

## Certificação da Instalação de Instrumentos: Inclinômetros

Rodrigo Menezes Raposo de Almeida

Professor Associado do departamento de engenharia civil da Universidade Federal Fluminense e sócio da 3Geo Consultoria, Niterói-RJ, Brasil, rraposo@3geo.io

Paula Tavares Pedrosa

Gerente de Engenharia (M.Sc Geotecnia), 3Geo Consultoria, Niterói-RJ, Brasil, paula.pedrosa@3geo.io

Wesley Robertt Maciel

Gerente de Operações, Vale S.A, Itabira-MG, Brasil, wesley.maciel@vale.com

**RESUMO:** O inclinômetro é o principal instrumento geotécnico para medir e monitorar o deslocamento em profundidade, no plano horizontal. Este instrumento é composto de um tubo de acesso com quatro ranhuras internas a 90° em relação a geratriz do tubo, a partir das quais são alinhadas as rodas do torpedo de leitura para o monitoramento da deformação. A boa qualidade de instalação do tubo de inclinômetro é essencial, uma vez que influencia no comportamento das leituras. Tendo em vista os vários fatores que podem afetar a qualidade da instalação de um tubo de inclinômetro, e que esta qualidade da instalação pode afetar toda campanha de leituras subsequente, propõe-se, a partir da experiência dos autores, e de recomendações da literatura, uma metodologia para certificação da instalação dos tubos de inclinômetro. Esta metodologia considera alguns parâmetros fundamentais: ajustes da altura do tubo de acesso e proteção antivandalismo, identificação do instrumento, acesso ao instrumento e adaptação da tampa superior; perfilagem do tubo com torpedo cego e verificação do alinhamento das ranhuras com as direções preferenciais da obra; avaliação da rotação do tubo; avaliação da leitura zero, geometria do perfil de instalação e desvio do tubo; variação do *checksum* ao longo da profundidade; e avaliação dos gráficos das leituras posteriores. Considera-se essencial seguir com uma metodologia adequada, a fim de definir os parâmetros mínimos de aceite do instrumento instalado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Instrumentação geotécnica, certificação, inclinômetro, monitoramento.

**ABSTRACT:** Inclinometer is the main geotechnical instrument for measuring and monitoring displacement in depth, in the horizontal plane. This instrument is made up of an access tube with four internal grooves at 90° to the tube generatrix, from which the reading probe wheels are aligned to monitor deformation. Good installation quality of the inclinometer tube is essential, as it influences the behavior of the readings. Bearing in mind the various factors that can affect the quality of the installation of an inclinometer tube, and that this quality of installation can affect any subsequent reading campaign, it is proposed, based on the authors' experience and recommendations from the literature, a methodology for certifying the installation of inclinometer tubes. This methodology considers some fundamental parameters: adjustments to the height of the access tube and anti-vandalism protection, instrument identification, access to the instrument and adaptation of the top cover; profiling the tube with a blind probe and checking the alignment of the grooves with the preferred directions of rupture; evaluation of tube rotation; evaluation of zero reading, installation profile geometry and pipe deviation; checksum variation along depth; and evaluation of graphs from subsequent readings. It is considered essential to follow an appropriate methodology in order to define the minimum acceptance parameters of the installed instrument.

**KEYWORDS:** Geotechnical instrumentation, certification, inclinometer, monitoring.

### 1 INTRODUÇÃO

Os inclinômetros são instrumentos utilizados para monitorar os deslocamentos horizontais, seja em aterros, encostas, pilhas, próximos a escavações ou estruturas de contenção, entre outros, sendo, portanto, o principal instrumento geotécnico que permite medir e monitorar o deslocamento no interior do maciço, no plano horizontal, em profundidade. Estes instrumentos possibilitam avaliar a evolução da movimentação ao

longo do tempo, calcular suas respectivas velocidades e delimitar uma provável superfície de ruptura no maciço de modo a garantir a segurança operacional da área monitorada.

Sua estrutura consiste em um conjunto de tubo guia instalado verticalmente no solo até a fundação. O tubo inclinométrico possui quatro ranhuras internas, sulcos ou trilhos a  $90^\circ$  em relação a geratriz do tubo, o que possibilita a orientação do tubo em relação às direções preferenciais de movimentação do solo.

