

Aferição da Performance de Sondas Inclinométricas Através de Sistema de Calibração e Resultados de Campo

Hélcio Gonçalves de Souza
COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, helcios@gmail.com

Mauricio Ehrlich
COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, me@coc.ufrj.br

Cid Almeida Dieguez
COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, cidieiguez@poli.ufrj.br

André Luís Souza Salviano
COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, salviano@coc.ufrj.br

RESUMO: Um sistema para calibração de sondas inclinométricas verticais foi desenvolvido. Geralmente, adota-se a constante de calibração fornecida pelo fabricante sem quaisquer preocupações com aferições periódicas. Tal procedimento pode incorrer em erros, principalmente se houver mudança significativa do coeficiente angular da curva de calibração do instrumento ao longo de sua história de uso. Instrumentos de medição devem ser sistematicamente avaliados de forma a assegurar que os mesmos estejam funcionando adequadamente. Foram realizadas calibrações em três torpedos diferentes: dois mais novos e um outro, utilizado com frequência há uma década em campo e laboratório. O sistema de calibração apresentou resultados coerentes com os fornecidos pelo fabricante. A constante de calibração obtida para o equipamento mais antigo apresentou maiores desvios em relação à fornecida pelo fabricante. Diferenças também foram constatadas em campo. Os resultados não diferiram significativamente para as leituras correspondentes ao 'Eixo A'. No entanto, para o 'Eixo B', a sonda mais antiga apresentou pior performance, relacionada ao desgaste do instrumento pelo seu uso.

PALAVRAS-CHAVE: Calibração, Instrumentação, Inclinometria.

1 INTRODUÇÃO

Instrumentos de medição devem ser sistematicamente avaliados de forma a assegurar que os mesmos estejam funcionando adequadamente (DUNNICLIFF, 1988). Normas, como ASTM D6230-13, recomendam calibrá-los anualmente, ou quando se verificar mudanças no desempenho, e a ASTM D7299-12 estabelece um padrão de procedimento para tal verificação.

Verificações comumente são efetuadas em, por exemplo, transdutores de força, torque, pressão e deslocamentos, e em sistemas de medição de variações volumétricas. No entanto, o mesmo não se observa no caso dos inclinômetros, para os quais, geralmente, se

adota a constante de calibração fornecida pelo fabricante, sem quaisquer preocupações com aferições periódicas. Tal pode levar a erros, face às mudanças que venham a ocorrer no coeficiente angular da calibração do instrumento.

O sistema ora apresentado possibilita calibrações em laboratório do sensor inclinométrico, controla com precisão as inclinações e permite a aferição dos resultados. Estudos também foram efetuados em resultados de campo, buscando verificar a performance de equipamentos com diferentes tempos de utilização.

2 INCLINÔMETROS VERTICAIS DO TIPO TORPEDO

Medidas inclinométricas são largamente efetuadas para a medição de deslocamentos horizontais de encostas e aterros, para controle de estabilidade, e em obras de contenção.

A sonda inclinométrica (torpedo) mede, em diferentes profundidades, a inclinação de um tubo de referência (tubo guia), permitindo o acompanhamento das movimentações laterais da massa de solo (figuras 1 e 2).

A inclinação do torpedo é monitorada por dois servos-acelerômetros que sofrem flexão sob a ação da gravidade, promovendo a

mudança em suas capacitâncias e voltagens de saída, proporcionalmente ao seno do ângulo de inclinação da sonda em relação à vertical.

O tubo de inclinômetro (tubo guia) costuma ser confeccionado em alumínio, ou PVC, e possui dois pares de ranhuras ortogonais, sobre as quais se encaixa a sonda inclinométrica. O conjunto de rodas da sonda possuem molas que pressionam estas guias, minimizando eventuais folgas que possam comprometer o desempenho do sistema.

