

## Análise dos resultados de processamentos de dados GNSS aplicado ao monitoramento de estruturas, utilizando efemérides transmitidas, precisas e o Posicionamento por Ponto Preciso do IBGE.

### RESUMO

Objetivando-se obedecer às normas de segurança de barragens e à legislação vigente, neste trabalho buscou-se alcançar precisões compatíveis com o monitoramento da barragem da UHE Mauá, no rio Tibagi, utilizando a tecnologia GNSS de precisão, método de posicionamento relativo estático. Para obtenção de coordenadas e seus respectivos desvios-padrão dos pontos da rede geodésica de monitoramento, foram abordados pós-processamentos de dados brutos utilizando-se linhas de base longa e curta, efemérides transmitidas, efemérides precisas e posicionamento por ponto preciso (PPP). Constatou-se que a utilização de efemérides transmitidas foi satisfatória, o que permite o processamento no dia seguinte à realização da campanha de coleta de dados. A utilização de efemérides precisas correspondeu ao esperado, quando utilizada a linha de base curta. Porém, a desvantagem está no lapso temporal para processamento de, no mínimo, 14 dias após a realização da campanha. O PPP e a linha de base longa resultaram desvios-padrão superiores àqueles obtidos com efemérides precisas e transmitidas e linha de base curta e, portanto, foram considerados como desaconselháveis à utilização em monitoramento de estruturas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segurança em Barragens. Monitoramento de estruturas. Sistema GNSS.

#### Wander da Cruz

[wander.cruz@ufpr.br](mailto:wander.cruz@ufpr.br)  
<https://orcid.org/0000-0003-0738-1283>  
Universidade Federal do Paraná (UFPR),  
Curitiba, Paraná, Brasil.

#### Pedro Luis Faggion

[faggion@ufpr.br](mailto:faggion@ufpr.br)  
<https://orcid.org/0000-0002-4881-8720>  
Universidade Federal do Paraná (UFPR),  
Curitiba, Paraná, Brasil.

#### Miguel Ribeiro Muggio

[mmuggio@gmail.com](mailto:mmuggio@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-3290-834X>  
Instituto de Formação em Administração  
de Terras e Cartografia (INFATEC),  
Maputo, Moçambique.

## INTRODUÇÃO

A discussão sobre segurança de barragens no país tornou-se oficial em 1979, com o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) que publicou as Diretrizes para Inspeção e Avaliação de Segurança de Barragens em Operação. Em 1999, foi lançado o Guia Básico de Segurança de Barragem, cujo objetivo é orientar a elaboração de projetos e construção de barragens seguras e diminuir o nível de risco destas construções (CBDB, 2001).

O Ministério da Integração Social lançou em 2002 o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens a fim de estabelecer uma rotina básica de procedimentos de segurança a serem aplicados na construção de novas barragens e na manutenção das já existentes. Este manual também indica que cada barragem deve possuir instrumental adequado às suas dimensões e que as leituras nesses instrumentos sejam realizadas e analisadas de forma periódica (CBDB, 2001).

Em 2010 foi sancionada a Lei 12.334/2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Nesta lei, também fica determinado que a Agência Nacional das Águas (ANA) fica incumbida de gerenciar os órgãos fiscalizadores das barragens e coordenar e encaminhar anualmente ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos o Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2010).

Diante de um cenário recente de tragédias envolvendo o rompimento de barragens de rejeito de mineração, como ocorrido com a Samarco em Mariana e com a Vale em Brumadinho, ambas em Minas Gerais, ressalta-se a importância do monitoramento destas construções em razão do risco oferecido à sociedade e da preocupação das autoridades que visam, por meio de normas e legislações, impor condições para que a segurança seja preservada.

Visando respeitar às normas de segurança e a legislação vigente, este estudo busca alcançar precisões compatíveis com o monitoramento de estruturas, utilizando a tecnologia *GNSS*. A estrutura utilizada para coleta dos dados e validação do trabalho é a barragem que forma o lago da UHE de Mauá que, por se tratar de uma usina construída sobre solo composto predominantemente de arenitos e siltitos com intrusões disseminadas de rochas ígneas básicas, apresenta interesse no monitoramento do comportamento da estrutura, em razão da menor previsibilidade da geologia, da menor resistência mecânica e maior suscetibilidade às ações hidráulicas e do intemperismo das rochas sedimentares.

Estas peculiaridades não isentam as demais barragens do monitoramento, porém, cada uma delas possuem suas próprias particularidades e exigência de precisão que devem ser consideradas no momento da avaliação e levantamento.

