

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/10: 2053-2062
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

INVESTIGAÇÕES PRELIMINARES DO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE SISTEMAS DE NIVELAMENTO DIGITAIS UTILIZANDO COMPARADOR HORIZONTAL NA UFPR

Preliminary Investigations in the Calibration Process of Digital Leveling Systems using Horizontal Comparator in UFPR

Alyne Raminelli Siguel Gemin, Érica Santos Matos & Pedro Luis Faggion

Universidade Federal do Paraná – UFPR

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – PPGCG

Centro Politécnico, Av. Cel Francisco H. dos Santos, s/n, Jardim das Américas - CEP: 81530-900, Curitiba (PR), Brasil
alynesiguel@utfpr.edu.br; {ematos.ufpr, pedro.faggion}@gmail.com

Recebido em 31 de Agosto, 2016/ Aceito em 22 de Novembro, 2016

Received on August 31, 2016/ Accepted on November 22, 2016

RESUMO

Com o avanço da tecnologia os sistemas de nivelamento digitais têm substituído os níveis convencionais em diversos campos da aplicação, principalmente devido à eficiência e automatização. Estes sistemas são compostos basicamente por um nível digital e uma mira gravada em código de barras, onde as precisões das observações estão relacionadas com a escala da mira, bem como os dispositivos CCD constantes nos níveis. Com o passar do tempo e devido ao desgaste em função do uso, tanto a escala do nível quanto da mira podem mudar, degradando a qualidade das observações. Desta forma, para alcançar e garantir um grau adequado de precisão nos levantamentos é essencial que os instrumentos de nivelamento sejam verificados e calibrados. Nos últimos anos, diversas pesquisas foram desenvolvidas para a calibração dos sistemas de nivelamento digitais, onde estruturas denominadas de comparadores verticais ou horizontais são utilizadas. No Brasil, não foram encontrados indícios sobre a investigação e construção destes sistemas, assim, é apresentado neste artigo as primeiras pesquisas voltadas ao projeto construtivo de um comparador horizontal na Universidade Federal do Paraná (UFPR), onde uma nova metodologia para o processo de calibração é proposta. Inicialmente, discute-se a importância da calibração dos sistemas de nivelamento digitais usando comparadores e, em seguida, são apresentados os primeiros resultados obtidos com observações realizadas neste sistema. Os resultados indicam a capacidade na detecção de variações submilimétricas, confirmando a potencialidade no processo de calibração de sistemas de nivelamento digitais do comparador horizontal da UFPR.

Palavras Chave: Calibração, Sistema de Nivelamento Digital, Comparador horizontal.

ABSTRACT

With the technology advance, the conventional levels equipment has been replaced the digital leveling systems in various fields of application, mainly due to the efficiency and automation. These systems are basically composed of a digital level and a rod engraved in bar code, where the precision of observations is related with the scale of the bar code of the rod and the CCD devices constants in the levels. However, with time passing and the wear of equipment, the level and rod scale can change, degrading the quality of the observations. Therefore, to achieve and ensure an adequate level of precision in the surveying is essential that the instruments be checked and calibrated. In recent years, various researches have been developed for calibration of digital leveling systems, where structures being denominated vertical or horizon-

tal comparators are used. In Brazil, we have not found evidences of research and construction of these systems, thus, in this article is presented the first investigations directed to the construction project of a horizontal comparator at the Federal University of Paraná, where a new methodology for the calibration process is proposed. Initially we discuss the importance of the digital leveling systems calibration using comparators and then we present the first results obtained with observations conducted in this system. The results indicate the detection of sub millimeter variations confirming the potentiality in the process of calibration of digital leveling systems with the horizontal comparator of UFPR.

Keywords: Calibration, Digital Leveling System, Horizontal Comparator.

INTRODUÇÃO

Em 1966, iniciaram-se os estudos para o desenvolvimento dos níveis digitais na Alemanha, mas somente na década de 90 foi lançado o que se denominou de sistema de nivelamento, composto por uma mira em código de barras e um nível digital (INGENSAND, 1999). Atualmente, com o avanço da tecnologia, os níveis têm se tornado cada vez mais eletrônicos, o que leva a um aumento da eficiência através de instrumentos sofisticados e parcialmente automatizados (WOSCHITZ & HEISTER, 2016).

Nas últimas décadas, os níveis digitais têm substituído os níveis convencionais em diversos campos de aplicação, principalmente devido à alta precisão e automatização das leituras (WOSCHITZ; GASSNER & RULAND, 2006). Ao utilizar um sistema de nivelamento digital, a altura do plano horizontal é calculado através de um processo de correlação, onde a imagem do código de barras da mira, que está no campo de visão da objetiva do instrumento, é capturada e comparada com uma imagem padrão, já armazenada na memória interna do equipamento (GHILANI & WOLF, 2012). Takalo e Rouhiainen (2004) afirmam que os sistemas de nivelamento de alta precisão estão relacionados com a escala da mira em código de barras, bem como os dispositivos CCD's (*Charge-Coupled Device*) constantes nos níveis. Por construção, a escala do instrumento (função do dispositivo CCD) é igual ao da mira, porém com o passar do tempo ambos podem mudar (TAKALO & ROUHIAINEN, 2004).

