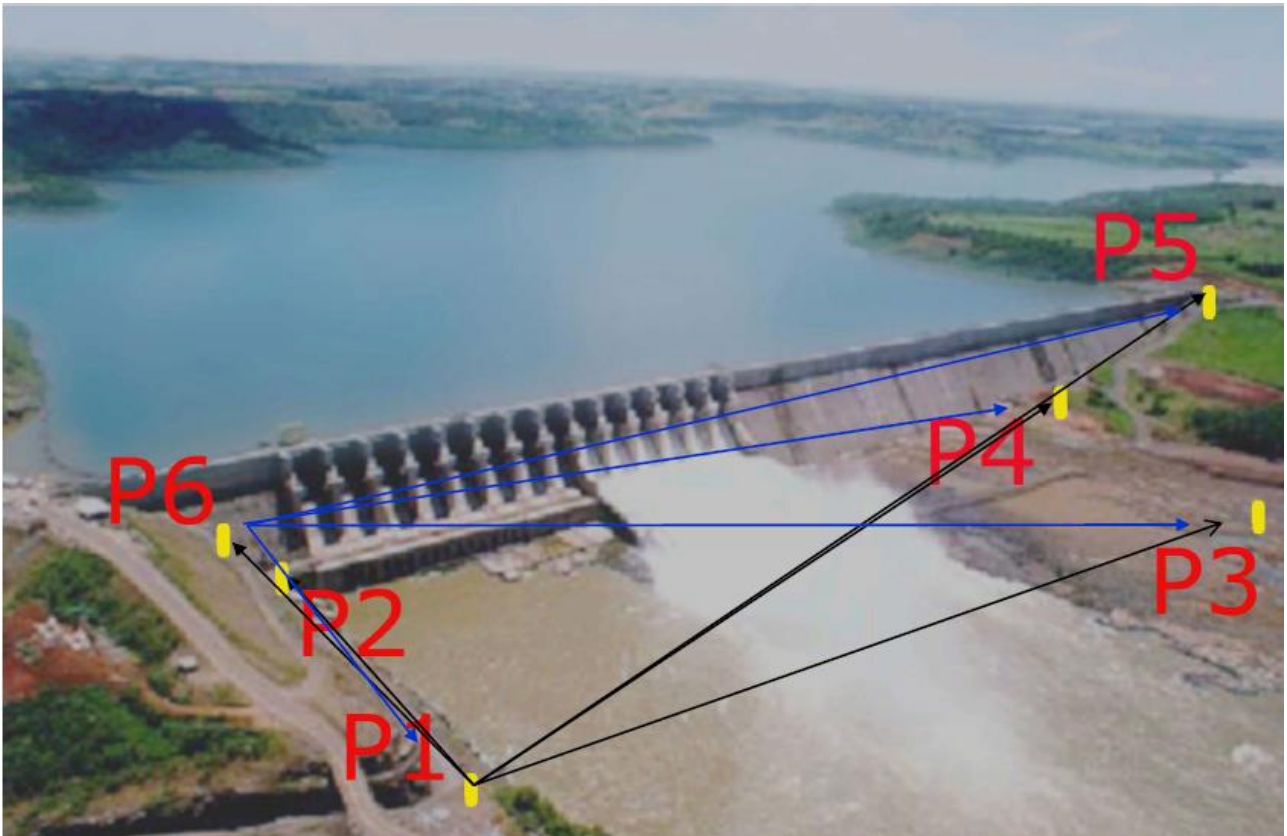


Figura 4 - Exemplo de localização espacial da rede de referência. Fonte: (NADAL, C A, 2015)

