



Análise do Monitoramento Geodésico de barragem com Equipamentos de Diferentes Precisões e Diferentes Softwares de Processamento
Analysis of the Geodetic Dam Monitoring with Equipment of Different Precisions and Different Processing Softwares

Andreas Jerke¹ & Pedro Luís Faggion¹

¹Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas,
Av. Cel. Francisco H. dos Santos 100, Centro Politécnico, Curitiba, PR, 81530-000, Paraná, Brasil
E-mails: andreas_jerke@hotmail.com; pedro.faggion@gmail.com
Recebido em: 31/08/2020 Aprovado em: 15/09/2020
DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2020_4_310_318

Resumo

Este artigo analisa o monitoramento geodésico da barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) de Mauá-PR combinando o método de posicionamento por satélite utilizando Global Navigation Satellite System (GNSS) com o método da irradiação utilizando Estações Totais robotizadas de diferentes precisões e diferentes softwares de processamento de dados para determinar eventuais deslocamentos. O procedimento adotado consiste em comparar os resultados do monitoramento realizado com uma estação total robotizada de precisão angular de 5", com os resultados do mesmo monitoramento realizado com outra estação total robotizada de precisão angular de 1". Para isso, o levantamento da rede geodésica materializada por pilares de concreto utilizando GNSS serviu de referência para o monitoramento dos pontos irradiados com as diferentes estações. Após distintas campanhas de levantamentos, nesta pesquisa utilizam-se diferentes softwares de processamento de dados, um comercial para monitoramento em tempo real (GeoMos) e outro em ambiente MatLab desenvolvido para as finalidades específicas do monitoramento da UHE Mauá, onde são feitas análises e correções nos dados obtidos. A determinação das coordenadas em épocas distintas com diferentes softwares e equipamentos permite avaliar possíveis deslocamentos obtidos com as diferentes configurações de equipamentos e métodos de processamento.

Palavras-chave: *Monitoramento de barragens; Monitoramento geodésico; GeoMos*

Abstract

This article analyzes the geodetic monitoring of the dam of the Hydroelectric Power Plant (HPP) Mauá-PR by combining the satellite positioning method using Global Navigation Satellite System (GNSS) with the irradiation method using robotized Total Stations of different precisions and different data processing software to determine possible displacements. The procedure used is to compare the results of the monitoring performed with a 5" angular precision robotic total station with the results of the same monitoring performed with another 1" angular accuracy robotic station. For this, the survey of the geodesic network materialized by concrete pillars using GNSS served as reference for the monitoring of the points irradiated with the different stations. In this survey we used different data processing software, one commercial for real-time monitoring (GeoMos) and the other in a MatLab environment developed for the specific purposes of the monitoring of HPP Mauá, where analyzes and corrections are made to the data obtained. The determination of the coordinates at different times with different software and equipment allows to evaluate possible displacements obtained with the different configurations of equipment and processing methods.

Keywords: *Monitoring of dams; geodetic monitoring; GeoMos*

1 Introdução

Há mais de quatro séculos as barragens vêm propiciando benefícios à humanidade, tanto que um dos requisitos fundamentais do desenvolvimento socioeconômico no mundo é a disponibilidade adequada de água com a devida qualidade e de suprimento adequado de energia. Barragens adequadamente planejadas, projetadas, construídas e mantidas contribuem significativamente para atender a demanda de fornecimento de água e energia (Mello, 2013).

Todavia o rompimento de barragens é uma modalidade de desastres consideravelmente recorrente na história da humanidade. Dois são os principais fatores que podem ser apontados como primários desse evento: o advento de um fenômeno natural intenso responsável por abalar a estrutura da barragem ou a falta de inspeção contínua da estrutura ao longo do seu período de operação (Brown, 2012).

No Brasil, o número de acidentes envolvendo barragens tem aumentado nos últimos anos. Só no estado de Minas Gerais, 6 barragens de rejeitos romperam nos últimos 18 anos como mostra a Tabela 1. Os casos mais conhecidos foram o de Mariana em 2015 e de Brumadinho em 2019.

Levando em consideração que este estudo de caso é em uma barragem de concreto para acúmulo de água, a

Tabela 2 mostra as barragens de água que romperam no Brasil nos últimos 15 anos.

O primeiro registro de monitoramento de barragens foi em Cantaria de Grosbois, na França, construída entre 1830 e 1838. Em 1853, medições geodésicas foram realizadas nesta barragem para a observação dos deslocamentos da crista. Essa barragem havia apresentado inúmeros problemas desde o início do enchimento do reservatório em 1838 e teve que ser reforçada em mais de uma ocasião. Sendo assim, a partir de 1853, medições geodésicas tornaram-se prática comum em barragens (Silveira, 2006).