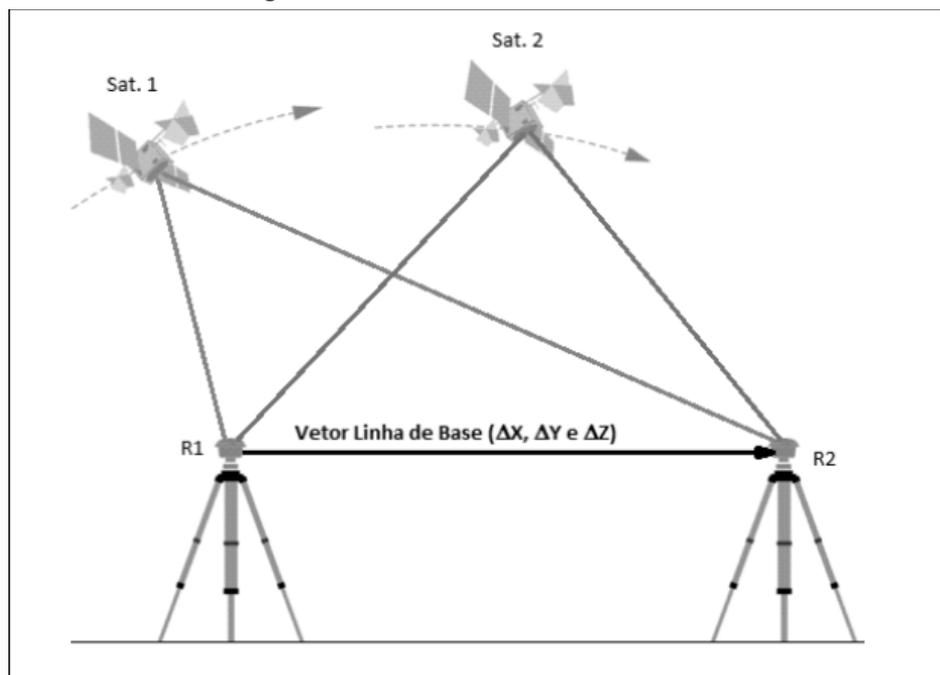
Neste sentido, serão abordados os pós-processamentos de dados *GNSS* para obtenção das coordenadas e seus desvios-padrão de pontos da rede geodésica de monitoramento, utilizando-se linhas de base longa e curta, efemérides transmitidas, efemérides precisas e posicionamento por ponto preciso (PPP).

O objetivo é analisar a precisão dos resultados gerados a partir destes diferentes parâmetros de processamento, verificando a relação entre a precisão alcançada e o tempo para a aquisição das efemérides.

## REVISÃO DE LITERATURA

Para a realização de um levantamento *GNSS* de precisão, como é necessário em monitoramento de estruturas, recomenda-se a utilização do método de posicionamento relativo estático (MONICO, 2008). Neste método, as coordenadas do ponto de interesse são determinadas a partir dos dados rastreados em um ou mais receptores simultaneamente, posicionados em pontos de coordenadas previamente conhecidas, juntamente com o receptor posicionado no ponto de interesse (Figura 1).

Figura 1: Posicionamento Relativo Estático



Fonte: Marques, Pacheco e Tanajura (2016).

Após realizados os rastreios, deve-se proceder o processamento desses dados para a obtenção das coordenadas do ponto de interesse. Durante este procedimento é necessária a utilização de efemérides, que segundo Mourão (1987), é uma “tabela que fornece, em intervalos de tempo regularmente espaçados, as coordenadas que definem a posição de um astro”, no caso, dos satélites do sistema *GNSS*.

Para obtenção dos resultados em curto espaço de tempo, pode-se utilizar as efemérides transmitidas, que são previstas e comunicadas aos usuários através de mensagens de navegação no momento do rastreamento. Já as efemérides precisas são provenientes de centros subordinados ao *IGS* (*International GNSS Service*) a partir de estimativas de elementos orbitais observados, e por isso, o tempo demandado é maior. Por este motivo, a acurácia das efemérides precisas é melhor do que a acurácia das efemérides transmitidas (SEEBER, 1993). Segundo Monico (2008), as efemérides precisas têm sido utilizadas, além do processamento de linhas de base longas, em aplicações que demandam grandes precisões, como, por exemplo, no controle de estruturas.

O posicionamento por ponto preciso (PPP), não é realizado pelo próprio usuário, mas por um serviço oferecido de forma on-line e disponível no sítio do

IBGE. No posicionamento com *GNSS*, o PPP refere-se à obtenção da posição de um ponto utilizando as observáveis da fase da onda portadora, coletadas por receptores de duas frequências e em conjunto com os produtos precisos (órbitas e erro dos relógios dos satélites), como por exemplo, aqueles disponíveis no *IGS* (*International GNSS Service*) ou *NRCan* (IBGE, 2017, p.2).