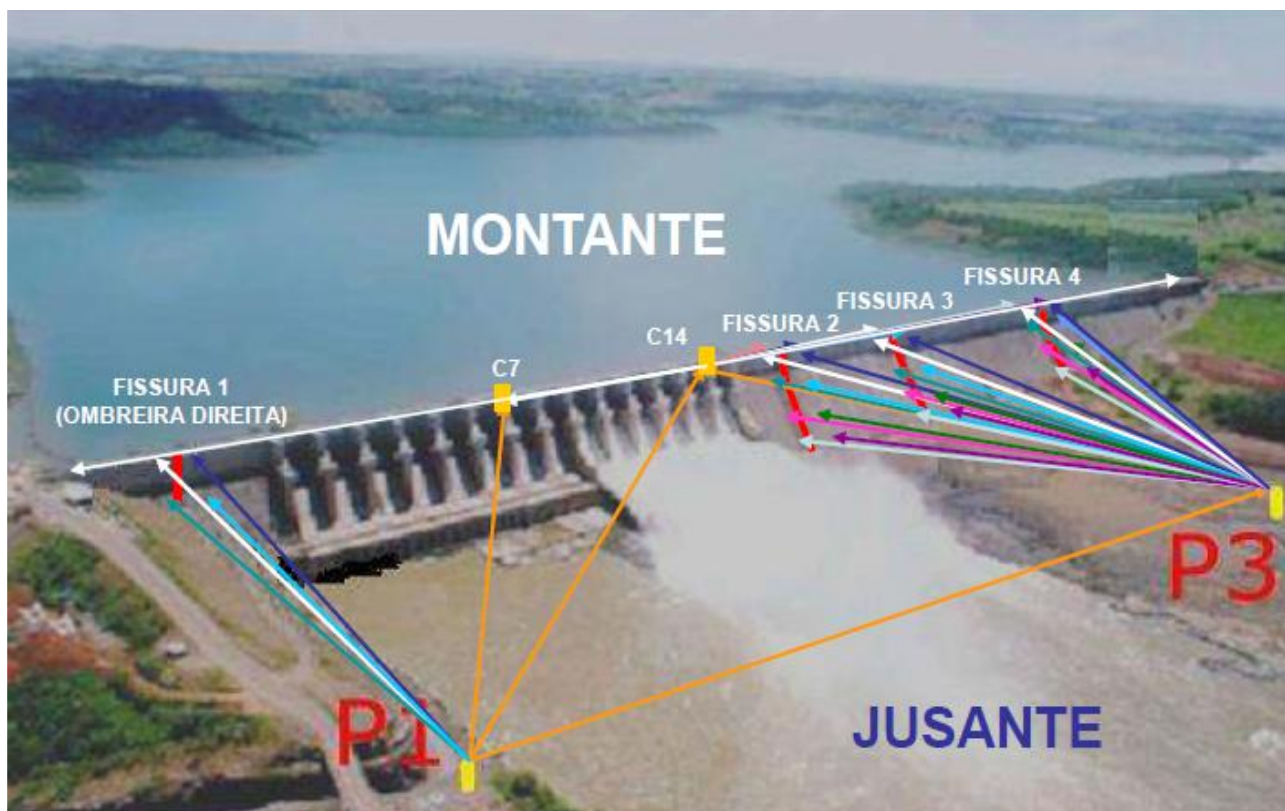


Figura 5 - Exemplo de localização espacial dos marcos de referência em relação aos marcos superficiais.
Fonte: (NADAL, C A, 2015)

2.4.1 Tipos de marcos utilizados como rede de referência

Na sequência serão apresentados alguns tipos mais comuns de marcos utilizados para os levantamentos dos marcos superficiais, serão também comentados alguns problemas mais comuns na escolha de um ou de outro modelo.

2.4.1.1 Marcos de concreto pré-moldados ou construídos no local

Na linha de marcos pré-moldados existem muitas opções com diferentes tamanhos, formatos e materiais. Usualmente são de concreto, mas atualmente são também feitos de materiais sintéticos combinados com metais. Possuem como ponto forte sua facilidade de implantação e manuseio em locais de acesso restrito. Como ponto negativo são suscetíveis a vandalismo acidentais ou mesmo intencionais. Por serem estruturas frágeis estão sujeitas a deslocamentos por situações do próprio local, terreno ou vegetação. A Figura 6 e a Figura 7 mostram exemplos destes marcos. A Figura 8 apresenta um croqui de marco construído de concreto no próprio local.



Figura 6 - Marco pré-moldado de concreto - Fonte: próprio autor



Figura 7 - Marco topográfico universal - MTU - Fonte: Marctop, Patente requerida BR2020190130267

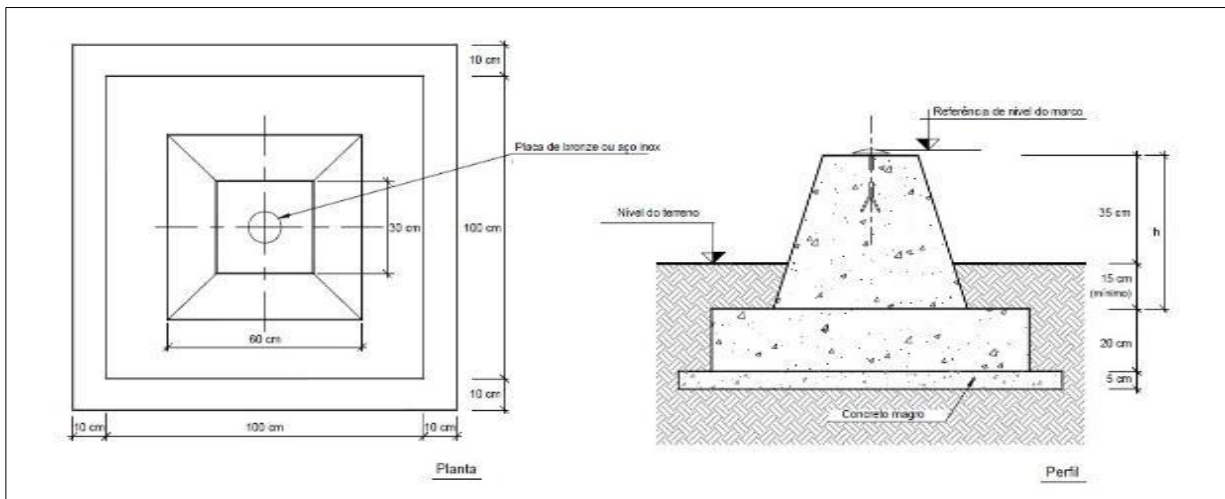


Figura 8 - Exemplo croqui de Marcos de concreto pré-moldados ou construídos no local. Fonte: (COMMETRO, 2021)

2.4.1.2 Pilares de centragem forçada ou benchmark

Segundo Ernandes Silva (2012), as referências de nível profundas - RNP são pontos fixos e irrecalcáveis empregados no controle de recalques. Também conhecidas por marcos estruturais ou benchmark - BM, conforme ilustrado na Figura 12 e na Figura 13, formam uma rede de referência, construída estruturalmente a fim de evitar qualquer possibilidade de movimentação. A partir desta rede, são verificados os deslocamentos verticais e horizontais da estrutura através dos marcos superficiais instalados na barragem. Portanto, estas referências precisam ser alocadas em locais que não sofram influência da barragem, fora de sua estrutura, a fim de se garantir que as leituras obtidas são relativas somente as movimentações dos marcos superficiais.