No âmbito acadêmico, o número de trabalhos relacionados ao monitoramento de grandes estruturas antrópicas (construídas pelo homem) vem aumentando nos últimos anos.

Na China, Jingzhan (2002) comparou o resultado do monitoramento de deformação da barragem da UHE Ertan entre a Estação Total TCA2003, T3000 Electronic Weiwei e DI2002 Range Finder, todas com a mesma precisão no mesmo conteúdo de trabalho, no mesmo plano de observação, no mesmo período de observação e realizado sob as mesmas condições da área de teste. Jingzhan (2002) concluiu que as observações da Estação Total TCA2003, T3000 e DI2002 são muito diferentes em termos de eficiência de observação, indicando que a estação total TCA2003 é significativamente melhor que outros instrumentos de mesma precisão.

LOCAL	DATA	NOME	TIPO	DANOS CAUSADOS
Nova Lima (MG)	2001	Barragem de Macacos	Barragem de Rejeitos	5 óbitos.
Cataguases (MG)	2003	Barragem em Cataguases	Barragem de Rejeitos industriais	Contaminação do rio Paraíba do Sul e interrupção do abastecimento de água de 600.000 pessoas.
Mirai (MG)	2007	Barragem do Rio Pomba/ Cataguases	Barragem de rejeitos minerários	Mais de 4000 pessoas desabrigadas ou desalojadas.
Itabirito (MG)	2014	Barragem da Herculano	Barragem de rejeitos	3 óbitos.
Mariana (MG)	2015	Barragem Fundão	Barragem de rejeitos	19 óbitos, 8 desaparecidos 600 desabrigados ou desalojados.
Brumadinho (MG)	2019	Barragem do Córrego do Feijão	Barragem de rejeitos minerários	171 óbitos, 139 desaparecidos e 125 hectares de floresta devastados.

Tabela 1 Rompimento de barragens de rejeitos nos últimos anos em MG (Alves, 2016).

LOCAL	DATA	NOME	TIPO	DANOS CAUSADOS
Alagoa Nova (PB)	2004	Camará	Barragem de água	5 óbitos e aproximadamente 3 mil pessoas desabrigadas ou desalojadas.
Vilhena (RO)	2008	Apertadinho	Barragem de água para geração de energia	Danos ambientais variados (assoreamento de rios, erosão do Solo, entre outros).
Cocal e Buriti dos Lopes (PI)	2009	Algodões	Barragem de água	Entre 9 e 24 mortos e cerca de 2000 pessoas ficaram desabrigadas ou desalojadas.
Laranjal do Jari (AP)	2014	Santo Antônio	Barragem de água para geração de energia	4 óbitos.

Tabela 2 Rompimento de barragens de água no Brasil nos últimos anos (Alves, 2016).

Na University of New Brunswick - Canadá, Chrzanowski & Szostak-Chrzanowski (2009) realizaram um estudo sobre os velhos problemas e as novas soluções no monitoramento de estruturas, concluindo que os efeitos das condições atmosféricas modificáveis nas medições geodésicas e os efeitos da baixa confiabilidade da instrumentação utilizada permanecem como os principais problemas dos sistemas de monitoramento atuais.

Chen *et. al.* (2013) realizaram um estudo sobre a aplicação do GeoMoS no monitoramento automático da área protegida de um metrô onde os resultados mostraram que o GeoMos trabalhando em conjunto com o Estação Total TM30 atende aos requisitos de precisão no monitoramento de deformação da área protegida do metrô e fornece referências técnicas para monitoramento de deformação de projetos similares.

Ainda na China, Wenchun & Zhengyuan (2018) pesquisaram sobre e aplicação do software de monitoramento automático GeoMoS no monitoramento de assentamentos do túnel do metrô de Shenyang, avaliando a precisão dos dados coletados e realizando análises de viabilidade desse sistema no projeto de monitoramento de assentamentos. Esta pesquisa estabeleceu a importância teórica e o valor prático do GeoMoS para projetos de monitoramento de engenharia de trânsito ferroviário urbano.

Neste contexto, esta pesquisa visa analisar a melhor proposta de monitoramento para a UHE Mauá, sendo que

a metodologia adotada utilizando diferentes equipamentos geodésicos (Estação Total com precisão de 1" e de 5") e diferentes softwares de processamento (Leica GeoMos® de monitoramento em tempo real e outro pós-processado desenvolvido na tese de doutorado de Da Cruz) pode servir de referência ao monitoramento de outras barragens.

2 Metodologia

2.1 Localização da Usina Hidrelétrica de Mauá

A UHE Mauá situa-se na região centro-oeste do Paraná, posicionada nas coordenadas 24°02'24" de latitude Sul e 50°41'33" de longitude Oeste como mostra a Figura 1. Está construída na região do Salto Mauá do rio Tibagi, na divisa entre os municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira (LACTEC, 2007).