Após a instalação do tubo, o monitoramento deste instrumento é realizado a partir da introdução de um torpedo de leitura devidamente calibrado, com suas rodas encaixadas nas ranhuras no interior do tubo, permitindo que sejam realizadas as leituras da inclinação a cada profundidade, normalmente com espaçamento de 0,5 m de baixo para cima (Figura 1).

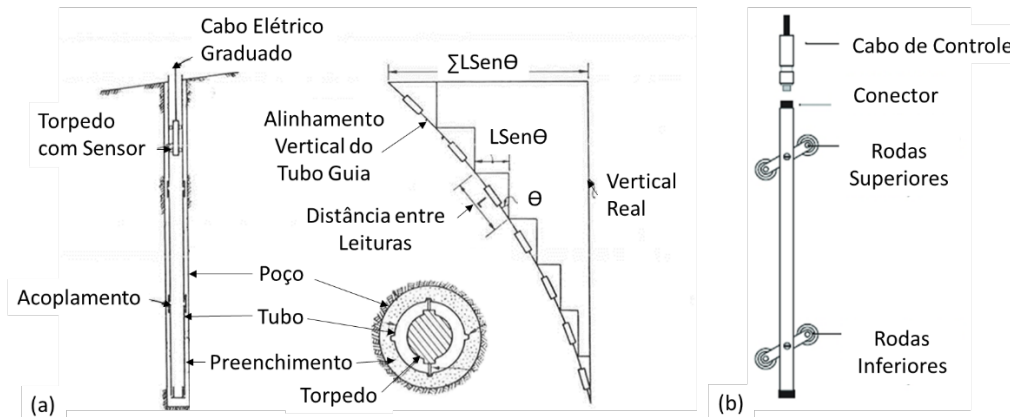


Figura 1.(a) Funcionamento (Dunniclif, 1982); (b) Torpedo de leitura (Machan & Bennett, 2008).

Partindo das leituras iniciais (leitura zero) são realizadas posteriormente novas medições, em intervalos com frequência determinada em projeto, que podem ser validadas ou corrigidas, se necessário. A continuidade das leituras deve ser realizada de modo a acompanhar qualquer movimentação dos inclinômetros, e, ao comparar com as leituras iniciais, é possível calcular os deslocamentos horizontais ocorridos no período entre leituras, em cada profundidade, diferenciando-os de erros randômicos, inerentes ao equipamento de leitura.

Cabe ressaltar que, uma vez instalado o conjunto de tubos, a qualidade da leitura deste tipo de instrumento depende de suas condições de instalação. Há determinados estados de instalação que podem condenar um instrumento por apresentar grandes interferências na linearidade do tubo inclinométrico, o que acarreta na replicação de erros sistemáticos durante as leituras subsequentes.

O processo de identificação de erros randômicos ou sistemáticos, no entanto, não é trivial e acaba por dificultar a determinação dos reais valores de deslocamento horizontal identificados. Sendo assim, visando orientar a verificação da instalação dos tubos dos inclinômetros, bem como possibilitar uma melhor interpretação dos dados durante o monitoramento, os autores desenvolveram a presente metodologia para o tratamento, validação e verificação das leituras de inclinômetros, com base nas orientações propostas por Dunnicliff (1988), Mikkelsen (2003), Machan & Bennett (2008) e fabricantes, bem como em suas experiências.

A certificação da instalação de um instrumento é um processo que visa garantir um padrão mínimo de qualidade, de modo que haja uma confiabilidade aceitável na obtenção dos dados, a partir deste instrumento instalado. A certificação da instalação de um tubo de inclinômetro visa garantir que o mesmo foi instalado em condições adequadas e que o mesmo vai proporcionar leituras confiáveis para o monitoramento desejado.

## 2 OBJETIVOS

Tendo em vista os diferentes fatores que podem afetar a qualidade da instalação de um tubo de inclinômetro, e, conseqüentemente, as campanhas de leituras posteriores, este trabalho tem como objetivo a apresentação de uma metodologia para certificação da qualidade da instalação dos tubos de acesso de inclinômetros, também denominados de tubos inclinométricos.