Os benchmark são estruturas que possuem fundação, base de concreto no seu entorno e defesa (*guard rail*) para proteção.

Na extremidade superior da estrutura é implantada uma base de centragem forçada (placa metálica). Esta peça é basicamente constituída de elementos metálicos, em aço inox ou aço carbono galvanizado, conforme demonstrado na Figura 14, com resistência física e química, a agentes nocivos causados principalmente por intempéries. A Figura 15 mostra a colocação da proteção do parafuso de fixação, dispositivo importante para manter a integridade contra eventuais danos. Este dispositivo propicia melhor estabilidade, posicionamento preciso de equipamentos topográficos, além de possibilitar a colocação de prisma topográficos que utilizem o sistema de rosca padrão para acoplamento ou mesmo com o uso de base nivelante (COMMETRO, 2021).

Estas estruturas devem ser checadas quanto a sua integridade física através de levantamentos que possam detectar possíveis deslocamentos horizontais que são medidos através de colimações geodésicas. Enquanto os deslocamentos verticais (recalque) serão medidos através de nivelamento de precisão ou de alta ordem, (COMMETRO, 2021).

A Figura 9 mostra um croqui de uma estrutura construtiva de benchmark. Já a Figura 11 e a Figura 12 exemplificam o uso do benchmark para a instalação de equipamentos e dispositivos utilizados nos levantamentos topográficos. Estas estruturas, por sua robustez construtiva proporciona a eliminação de problemas que ocorrem em estruturas de marcos comuns, e auxiliam na mitigação dos erros grosseiros e sistemáticos que ocorrem nas técnicas de topografia convencional que utilizam, tripés, prumos e trenas em seus levantamentos.

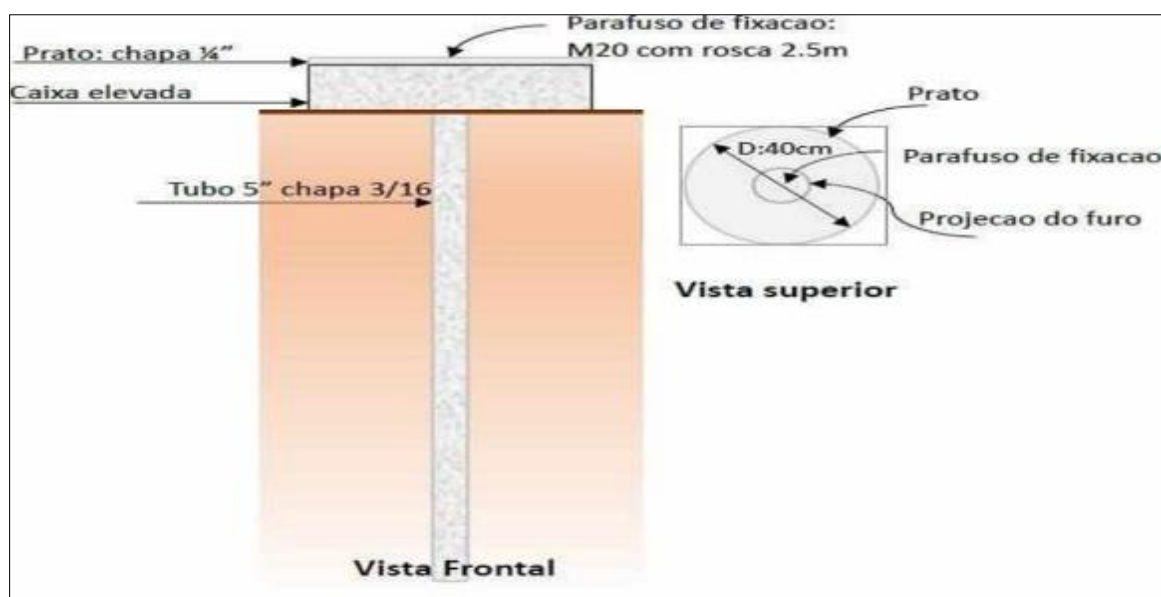


Figura 9 - Croqui do pilar do marco estrutural. Vista frontal e superior (FERNANDES et al. (1999)



Figura 10 - Benchmark com estação total



Figura 11 - Benchmark com GPS



Figura 12 - Benchmark



Figura 13 - Benchmark



Figura 14 - Benchmark modelo de centragem forçada



Figura 15 - Benchmark modelo de centragem forçada, com proteção do parafuso

2.5 Marcos Superficiais de Barragens (MS)

São instrumentos instalados em barragens de terra, enrocamento e de concreto, com a finalidade de monitorar os deslocamentos verticais e horizontais de pontos específicos da estrutura. Os deslocamentos são medidos de forma bastante simples, através de levantamentos topográficos periódicos, em relação a marcos fixos (marcos de referência) instalados em locais ou pontos indeformáveis fora da região de influência da barragem. As leituras obtidas por esses instrumentos são consideradas satisfatórias e o seu custo se torna extremamente baixo em função da quantidade pequena de marcos que se precisa instalar (FONSECA, 2003).