2.2 Monitoramento Geodésico de Barragem

Conforme o Department of The Army (1994), os levantamentos geodésicos têm sido utilizados para a determinação de deslocamentos de pontos selecionados na superfície do objeto em relação a alguns pontos de referência que são assumidos como sendo estáveis.

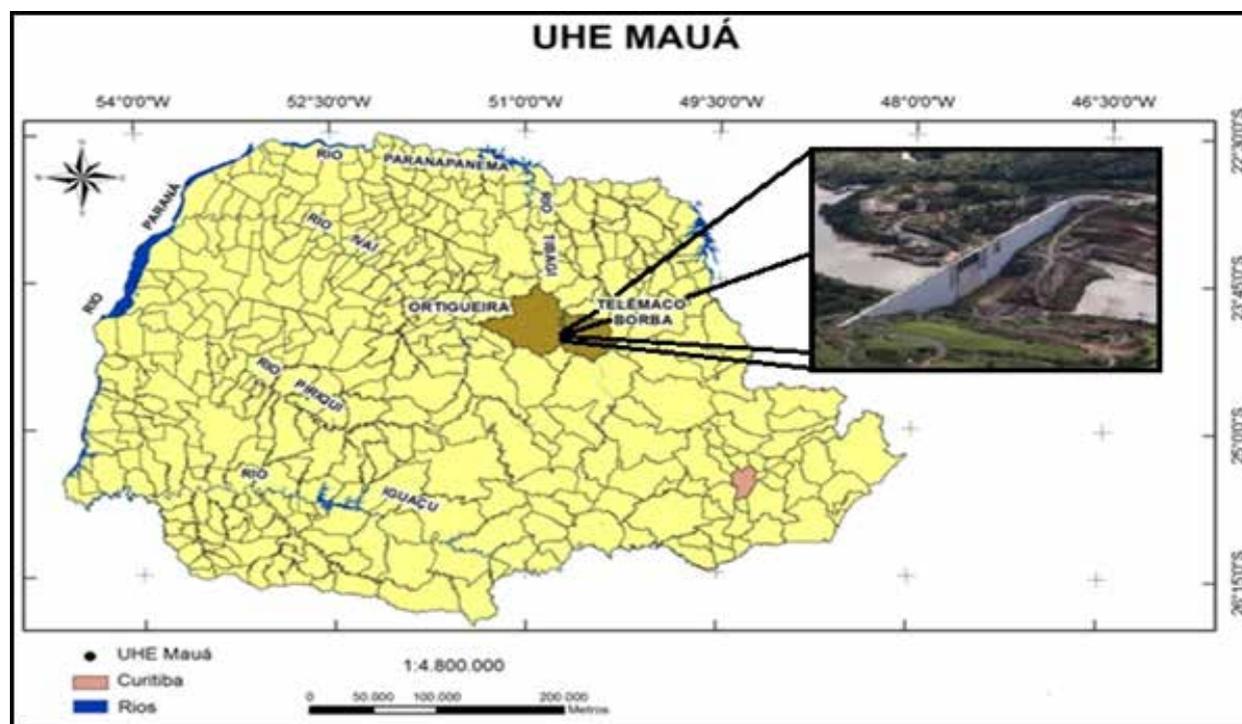


Figura 1 Localização da Usina Hidrelétrica de Mauá no estado do Paraná (Siguel, 2013).

A partir da utilização dos sistemas globais de navegação por satélite (Global Navigation Satellite Systems – GNSS), a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos da rede geodésica tornou-se corriqueira tomando o lugar dos métodos planimétricos e altimétricos realizados separadamente. A facilidade na execução do levantamento, quando comparado com outras técnicas, tornou-o bastante atrativo (Da Cruz, 2015).

A combinação de sistemas de navegação global (GNSS) e estações totais automáticas têm sido utilizadas para selecionar os melhores locais para os pontos de referência bem como dos pontos a serem monitorados. Essa combinação de tecnologias, GNSS e TPS (Total Positioning Station), vem provando sua eficiência em diversos projetos de engenharia (mineração, construção civil, monitoramento da superfície do solo, etc.), mas foi em 2005 que pela primeira vez tal sistema foi aplicado com sucesso para lidar com as especificações desafiadoras da construção da Torre de Burj Khalifa em Dubai, um dos edifícios mais altos do mundo com 828 metros de altura (Cranenbroeck & Balan, 2012).