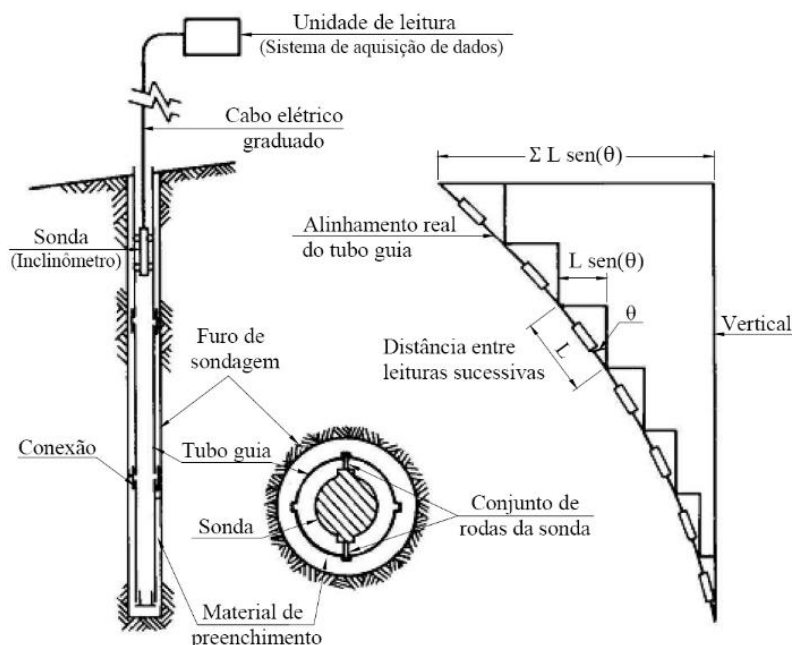


Figura 1. Operação de um inclinômetro (DUNNICLIFF, 1988)

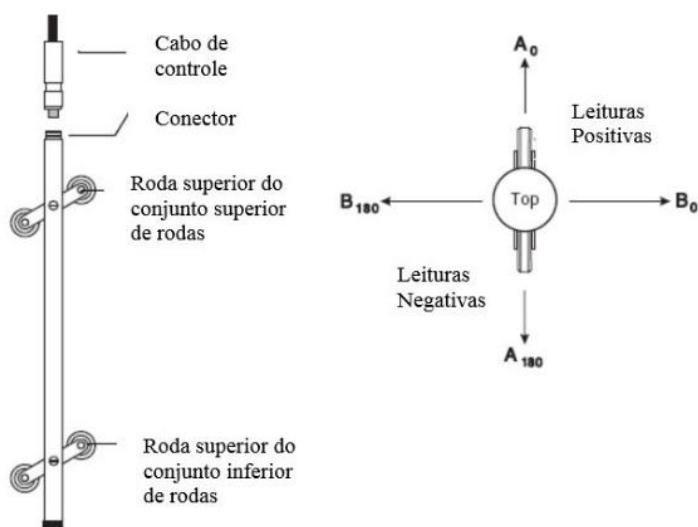


Figura 2. Sonda (torpedo) instrumentada com servo-acelerômetros – manual de operação Slope Indicator.

As rodas da sonda inclinométrica distam 0,5 m entre seus eixos, sendo este o comprimento dos intervalos de leitura.

Uma das ranhuras do tubo guia corresponde ao 'Eixo A', eixo para o qual se espera os maiores deslocamentos, sendo o 'Eixo B' ortogonal a este. Nos equipamentos atuais, são obtidos automaticamente e concomitantemente os valores de leituras em ambos os eixos.

O tubo deve ter comprimento suficiente de forma a ter no mínimo 5 metros de seu trecho inferior fixado abaixo da maior profundidade na qual se espera algum movimento. Assim é possível considerar a extremidade final desse tubo um referencial fixo.

Após a instalação do tubo, realiza-se uma leitura inicial ('Leitura Zero'), que será tomada como referência para as demais leituras. É recomendável efetuar esta 'Leitura Zero' em ambos os eixos, rotacionando o sensor em 90° graus. O intuito é também obter uma leitura mais precisa para o 'Eixo B'. Nota-se que as rodas do sensor, comumente, apresentam uma certa folga em relação a direção ortogonal, o que redundará em medidas com maiores erros acidentais no 'Eixo B'. Essa folga tem origem nas imperfeições presentes nas ranhuras do tubo, ou pelo desgaste das próprias rodas do sensor.