São instalados no corpo da barragem (bermas ou face de jusante) com a finalidade de monitorar a estrutura durante a construção, enchimento do reservatório e operação (SILVEIRA, 2017).

A escolha do local onde serão implantados estes marcos deve levar em consideração: a integridade física destes marcos; os setores da barragens que se pretende monitorar; o tipo de estrutura de marco que se pretende usar, para que este instrumento possa refletir com fidelidade a movimentação da estrutura; a resistência e robustez dos marcos; a identificação e o tipo de plaqueta metálica ou pino usado como ponto extremo de medição, que deve levar em consideração o tipo de levantamento adotado, ou seja, se apenas planimétrico, altimétrico ou os dois.

Deve-se tomar cuidado ao instalar marcos na crista de barragens que tenham fluxo de veículos, pois pode haver colisões com estas estruturas. A implantação em calçadas não é recomendável, pois estas estruturas estão sujeitas a sofrer movimentações próprias, ocasionadas por trincas rachaduras, como mostrado na Figura 16 e Figura 17.



Figura 16 - Marco instalado em calçada sobre a barragem.



Figura 17 - Marco instalado em calçada sobre a barragem.

2.5.1 Tipos de Marcos Superficiais de Barragens (MS)

Os modelos de marcos superficiais podem variar entre as empresas projetistas. Contudo, a principal diferença está no tipo de material em que o marco superficial será instalado e nas condições de instalação, conforme estabelece COMMETRO (2021). Existe uma grande variedade de marcos utilizados em barragens com denominações distintas, dentre elas destacamos algumas:

- MSS - Marco superficial para instalação em solo
- MSC - Marco superficial para instalação em concreto endurecido (ancoragem química)
- MSCf - Marco superficial para instalação em concreto fresco (ancoragem no concreto, tipo rabo de andorinha)

Os marcos tipo MSS são marcos de concreto pré-moldados instalados diretamente no solo, usados principalmente em barragens de terra, suas medidas podem variar e seu formato normalmente é tronco piramidal.

Os marcos tipo MSC são construídos em metal e possuem uma haste com comprimento variado. São instalados perfurando-se o concreto e fazendo sua fixação com cola química.

Os marcos MSCf diferem do anterior apenas por serem fixados diretamente em concreto fresco, com ancoragem no concreto tipo rabo de andorinha, não havendo a necessidade de furação e cola química.

Vale observar que todos os tipos possuem proteção do pino central referência do monitoramento, visando minimizar os riscos de impactos mecânicos ou vandalismo, causadores de incertezas nas medições (COMMETRO, 2021).

Alguns exemplos são demonstrados nas Figura 19 e Figura 20. Além dos cuidados com o marco superficial, para manter a integridade do ponto metálico utilizado nas leituras, é importante que este ponto permita a possibilidade de acoplamento do prisma, como demonstrado na Figura 18. O uso de prisma contribui para a eliminação de erros grosseiros e sistemáticos, proporcionando segurança, confiabilidade e precisão nas observações realizadas no levantamento topográfico.



Figura 18 - MSC - Marco Superficial para instalação em Concreto endurecido (ancoragem química). Fonte (Commetro, 2021)



Figura 19 - MSS - Marco Superficial para instalação em Solo. Fonte (Commetro, 2021)



Figura 20 - MSCf - Marco Superficial para instalação em Concreto fresco (ancoragem no concreto - Tipo rabo de andorinha). Fonte (COMMETRO, 2021).

3 Procedimentos e técnicas

Este trabalho propõe uma análise dos levantamentos usuais de marcos superficiais em barragens de terra, enrocamento e concreto, a fim de sugerir métodos, técnicas e equipamentos topográficos que possam oferecer maiores precisões dos dados obtidos.

3.1 Análise crítica em relação ao método de levantamento mais comum empregado no monitoramento dos marcos superficiais

O modelo de levantamento que utiliza estação total, prisma e bastão, para realizar as leituras de monitoramento de marcos superficiais, obtendo-se deslocamentos horizontais e verticais, é o que pode trazer maiores imprecisões, principalmente nas altitudes, que são calculadas pelo método do nivelamento trigonométrico ou também conhecida como taqueometria, ilustrado na Figura 21. Este método implica no cálculo por trigonometria da elevação do ponto, principal fator de vulnerabilidade. Este modelo de levantamento é largamente utilizado por ser rápido, uma vez que somente com a estação total estacionada em um único ponto pode-se irradiar os demais pontos, obtendo-se os valores planialtimétricos.