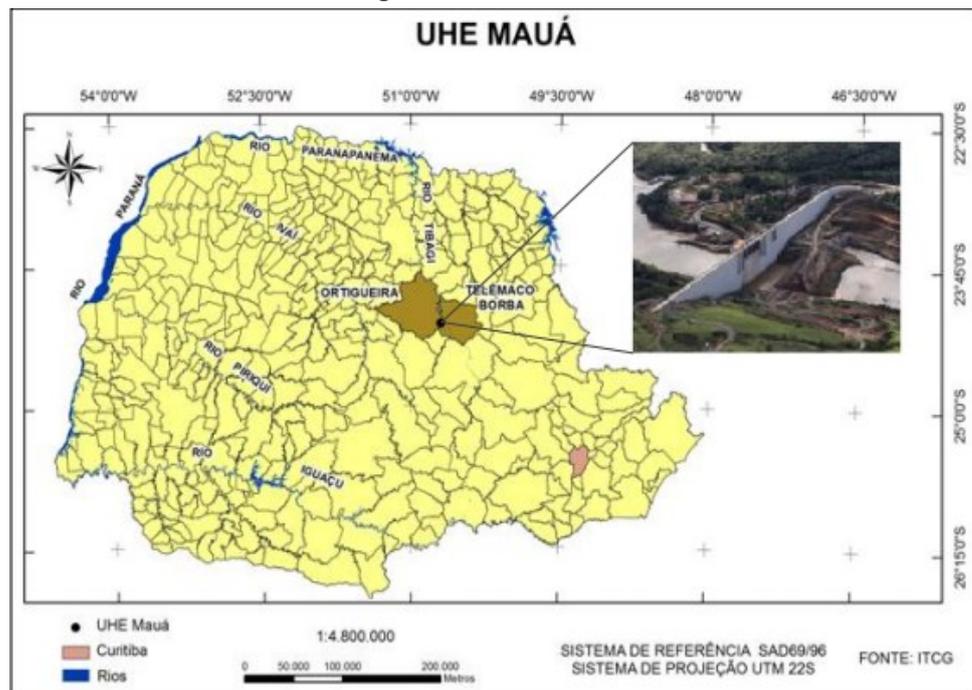
## METODOLOGIA

Neste capítulo, serão descritos como os processamentos utilizando efemérides e PPP se comportam, buscando-se os menores desvios-padrão das coordenadas dos pilares de centragem forçada e maior confiabilidade dos resultados. Abaixo segue a breve descrição e localização da UHE Mauá.

## ÁREA DE ESTUDO E SUA LOCALIZAÇÃO

A Usina Mauá situa-se na região do Salto Mauá, porção média do rio Tibagi, distante 600 metros a montante (rio acima) da Usina Presidente Vargas, com potência instalada de 22,5 MW, localizada entre os municípios de Ortigueira e Telêmaco Borba – Paraná (USINAMAUA, 2011) (Figura 2).

Figura 2: Área de estudo



Fonte: Siguel (2013).

Conforme dados publicados pela concessionária na página oficial da usina (USINAMAUA, 2011), a barragem (Figura 3 e Figura 4) - que serve também como ponte de ligação entre os municípios de Ortigueira e Telêmaco Borba, com pista de mão dupla e passagem para pedestres - possui 745m de comprimento na crista e 85 metros de altura máxima.

Figura 3: Barragem vista da margem direita (montante)



Fonte: Autoria própria (2011).

Figura 4: Barragem vista da margem direita (jusante)



Fonte: Autoria própria (2011).

A Figura 5 apresenta uma imagem da barragem, com o posicionamento dos pilares de centragem forçada (PG01, PG02 e PG03) e ponto CG01 fixado sobre a estrutura da barragem, utilizados durante as campanhas de monitoramento.

Figura 5: Localização aproximada dos pontos



Fonte: adaptado de VEIGA et al (2012).

Os pontos denominados PG01, PG02 e PG03 são materializados com dispositivos de centragem forçada fixados sobre pilares construídos em concreto, cuja fundação é engastada na rocha, o que garante sua estabilidade. Os dispositivos de centragem forçada permitem a repetibilidade da instalação dos equipamentos de medição.

A posição do ponto PG03 não permite visada para o ponto PG01 por causa do desnível em relação à barragem. Por esta razão, o ponto CG01 foi materializado como ligação para as visadas PG03-PG01 e, portanto, não está instalado sobre um pilar, mas materializado por um dispositivo de centragem forçada fixado sobre a estrutura da barragem.

Estes quatro pontos fazem parte da rede geodésica de monitoramento, cujas coordenadas são previamente determinadas por levantamento *GNSS* para análise quanto à possível movimentação global do entorno da barragem em relação à crosta terrestre. O resultado desta análise permite avaliar a estabilidade da rede geodésica de monitoramento.

Com este trabalho, objetiva-se analisar as coordenadas e seus respectivos desvios-padrão, obtidos por processamentos dos dados *GNSS* com efemérides transmitidas, efemérides precisas e PPP, para verificação da relação entre precisão alcançada e tempo para a aquisição das efemérides de cada processamento. A ocupação dos pontos e a aquisição dos dados de rastreamento são descritas a seguir.

### **AQUISIÇÃO DOS DADOS DE RASTREIO GNSS**

Os quatro pontos da rede geodésica de monitoramento foram ocupados, simultaneamente, por uma antena e seu respectivo receptor, com tempo igual de rastreamento para todos os equipamentos. Os processamentos dos dados brutos

foram realizados em razão do tempo de rastreamento com efemérides transmitidas, precisas e PPP para cada ponto rastreado.

Foram utilizados receptores modelos 1200 (GPS) da fabricante Leica, com precisão horizontal de 5mm + 0,5ppm e vertical de 10mm + 0,5ppm, e *HiperLite* (GPS+GLONASS) da *Topcon*, com precisões horizontal e vertical de 3mm + 0,5ppm e 5mm + 0,5ppm, respectivamente.

Os pilares PG01 e PG02, que possuem maior elevação em relação aos demais, foram ocupados pelos equipamentos *HiperLite*, em razão da precisão destes receptores. O ponto PG01 foi definido como base e PG02 um ponto de boa observação, que poderia ser considerado como base, caso PG01 apresentasse algum problema, o que não aconteceu. Em CG01 e PG03 utilizou-se o modelo 1200 da *Leica*.

Para a aquisição dos dados, utilizou-se o método relativo estático, com ocupações que variaram de aproximadamente 1h45min a um pouco mais de 10h30min, em diferentes datas de levantamentos. Com este intervalo de tempo, buscou-se melhorar a qualidade do posicionamento, uma vez que a constelação de satélites varia durante o rastreamento, permitindo o aumento do número de equações de observação para o ajustamento da posição.

O tempo de rastreamento é relevante para processamento com efemérides transmitidas e para PPP. No posicionamento por ponto preciso, segundo IBGE (2013), as precisões obtidas com receptores L1 e L2 após 1 hora de rastreamento são de 0,016m, 0,045m e 0,049m para as componentes latitude, longitude e altitude, respectivamente, podendo chegar a aproximadamente 0,002m, 0,006m e 0,010m, após 6 horas de rastreamento. Aos interessados em maiores informações sobre métodos de levantamentos GNSS recomenda-se Monico (2008), Segantine (2005), Leick (2004), Monico (2000), Seeber (1993) e Andrade (1988), entre outros.