Em função disso, este conjunto deve passar por um procedimento de calibração onde se verifica simultaneamente o comportamento do nível e da mira, de forma a possibilitar a avaliação da influência das componentes do sistema sobre o resultado das medidas e garantir que a precisão requerida seja atingida (WOSCHITZ & BRUNNER, 2003).

Os fabricantes dos níveis digitais efetuam calibrações, no entanto, quando encontram algum erro aplicam correções diretamente no software de execução, sendo este processo sigiloso devido a questões comerciais. Assim, resta ao usuário apenas a possibilidade de operar o instrumento, sem ter o controle de tais erros (WOSCHITZ; BRUNNER & HEISTER, 2002). A calibração tradicional de miras pode ser realizada durante os trabalhos de nivelamento, no entanto, à medida que o nível digital não faz parte deste processo, esta técnica não é adequada para a calibração de um sistema de nivelamento digital (WOSCHITZ; GASSNER & RULAND, 2006). Cada vez mais não é suficiente examinar somente as componentes individuais dos sistemas de medição, devendo estes serem considerados como um todo (WOSCHITZ & HEISTER, 2016). Razão pela qual novos conceitos para testes e procedimentos de calibração são necessários (WOSCHITZ & HEISTER, 2016).

Verificou-se que instalações foram desenvolvidas para a calibração dos sistemas de nivelamento digitais em diversas regiões da Europa e América do Norte, onde têm sido chamado de comparadores verticais ou horizontais. De forma geral, a concepção básica destas estruturas possibilita que deslocamentos sejam realizados em uma mira posicionada na vertical ou na horizontal, e seus deslocamentos sejam medidos com um nível digital e com um interferômetro laser, cujas leituras são utilizadas como referência para a investigação de possíveis imprecisões do sistema de nivelamento. Também são considerados diversos fatores de influência como foco, temperatura, luminosidade, alinhamento das estruturas, entre outros elementos que podem afetar o resultado das observações. Após a modelagem matemática dos dados, busca-se determinar o fator de escala, obtido em função da escala da mira e do sensor CCD. Este, é posteriormente utilizado para corrigir dados de nivelamentos.

Em um comparador horizontal, a mira é posicionada sobre um sistema de deslocamento horizontal e tem como particularidade observar indiretamente os traços da mira através de um espelho. Neste caso, assim como no comparador vertical, são mantidos em posições fixas os nível a ser calibrado, o interferômetro laser e também o espelho.

O estudo sobre procedimentos de calibração em diversos tipos de equipamentos já vem sendo desenvolvido na UFPR há um longo período, entre eles pode-se citar Doubek (1974), Gripp (1986), Cordini (1991), Faggion (2001), Martini (2005), Cruz (2010), Werlich (2012) e Huinca (2014). Entretanto, não foram encontrados no Brasil indícios sobre a investigação e construção de um comparador para a calibração de sistemas de nivelamento digitais, o que torna a pesquisa destes sistemas de grande valia para a comunidade usuária destes equipamentos, bem como para o desenvolvimento dos métodos de calibração existentes. Além disso, são propostas modificações em relação aos sistemas atuais.

Para atingir tal objetivo, pretende-se adaptar a estrutura de calibração de miras verticais utilizadas com níveis ópticos mecânicos, localizado no Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG) da UFPR, para transformá-la em um comparador horizontal. No entanto, diferindo-se dos comparadores existentes, propõem-se manter a mira estática durante todo o procedimento de calibração, acoplado-se um espelho sobre um suporte de movimento horizontal, juntamente com o refletor do interferômetro. Assim, será possível realizar leituras em toda a extensão da mira em um espaço reduzido, evitando-se possíveis desequilíbrios devido ao movimento da mira, como verificado por Takalo e Rouhiainen (2004). Deste modo, propõem-se uma abordagem inovadora em comparação aos procedimentos de calibração existentes, tendo-se como consequência a mudança da distância de observação entre o nível e a mira, o que exige o ajuste do foco durante as observações com o nível.

Neste artigo, apresentam-se os primeiros resultados obtidos durante o processo de adequação do comparador horizontal do LAIG, bem como o resultado das primeiras observações neste sistema.