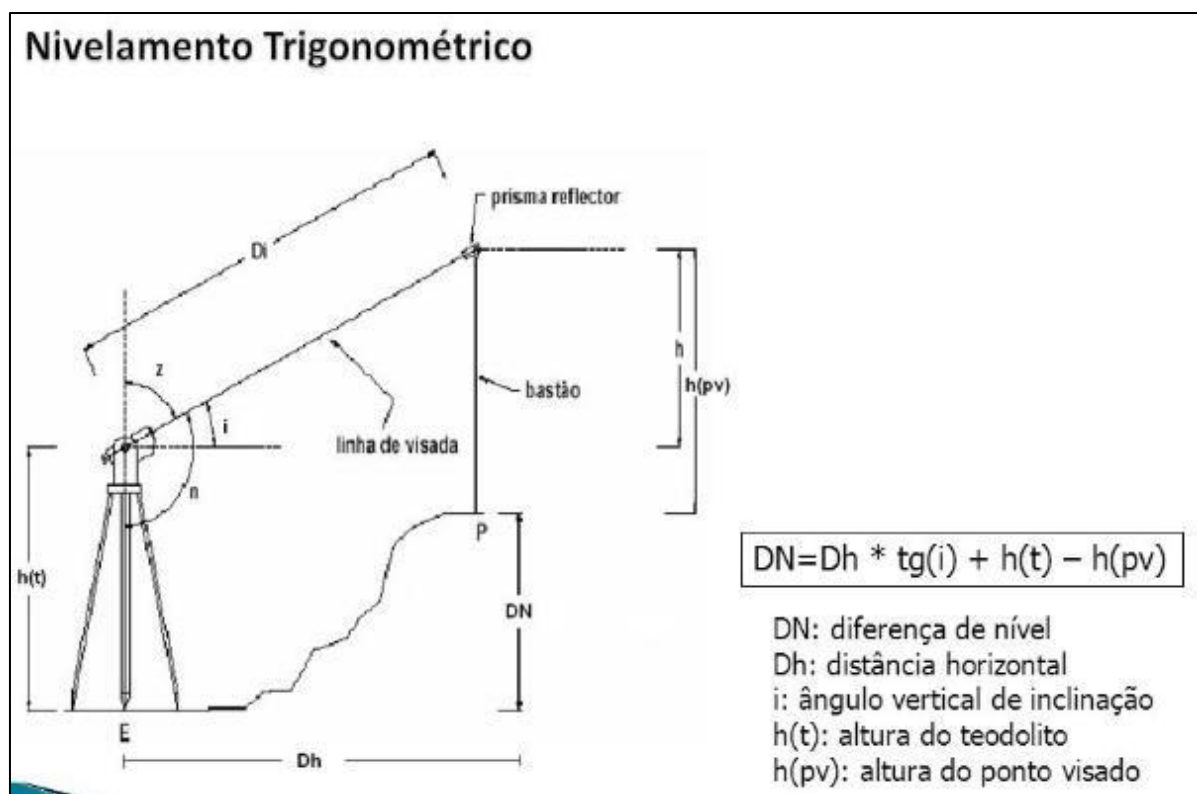


Figura 21 - Nivelamento Trigonométrico. Fonte: (ESTÁCIO, 2018)

A seguir são citados alguns erros sistemáticos e grosseiros que podem ocorrer neste tipo de levantamento.

Para iniciar o levantamento, o topógrafo estaciona o equipamento sobre uma referência com um tripé e deve centralizar o equipamento através de um prumo, que pode ser ótico, laser ou ainda um pêndulo. Nesta ação já podem estar embutidos alguns erros: de centragem do equipamento; deslocamento acidental do equipamento por estar em um tripé, que pode ser movimentado pelas condições do terreno ou ação involuntária do topógrafo. Além disso, a altura do instrumento é obtida através de medida visual realizada com uma trena, medindo a partir do topo do marco até o ponto central da luneta do equipamento. Este procedimento pode gerar imprecisão, seja pela qualidade da própria trena utilizada, como também pela catenária da trena, além do erro de leitura que pode ser ocasionado pelo operador. A Figura 22 mostra um topógrafo medindo na trena a altura do instrumento. Todas estas ações podem incorrer em erros sistemáticos ou grosseiros que afetam a qualidade do levantamento. Estes erros podem ser facilmente mitigados utilizando-se marco de referência do tipo benchmark, como o apresentado na Figura 10, que elimina o erro de centragem e diminui consideravelmente a altura do aparelho em relação ao ponto, possibilitando assim a utilização de equipamentos mais precisos como um paquímetro.

Outro erro comum neste tipo de levantamento é a realização das leituras com o conjunto bastão e prisma, relacionado a verticalidade do bastão. Normalmente o operador, segura o

bastão sobre a parte central do pino ou plaqueta do marco e procura manter o bastão vertical, controlando uma bolha de nível acoplada ao bastão. Cabe destacar que sem auxílio de um tripé fica difícil garantir essa verticalidade no instante em que o topógrafo promove a leitura. A Figura 23 ilustra esta situação. O ideal para mitigar esse erro seria que os marcos superficiais tivessem como seu pino central um parafuso com rosca padrão, utilizada em equipamentos de topografia, como nos benchmarks, chamadas bases nivelantes. Desta forma seria possível acoplar diretamente o prisma, como demonstrado na Figura 18.



Figura 22 - Obtenção de medida para definição da altura do instrumento com a utilização de trena - Fonte: próprio autor



Figura 23 - Verticalidade de bastão de prisma - Fonte: próprio autor

3.2 Análise da infraestrutura e dos métodos utilizados atualmente no levantamento topográfico dos marcos superficiais

Como estudo de caso, foi escolhida a estrutura de marcos utilizada em uma barragem de terra de uma usina hidrelétrica pertencente a uma empresa do setor elétrico brasileiro (Figura 26). Nesta estrutura estão instalados 7 (sete) marcos superficiais, denominados MS01 a MS07, e 2 (dois) marcos de referência, denominados P1 e P2.