Esta metodologia pretende não apenas avaliar a condição de instalação, mas também possibilitar a identificação e tratamento de possíveis erros sistemáticos, bem como facilitar o acompanhamento dos deslocamentos horizontais.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Um programa de instrumentação geotécnica requer diversos preparos antes de sua instalação. Dunicliff (1982 e 1988) apresenta um manual de orientação para o planejamento e implantação adequado de instrumentos geotécnicos. As preocupações variam desde questões técnicas de design, construção e desempenho, até questões legais, como garantia e funcionamento do instrumento. Este manual reforça a necessidade do cuidado na instalação para se obter um bom monitoramento.

Tendo em vista que não há norma ou padrão nacional que oriente a instalação de tubos guia para inclinômetros, a realização de leituras inclinométricas, o tratamento dos dados ou a apresentação dos resultados, os autores se basearam no referencial teórico proposto por estudiosos como Dunicliff (1988), Mikkelsen (2003) e Machan & Bennett (2008), além de manuais fornecidos por fabricantes, para elaborar uma metodologia própria para tratamento, validação e verificação das leituras de inclinômetros.

Tais referências, portanto, foram utilizadas no presente estudo como base na determinação dos limites estabelecidos para possíveis erros ou variações nas leituras.

#### 3.1 Erros Randômicos e Sistemáticos

Mikkelsen (2003), afirma que os inclinômetros são instrumentos de fácil utilização que, no entanto, possuem incertezas associadas à análise de possíveis erros. Por este motivo que este e outros autores, bem como fabricantes de torpedos inclinométricos, buscaram entender as possíveis influências do manuseio do equipamento na acurácia das leituras.

Ainda de acordo com este autor, há diversos tipos de erros sistemáticos que podem influenciar na leitura, dando uma falsa impressão de deslocamentos significativos. O erro total associado a leitura de um inclinômetro é dividido entre erros randômicos e sistemáticos, onde o primeiro não acumula mais do que  $\pm 0,16$  mm, e o segundo acumula aritmeticamente, conforme Equação 1 e Figura 2.

*Erro total = erro randômico + erro sistemático*

$$\text{Erro total} = (0,16 \times \sqrt{60}) + (0,11 \times 60)$$

$$\text{Erro total} = 1,24 + 6,60 = 7,8 \text{ mm}$$

(1)

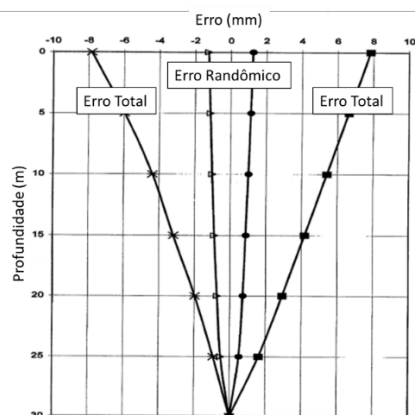


Figura 2. Erro total e randômico (Mikkelsen, 2003).

Segundo Machan & Bennett (2008) a precisão do sistema é de  $\pm 7,6$  mm por 30 m, o que inclui uma combinação de erros aleatórios e sistemáticos, corroborando com a formulação apresentada anteriormente. Estes autores afirmam que erros aleatórios podem ocorrer dentro dos sensores, limitando a precisão do torpedo. Erros sistemáticos ocorrem devido a ações humanas que afetam a condição dos sensores e torpedo.

O instrumento em geral mede as deflexões com precisão de 0,25 a 0,50 mm em um único incremento de leitura (considerando possíveis erros aleatórios e sistemáticos). O erro sistemático acumula aritmeticamente dentro do número de intervalos de leitura, enquanto o erro aleatório acumula com a raiz quadrada do número de incrementos de leitura. Quando os gráficos de deflexão se estendem por uma longa distância, pode ocorrer um erro total maior, ou seja, instrumentos mais profundos acumulam mais erros. Um instrumento 25 m, com 50 incrementos, resulta em um erro total acumulado de 14 mm. (Machan & Bennett, 2008)

Mikkelsen (2003) ressalta que o erro randômico pode ser reduzido com a repetição da leitura. Já a correção do erro sistemático requer a sua identificação, podendo estar associado a diferentes fatores, alguns associados a instalação do conjunto: mudança de direção do sensor, desvio do tubo, rotação do tubo, erro no posicionamento do sensor em profundidade, inclinação do tubo, ente outros.