As leituras iniciam-se com o torpedo inserido na cota de fundo do tubo guia, posicionando-se as rodas superiores (do conjunto de rodas superior e inferior, figura 2) na direção positiva do 'Eixo A'. Eleva-se a sonda inclinométrica, puxando-a do fundo do tubo guia até a superfície. Após a última leitura, o torpedo é então rotacionado em 180° e repete-se o procedimento. A deflexão do tubo guia é obtida para cada intervalo de medidas, considerando as diferenças nas leituras efetuadas a 0° e 180°. Para o 'Eixo B' o procedimento é análogo.

Uma análise aprofundada do funcionamento e considerações sobre este equipamento e procedimentos de leituras podem ser encontrados em DUNNICLIFF (1988) e MIKKELSEN (2003).

3 SISTEMA DE CALIBRAÇÃO

O sistema de calibração ora proposto consiste no acoplamento de um tubo de inclinômetro a um aparelho digital de alta precisão de medição da

inclinação (figura 3).

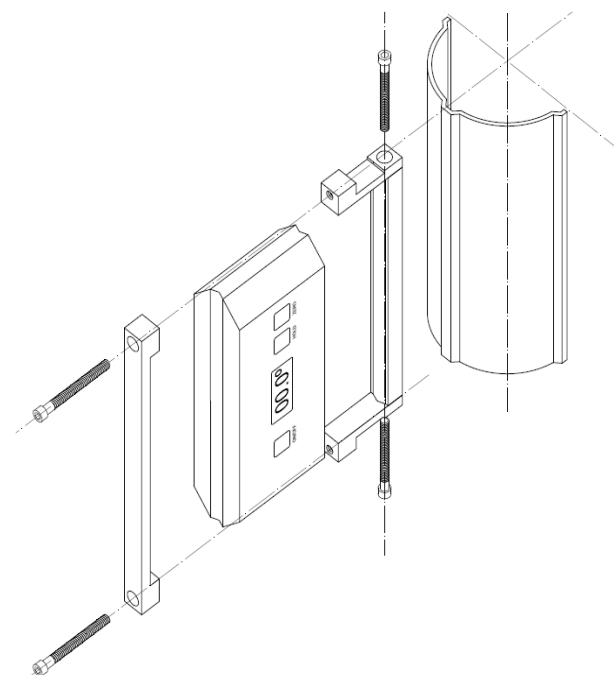


Figura 3. Suporte do medidor de inclinação

O torpedo é inserido no interior do tubo guia e, portanto, é submetido às mesmas inclinações impostas a este, que são registradas pelo medidor de inclinação.

Nas figuras 4a, b e c é apresentado o conjunto em questão: o tubo está montado em um suporte que tem a capacidade de variar sua posição em até 90° em relação à vertical. Na tabela 1 são apresentadas as características do medidor de referência empregado no sistema de calibração.

Tabela 1. Características do sensor de referência

Marca	DIGIMESS
Modelo	272.300
Faixas de medição	0-360°
Resolução	0,1°
Exatidão	0,1° (entre 0° e 90°)
Temperatura operação	0 C° a 50 C°

Foram realizadas calibrações em três torpedos diferentes: 1338160 e 1338161 (mais novos) e 26363B (em uso há uma década). Em cada torpedo realizaram-se testes de conformidade, como preconizado pela ASTM D7299-12.

