

Análise da perda de carga em tirantes de cortinas atirantadas com utilização de ensaios dinâmicos não destrutivos

Antonio Jorge de Lima Gomes

Professor Associado, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, Brasil,
antonio.gomes@ufvjm.edu.br

Gerard Porcher

Professor Pesquisador, LMEE, Université Evry Paris-Saclay, Evry, França, gerard.porcher@univ-evry.fr

Cherif Asli

Professor Pesquisador, LMEE, Université Evry Paris-Saclay, Evry, França, cherif.asli@univ-evry.fr

Ben Michel Kodza

Mestrando, LMEE, Université Evry Paris-Saclay, Evry, França, benmichelkodza@gmail.com

Thiago Bomjardim Porto

Professor Pesquisador, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Curvelo,
thiago.porto@cefetmg.br

RESUMO: O Brasil possui uma grande quantidade de cortinas atirantadas executadas em estradas, ferrovias e taludes, que precisam ser reavaliadas geotecnicamente e estruturalmente em conformidade com as normas brasileiras NBR 5629:2018 e NBR 11682:2009, principalmente para evitar que entrem em colapso e provoquem acidentes com perdas materiais e principalmente de vidas. Os tirantes ancorados no terreno ou rochas se apresentam com uma solução para a grande maioria de sistemas de contenção. Numa cortina atirantada, o conjunto de tirantes deve combater o empuxo de terra, devendo ser ancorado numa região profunda e naturalmente estável. A capacidade de carga geotécnica das ancoragens é obtida através de ensaios em conformidade com a NBR 5629:2018. Neste trabalho, foram analisados aspectos de desempenho de 590 tirantes de ancoragem, obtidos a partir de centenas de ensaios não destrutivos realizados em tirantes pela empresa Rincent Laboratoires. Com base nas cargas aplicadas e no deslocamento ocorrido, os resultados obtidos permitiram uma análise da perda de carga em 12 linhas de tirantes com um tempo médio de 30 anos. A perda de carga média de todas as 12 linhas foi de 59,25%. As primeiras 4 linhas (L1, L2, L3 e L4) apresentaram a maior perda de carga com valor médio de 75,75%, enquanto as 2 últimas (L11 e L12) perderam apenas 33% de sua carga inicial. Nas linhas intermediárias de L5 a L10, as perdas variaram entre 51% e 69% com valor médio de 57%. A maior perda de carga ocorreu na linha L1, com carga inicial de 33,6 tf e final de 7,56 tf resultando numa perda de carga absoluta de 77% em 30 anos, no entanto, ocorreu uma perda de carga absoluta anual de 2,57% e relativa média anual de 4,85%. Com base na literatura para os tirantes que já estão em uso há vários anos, ocorre uma perda média de carga anual variando de 1% a 5,5 % de sua carga de trabalho, em comparação com a estimada em projeto, cujos valores resultantes variam em função das condições geológicas-geotécnicas locais de cada tirante e das condições do paramento da cortina atirantada. Deste modo, a utilização de ensaios de tração não destrutivos permitem que se realizem avaliações da capacidade de carga em tirantes de cortinas atirantadas e muros de sustentação, para que se avalie sobre uma possível necessidade de realização de um novo tensionamento.

PALAVRAS-CHAVE: Cortinas atirantadas, Tirantes, Ensaios dinâmicos, Monitoramento de estruturas.

ABSTRACT: Brazil has a number of anchored retaining walls installed on roads, railways and slopes, which need to be reassessed geotechnically and structurally in accordance with Brazilian standards NBR 5629:2018 and NBR 11682:2009, mainly to prevent them from collapsing and causing accidents with material loss and especially loss of life. Tie Rods anchored in the ground or rocks are a solution for the vast majority of



2 0 2 5

containment systems. In a cable-stayed wall, the set of tie rods must combat the earth thrust and must be anchored in a deep and naturally stable region. The geotechnical load capacity of the anchors is obtained through tests in accordance with NBR 5629:2018. In this work, performance aspects of 590 tie rods were analyzed, obtained from hundreds of non-destructive tests carried out on tie rods by the company Rincent BTP. Based on the applied loads and the displacement occurred, the results obtained allowed an analysis of the load loss in 12 lines of tie rods with an average lifespan of 30 years. The average load loss of all 12 lines was 59.25%. The first 4 lines (L1, L2, L3 and L4) presented the greatest load loss with an average value of 75.75%, while the last two (L11 and L12) lost only 33% of their initial load. In the intermediate lines from L5 to L10, losses varied between 51% and 69% with an average value of 57%. The greatest load loss occurred in line L1, with an initial load of 33.6 tf and a final load of 7.56 tf, resulting in an absolute load loss of 77% in 30 years; however, there was an annual absolute load loss of 2.57% and a relative annual average of 4.85%. Based on the literature for ties that have been in use for several years, there is an average annual load loss ranging from 1% to 5.5% of their working load, compared to the estimated design load, the resulting values of which vary depending on the local geological-geotechnical conditions of each tying rod and the conditions of the wall facing of the cable-stayed structure. Thus, the use of dynamic non-destructive tests allows assessments of the load capacity of ties of cable-stayed structures and retaining walls, in order to assess the possible need for new tensioning.