Após realizada a coleta, seguem os processamentos dos dados, cujo detalhamento é descrito no próximo tópico.

## **PROCESSAMENTO DOS DADOS DE RASTREIO GNSS**

Esta pesquisa vem sendo realizada em parceria com a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) e o software utilizado para processamento é o *Leica GeoOffice*, ou seja, o mesmo software comercial utilizado pela instituição parceira. Assim, não foi possível variar a configuração de parâmetros durante o processamento, ao contrário do que se poderia com a utilização de software científico.

Para o processamento com linha de base longa, foram utilizadas as estações PRGU, em Guarapuava e PRMA, em Maringá, ambas no Paraná. Existe uma vantagem no processamento com efemérides transmitidas, pois o IBGE disponibiliza os arquivos das estações de referência diariamente, o que favorece a possibilidade de processamento dos dados brutos no dia seguinte à sua coleta.

O processamento com efemérides precisas possibilita melhor posicionamento em razão da correção da posição dos satélites. Porém, em virtude do lapso de tempo de 14 dias para sua disponibilização para

processamento, cogitou-se a comparação de resultados para verificar se o uso de efemérides transmitidas poderia alcançar a precisão desejada.

Primeiramente, foram processados todos os pontos da rede (PG01, PG02, POG3 e CG01) em relação às estações PRGU e PRMA (linha de base longa). Posteriormente, os pontos da rede foram processados em relação ao PG01 (linha de base curta) para avaliar a diferença de qualidade do processamento utilizando linha de base longa e linha de base curta.

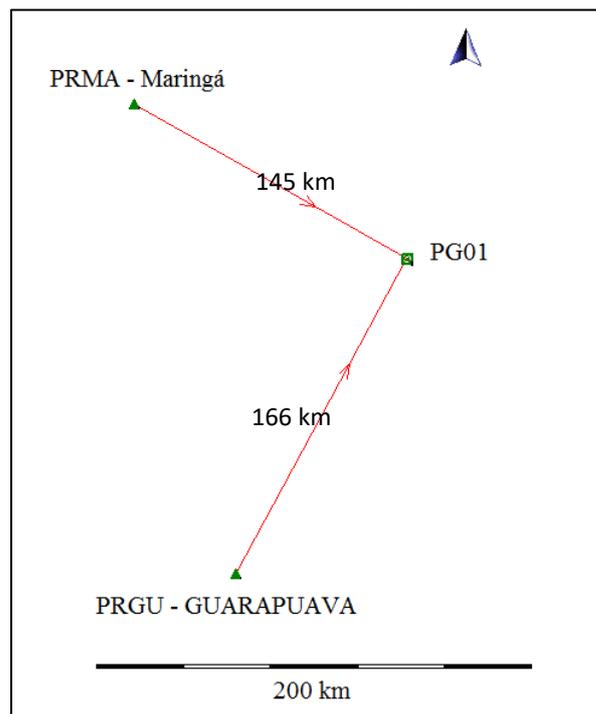
As estações de linha de base mencionadas encontram-se às seguintes distâncias aproximadas, em relação ao centro da rede em estudo:

PRGU - Guarapuava – 166 km;

PRMA - Maringá – 145 km.

A Figura 6 a seguir, refere-se ao processamento do PG01 em relação às estações de referência e a Figura 7 refere-se ao processamento de todos os pontos (PG01, PG02, POG3 e CG01) em relação às mesmas estações.

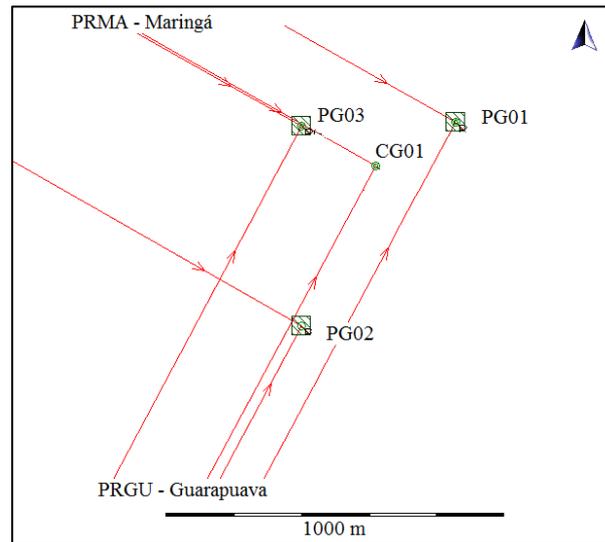
Figura 6: Linhas de base unindo as estações e o ponto PG01



Fonte: Autoria própria (2012).

Em seguida observa-se em detalhe as linhas de base que unem cada um dos pontos (PG01, PG02, POG3 e CG01) às estações PRGU e PRMA.

Figura 7: Detalhe dos pontos processados



Fonte: Autoria própria (2012).

Após a obtenção das coordenadas e dos desvios-padrão do ponto PG01, este foi utilizado como base para processamento dos demais, conforme pode ser observado na Figura 8.