No presente estudo foi utilizado GNSS para a definição das coordenadas da rede geodésica de referência através do processamento pelo método relativo estático com as estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Com as coordenadas da rede geodésica definidas, estas foram utilizadas como referência para a determinação das coordenadas dos pontos de monitoramento localizados no corpo da barragem pelo método da irradiação utilizando Estação Total robotizada.

2.2.1 Monitoramento Geodésico em tempo real

A automação das medições de deslocamentos por meio de sistemas computacionais tem origem na década de 1980. Naquela época, os primeiros esforços foram feitos em relação ao controle remoto de sensores geodésicos e geotécnicos, usando computadores pessoais. Desde então, muitos sistemas de software e hardware para monitoramento de deslocamento foram desenvolvidos em universidades e corporações (Zhimin & Wenjie, 2000).

As soluções de monitoramento de estruturas utilizam equipamentos de posicionamento geodésico e topográfico, que podem ser estações totais robóticas de alta precisão ou receptores GNSS. Para os dois tipos de equipamentos existem vários sistemas proprietários de monitoramento de deslocamento, feitos pelos fabricantes de sensores (Leica Geosystems, Trimble Navigation e Sokkia/Topcon, entre outros) ou por escritórios de engenharia para seus próprios negócios. Essas soluções geralmente são projetadas como aplicativos isolados e vendidas comercialmente. Os sensores são limitados a tipos ou produtores específicos, e

as interfaces para troca de dados e controle remoto não estão abertas a produtos de terceiros, para garantir um bloqueio de fornecedor (Engel & Schweimler, 2016).

Apesar do progresso em termos de sensores e dispositivos de hardware para controle remoto, uma plataforma de software aberta para monitoramento de deformação ainda não está disponível. Por essa razão, esforços estão sendo realizados pela comunidade acadêmica para desenvolver uma solução universal de monitoramento de código aberto com independência de plataforma, funções seguras de controle remoto usando interfaces padronizadas para troca de dados e compatibilidade com ambientes de computação em nuvem (Engel & Schweimler, 2016).

2.3 Rede Geodésica de Referência

A rede geodésica de referência da UHE Mauá é composta por dois Pilares Geodésicos à montante PG01 e PG02 e um pilar à jusante PG03. Estes têm suas posições materializadas através de sistemas de centragem forçada. Além disso, dois dispositivos de centragem forçada são instalados na crista da barragem CG01 e CG02 permitindo uma ligação entre os pontos à montante e à jusante como mostra a Figura 2.

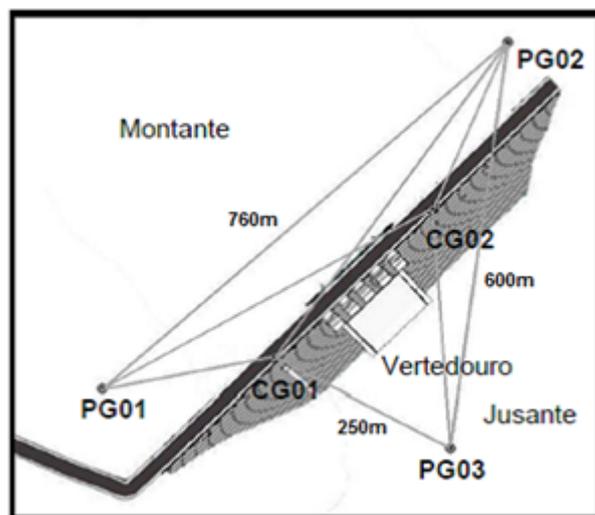


Figura 2 Disposição dos Pilares Geodésicos (PGs) e Cristas Geodésicas (CGs) da Rede Geodésica de referência da UHE Mauá (Da Cruz, 2015).

2.3.1 Levantamento da Rede Geodésica de Referência

Os cinco marcos geodésicos da rede são ocupados simultaneamente por receptores GNSS com tempo mínimo de rastreamento de 6 horas. Os receptores são identificados em relação aos marcos geodésicos de modo a utilizar o mesmo conjunto marco-receptor em todas as campanhas a fim

de se obter as coordenadas dos pilares com os mesmos equipamentos.

Realizou-se duas seções de rastreamento a uma taxa de 5 segundos nos dias 24/04/2018 e 09/08/2018. Apesar da RBMC utilizar uma taxa de gravação de 15 segundos, realizou-se a coleta dos dados com taxa de 5 segundos para posterior processamento da rede geodésica materializada na região da usina. No processamento dos dados GNSS utilizou-se uma máscara de elevação de 10° e efemérides precisas, fornecidas pelo IGS – International GNSS Service (IGS, 2018). Utilizou-se também parâmetros calibrados para as antenas dos receptores, fornecidos pelo NGS – National Geodetic Survey (NGS, 2018).