Apesar do acúmulo geral de erros, Machan & Bennett (2008) acrescentam que as deflexões reais do solo geralmente ocorrem apenas em partes da instalação do tubo. Por exemplo, se a parte da zona de deflexão for a combinação de três intervalos de leitura consecutivos, o erro total possível poderá ser de 1,2 mm. Ou seja, na prática, a variação de erros presente na zona de cisalhamento é reduzida.

### 3.2 Acurácia das leituras: *Checksum* e perfil de instalação

Além dos erros randômicos e sistemáticos que podem ser acumulados na leitura, há erros inerentes ao *checksum* e seu desvio padrão. Conforme Slope Indicator (2000), o *checksum* fornece uma forma simples de avaliar a qualidade dos dados. Um *checksum* elevado pode indicar uma leitura incorreta, e seu desvio padrão é uma medida do erro aleatório.

A variação do *checksum*, de acordo com Mikkelsen (2003) é a medição da precisão do torpedo e varia de 0,08 a 0,016 mm, no eixo A, e de 0,016 a 0,032 mm no eixo B. A variação é maior no eixo B devido à maior oscilação da rodinha o torpedo nesta ranhura.

Segundo Machan & Bennett (2008), pequenas variações não indicam problema, pois são quase impossíveis de eliminar. As variações de *checksum* podem se tornar uma preocupação se o seu desvio padrão exceder cerca de 5 a 10 unidades da soma de verificação média para o eixo primário (A), ou seja, torna-se prejudicial à leitura variações de desvio padrão acima de 0,05 a 0,1 mm no eixo principal. Já a Slope Indicator (2000) considera que o desvio padrão do *checksum* não deve exceder 10 unidades para o eixo A e 20 para o eixo B (0,1 e 0,2 mm, respectivamente).

Quanto ao perfil de instalação, recomenda-se realizar o furo o mais verticalmente possível. A verticalidade é limitada pelas capacidades do equipamento de perfuração, da equipe e da geologia local. No entanto, sabendo-se que há interferências durante a instalação, para que seja considerado um bom padrão de instalação as especificações de precisão do perfil consideram razoáveis inclinação inferior a 3 graus. (DGSI, 2024).

### 3.3 Rotação do Tubo

Dunniclif (1988) recomenda a realização de inspeção da rotação do tubo após a sua instalação quando ocorrerem dificuldades durante a instalação ou para revestimentos com profundidade superior a cerca 60 m, principalmente quando é necessário conhecer a direção exata dos movimentos do solo em profundidade. Esta verificação pode ser feita com um instrumento próprio para medição de rotação.

De acordo com este autor, a precisão da leitura pode ser maximizada usando um tubo de grande diâmetro, pois, para uma determinada espessura de roda e largura de ranhura, a "folga" rotacional diminui à medida que o diâmetro aumenta e, portanto, o erro de rotação do azimute também diminui. (Dunniclif, 1988)

De acordo com o manual DGSI (2024), para um desalinhamento do tubo de até 10 graus, as leituras do eixo A capturarão 98,4% da magnitude do movimento total, e o movimento visto no eixo B pode ser usado para confirmar que o movimento A é real. Esta análise se dá considerando as resultantes do deslocamento, onde a função cosseno age lentamente, portanto, mesmo com 25 graus de desalinhamento, o valor do eixo A contém 90% da resultante. Já a função seno age mais rapidamente. Com um desalinhamento de 10 graus do eixo A, o valor do eixo B conterá cerca de 17% da resultante. Assim, quaisquer deslocamentos vistos em A também devem ser vistos em B.

## 4 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida pelos autores, com base nos referenciais teóricos apresentados e em sua experiência, considera análises de alguns parâmetros que são fundamentais para a garantia da qualidade de instalação dos inclinômetros, sendo eles: verificações em campo, realização de leituras iniciais (zero) e análise da instalação e leituras subsequentes para monitoramento do instrumento.