2. COMPARADORES HORIZONTAIS E VERTICAIS

Nos últimos anos, instalações para a calibração dos sistemas de nivelamento foram construídas em diversos países como: Estados Unidos (Laboratório de Aceleração Nacional - SLAC), Áustria (Laboratório da Universidade Tecnológica da Áustria - TUG), Malásia (Laboratório do Departamento de Topografia e Mapeamento da Malásia - JUPEM), República Tcheca (Laboratório de Geomática da Faculdade de Engenharia Civil), Finlândia (Laboratório Geodésico Finlandês - FGI), Japão (Autoridade de Informação Geoespacial - GSI) ou ainda nas Universidades de Bundeswehr e Muenchen na Alemanha. Tais instalações são utilizadas para verificar o comportamento e a escala dos sistemas de nivelamento e estimar os padrões de incerteza dos níveis digitais, sendo denominados de comparadores verticais ou horizontais (RÜEGER; BRUNNER, 2000; NOVOTNÝ, 2012; VYSKOCIL; LUKEŠ, 2015).

Fundamentando-se na construção dos comparadores verticais descritos por Takalo e Rouhiainen (2004), Woschitz e Brunner (2004) e Woschitz, Gassner e Ruland (2006), pode-se dizer que na concepção básica destas estruturas são necessários um sistema de transporte vertical, onde ficam acoplados a mira de nivelamento e o refletor móvel do interferômetro, um interferômetro laser utilizado para controlar a posição da mira, um motor de passo e um computador para comandar e armazenar as informações medidas. Além disso, são necessários pilares ou tripés industriais para posicionar o nível e o interferômetro em uma altura constante, e um sistema de climatização para o controle ambiental do local onde a calibração é realizada.

Durante o processo de calibração, as leituras de altura realizadas com o nível são alteradas conforme o deslocamento da mira, sendo esta mudança comparada com a variação do comprimento medido com o interferômetro laser. Após séries de observações e correções nos dados, os desvios das leituras de altura podem ser processados por modelos de regressão linear, gerando o fator de calibração (VYSKOCIL; LUKEŠ, 2015).

De acordo com informações obtidas em Vyskocil (2008), Václav (2012) e Novotný (2012), o processo para a calibração dos sistemas de nivelamento em comparadores horizontais seguem o mesmo raciocínio dos comparadores verticais, porém com algumas alterações de projeto. Neste caso, é necessário um suporte de espelho e parafusos de ajuste que permitam regulagem de posição.

Segundo Vyskocil e Lukeš (2015), o benefício do comparador vertical é que o nível pode ser posicionado em diversas distâncias, mas tem como desvantagem um grande espaço na vertical para a construção (duas vezes o comprimento da mira). Já no comparador horizontal o espaço físico necessário é menor (VYSKOCIL, 2008), contudo, tem-se a restrição do espaço de visualização da mira ser dada pela dimensão do espelho (VYSKOCIL & LUKEŠ, 2015).

3. CONCEPÇÃO DO COMPARADOR HORIZONTAL DA UFPR

No LAIG são realizados estudos voltados à verificação, retificação, calibração e classificação de instrumentos topográficos e geodésicos (FAGGION, 1993). Neste, encontra-se a estrutura desenvolvida para a calibração de miras verticais de invar que utilizam níveis ópticos mecânicos (FAGGION, 1993). No entanto, vista a importância de estabelecer e realizar calibrações independentes, optou-se por adequar tal estrutura e transformá-la em um comparador horizontal, possibilitando a calibração de sistemas de nivelamento digitais.

Dentre os principais equipamentos que compõem a construção atual estão um interferômetro laser (HP 10766 A), pilares de concreto onde estão fixos dois tubos de aço (trilhos do interferômetro), uma barra vazada de alumínio que serve de suporte para os instrumentos que serão calibrados e um carrinho de movimento horizontal (estrutura de transporte apoiado em três rodas que se deslocam sobre os tubos de aço). Na Figura 1, tem-se uma vista geral do sistema de calibração instalado no LAIG.

Na concepção dos comparadores horizontais, um espelho deve ser utilizado para realizar observações indiretas em uma mira. No entanto, para que uma imagem não distorcida do código

de barras seja visualizado, o espelho deve ser posicionado a 45° em relação a linha de visada do nível e da linha normal da mira. Nesta pesquisa, utilizou-se um espelho plano com a propriedade de espelhamento frontal, tendo a característica de não utilizar vidro antes da superfície espelhada, por isso, os raios incidentes refletem sem sofrer desvios devido a refração (CRUZ; GRAÇA & FAGGION, 2015). Além disso, foi utilizado metalização em cromo, com índice de reflexão de cerca de 42,7%, de acordo com o fabricante. A fabricação do espelho a partir da deposição de um metal com bom índice de reflectância deve ser usado, pois as medidas dependem da reflexão da imagem.



Fig. 1 - Sistema de calibração do Laboratório de Instrumentação Geodésica da UFPR.