Para cada torpedo, as medições envolveram dois conjuntos de três ciclos de leituras. Procedimento este análogo ao apresentado no

certificado de calibração, fornecido pelo fabricante. O primeiro ciclo foi efetuado no sentido de leituras positivas do 'Eixo A'. O sensor foi rotacionando sequencialmente em: 30°, 25°, 20°, 15°, 10°, 9°, 8°, 7°, 6°, 5°, 4°, 3°, 2° e 1°, absolutos, em relação à vertical. Analogamente ao procedimento de campo, após este primeiro conjunto de leituras retirou-se o torpedão do suporte, sendo o sensor rotacionado em 180°, e repetiu-se o procedimento acima. Para cada sensor realizou-se mais dois outros ciclos, seguindo o mesmo procedimento descrito acima. A constante de calibração do 'Eixo B' foi obtida da mesma forma.

Na tabela 2 e na figura 5 são comparados os resultados obtidos com a constante fornecida pelo fabricante, onde não se observam diferenças significativas nos resultados. Na tabela 3, são apresentadas as diferenças relativas entre os resultados da calibração e a constante fornecida pelo fabricante. Na tabela 4 tem-se uma análise da linearidade das regressões obtidas.

Tabela 2. Constante de calibração para cada sonda inclinométrica, obtidas em laboratório e pelo fabricante.

Número de Série	CTE 'Eixo A'	CTE 'Eixo B'	CTE Fabricante
1338160	25057,75	24973,36	25000,00
1338161	25050,33	25004,01	25000,00
26363B	25194,64	25270,46	25000,00

Tabela 3. Diferenças relativas entre a constante de calibração obtida em laboratório e do fabricante.

Número de Série	Correlação 'Eixo A'	Correlação 'Eixo B'
1338160	1,00231	0,99893
1338161	1,00201	1,00016
26363B	1,00779	1,01082

Tabela 4. Linearidade em função do “full-scale output”

Número de Série	Linearidade 'Eixo A' (%FSO)	Linearidade 'Eixo B' (%FSO)
1338160	0,0331	0,0576
1338161	0,0507	0,0496
26363B	0,0478	0,0336



Figura 4. Sistema de calibração em laboratório: (a) vista lateral; (b) vista frontal; c) detalhe do medidor de inclinação solidarizado ao tubo guia e suporte de calibração.