Esta metodologia tem se mostrado essencial para que os responsáveis pelo monitoramento inclinométrico possam definir os parâmetros mínimos que devem ser utilizados para o aceite do instrumento, além de garantir a qualidade dos dados obtidos nas leituras subsequentes, reduzindo as possíveis interferências na análise dos deslocamentos. De acordo com os casos já estudados e trabalhados pelos autores, quando não há um bom acompanhamento e análise da instalação, enfrenta-se em geral grande dificuldade nas análises posteriores e entendimento dos deslocamentos.

Diante o exposto, o procedimento para certificação da instalação e monitoramento pode ser dividido em três etapas: Verificações da instalação em campo, análise das leituras e dados de instalação, e análise das leituras subsequentes. O fluxograma com as etapas propostas pela metodologia é apresentado na Figura 3.

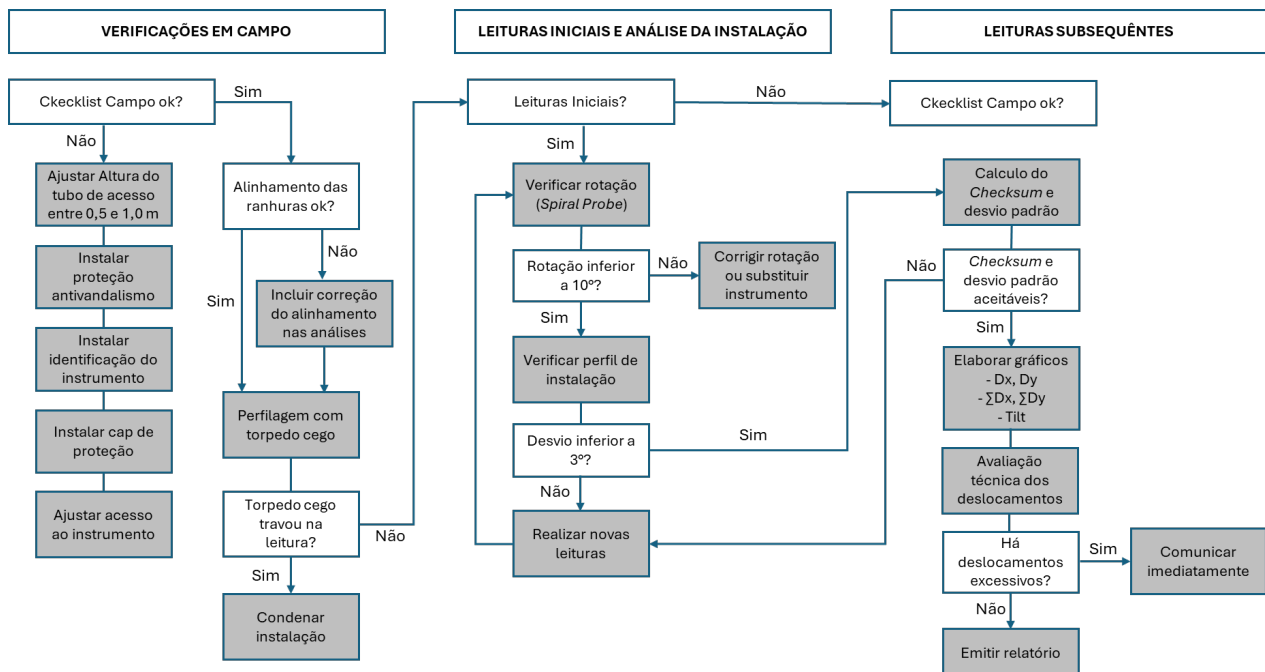


Figura 3. Fluxograma da metodologia de certificação da instalação de inclinômetros.

### 4.1 Verificações em Campo

A primeira etapa, da verificação da qualidade dos inclinômetros após instalado, constitui a ida a campo para ajustes operacionais. Revisões que parecem simples são muitas vezes negligenciadas e influenciam na qualidade da leitura do instrumento. É recomendado que estas verificações ocorram após a cura do *grout* no interior do furo, sugerindo-se a espera de, pelo menos, três dias para realizar estas atividades.

A seguir são apresentadas as principais verificações propostas nesta metodologia, visando garantir a boa instalação em campo, primeira fase necessária para um bom monitoramento, conforme salientado na revisão bibliográfica deste trabalho.