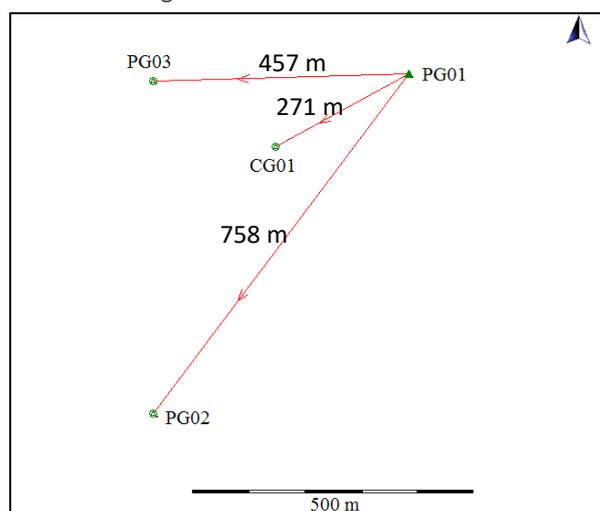
Considerando o ponto PG01 como referência, as distâncias em relação aos demais pontos são as seguintes:

PG01 – PG02: 758 m;

PG01 – PG03: 457 m;

PG01 – CG01: 271 m.

Figura 8: Pilar PG01 como base



Fonte: Autoria própria (2012).

Finalmente, os dados foram processados utilizando o posicionamento por ponto preciso que é um serviço disponibilizado pelo IBGE e pode ser realizado a partir de 1h30min após o rastreamento. Consiste em uma técnica de posicionamento

pós-processado que utiliza correções nos dados de relógio dos satélites contidos nas mensagens de navegação, além dos produtos fornecidos pelo IGS (*International GPS Service*). Para mais detalhes sobre PPP, consultar IBGE (2017).

## RESULTADOS

Na tabela a seguir (Tabela 1) verifica-se a configuração utilizada em cada um dos processamentos, ou seja, com efemérides transmitidas, efemérides precisas, PPP, com base longa e base curta.

Tabela 1: Configuração dos processamentos

PROC	DATA DA COLETA	ESTAÇÃO	PONTOS PROCESSADOS	PROCESSAMENTO UTILIZADO
1	30/02/12	PRGU e PRMA	PG01	Ef. Transmitidas
2	30/02/12	PRGU e PRMA	PG01	Ef. Precisas
3	30/02/12	PRGU e PRMA	PG01, PG02, PG03 e CG01	Ef. Transmitidas
4	30/02/12	PRGU e PRMA	PG01, PG02, PG03 e CG01	Ef. Precisas
5	20/04/12	PRGU e PRMA	PG01	Ef. Transmitidas
6	20/04/12	PRGU e PRMA	PG01	Ef. Precisas
7	20/04/12	PRGU e PRMA	PG01, PG02, PG03 e CG01	Ef. Transmitidas
8	20/04/12	PRGU e PRMA	PG01, PG02, PG03 e CG01	Ef. Precisas
9	03/05/12	PRGU e PRMA	PG01	Ef. Transmitidas
10	03/05/12	PRGU e PRMA	PG01	Ef. Precisas
11	03/05/12	PRGU e PRMA	PG01, PG02, PG03 e CG01	Ef. Transmitidas
12	03/05/12	PRGU e PRMA	PG01, PG02, PG03 e CG01	Ef. Precisas
13	30/02/12		PG01, PG02, PG03 e CG01	PPP
14	20/04/12		PG01, PG02, PG03 e CG01	PPP
15	03/05/12		PG01, PG02, PG03 e CG01	PPP
16	30/02/12	PG01	PG02, PG03 e CG01	Ef. Precisas
17	20/04/12	PG01	PG02, PG03 e CG01	Ef. Precisas
18	03/05/12	PG01	PG02, PG03 e CG01	Ef. Precisas

Fonte: Autoria própria (2012).

Ainda na Tabela 1, a coluna ESTAÇÃO corresponde à estação da RBMC utilizada para o processamento e a coluna PONTOS PROCESSADOS está vinculada ao processamento do ponto em relação à linha de base indicada pela coluna ESTAÇÃO.

Os processamentos 1 ao 12 foram feitos com efemérides transmitidas e precisas, utilizando linha de base longa. Os processamentos 13 a 15 foram feitos por PPP.

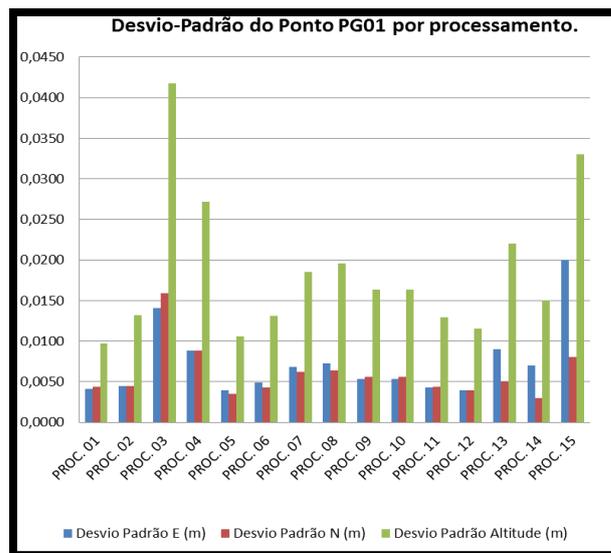
Os processamentos 16 ao 18 foram feitos com efemérides precisas e linha de base curta. Não foram apontados na referida tabela os processamentos 19 a 21 que corresponderiam às efemérides transmitidas, porque o resultado da precisão foi igual ao processamento com efemérides precisas.