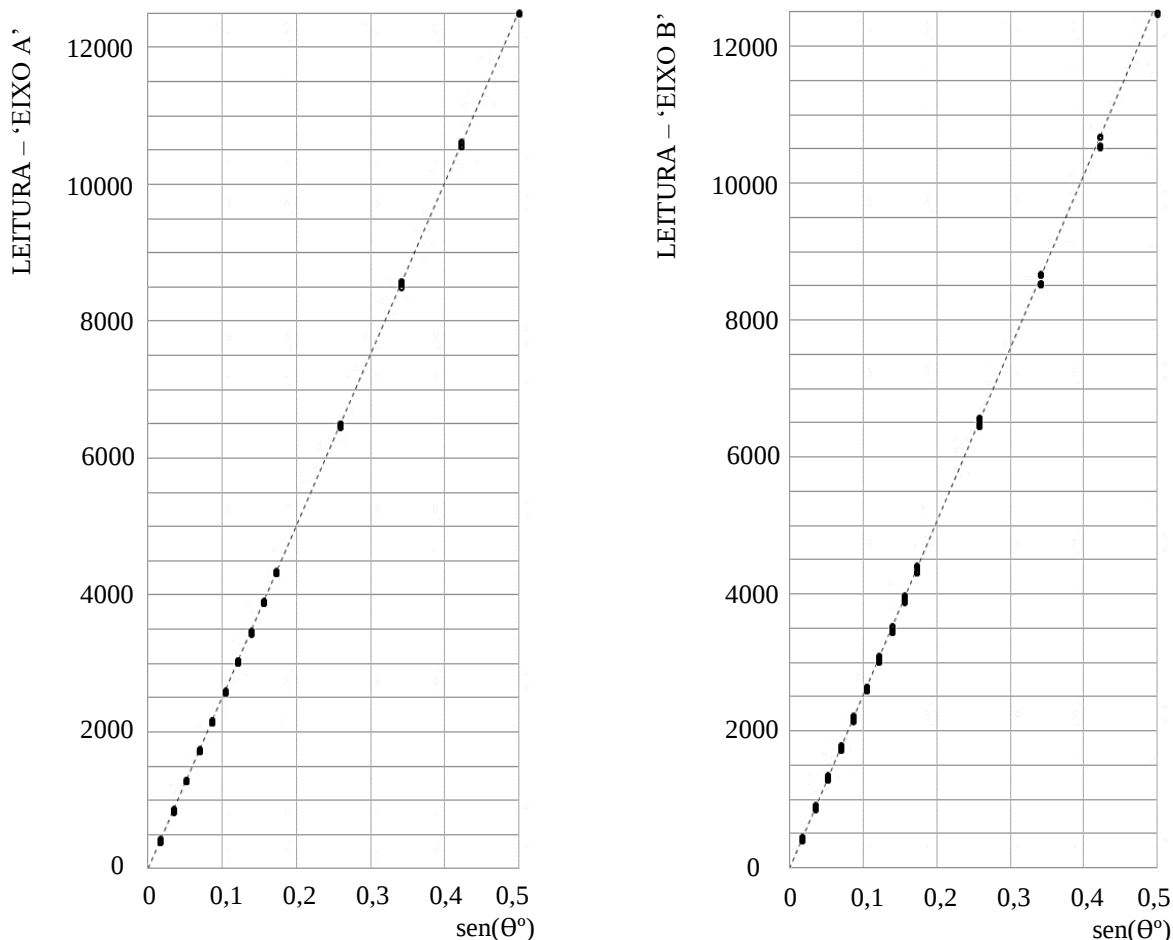


Figura 5. Linearidade dos resultados obtidos em relação a calibração do fabricante para o Eixos A e B.

4 LEITURAS EM CAMPO

Foram efetuadas leituras utilizando três torpedos de um mesmo fabricante, com diferentes tempos de utilização, em um tubo inclinométrico instalado no km 101 da BR-116/RJ. Este tubo de inclinômetro vem sendo utilizado na monitoração de uma encosta desde o ano de 2007. A encosta apresentava movimentações significativas e foi estabilizada utilizando drenagem profunda (Oliveira et al. 2008), as leituras inclinométricas se apresentam estáveis desde 2011.

Realizaram-se na última campanha de campo, três leituras para cada torpedo. Todas as leituras foram efetuadas pelo mesmo operador, num mesmo dia, utilizando uma mesma unidade de leitura. Admitiu-se, para cada torpedo, 'Leitura Zero' referente a leitura efetuada três meses antes, cotejando-a com a média das três leituras mais recentes. Para o cálculo dos deslocamentos

utilizou-se a constante do fabricante (figura 6) ou as constantes determinadas pela recalibração no laboratório (figura 7). Caso o sistema estivesse em absoluta conformidade com as medidas reais do tubo de inclinômetro, as três leituras deveriam ser iguais e os deslocamentos calculados seriam nulos. Nas figuras 6 e 7, são apresentados os resultados, utilizando as constantes fornecidas pelo fabricante ou as de laboratório, respectivamente. Verifica-se que para o 'Eixo B' a sonda mais antiga (26363B) apresentou valores de "deslocamentos" sensivelmente maiores quando comparados aos obtidos com as sondas mais novas (1338160 e 1338161), o que pode ser justificado pelo desgaste dos conjuntos de rodas superiores e inferiores. O principal dano verificado neste equipamento são folgas nos rolamentos do conjunto de rodas, que podem ser facilmente observadas quando da manipulação.