Com o objetivo de fixar o espelho sobre o carrinho de movimento horizontal do interferômetro e adequar a estrutura para o comparador horizontal, foi projetado e fabricado uma peça em alumínio (devido ao baixo coeficiente de dilatação linear) para fixar, por construção, o espelho a 45° (Figura 2).



Fig. 2 - Peça para adequação do comparador horizontal com a fixação do espelho a 45° .

Fixo ao sistema de espelho, há uma peça onde estão acoplados o refletor móvel do interferômetro, uma luneta e um nível de precisão. Este, possibilita que sejam realizados movimentos verticais em toda a peça desenvolvida, auxiliando na correção das irregularidades dos trilhos.

Ao deslocar o espelho para realizar observações em diferentes seções da mira, o ângulo de inclinação necessário de 45° pode variar devido as irregularidades do trilho, cuja amplitude é de 0,92 mm ± 0,02 mm. Tais irregularidades causam, por exemplo, para a distância de observação de 1,80 m, uma rotação de 1' 45" em relação a posição ideal do espelho, de modo que a imagem refletida da mira pelo espelho seja deslocada cerca de 0,18 mm, podendo afetar o procedimento de calibração. Por isso, é importante que o conjunto de peças que se deslocam sobre os trilhos estejam alinhados e nivelados, a fim de que o espelho permaneça no ângulo de 45°.

Para este nivelamento e alinhamento geométrico das peças, utilizou-se um nível de bolha cuja precisão é 0,1mm/m, o que garante que o sistema opere de forma eficaz e que as peças existentes executem movimentos relativos entre si, garantindo sua correta funcionalidade (CAMARGO, 2016).

Outro fator utilizado na concepção da peça do comparador é a dimensão do espelho. Para tal, deduziu-se uma equação geral para o seu dimensionamento em função da distância de observação. No caso do comparador do LAIG, será possível realizar medidas em distâncias de no máximo 5,50 m entre o nível e a mira. Assim, para obter a dimensão total do espelho (l) (Equação 1) foi necessário fornecer o ângulo do campo de visão que o instrumento utiliza para realizar medidas (θ) e metade do comprimento do intervalo necessário para realizar leituras na mira (D). O comprimento do intervalo mínimo equivale ao comprimento na mira do intervalo formado além dos fios estadimétricos superior e inferior do nível, para que o equipamento realize medidas automaticamente. Este valor pode ser obtido através da metodologia apresentada por Andolfato (2010).

$$D_T = \frac{2\sqrt{2} * l}{1 - tg^2\theta} \quad (1)$$

De acordo com o manual do equipamento a abertura total do campo de visão do nível é de 2° (LEICA, 2006), contudo, foi possível verificar através dos testes realizados que a abertura real necessária é função da distância existente entre o nível e a mira. Assim, conhecendo-se a distância nível-mira (D) e metade do intervalo de visualização para leitura automática (l), foi possível deduzir qual o ângulo do campo de visão (θ) que o instrumento utiliza (Equação 2).

$$\theta = \arctan \frac{l}{D} \quad (2)$$

Para estimar os valores esperados do intervalo de visualização da mira com o nível digital DNA03, pode-se utilizar a Equação 3, onde a variável x representa a distância de observação formada entre o nível e a mira.

$$l = 1,6878x + 2,5305 \quad (3)$$

Utilizando a Equação 1 dimensionou-se o espelho do comparador. Este possui 16,71 cm de comprimento e 10 cm de largura (função da largura da mira).

Após a concepção da peça e o dimensionamento do espelho do comparador horizontal, foi realizado um teste em ambiente controlado a fim de verificar a funcionalidade e potencialidade do sistema de calibração proposto.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Com a finalidade de averiguar a potencialidade e alterações propostas para a adequação do comparador horizontal do LAIG, bem como investigar o comportamento de um sistema de nivelamento, realizou-se um experimento que consistiu em comparar os deslocamentos obtidos em função das observações realizadas com o nível digital e com o interferômetro laser. Ao deslocar o sistema de transporte horizontal foi possível observar indiretamente, através da luneta do nível, diferentes seções da mira (Figura 3), assim foi possível realizar leituras em toda sua extensão. Tais deslocamentos foram controlados através das medidas realizadas com o interferômetro, onde a resolução adotada foi da ordem do

milésimo do milímetro. O procedimento de calibração foi realizado em uma mira de invar em código de barras, com 3 m de comprimento, e um nível da marca Leica®, modelo DNA03.



Fig. 3 - Espelho a 45° refletindo a imagem da mira durante o processo de observação indireta no comparador horizontal.

Durante a obtenção dos dados, teve-se o cuidado de realizar o controle ambiental do laboratório em torno de $21^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, conforme temperatura adotada em trabalhos de calibração (WOSCHITZ & BRUNNER, 2003). Além disso, para corrigir influências atmosféricas e evitar incertezas nas medidas de referência, foram inseridas informações de temperatura (21°C) pressão (690,3 mbar) e umidade (41%) no sistema interferométrico.