Isso se deve ao fato de que o PG01 foi utilizado como linha de base curta e assim, a configuração dos satélites para ambos os processamentos foi praticamente a mesma, não implicando em variações sensíveis em termos de precisão.

Nos gráficos a seguir, os resultados são apresentados em função das incertezas atingidas nas coordenadas Leste (E), Norte (N) e Altitude Geométrica (H) dos pontos para cada forma de processamento. Os valores apresentados a seguir, nas explicações dos gráficos, foram retirados dos resultados dos processamentos, cujas tabelas foram suprimidas para evitar um texto demasiadamente extenso, e estão expressos em metro.

O ponto PG01, representado no Gráfico 1, foi processado a partir de base longa com efemérides transmitidas, precisas e por PPP.

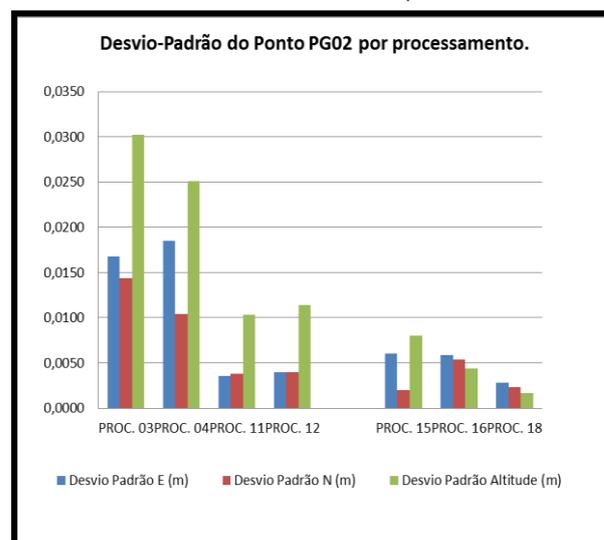
Gráfico 1: Desvio-Padrão do Ponto PG01



Fonte: Autoria própria (2012).

O menor valor de desvio-padrão para coordenadas horizontais ocorreu no processamento 12 com efemérides precisas (E=3,9mm, e N=3,9mm). Para a coordenada vertical, o menor valor de desvio-padrão foi obtido com o processamento 1 (H=9,7mm), a partir das efemérides transmitidas.

Gráfico 2: Desvio-Padrão do ponto PG02

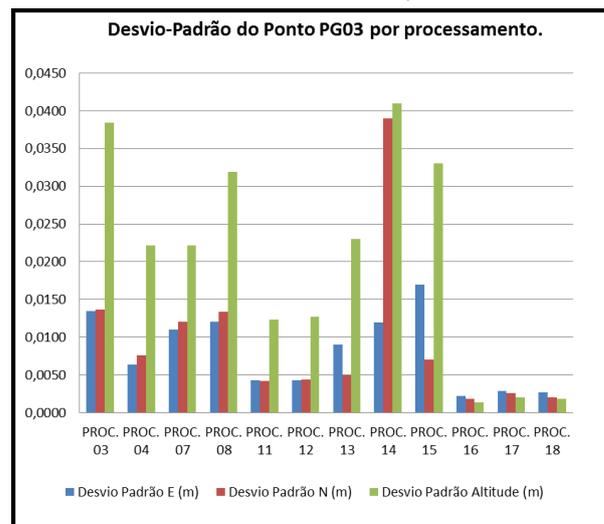


Fonte: Autoria própria (2012).

No Gráfico 2, relativo ao ponto PG02, o menor valor de desvio-padrão para coordenadas horizontal e vertical foi encontrado no processamento 18 (E=2,8mm, N=2,3mm e H=1,7mm), utilizando o ponto PG01 como linha de base.

A representação do processamento 13 foi suprimida, pois os valores eram demasiadamente altos (E=209mm, N=30mm e H=721mm), prejudicando a representação visível dos demais processamentos, já que o maior valor de desvio-padrão apresentado neste gráfico foi de H=30mm para o processamento 03.

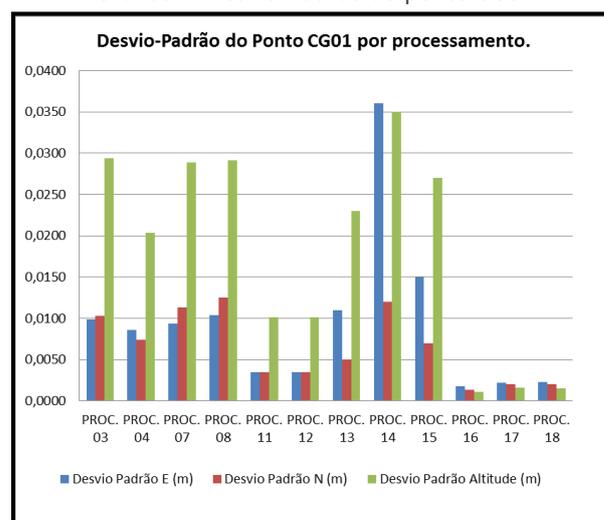
Gráfico 3: Desvio-Padrão do ponto PG03



Fonte: Autoria própria (2012).

Os processamentos do ponto PG03 (Gráfico 3) apresentaram os menores valores de desvio-padrão para o processamento 16 (E=2,2mm, N=1,8mm e H=1,4mm).