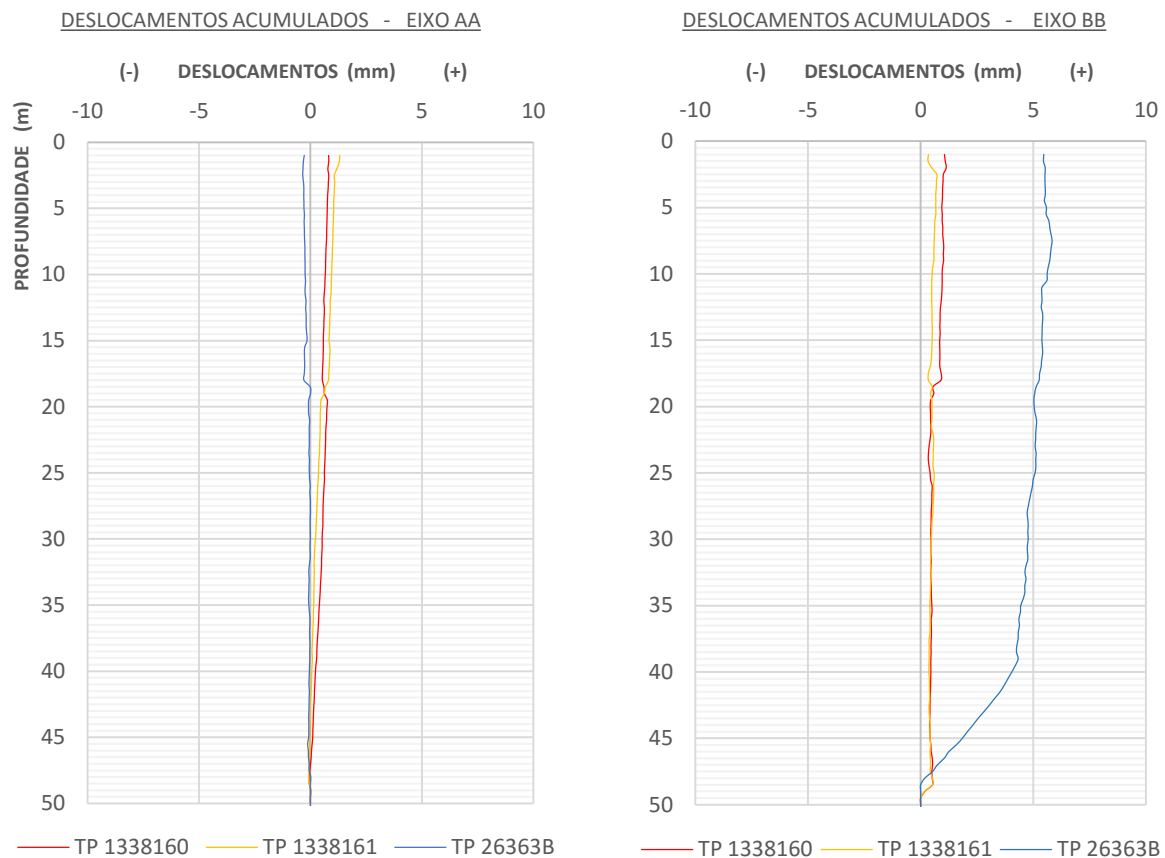


Figura 6. Valores de deslocamentos obtidos em campo, utilizando a constante do fabricante.