Em princípio, o procedimento de calibração consistiu em realizar medidas a partir da base da mira em direção ao topo (posição direta), e do topo em direção a base da mira (posição inversa), onde a cada novo procedimento de observação a mira é reposicionada (WOSCHITZ; GASSNER & RULAND, 2006).

Estabeleceu-se que a primeira leitura possível de ser realizada com o nível sobre a base da mira, seria o ponto de início das observações. Em seguida, deslocamentos a cada 50 mm, definido inicialmente a critério de investigação

do sistema, foram realizados e controlados pelo interferômetro, fornecendo as novas posições das leituras. Para facilitar a compreensão do processo de observação são rerepresentados, nas Figuras 4 e 5, o comparador horizontal do LAIG com vistas em perfil e planta, respectivamente.

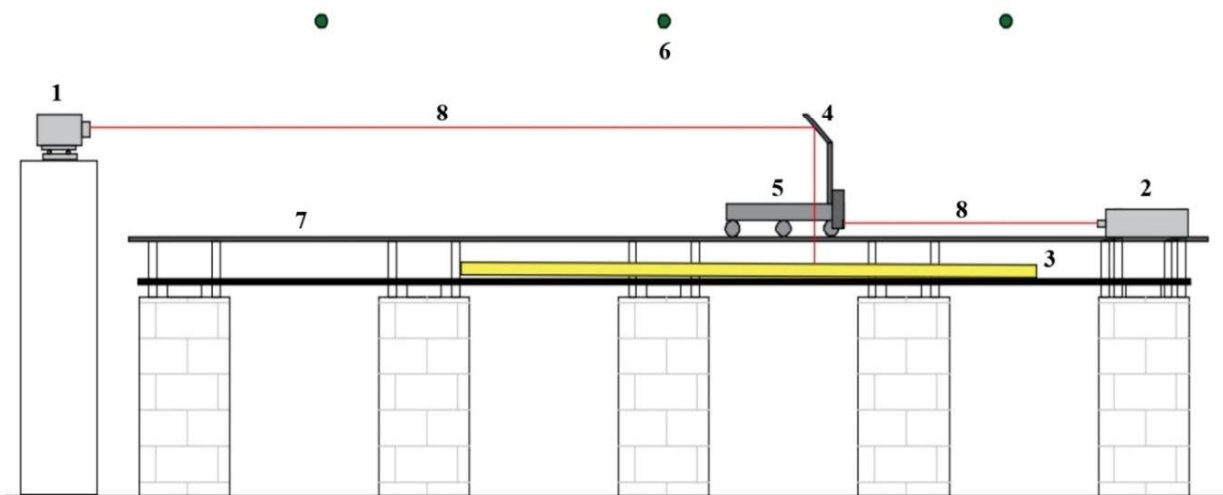
Após o processo de coleta dos dados, foram calculadas as diferenças entre os deslocamentos observados com o nível e com o interferômetro na posição direta e inversa (Figuras 6 e 7 respectivamente). Ressalta-se que ao mover o carrinho de transporte horizontal, são deslocados simultaneamente o refletor móvel do interferômetro e o espelho a 45° . Ao mesmo tempo, foram corrigidas as irregularidades verticais dos trilhos através do nível de precisão.

Na Figura 6 é possível observar que os deslocamentos calculados para as três primeiras séries na posição direta, possuem a mesma tendência, onde o erro é progressivo, aumentando as diferenças principalmente a partir da gravação de 1,60 m. A máxima diferença entre os deslocamentos foi de 1,173 mm na posição 2,898 m da mira. Já as mínimas diferenças foram da ordem do décimo e centésimo do milímetro.

Observando a Figura 7 constata-se a mesma tendência progressiva de aumento dos erros dos deslocamentos quando as leituras foram realizadas na posição inversa. A maior diferença foi de 1,172 mm na posição 2,248 m e as mínimas variações são na maioria da ordem do décimo do milímetro.

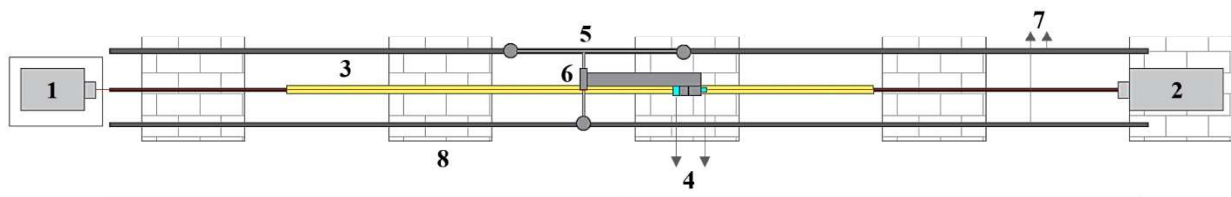
A progressão dos erros verificados nas Figuras 6 e 7 podem indicar um possível problema na gravação dos códigos da mira, onde os erros aumentam da menor para a maior graduação. Este fato é comprovado ao analisar os gráficos com observações na posição direta e inversa da mira. No entanto, outras investigações sobre a causa do aumento das diferenças dos deslocamentos ainda precisam ser realizadas, contudo, também podem estar relacionados a fatores como o desgaste do código de barras, riscos, manchas ou ainda ao sensor CCD do nível. Por isso, estudos minuciosos ainda precisam ser realizados e demonstram a necessidade de calibração destes sistemas.