No ajustamento foram analisadas todas as combinações possíveis entre as linhas de base disponíveis num raio de 300 km e a melhor solução encontrada foi um arranjo com as quatro bases da RBMC indicadas na Figura 3.

Para realizar o processamento dos demais marcos, utiliza-se o PG03 como referência e novamente pelo método relativo estático determinam-se as coordenadas geodésicas (δ , ϵ e h) dos demais marcos geodésicos como mostra a Figura 4.

Para cada linha de base processada foram analisados PDOPs e resíduos, com trechos ruins de satélites sendo eliminados. Para se alcançar um resultado único, realizou-se o ajustamento utilizando o próprio software Topcon Tools.

2.3.2 Transformação de coordenadas

Com o objetivo de facilitar o entendimento e a interpretação do comportamento dos pontos de monitoramento, as coordenadas da rede geodésica são transformadas para um Sistema de referencial cartesiano local, Sistema de Coordenadas da Barragem (SB), com um eixo no sentido longitudinal da estrutura com orientação positiva na direção da margem direita “XB”, o eixo perpendicular a este e orientação positiva no sentido do fluxo do rio (montante para jusante) “YB” e o eixo “ZB” completando o terno do sistema dextrogiro. (Da Cruz, 2015).

A Figura 5 ilustra a representação do SB pelos eixos XB e YB.

2.4 Campanhas de Monitoramento na UHE Mauá

Atendendo ao plano de monitoramento de barragem elaborado pela ANA (2015), as campanhas de monitoramento da barragem da Usina Hidrelétrica Mauá foram realizadas semestralmente com o intuito de verificar possíveis deslocamentos, dos pontos monitorados, no período de operação da barragem. Porém para melhor análise dos resultados dos equipamentos realizou-se três campanhas de monitoramento.

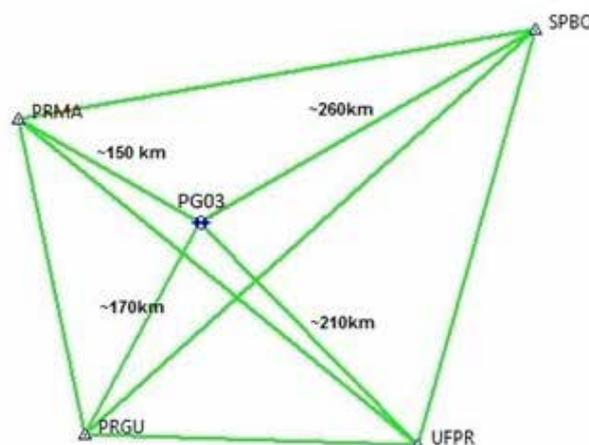


Figura 3 Geometria de processamento GNSS do PG03 com as bases da RBMC.

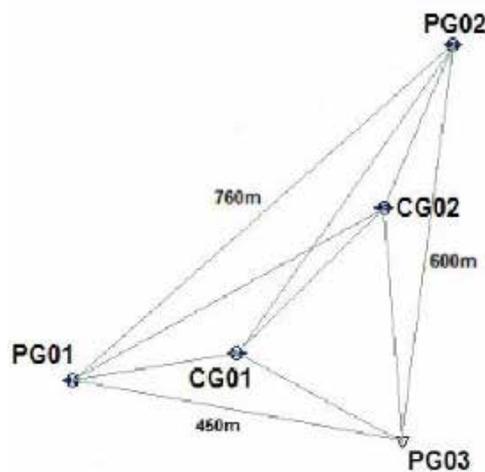


Figura 4 Geometria de processamento da Rede Geodésica de Referência em relação ao PG03.

Na primeira campanha realizou-se o levantamento GNSS da rede Geodésica e o levantamento dos pontos de monitoramento através da técnica da irradiação. Na segunda campanha foi realizado novamente o levantamento GNSS da rede e dos pontos de monitoramento para a verificação do deslocamento/estabilidade dos pontos. Como nesta campanha as comportas do vertedouro estavam abertas devido à manutenção nas turbinas, gerando uma névoa de água que poderiam influenciar nas direções e distâncias medidas. Realizou-se então outra campanha de levantamento com as comportas fechadas para avaliar a influência ou não deste fenômeno. Em função deste fato realizou-se uma terceira campanha. A Tabela 3 apresenta o nível do reservatório em cada campanha.