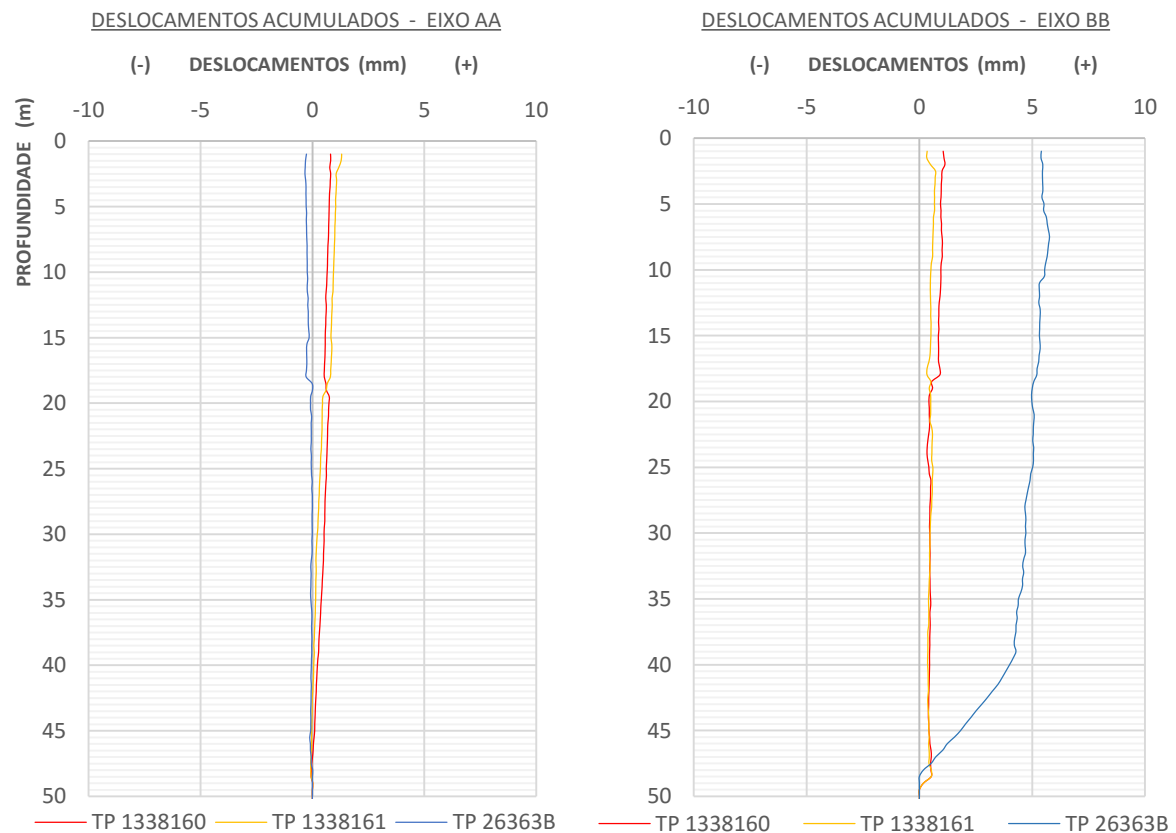


Figura 7. Valores de deslocamentos obtidos em campo, utilizando a constante obtida em laboratório.

4 CONCLUSÕES

O sistema de calibração apresentou resultados coerentes com os fornecidos pelo fabricante. Variações significativas na constante poderiam levar a erros sistemáticos, diminuindo a confiabilidade do equipamento. A constante de calibração obtida para o equipamento mais antigo, em uso há cerca de uma década, apresentou maiores desvios em relação à constante original. No entanto, a mudança observada não se apresentou suficientemente grande a ponto de prejudicar cálculos de deslocamentos.

Em função de se ter obtido constantes de calibração em laboratório bem próximas àquelas fornecidas pelo fabricante, os valores de deslocamentos medidos no campo com as três sondas inclinométricas não diferiram sensivelmente entre si para o ‘Eixo A’. No entanto, no ‘Eixo B’ a sonda mais antiga apresentou valores de deslocamento sensivelmente maiores quando comparados aos obtidos com as mais novas. O desgaste dos conjuntos de rodas desta sonda resultou em tais inconformidades e tem origem, principalmente, em folgas nos rolamentos. As folgas na sonda mais antiga podem ser observadas quando da manipulação desta.

REFERÊNCIAS

- ASTM – D 6230-13– (2013) Standard Test Method for Monitoring Ground Movement Using Probe-Type Inclinerometers.
- ASTM – D7299-12– (2012) Standard Practice for Verifying Performance of a Vertical Inclinerometer Probe.
- Dunnichiff, J. (1988) Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Mikkelsen, P. Erik, (2003) Advances in inclinometer data analysis. In: Symposium on Field Measurements in Geomechanics, FMGM.
- Oliveira, G.A., Ehrlich, M. Lacerda, W.A. (2008) Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), Monitoramento das Encostas dos Km 87 e 101 da BR-116/RJ. pág. 344-352.