Gráfico 4: Desvio-Padrão do ponto CG01

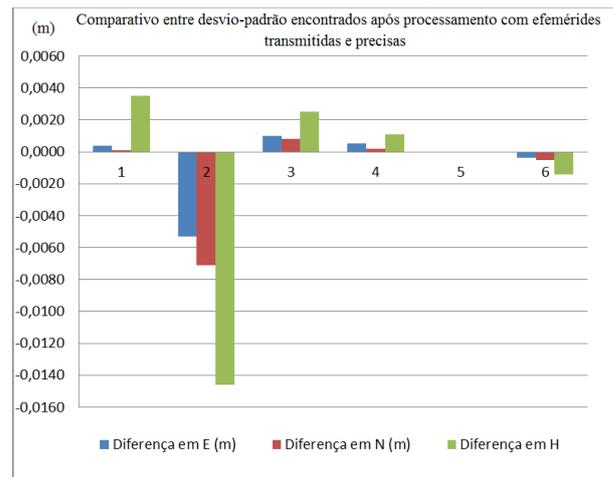


Fonte: Autoria própria (2012).

O processamento do ponto CG01 resultou nos menores valores de desvio-padrão no processamento 16 (E=1,8mm, N=1,4mm e H=1,1mm), assim como no caso do PG03 (Gráfico 4).

No Gráfico 5 está representado o comparativo entre os desvios-padrão do ponto PG01 encontrados a partir das efemérides transmitidas e precisas, com linha de base longa (processamentos 1 ao 12).

Gráfico 5: Comparativo entre desvio-padrão encontrados após processamento com efemérides transmitidas e precisas



Fonte: Autoria própria (2012).

O item 1 do gráfico corresponde às diferenças entre os desvios-padrão das coordenadas E, N, H do PG01, comparando o processamento 1 (efemérides transmitidas, conforme Tabela 1) e processamento 2 (efemérides precisas, conforme Tabela 1). O item 2 corresponde às diferenças dos desvios-padrão do mesmo ponto, comparando os processamentos 3 (transmitidas) e 4 (precisas). O item 3 corresponde às diferenças comparando os processamentos 5 e 6, seguindo assim, sucessivamente, até o item 6 que compara os processamentos 11 e 12.

Nos itens 2 e 6, os desvios-padrão foram maiores quando processados com efemérides precisas. Nos demais casos, os desvios-padrão obtidos com efemérides precisas foram menores do que com efemérides transmitidas, o que era esperado.

A partir da análise dos gráficos, percebe-se que os menores desvios-padrão foram alcançados para PG01, processamento 12 para coordenadas E e N, com efemérides precisas e processamento 1 para coordenada H, com efemérides transmitidas.

Em PG02, o menor valor de desvio-padrão para coordenadas E, N e H foi no processamento 18, utilizando o ponto PG01 como linha de base. No ponto PG03, os menores valores de desvio-padrão ocorreram no processamento 16 nas três coordenadas. O ponto CG01 resultou menores valores de desvio-padrão para E, N e H no processamento 16, destacando que PG02, PG03 e CG01 tiveram o mesmo comportamento em termos de desvio-padrão, utilizando tanto efemérides transmitidas quanto efemérides precisas.

Verificando a utilização de linha de base longa e do posicionamento por ponto preciso, concluiu-se que não atenderam às exigências para esse tipo de trabalho. O melhor resultado foi obtido com processamento a partir de base curta, ou seja, dos pontos PG02, PG03 e CG01 em relação ao PG01.

Como a utilização de base longa se confirmou como pior resultado e em razão do ponto PG01 encontrar-se situado dentro da área de influência da barragem, torna-se necessária a instalação de uma estação de monitoramento contínuo fora da região da barragem, porém, com distância a ser definida como próxima para fins de enquadramento como base curta.

A utilização de efemérides transmitidas cumpriu às exigências de precisão, confirmando a possibilidade de processamento dos dados no mesmo dia da campanha, dispensando a espera pela disponibilização das efemérides precisas.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se a utilização de diferentes parâmetros para pós-processamentos de dados brutos *GNSS* para monitoramento de estruturas. A análise dos resultados se deu em função dos desvios-padrão encontrados após a obtenção das coordenadas dos pontos da rede geodésica de monitoramento. A utilização de um software comercial para estes procedimentos está ligada ao fato de que os órgãos que utilizam os dados do monitoramento não utilizam softwares científicos.

Concluiu-se com os processamentos que os valores que apresentaram menores variações são os pontos processados utilizando o ponto PG01 como linha de base curta para os pontos PG02, PG03 e CG01. Estas variações oscilaram em 3 mm, conforme os gráficos 1, 2, 3 e 4. Para este processamento, os resultados utilizando tanto as efemérides transmitidas quanto as precisas foram similares.

Nos processamentos do PG01 com linha de base longa verificou-se que, em dois casos, os desvios-padrão obtidos a partir do processamento com efemérides precisas resultaram piores do que os obtidos com efemérides transmitidas (comparativo do Gráfico 5). Este resultado pode ser considerado atípico, porque o que se espera é que os resultados com efemérides precisas sejam melhores do que com efemérides transmitidas. Recomenda-se mais estudos neste sentido.

Recomenda-se, ainda, a implantação de uma estação de monitoramento contínuo na região não submetida à influência da barragem para a atuação como linha de base curta, devendo-se estudar o local de implantação para cumprir os objetivos referentes à não influência da barragem no ponto e distância considerada como linha de base curta.