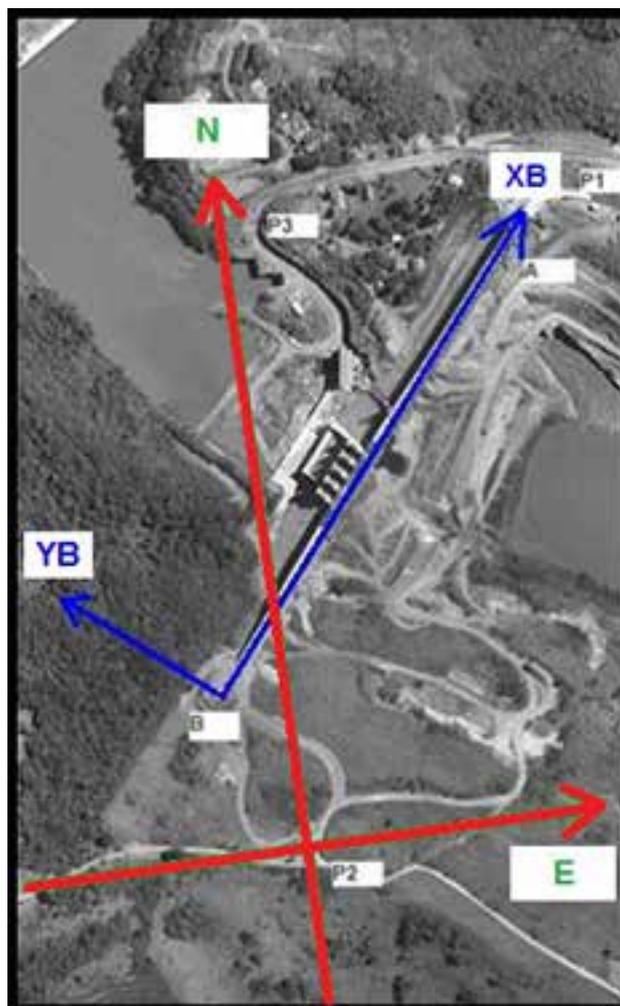


Figura 5 Transformação do Sistema de Coordenadas Geodésicas para o Sistema de Coordenadas da Barragem (Da Cruz, 2015).

Data	Campanha	Nível água	Levantamento
24/04/2018	Primeira	633,43m	GNSS e irradiação
09/08/2018	Segunda	628,87m	GNSS e irradiação
05/09/2018	Terceira	628,52m	Irradiação

Tabela 3 Características das campanhas de monitoramento.

Analisando o nível do reservatório nas três campanhas é possível perceber que o reservatório variou mais de 5m da primeira para a última campanha.

2.5 Levantamento dos pontos de Monitoramento utilizando Geomos

Para o levantamento com o GeoMos, realizou-se a comunicação entre a estação total e o sensor de temperatura

e pressão com o computador onde está instalado o software, utilizando cabos RS232. Com a comunicação efetivada, a estação total robótica sobre o pilar PG03 e um refletor no dispositivo de centragem forçada CG01 realizou-se a orientação. Para tal, utilizou-se as coordenadas obtidas através do GNSS, transformadas para o sistema da barragem (XB). Com a orientação concluída, realizou-se a primeira medição manualmente a fim de informar ao software a localização de todos os prismas localizados à jusante no corpo da barragem conforme mostra a Figura 6.

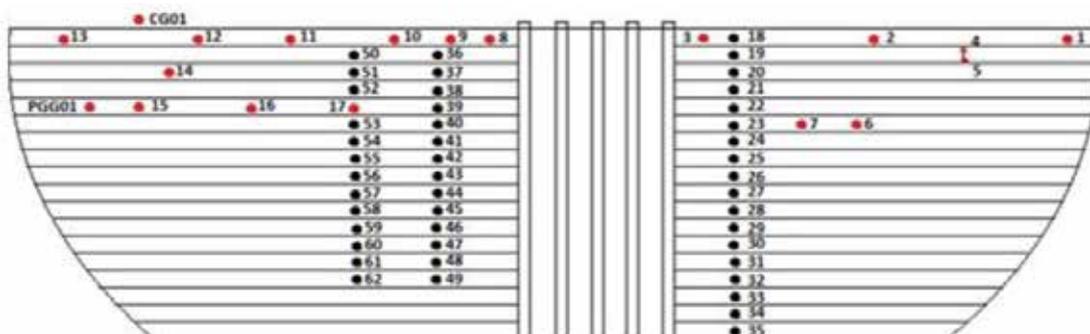


Figura 6 Localização dos prismas no corpo da barragem.

3 Resultados e Discussões

A Tabela 4 mostra a diferença das coordenadas dos pilares da rede geodésica de monitoramento no sistema da barragem obtida na primeira e segunda campanha de monitoramento.

Considerando que não houve diferença, dentro de um nível de significância de 95%, das coordenadas obtidas em épocas diferentes, as coordenadas da Rede Geodésica de Referência foram utilizadas para a orientação do levantamento no corpo da barragem.