- A altura do tubo de acesso, que chamamos comumente de pescoço do tubo, deve ser verificada a fim de garantir uma melhor aquisição de dados, considerando não apenas a ergonomia do leitorista, mas também o posicionamento correto do torpedo no interior do tubo, evitando interferências nas leituras superficiais. A altura recomendada pela pelos autores, tendo em vista o aspecto ergonômico, varia entre 0,5 m a 1,0 m.
- Em seguida, com o tubo nas dimensões desejadas, deve ser verificado o alinhamento das ranhuras do tubo com as direções preferenciais da obra, ou seja, um par de ranhuras deve ser alinhado com a direção



principal do deslocamento a ser monitorado, e o outro par, conseqüentemente, perpendicular a esta direção. Caso haja rotação desta ranhura na superfície do tubo, deverá ser realizada a correção do Azimute para este instrumento.

- c) Em seguida, a fim de garantir o alinhamento dos tubos em profundidade, após a instalação, deve-se realizar a perfilagem do tubo com o torpedo cego. Nesta etapa pretende-se verificar se há alguma profundidade com obstruções ou travas que impossibilitem a passagem do torpedo ou possam gerar danos. Nestes casos recomenda-se condenar o instrumento e instalar outro em local próximo.
- d) Salienta-se que, para garantir a qualidade do monitoramento, deve-se proteger o entorno do tubo contra vandalismo, inclusive com tampa (cap) no topo da proteção, evitando que o tubo seja externamente vandalizado ou que sejam inseridos objetos que possam obstruir o tubo e impossibilitar a leitura. É de extrema importância, também, que o instrumento seja devidamente identificado, inclusive com a orientação da direção preferencial de deslocamento (direção A+), para que os técnicos leituristas mantenham a mesma orientação de leitura.
- e) O livre acesso ao instrumento, e manutenção deste, também fazem parte da verificação após a instalação, o que garante a chegada ao instrumento em segurança e possibilita a realização de leituras com menos interferências. Essas recomendações são determinantes para garantir que o monitoramento deste instrumento acumulará menos erros sistemáticos, ou seja, erros decorrentes das condições de leitura.

## 4.2 Leituras Iniciais e Análise da Instalação

Finalizadas as verificações em campo, caso a instalação do instrumento seja validada, deve-se realizar as leituras iniciais. Nesta primeira ida a campo para captação das leituras, deve-se realizar não apenas a leitura padrão do desvio do inclinômetro, com o torpedo inclinométrico, mas também a leitura de rotação. Esta leitura é realizada por um torpedo especial do tipo *Spiral Probe*, o qual permite medir a rotação do tubo a cada metro, desde o fundo do tubo guia até a superfície.

Tendo em vista que estas serão as leituras iniciais (leitura zero), é recomendado que sejam realizadas pelo menos três leituras de cada tipo. Essas leituras deverão ser avaliadas para descartar possíveis erros e será utilizada como base a leitura com menor desvio padrão do *checksum*.

### 4.2.1 Avaliação da rotação

A metodologia propõe iniciar a análise dos dados pela avaliação do perfil de rotação da leitura, a fim de certificar que não houve torção excessiva no eixo vertical do tubo durante a instalação dos tubos de inclinômetros, ou seja, avalia-se se as direções das ranhuras do tubo estão alinhadas em toda a sua profundidade.

Caso haja rotação excessiva, significa que houve desalinhamento no eixo vertical do tubo guia durante a instalação do tubo de inclinômetro, o que resulta no desalinhamento da guia em relação à direção principal esperada para movimentação do solo. De acordo com recomendações dos principais fabricantes, tendo em vista a porcentagem de deslocamento observada no eixo principal, considera-se como rotação elevada valores superiores a 10°. Caso a rotação máxima ultrapasse este limite, é necessário corrigir matematicamente o alinhamento no cálculo dos deslocamentos.