Primeiramente, nota-se que P1 está implantado na estrutura da barragem entre os marcos superficiais demonstrado na Figura 24, o marco P2, conforme Figura 25 está instalado sobre o guarda corpo ou mureta de concreto da ponte de acesso ao descarregador de fundo. Esta situação possibilita uma sequência de erros grosseiros e sistemáticos o que tornam os dados resultantes do levantamento não confiáveis. Outra situação é a se ter

apenas dois pontos como rede referencial, pois caso haja uma diferença, nos dados destes marcos, não será possível determinar em qual dos dois a diferença ocorreu. Inclusive, a implantação de um terceiro ponto a partir de qualquer um dos dois existentes, não é confiável e, portanto, sugere-se a criação de nova rede de referência, com a desvantagem de se perder todo o histórico dos dados.

Para esta nova rede de referência, a recomendação é de que sejam no mínimo três marcos de referência, pois caso no futuro haja alguma movimentação identificada, possa ser determinado em qual marco ocorreu, e assim poder substituí-lo sem comprometer o histórico de levantamentos.



Figura 24 - Marco de referência (calota colada em calçada) aqui denominado de P1 - Fonte: próprio autor

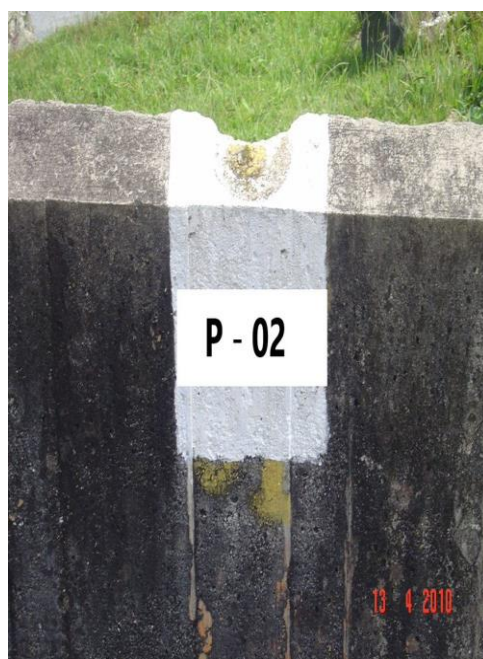


Figura 25 - Marco de referência (Pino de latão fixado em mureta na ponte de acesso do descarregador de fundo) aqui denominado de P1 - Fonte: próprio autor

A situação mais crítica, em termos de referência para o monitoramento, é a localização do marco P1 (Figura 16), que está instalado na calçada sujeito a variações alheias a movimentação da barragem e sim da calçada e além do mencionado está sobre a própria estrutura da barragem. Reitera-se que não faz sentido do ponto de vista de monitoramento, monitorar uma estrutura a partir dela mesma, pois caso esta região da barragem tenha alguma movimentação não será percebida pelo levantamento.

No estudo de caso atualmente o levantamento topográfico planimétrico adotado, consiste em ocupar um ponto de referência e visar o outro como orientação (P1 ou P2). Na sequência são levantados os marcos superficiais dispostos ao longo da barragem. Para a obtenção dos valores de altitude realiza-se o nivelamento e contranivelamento, classificado como de baixa precisão, conforme Tabela 1 - Classificação dos níveis Fonte: ABNT 1994,

partindo de um ponto ao outro (P1 ou P2) passando pelos marcos superficiais. A Figura 27 demonstra a irradiação dos marcos superficiais utilizando os pontos de referência P1e P2.



Figura 26 - Pontos de referência de uma barragem de terra de uma usina hidrelétrica pertencente a uma empresa do setor elétrico brasileiro - Fonte: Google Earth 03/06/2021



Figura 27 - Irradiação de marcos superficiais barragem de terra de uma usina hidrelétrica pertencente a uma empresa do setor elétrico brasileiro - Fonte: Google Earth 03/06/2021

3.3 Proposta de padronização e melhoria relacionados a infraestrutura e métodos utilizados no levantamento topográfico dos marcos superficiais

A proposta de melhoria da infraestrutura e do método dos levantamentos topográficos para o estudo de caso em questão, consiste em minimizar ou mesmo eliminar os erros grosseiros e sistemáticos decorrentes apresentados. Esta proposta pode ser ampliada a qualquer outra barragem, inclusive de outro tipo que não de terra.

Na sequência são apresentadas algumas recomendações de procedimentos relacionados a infraestrutura e metodologia, a fim de padronizar e melhorar a qualidade dos dados obtidos, dando ao responsável pela segurança da barragem maior confiabilidade na análise das movimentações detectadas por estes levantamentos. E por fim, será proposto um plano de ação para verificação da infraestrutura de monitoramento dos marcos superficiais de barragens, bem como para a realização do levantamento pelos métodos recomendados, com a ferramenta 5W1H.

3.3.1 Sugestões de técnicas e métodos para levantamento e instalação de infraestrutura do monitoramento

Conforme já apresentado anteriormente, a primeira recomendação é a implantação de uma nova rede de referência utilizando, pelo menos 3 (três) benchmarks, pois oferecem maior

segurança contra movimentações, acidentes de dano físico e químico além de mitigar erros provenientes do próprio método de levantamento. Importante destacar a distribuição destes marcos de referência no entorno da estrutura, levando-se em consideração alguns fatores como: a fundação do terreno, a inter visibilidade entre eles, a distância entre eles (no máximo 200 m), a independência em relação a estrutura da barragem em termos de movimentação, além da visada aos marcos superficiais.