3.1 Resultados dos Equipamentos

A Tabela 5 apresenta a média da diferença das coordenadas entre a segunda e a primeira campanha de monitoramento dos pontos à jusante obtidas partir dos dados levantados com a estações TS15 (com precisão angular de

1'') e TCRA 1205 (com precisão angular de 5''), utilizando o software GeoMos para obtenção das coordenadas dos pontos de monitoramento.

Como nos dois equipamentos o deslocamento em XB apresentou valores inesperados, sendo que na TCRA 1205 o valor de XB foi até maior do que em YB e em ZB, suspeitou-se do resultado. Vale relembrar que na primeira campanha as comportas do vertedouro estavam fechadas e na segunda campanha as comportas do vertedouro estavam abertas, com isso a névoa de água poderia influenciar nas direções e distâncias medidas. Para confirmar esta suspeita, realizou-se mais uma campanha de monitoramento com as comportas fechadas.

A Tabela 6 apresenta a diferença da média das coordenadas encontradas com as Estações TS15 e TCRA 1205 entre as campanhas estavam com as comportas fechadas calculados com o software GeoMos.

Pilar	XB (m)	σ_{XB} (m)	YB (m)	σ_{YB} (m)	ZB (m)	σ_{ZB} (m)
CG01	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,001	0,001
PG01	0,001	0,000	0,000	0,000	-0,002	0,001
CG02	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,002	0,001
PG02	-0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
PG03	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

Tabela 4 Diferença das coordenadas da Rede Geodésica de Referência entre a primeira e a segunda campanha.

Estação	ΔXB (m)	σ_{XB} (m)	ΔYB (m)	σ_{YB} (m)	ΔZB (m)	σ_{ZB} (m)
TS15	-0,004	$\pm 0,001$	-0,005	$\pm 0,002$	0,005	$\pm 0,001$
TCRA 1205	-0,005	$\pm 0,003$	-0,002	$\pm 0,003$	0,003	$\pm 0,003$

Tabela 5 Diferença encontrada entre a primeira e a segunda campanha de monitoramento com diferentes equipamentos utilizando o GeoMos.

**Análise do Monitoramento Geodésico de barragem com Equipamentos
de Diferentes Precisões e Diferentes Softwares de Processamento**
Andreas Jerke & Pedro Luís Faggion

Estação	ΔXB (m)	σXB (m)	ΔYB (m)	σYB (m)	ΔZB (m)	σZB (m)
TS15	-0,001	$\pm 0,001$	-0,003	$\pm 0,002$	0,000	$\pm 0,001$
TCRA 1205	0,000	$\pm 0,003$	0,001	$\pm 0,003$	-0,001	$\pm 0,003$

Tabela 6 Diferença encontrada entre a primeira e a terceira campanha de monitoramento com diferentes equipamentos utilizando o GeoMos.

Com estes resultados pode-se verificar que o fato das comportas estarem abertas, a névoa de água presente pode influenciar as medidas de direções, distâncias e consequentemente as coordenadas que deve ser investigado.

Já quando analisado os resultados das campanhas com as comportas fechadas, verifica-se que não há indicação de movimento lateral, mas somente deslocamentos no sentido do fluxo do rio dentro dos limites aceitáveis devido à baixa de aproximadamente 5 metros do nível de água do reservatório.

3.2 Resultados dos Softwares

A Tabela 7 apresenta a média da diferença das coordenadas encontradas com as Estações TS15 e TCRA 1205 entre a terceira e a primeira campanha de monitoramento dos pontos à jusante, calculados com o software desenvolvido por Da Cruz (2015).

A Tabela 8 apresenta a diferença média das coordenadas obtidas com as comportas fechadas utilizando diferentes equipamentos e softwares.

A Tabela 9 apresenta a diferença do deslocamento encontrado na terceira campanha entre os softwares GeoMos e o de Da Cruz, 2015 em cada equipamento.

Nota-se que os deslocamentos encontrados com o software pós-processado desenvolvido por Da Cruz, 2015 são iguais com os deslocamentos encontrados com o GeoMos na estação TS15 e que na TCRA1205 apresentam diferenças igual a 1 milímetro.

O método pós-processado utilizado consiste em calcular a média das coordenadas de todas as séries da campanha, já o método de processamento do GeoMos é um código fechado a terceiros. Os resultados obtidos são estatisticamente iguais.

Estação	ΔXB (m)	σXB (m)	ΔYB (m)	σYB (m)	ΔZB (m)	σZB (m)
TS15	-0,001	$\pm 0,001$	-0,003	$\pm 0,002$	0,000	$\pm 0,001$
TCRA 1205	-0,001	$\pm 0,003$	0,000	$\pm 0,003$	-0,002	$\pm 0,003$

Tabela 7 Diferença encontrada entre a primeira e a terceira campanha de monitoramento com diferentes equipamentos utilizando o método pós-processado.