A média das diferenças de deslocamentos são representados na Figura 8. Após análise de regressão linear e do coeficiente de determinação (igual a 95%), obteve-se a equação para estimar os valores esperados das correções ao longo de toda a mira.



1- Nível Digital	5 - Carrinho de Transporte horizontal
2 - Interferômetro Laser	6 - Sensores Ambientais
3 - Mira em código de barras	7 - Trilho
4 - Espelho Plano	8 - Linhas de Visadas

Fig. 4 - Princípio de observação no comparador horizontal do LAIG - vista em perfil.



1 - Nível Digital	5 - Carrinho de Transporte horizontal
2 - Interferômetro Laser	6 - Peça de Adequação do Comparador
3 - Mira em código de barras	7 - Trilhos
4 - Espelho Plano e Refletor do Interferômetro	8 - Pilares em Concreto

Fig. 5 - Princípio de observação no comparador horizontal do LAIG - vista em planta.

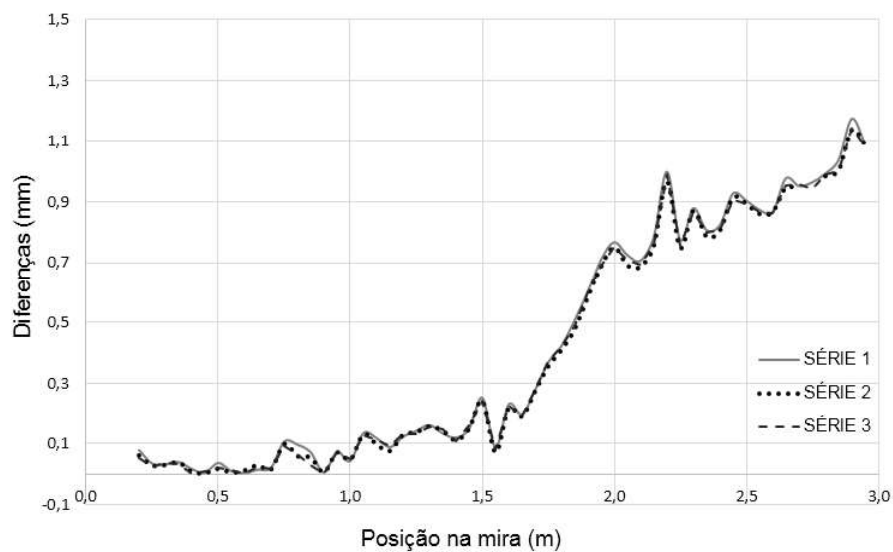


Fig. 6 - Diferenças dos deslocamentos obtidos com o nível DNA03 e com o interferômetro laser na posição direta.

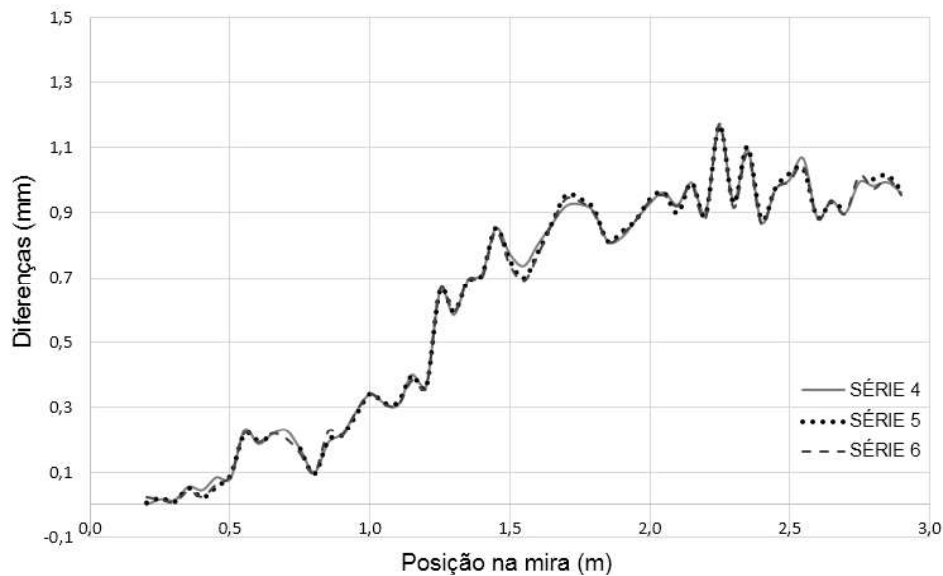


Fig. 7 - Diferenças dos deslocamentos obtidos com o nível DNA03 e com o interferômetro laser na posição inversa.