Por fim, constatou-se que a utilização de efemérides transmitidas foi satisfatória em termos de precisão alcançada, quando comparadas à utilização de efemérides precisas, tornando-se vantajosa quanto ao quesito temporal, pois o processamento pode ser realizado no dia seguinte à campanha de coleta de dados. A utilização de efemérides precisas correspondeu ao esperado, quando utilizada a linha de base curta. Porém, sua desvantagem está no lapso de tempo para processamento de, no mínimo, 14 dias após a realização da campanha. O PPP e a linha de base longa resultaram desvios-padrão superiores àqueles

obtidos com efemérides precisas e transmitidas e linha de base curta e, por este motivo, foram considerados como desaconselháveis para processamento de dados brutos de levantamentos *GNSS* de precisão em monitoramento de estruturas.

# Results of GNSS data processing analysis applied to structure monitoring using broadcast ephemeris, precise ephemeris, and IBGE Precise Point Positioning

## ABSTRACT

In order to comply with the dam safety regulations and the current legislation, this work is aimed at monitoring the Mauá HPP dam in the Tibagi River in the most precise method possible. Specifically, the monitoring method exhibited in this study uses GNSS technology and static relative positioning method. To obtain coordinates and their respective standard deviations of the geodetic monitoring network points, raw data was processed using short and long baselines, broadcast ephemeris, precise ephemeris and precise point positioning (PPP). The result of the broadcast ephemeris was satisfactory, allowing for processing the day after the data collection campaign. The use of precise ephemeris corresponded expectation when the short baseline was used. However, the disadvantage is in the time lag for processing of at least 14 days after the campaign. PPP and the long baseline resulted in standard deviations higher than those obtained with broadcast ephemeris, precise ephemeris and short baseline. Therefore, PPP and long baseline were considered as inadvisable for use in monitoring structures.

**KEYWORDS:** Dam Security. Structures Monitoring. GNSS System.

## AGRADECIMENTO

Este trabalho tem a cooperação e suporte da Universidade Federal do Paraná, através do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e do Departamento de Geomática, que colocam a disposição as instalações e equipamentos do Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG), Laboratório de Topografia (LABTOPO) e da Companhia Paranaense de Energia através do projeto “LEVANTAMENTO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL DA REGIÃO E ENTORNO DA BARRAGEM DA UHE MAUÁ, UMA ABORDAGEM INOVADORA PARA O MONITORAMENTO GEODÉSICO NOS PONTOS DE RISCO”.

## REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional das Águas. Geração: 2010. Disponível em: <  
[http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id\\_noticia=8938](http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=8938) >  
Acessado em 10 de maio de 2011.

ANDRADE, J. B. DE. **Navstar – GPS**. Departamento de Geociências. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, 1988.

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.

CBDB. Comitê Brasileiro de Barragens. Núcleo de São Paulo. Guia Básico de Segurança de Barragens, São Paulo: 2001. 78p. Manual.

IBGE. Manual do Usuário – Aplicativo Online IBGE-PPP. Versão: abril de 2017  
Disponível em:  
[https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual\\_ppp.pdf](https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf).  
Acessado em 14 de janeiro de 2019.

IBGE. Manual do Usuário – Aplicativo Online IBGE-PPP. Versão: dezembro de 2013  
Disponível em:  
[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual\\_ppp.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf).  
Acessado em 21 de outubro de 2014.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 3th. ed. New Jersey: John Wiley and Sons, 2004.

MARQUES, H. A. PACHECO, A. P. TANAJURA, E. L. X. Uma abordagem de monitoramento geoespacial de barragens hidroelétricas a partir do GNSS: Resultados preliminares. **Estudos Geológicos**. UFPE, Recife, v. 26, n. 2, p.129-146, 2016. <http://dx.doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v26n2p129-146>

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª ed. vol. 1. São Paulo : Editora Unesp, 2008. 476 p.

MONICO, J. F. G. Posicionamento Por Ponto de Alta Precisão Utilizando o GPS: Uma Solução Para a Geodinâmica. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18, n. 1, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2000000100004>

MOURÃO, R. R. de F. **Dicionário enciclopédico de Astronomia e Astronáutica**. Rio de Janeiro : Editora Nova Fronteira, 1987.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin: Walter de Gruyter, 1993.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS: Sistema de Posicionamento Global**. São Carlos: EESC/USP, 2005.

SIGUEL, A. R. **Monitoramento da barragem da usina hidrelétrica Mauá utilizando irradiação tridimensional**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2013.

SILVA, R. N. F. **Avaliação da técnica de Nivelamento Trigonométrico, método Leap-Frog, na determinação de recalque em estruturas, com precisão milimétrica: estudo de caso para a UHE Mauá**. Seminário de Qualificação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2011.

USINAMAUA. Concluído o lançamento de concreto na barragem da UHE Mauá. Disponível em <<http://www.usinamaua.com.br/noticia/35>>. Acesso em 14 mai. 2012.

VEIGA L. A. K. et al. Primeiro relatório técnico do projeto intitulado: Levantamento geológico-estrutural da região e entorno da barragem da UHE Mauá, uma abordagem inovadora para o monitoramento geodésico nos pontos de risco. Curitiba. 2012. Não publicado.

**Recebido:** 19 abr. 2018

**Aprovado:** 06 mai. 2019

**DOI:** 10.3895/rbgeo.v7n1.7541

**Como citar:** CRUZ, W.; FAGGION, P. L.; MUGUIO, M. R.. Análise dos resultados de processamentos de dados GNSS aplicado ao monitoramento de estruturas, utilizando efemérides transmitidas, precisas e o Posicionamento por Ponto Preciso do IBGE. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 061-079, jan/mar. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Wander da Cruz

Rua Senador Batista de Oliveira, 182. CEP 81.530-150. Curitiba, Paraná, Brasil.

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