Estação	GeoMos			Pós-processamento		
	ΔXB	ΔYB	ΔZB	ΔXB	ΔYB	ΔZB
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
TS15	-0,001	-0,003	0,000	-0,001	-0,003	0,000
T1205	0,000	0,001	-0,001	-0,001	0,000	-0,002

Tabela 8 Diferenças de coordenadas encontradas com os diferentes equipamentos e softwares.

Equipamento	ΔXB (m)	ΔYB (m)	ΔZB (m)
TS15	0,000	0,000	0,000
TCRA 1205	-0,001	-0,001	-0,001

Tabela 9 Diferença do deslocamento encontrado com os diferentes softwares

4 Conclusões

Analisando os valores das diferenças de coordenadas encontradas juntamente com as imprecisões dos equipamentos através da propagação de covariâncias nota-se que os resultados obtidos com os dois equipamentos são iguais dentro de um nível de significância de 95% em XB e ZB onde o deslocamento médio é de 0,000m. Em YB o deslocamento encontrado com as duas estações variou, sendo que na TS15 o valor encontrado foi de $-0,003 \pm 0,002$ m e na TCRA1205 foi de $0,001 \pm 0,003$ m. Estes deslocamentos em YB podem ser explicados devido à baixa de aproximadamente 5m no nível de água do reservatório entre as campanhas. Por fim, verifica-se que tanto o processamento feito em tempo real com o GeoMos quanto o pós-processamento realizado com o software de Da Cruz (2015) apresentam resultados estatisticamente iguais em ambos equipamentos. Além disso, considerando a precisão das estações totais serem de 1" e 5", as coordenadas obtidas, mesmo utilizando diferentes software são estatisticamente iguais.

5 Referências

- Alves, H.R. 2016. *O Rompimento de barragens no Brasil e no mundo: desastres mistos ou tecnológicos?* Belo Horizonte, Faculdade Dom Helder Câmara, 5p.
- ANA. 2015. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/>> Acesso em 20 out. 2018.
- Brown, D. 2012. *501 Desastres mais devastadores de todos os tempos*. São Paulo, Editora Lafonte, p. 196 - 221.
- Chen, X.; Huang, T.; Liu, L. & Shen, Y. 2013. *Application of GeoMoS in automatic monitoring of the protected area of subway*. School of Earth Sciences and Engineering, Hehai University, China, Master of Science Thesis, p. 36 - 51.
- Chrzanowski, A. & Szostak-Chrzanowski, A. 2009. Deformation monitoring surveys – Old problems and new solutions. *Journal of Technical Sciences*, Olsztyn, p. 47 – 60.
- Cranenbroeck, J.V. & Balan, A. 2012. State of the art in structural geodetic monitoring solutions for Hydro Power dams. *Academia Nacional de Ciências da Ucrânia*, 36(1): 41-48.
- Da Cruz, W. 2015. *Integração de dados de monitoramento de estruturas antrópicas. Estudo de caso: UHE Mauá*. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, p. 74 - 91.
- Department of The Army. 1994. *Deformation monitoring and control surveying*. Washington, U.S. Army Corps of Engineers, 102 p.
- Engel, P. & Schweimler, B. 2016. Design and Implementation of a modern Automatic Deformation Monitoring System. *Journal of Applied Geodesy*, 10(1): 79-85.
- IGS. 2018. International GNSS Service. Disponível em: <<http://igsb.jpl.nasa.gov>>. Acesso em 15 out. 2018.
- Jingzhan, Z. 2002. Application of TCA2003 Total Station to surface deformation observation for Ertan Dam. *China Academic Journal Electronic*, 20(4): 34-38.
- LACTEC. 2007. Laboratório Central de Tecnologia. Disponível em: <<http://www.lactec.org.br/>>. Acesso em 15 out. 2018.
- Mello, F.M. 2013. A importância dos reservatórios formados por barragens. *Comitê Brasileiro de Barragens*, 47(1): 1-3.
- NGS. 2018. National Geodetic Survey. Disponível em: <<http://www.ngs.noaa.gov>>. Acesso em 15 set. 2018.
- Siguel, A.R. 2013. *Monitoramento da barragem da UHE Mauá utilizando irradiação tridimensional*. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Dissertação de Mestrado, 42p.
- Silveira, J.F.A. 2006. *Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e enrocamento*. São Paulo, Oficina de Textos, 33p.
- Wenchun, Z. & Zhengyuan, X. 2018. Research and Application of Modern Geomatics Technology in the Deformation Monitoring of Metro Tunnel. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 40(12): 2257-2265.
- Zhimin, L. & Wenjie, L. 2000. The latest development of dam Deformation Monitoring Automatic Technique. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 20(1): 89-94.