A Figura 28 mostra o que seria uma proposição de arranjo para estes marcos de referência. Sobre este arranjo, esclarece-se que embora o benchmark BM-02 não seja inter visível pelos BM-03 e BM-04, a rede composta pelo BM-01, BM-03 e BM-04 já possibilita uma conferência da referência, independente da utilização dos marcos superficiais dispostos na barragem. Neste caso foi escolhido incluir o BM-02, a jusante da barragem para possibilitar o monitoramento da barragem não somente da crista.

A Figura 29 apresenta a visão da irradiação dos marcos superficiais que poderiam ser implantados nas bermas ou no talude de face jusante da barragem, a partir do BM-02, ampliando o monitoramento de deslocamentos do maciço como um todo.

Quanto ao método e técnicas de levantamentos topográficos, recomenda-se a adoção de uma padronização para estes levantamentos conforme segue. Primeiramente é determinada uma poligonal fechada e nivelamento geométrico de primeira ordem entre as referências benchmarks, no intuito de se garantir a integridade do referencial. Somente após esta verificação, inclusive do pós-processamento destes dados, deve-se partir para o levantamento dos marcos superficiais.

Assim como feito para os marcos de referência, deve ser reavaliadas as localizações dos marcos superficiais. Também deve ser avaliado o tipo de marco utilizado, sua estrutura construtiva e seu ponto de observação. Independentemente do tipo (pré-moldado ou moldado in loco) o ponto de observação deve estar protegido e de preferência ter um sistema de acoplamento direto para prisma, como por exemplo uma rosca padrão ou, ainda melhor, uma base nivelante.

3.4 Análise e tratamento dos dados antigos dos levantamentos anteriores a implantação da nova infraestrutura

O histórico de dados levantados dos marcos superficiais, anteriores a implantação da nova proposta, deve ser mantido para comparação com os novos dados obtidos a partir da nova infraestrutura. A infraestrutura antiga deve ser mantida, sempre que possível, para fins de observação e comparação. Na maioria dos casos a nova infraestrutura receberá a transferência da orientação dos marcos (valores x, y e z) das referências antigas, mantendo assim, toda a nova infraestrutura dentro do mesmo referencial com isso os valores x, y e z não sofreram alterações. Desta forma será possível realizar análises posteriores do

comportamento dos deslocamentos anterior e posterior a mudança de metodologia aplicada ao novo arranjo espacial e nova infraestrutura



Figura 28 - Pontos de referência benchmark de uma barragem de terra de uma usina hidrelétrica pertencente a empresa do setor elétrico brasileiro - Fonte: Google Earth 03/06/2021



Figura 29 - Irradiação dos marcos superficiais através dos pontos de referência benchmark de uma barragem de terra de uma usina hidrelétrica pertencente a empresa do setor elétrico brasileiro - Fonte: Google Earth 03/06/2021

3.4.1 Ferramenta 5W1H

A seguir é apresentado o plano de ação de verificação da infraestrutura de monitoramento dos marcos superficiais de barragens, bem como para a realização do levantamento pelos métodos recomendados.

Para apresentação do plano de ação será utilizada a ferramenta 5W2H, cujo nome é a composição das primeiras letras das palavras em inglês *what* (o que), *who* (quem), *where* (onde), *when* (quando), *why* (por que), *how* (como) e *how much* (quanto), (BEHR, MORO e ESTABEL, 2008), adaptada para 5W1H, ou seja, sem o item quanto.

Tabela 2 - Plano de ação 5W1H

O QUE?	POR QUÊ?	QUEM?	ONDE?	QUANDO?	COMO?
Solicitar a verificação da integridade física dos benchmarks e conferência dos seus dados planialtimétricos	Verificar através de levantamento planimétrico por poligonal classe IP e nivelamento geométrico IN, conforme norma NBR 13.133/94	Equipe de topografia	Nas barragens de concreto, terra e enrocamento	De uma a duas vezes por ano, ou quando houver necessidades específicas	O processo deve partir da engenharia de segurança de barragens, criando uma ordem de serviço para convocar a equipe de topografia como também solicitar a participação da operação.

Solicitar a verificação da integridade física dos marcos superficiais e conferência dos seus dados planialtimétricos	Verificar através de levantamento planimétrico por poligonal classe IP e Nivelamento geométrico IN, conforme norma NBR 13.133/94	Equipe de topografia	Nas barragens de concreto, terra e enrocamento	De uma a duas vezes por ano, ou quando houver necessidades específicas	O processo deve partir da engenharia de segurança de barragens, criando uma Ordem de Serviço para convocar a equipe de topografia como também solicitar a participação da operação.
Solicitar a implantação dos benchmarks em substituição a marcos de referência comuns.	Promove maior confiabilidade e segurança nos levantamentos topográficos através de uma rede de referência indeslocável	Equipe civil	Nas barragens de concreto, terra e enrocamento	Uma vez ou quando houver necessidades específicas	O processo deve partir da engenharia de segurança de barragens através de contratação de empresa para execução
Solicitar a substituição dos marcos superficiais existentes por marcos que possibilitem o acoplamento de prismas e possuam sistema de proteção contra danos.	Promove maior confiabilidade e segurança nos levantamentos topográficos através de uma rede de marcos superficiais.	Equipe civil	Nas barragens de concreto, terra e enrocamento	Uma vez ou quando houver necessidades específicas	O processo deve partir da engenharia de segurança de barragens através de contratação de empresa para execução
Solicitar apoio e consulta na definição de métodos e técnicas para os levantamentos planialtimétricos dos marcos superficiais	Definir uma padronização de método para os levantamentos levando em consideração a mitigação dos erros oriundos do processo.	Equipe de Cartografia e Agrimensura	Em escritório e campo	Na criação do manual de procedimentos e técnicas	O processo deve partir da engenharia de segurança de barragens através da consulta de profissionais próprios da empresa ou contratação de empresa especializada para consultoria.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os levantamentos topográficos realizados em uma barragem, através de marcos superficiais instalados ao longo da estrutura, têm custo relativamente baixo de instalação e podem trazer bons resultados em termos de análise de movimentação. Entretanto é necessário adotar um conjunto de boas práticas, inicialmente com a materialização adequada da rede de referência, preferencialmente por meio de pilares de centragem forçada (benchmark) e devendo ser adotado no mínimo três pontos. Em seguida com a instalação de marcos superficiais que permitam o acoplamento de prismas, fixos ou colocados no momento do levantamento.