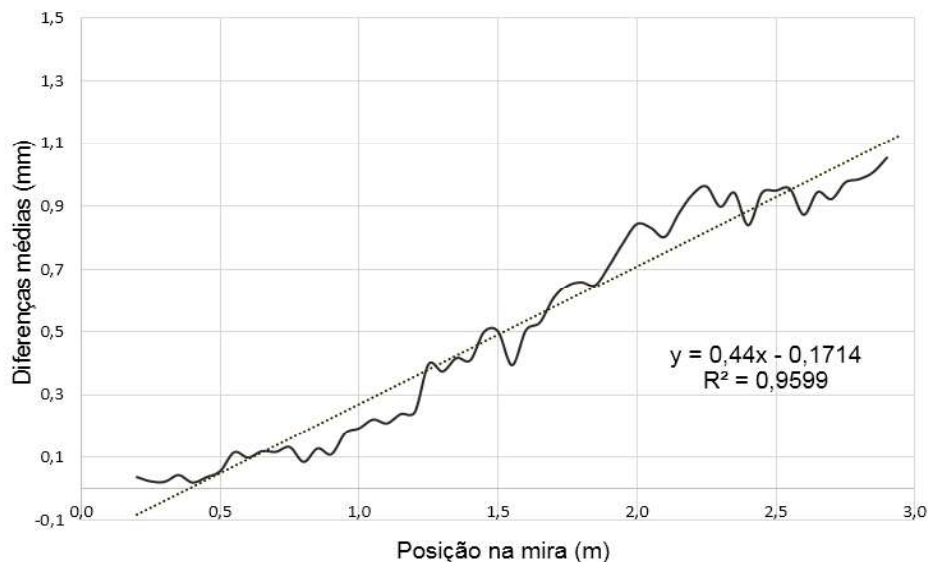


Fig. 8 - Média das diferenças dos deslocamentos obtidos com o nível digital DNA03 e com o interferômetro laser nas posições direta e inversa.

5. CONCLUSÕES

Considerando as investigações preliminares, constatou-se a viabilidade do sistema de calibração proposto para o LAIG, onde são realizadas observações indiretas em uma mira através do deslocamento de um espelho, o que é inovador no âmbito da calibração de sistemas de nivelamento digitais.

A peça desenvolvida e utilizada para acoplar o espelho no carrinho de transporte horizontal, bem como os demais elementos que a compõem, foram essenciais para garantir o bom desempenho do sistema, ou seja, as condições

de deslocamento, posicionamento e nivelamento durante o processo de aquisição dos dados. Verificou-se também que a dimensão calculada para o espelho, foi suficiente para a visualização da mira e dos fios estadimétricos do nível em diferentes distâncias de observação, indicando que a equação desenvolvida auxilia na determinação ideal do tamanho da superfície refletora, quando fornecidas as constantes de entrada.

Além disso, busca-se estudar qual a melhor forma de avaliar os resultados, complementando e aprimorando as análises apresentadas, bem como a melhor maneira de aplicar o certificado

de calibração durante o processo de nivelamento. Este projeto é pioneiro no Brasil e tem como meta aprimorar os procedimentos de calibração existentes e proporcionar a comunidade técnico-científica o acesso a um sistema robusto para calibração, baseado em estruturas similares já existentes em âmbito internacional.

Pretende-se ainda, durante o desenvolvimento desta pesquisa, estudar e atingir os seguintes objetivos: realizar novas séries de observações com o comparador do LAIG, utilizando sistemas de nivelamento digitais de diversos fabricantes e variar o comprimento das miras; pesquisar como avaliar estatisticamente os resultados calculados para os deslocamentos, além da detecção de outliers; investigar a estimativa da incerteza do sistema de medição do LAIG; Realizar campanhas de levantamento em campo entre duas referências de nível conhecidas, a fim de comparar os resultados obtidos antes e depois da aplicação do certificado de calibração; e validar o sistema de calibração do LAIG, através da comparação entre os resultados obtidos para um dado sistema de nivelamento e sua calibração original, fornecida pelo fabricante ou calibrado por uma instituição credenciada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Paraná, através do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, pela disponibilização das instalações e equipamentos do Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG) e Laboratório de Topografia (LABTOPO).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDOLFATO, S. H. D. **Sistema de automação de níveis digitais**. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. 97f. Curitiba, 2010.