### 4.2.2 Avaliação do perfil de instalação

Avalia-se o perfil de instalação do inclinômetro, em uma etapa denominada de calibração inicial, onde é realizada a verificação da geometria dos tubos guia, bem como quantifica-se a precisão do conjunto torpedo e tubo. O valor da precisão do sistema é único para cada conjunto e, portanto, o mesmo torpedo deve ser utilizado para medições futuras de modo a distinguir pequenos movimentos dos erros inerentes aos diferentes sistemas de leitura.

A partir de cada gráfico gerado com o perfil de instalação, pode-se verificar o posicionamento real do tubo guia, avaliando-se a qualidade da instalação inicial e eventuais desvios. Ao ser instalado, além de poder sofrer rotação, o tubo pode não ser instalado verticalmente, apresentando o que chamamos de desvio. Sendo assim, a metodologia propõe que seja quantificado o desvio do tubo guia e avaliada a sua forma.

Conforme orientação da DGSI (2024), para uma boa acurácia, recomenda-se que o desvio vertical dos inclinômetros não seja superior a  $3^\circ$ . Esta análise é realizada com a observação do gráfico de desvio (*Tilt*) da leitura de referência. Identifica-se, ainda, a forma de instalação do tubo, podendo estar em formato de I (retilíneo), de J (duas direções de inclinação), ou em S (mais de duas direções de inclinação).

Os autores sugerem uma avaliação conjunta do desvio e do formato do tubo. Para tubos que apresentem formatos J ou S, recomenda-se avaliar o desvio por trecho, a fim de verificar a máxima inclinação do tubo em relação a vertical. Desvios acima do recomendado podem ocasionar acúmulos de erros e dificultar a leitura e interpretação dos dados. Nestes casos, portanto, é indicado conhecer os locais de maiores desvios, que possam oferecer maior interferência na interpretação de dados.

#### 4.2.3 Checksum

Após a validação do perfil de instalação dos tubos guia, que fornece conhecimento sobre a estrutura de instalação do tubo, deve-se realizar a análise da qualidade da leitura zero. Nesta etapa avaliam-se os valores de *checksum* (soma cruzada), bem como a média e o desvio padrão do *checksum*, o que indica a qualidade da leitura realizada.

O *checksum* é a diferença entre a leitura na direção  $0^\circ$  e na direção  $180^\circ$ . Essa diferença, teoricamente, deve ser zero, no entanto, tendo em vista as variações de direção do torpedo durante as leituras, devido a fatores como, por exemplo, a pressão das molas nas rodinhas, existe uma variação da soma em todo o perfil.

Desta forma, espera-se que os gráficos de *checksum* apresentem valores aproximadamente constantes em todo o perfil, em geral próximos a zero. Quando o perfil de *checksum* é retilíneo, portanto, significa que as leituras foram bem realizadas em todas as profundidades.

Eventuais picos observados no *checksum* inicial devem ser avaliados em conjunto com o perfil de instalação, considerando pontos de desvio acentuado do tubo ou presença de juntas. Ou seja, caso o encaixe do tubo não seja perfeito durante a instalação, as leituras nesta profundidade podem gerar uma diferença no *checksum*. Deste modo, o *checksum* não apenas é uma medida da qualidade das leituras, como também da instalação dos tubos.

Além de avaliar o perfil do *checksum*, devem ser observados os valores de sua média e seu desvio padrão. De acordo com a literatura, a presente metodologia adota que a variação do *checksum* deve ser de 0,08 a 0,016 mm, no eixo A, e de 0,016 a 0,032 mm no eixo B. Já o desvio padrão para o eixo A e para o eixo B não deve variar mais que 10 e 20 unidades, respectivamente (0,1 e 0,2 mm). Variações superiores a esses valores podem indicar problemas de leitura (erros sistemáticos), como por exemplo, o posicionamento errado do torpedo ou a não estabilização da leitura. Além disso, valores elevados também podem indicar problemas no tubo guia, como sujeira no fundo do tubo, obstruções, tubos desencaixados e até mesmo problemas de calibração do torpedo.

### 4.3 Análise das Leituras Subsequentes

Após a validação das leituras, são elaborados os gráficos dos deslocamentos e desvios comparando-os com as leituras iniciais. A partir destes gráficos é possível avaliar com maior confiabilidade os deslocamentos ocorridos no período. Esta é, efetivamente, a etapa do monitoramento deste instrumento.