Adicionalmente, a conferência dos dados da rede de referência deve ser realizada com alta precisão, com a realização de levantamento planimétrico por poligonal classe IP e nivelamento geométrico IN, segundo ABNT NBR 13133 (ABNT, 1994).

É importante a orientação e supervisão de profissionais da engenharia cartográfica e agrimensura, desta forma garantindo a adoção das melhores técnicas para a obtenção de dados confiáveis e com o melhor índice de precisão e acurácia.

O conjunto de melhorias na infraestrutura usada como rede de referência e dos próprios marcos superficiais, os métodos e técnicas de levantamentos topográficos e a supervisão profissional permitem a mitigação de erros grosseiros e sistemáticos, além disso o uso de equipamentos que alcancem maiores precisões, são significantes para alcançar a confiabilidade necessária na avaliação do comportamento das barragens.

Rede de referência	• Pilares de centragem forçada • Mínimo 3 pontos
Rede de marcos superficiais	• Acoplamento de prismas
Conferência / Leituras	• Poligonal classe IP • Nivelamento geométrico IN
Supervisão	• Profissionais da engenharia cartográfica e agrimensura

5 Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR-13133. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Rio de Janeiro, 1994.

BEHR, A.; MORO, E. L. D. S.; ESTABEL, L. B. Gestão da biblioteca escolar. **Metodologias enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca**, Brasília, n. 2, p. 32 - 42, agosto 2008.

CAMPAGNOLI, F.; DINIZ, N. C. **Gestão de Reservatórios de Hidrelétricas**. Oficina de Textos. São Paulo, p. 192 f. 2012.

COMMETRO. Instrumentos. **CoMMetro Engenharia**, 2021. Disponível em: <<http://www.commetro.com.br/instrumento-detahes/5/recalque--marcos-superficiais-ms>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

DEUMILICH, F.; STAIGER, R. **Instrumentenkunde der Vermessungstechnik**. [S.l.]. 2002.

ERNANDES SILVA, R. N. **PETROBRAS-N-181 - Instalação de referência de nível profunda**. Brasil. 2012.

ESTÁCIO, T. -. Topografia I - Estácio. **Passei Direto**, 2018. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/43757408/nivelamento-trigonometrico>>. Acesso em: 10 Junho 2021.

FAZAN, J. A. **Aplicação do Teste de Congruência Global e Análise Geométrica para De-tecção de Deslocamentos em Redes Geodésicas: Estudo de Caso na UHE de Itaipu**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.

FONSECA, A. D. R. **AUSCULTAÇÃO POR INSTRUMENTAÇÃO DE BARRAGENS DE TERRA E ENROCAMENTO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - ESTUDO DE CASO DAS BARRAGENS DA UHE SÃO SIMÃO**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2003.

FUSARO, T. C. etodologia de Classificação de Barragens Baseada no Risco. XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Salvador, BA, 2005. 59-71.

KOENIG VEIGA, L. A.; Z. ZANETTI, M. A.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de topografia**. [S.I.]. 2007.

KUPERMAN, S. V. et al. Reavaliação da Instrumentação de Auscultação Instalada em Barragens da CESP. XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Salvador BA, p. 116-134, 2005.

NADAL, C A. **Monitoramento Geodésico da Barragem da UHE de Mauá Utilizando Métodos Geodésicos que Permitem a Precisão do Milímetro**. SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. Foz do Iguaçu, PR, p. 16 f. 2015.

RIBEIRO, F. C. D. **Proposta de Metodologia para Verificação da Estabilidade dos Pilares de Redes para Monitoramento Geodésico de Barragens - Estudo de Caso**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 187. 2008.

SILVEIRA, J. F. A. **Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento**. Oficina de Text. [S.I.]. 2017.

UFRGS. Museu da topografia. **Histórico da Topografia**, 2021. Disponível em: <<http://igeo.ufrgs.br/museudetopografia/index.php/historico-da-topografia#:~:text=A%20palavra%20TOPOGRAFIA%20tem%20sua,uma%20por%C3%A7%C3%A3o%20da%20superf%C3%ADcie%20terrestre.&text=Sem%20saber%2C%20ele%20j%C3%A1%20aplicava%20a%20Topografia.>>. Acesso em: 11 abr. 2021.