CAMARGO, M. A. **Informações Técnicas: Importância do Alinhamento Geométrico**. 2016. Disponível em: < <http://www.pmach.com.br/informacoes-tecnicas/importancia-do-alinhamento-geometrico>>. Acesso em 25/08/2016.

CRUZ, W. D. **Impacto causado pela evolução dos medidores eletrônicos de distância no**

processo de calibração. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba, 2010. 68p.

CRUZ, W. D.; GRAÇA, N. L. S. S.; FAGGION, P. L. Utilização de espelho de reflexão frontal aliado ao nivelamento geométrico para determinação de desnível de pontos em ambientes confinados. **Revista Brasileira de Geomática**, v.3, n.1, p.17-23, 2015.

CORDINI, J. **Determinação do erro cíclico em distancímetros eletrônicos**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1991. 138p.

DOUBEK, A. **Uma base de Aferição**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1974. Sp.

FAGGION, P. L. **Contribuição para a implantação de um sistema de aferição de miras na UFPR**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná. 1993. 133p.

FAGGION, P. L. **Obtenção dos elementos de calibração e certificação de medidores eletrônicos de distância em campo e laboratório**. Tese, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra. Curitiba, 2001. 134p.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Elementary Surveying: an introduction to geomatics**. 13th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2012. 958p.

GRIPP, J. Jr. **Calibração de Distanciômetros Eletrônicos com medidas de campo**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. 115f. Curitiba, 1986.

HUINCA, S. C. M. **Análise de influências ambientais na calibração de antenas de receptores GPS**. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. 212f. Curitiba, 2014.

INGENSAND, H. The evolution of digital levelling techniques - limitations and new

- solutions. **International Federation of Surveyors**, 201f. Suécia, 1999.
- LEICA GEOSYSTEMS®. **Manual do usuário: Leica DNA03/DNA10**. Versão 2.0, Inglês. 2006. 158p.
- MARTINI, L. **Calibração de prismas de reflexão total em forma de fita adesiva, em acrílico e sua aplicação no controle de deslocamentos de estruturas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. 99f. Curitiba, 2005.
- NOVOTNÝ, M. **Výškové připojení a zaměření základního důlního bodového pole v štolu Josefa** (Conexão da altura e orientação geodésica de pontos da galeria de mineração de Josef). Tese apresentada a Universidade Técnica de Praga, Faculdade de Engenharia. 74f. Praga, 2012.
- RÜEGER, J. M.; BRUNNER, F. K. On System Calibration and Type Testing of Digital Levels. **zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement**, v.125, p.120–130, 2000.
- TAKALO, M., ROUHIAINEN, P. Development of a System Calibration Comparator for Digital Levels in Finland. **Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research**, v.1, 2004. 119-130p.
- VÁCLAV, V. L. K. **Zjišťování Systém ových Vlivů Na Výsledek Kalibrace Latě** Tese apresentada a Universidade Técnica de Praga, Faculdade de Engenharia. Praga, junho 2012. 83p.
- VYSKOCIL, Z.; LUKEŠ, Z. Horizontal comparator for the system calibration of digital levels —realization at the Faculty of civil engineering, CTU Prague and in the laboratory of the Department of survey and mapping Malaysia (JUPEM)in Kuala Lumpur. **Geoinformatics FCE CTU**, v.14 (2), 2015. 55-61pp.
- VYSKOCIL, Z. **Horizontal comparator for system calibration of digital levels**. Department of Advanced Geodesy, FSV CVUT Praga, 2008. 2p. Disponível em: <ftp://athena.fsv.cvut.cz/EMEG/web/workshop08_vyskocil.pdf>. Acesso em: 18/08/2016.
- WERLICH, R. M. C. **Análise da influência dos parâmetros de calibração de antenas de receptores GPS no posicionamento de alta precisão**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. 125f. Curitiba, 2012.
- WOSCHITZ, H.; BRUNNER, F. K. Development of a Vertical Comparator for System Calibration of Digital Levels. **VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation**, v.91 (1), p.68–76. 2003.
- WOSCHITZ, H.; BRUNNER, F. K.; HEISTER, H. Scale Determination of Digital Levelling Systems using a Vertical Comparator. **zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement**, v.128, p.11-17. 2002.
- WOSCHITZ, H.; GASSNER, G; RULAND, R. The SLAC Vertical Comparator for the Calibration of Digital Levels. **SLAC, Stanford University**, PUB-12207, Stanford, USA. Dezembro, 2006. 14p. Acesso em: 29/05/2015. Disponível em: <www.slac.stanford.edu/cgi-wrap/getdoc/slac-pub-12207.pdf >.
- WOSCHITZ, H.; HEISTER, H. **Überprüfung und Kalibrierung der Messmittel in der Geodäsie**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2016. p. 1-59. Handbuch der Geodäsie, Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2016. DOI. 10.1007/978-3-662-46900-2_33-1. Resumo.