Com a obtenção de novas leituras, após a leitura zero, deve-se seguir a metodologia de validação e interpretação da leitura atual. Para isso, avalia-se primeiramente o *checksum* e desvio padrão do *checksum*. Conforme realiado para a leitura inicial, espera-se obter um perfil retilíneo, compatível com o mesmo padrão de leitura zero. Leituras fora desse padrão, devem ser refeitas para eliminar possíveis erros.

Após avaliar o *checksum*, são analisados os gráficos de deslocamento incremental e acumulado, bem como a evolução do deslocamento no tempo. Para esta avaliação é imprescindível ter total domínio sobre o instrumento instalado e suas características de instalação, a fim de identificar diferenças entre erros randômicos e sistemáticos acumulados e o deslocamento de fato. Além disso, deve-se observar não apenas o acúmulo do deslocamento, mas também o formato do gráfico de deslocamento, verificando se há indicação de eventual zona de cisalhamento.

Recomenda-se que o conjunto torpedo, cabo e leitora seja calibrado anualmente numa mesa de calibração certificada, de modo a garantir a acurácia das leituras. Choques e vibrações no torpedo durante o

transporte e utilização no campo, podem resultar em pequenos desvios no sensor do equipamento, fazendo com que a calibração seja alterada.

## 5 RESULTADOS

Como resultado das análises e interpretações de dados ao longo dos anos de experiência dos autores, a metodologia desenvolvida vem sendo aplicada em diversos estudos e trabalhos de monitoramento de inclinômetros, garantindo melhores instalações e maior conhecimento acerca das interferências do padrão de instalação dos inclinômetros. Os principais resultados, portanto, incluem: maior controle na instalação de novos instrumentos ou na validação de instalações antigas; confiabilidade no conhecimento do instrumento que está sendo monitorado, incluindo suas possíveis falhas; maior precisão no monitoramento e descarte de possíveis erros; e melhoria na capacidade de interpretação dos dados.

## 6 CONCLUSÕES

Conclui-se com este trabalho, que a definição de uma metodologia para certificação da instalação e orientação da análise de inclinômetros é de extrema importância para profissionais e estudiosos que lidam com este instrumento. Inclinômetros são instrumentos geotécnicos de grande complexidade de análise e é imprescindível que haja uma validação da qualidade da instalação dos tubos antes de seguir com o monitoramento. Além disso, conhecer os vícios de cada instalação já existente fornece ao profissional que está analisando os dados informações valiosas para seu parecer técnico.

Com isso, e diante os resultados apreendidos ao longo dos anos, conclui-se que esta metodologia fornece grande contribuição para a área aplicada, garantindo que não, apenas as instalações sejam realizadas com mais qualidade, mas também a aquisição e análise de dados possuam uma melhor orientação.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros, aprofundar-se no estudo das diferentes causas associadas aos vícios de instalação, como, por exemplo, concretagem em etapa única, rotação do tubo durante a retirada da haste de perfuração, instalação em local com previsão de recalque e utilização de emendas telescópicas, dentre outros. A partir destas definições podem ser apresentadas metodologias para reduzir impactos na instalação do tubo.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos às empresas 3Geo Consultoria, Vale S.A e SAMARCO por proporcionarem a troca de conhecimento necessária para que esta e outras metodologias pudessem ser desenvolvidas e aprimoradas com aplicação em diferentes projetos, validando sua importância para a contribuição ao monitoramento geotécnico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DGSI (2024). *Inclinometer Casing FAQ*. Disponível em: < <https://durhamgeo.com/resources/tech-notes/inclinometer-faqs/inclinometer-casing-faq/>>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- Dunniclif, J. 1982. *Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance*. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice
- Dunniclif, J. 1988. *Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance*. New York: John Wiley.
- Machan, G, Bennett, V., 2008. *Use of Inclinometers for geotechnical instrumentation in transportation Projects: state of the practice*. Transportations Research Circular nº E-C129.
- Mikkelsen, P. Erik, 2003, *Advances in Inclinometer Data Analysis*. Symposium on Field Measurements in Geomechanics, FMGM, Oslo, Norway.
- Slope Indicator, 2000. *Inclinometer Accuracy*. Data Reduction and Error Correction.