KEYWORDS: Retaining wall, Tie rods, Dynamic tests, Structural monitoring.

1 INTRODUÇÃO

Com a execução dos ensaios dinâmicos não destrutivos é possível determinar a rigidez dinâmica e o comprimento livre e total de cada tirante ensaiado, assim como avaliar a perda de tensão nos tirantes.

A perda de carga nos tirantes é uma das principais causas de deslizamentos de terra nas encostas e de desmoronamentos que ocorrem em muros de contenção e principalmente em cortinas atirantadas. Dependendo do local e das condições de pressão exercidas sobre os tirantes, a perda de carga ocorre tanto nos próprios tirantes como no meio geológico em que estão inseridos.

De acordo com Carvalho (2009), tem várias causas que podem mobilizar mecanismos de ruptura das estruturas ancoradas e que podem estar relacionados com a ação de cargas excessivas sobre as ancoragens, tais como sobrecargas, aterros, esforços adicionais causados por construções, ação de equipamentos, ou ainda, cargas com solicitações adicionais geradas com a construção de estruturas próximas.

A perda de tensão ocorre devido a fatores como a homogeneização do terreno, alívio de tensões induzidas externamente e a atuação de cargas cíclicas provenientes do tráfego de veículos ou de outras fontes que induzam cargas no terreno local.

A análise da perda de carga em tirantes de cortinas atirantadas pode ser realizada através de ensaios não destrutivos. A integridade estrutural de muros de contenção ancorados é um fator crítico para a segurança de diversas infraestruturas, tais como rodovias, ferrovias, edifícios e muros de contenção. As contenções são estruturas executadas para suportar pressões laterais de terra, rocha e água, normalmente denominadas de empuxos.

O principal componente de sustentação das cortinas atirantadas é o tirante. A cortina atirantada é uma estrutura muito utilizada como técnica destinada à contenção de esforços de empuxos do solo em taludes e muros de contenção, no sentido de impedir a movimentação e o deslizamento de encostas. O tirante é um dos componentes do sistema responsável pelo acréscimo de estabilidade ao talude.

Os tirantes podem ser ativos ou passivos, sendo estes, elementos essenciais na estabilidade das estruturas, estando suscetíveis à perda de tensão ao longo do tempo, um fenômeno comum que pode levar à instabilidade e, em casos extremos sem um acompanhamento das perdas de carga, poderá ocorrer o colapso de cortinas atirantadas.

De acordo com a tradição, a verificação do estado de tensão em tirantes tem sido realizada através de ensaios estáticos destrutivos. Mesmo sendo muito eficazes na determinação da força de tração, esses ensaios são invasivos, exigem equipamentos pesados, são onerosos e dependendo da situação podem comprometer a estrutura, principalmente em tirantes muito antigos.

Um acompanhamento periódico do estado de conservação dos sistemas de contenção é fundamental para se garantir condições adequadas de estabilização das cortinas atirantadas, assim como dos usuários que utilizam ou que trafegam por esses locais.

Analisar as perdas de cargas através de ensaios não destrutivos de tempos em tempos, assim como estabelecer a correção dessas perdas de carga, é de fundamental importância para garantir a durabilidade e a segurança das estruturas atirantadas (Rincint, 2025).

Assim, o objetivo deste trabalho é fazer uma análise da perda de cargas ocorrida em tirantes situados em cortinas atirantadas compiladas do trabalho de Rincint (2023), com base em resultados obtidos com a utilização de ensaios não destrutivos.

2 METODOLOGIA

Os métodos utilizados na análise dos resultados dos ensaios não-destrutivos do tipo impedância mecânica são baseados na análise vibratória do tirante, que consiste num impacto provocado na placa de apoio e na monobarra, na direção de seu eixo. O impacto é realizado com um martelo e medido com um sensor posicionado na placa de apoio. Após tratam-se matematicamente os sinais adquiridos, que são registrados em um computador portátil e analisa-se o resultado do ensaio em função da frequência.

Deste modo, é possível determinar a força de tração ao qual o elemento está submetido, com base na correspondência entre força estática e rigidez dinâmica, e também com a análise da resposta vibratória. A partir da transformada de Fourier, obtém-se uma curva que relaciona velocidade e força em função da frequência.

Os tirantes podem ser ativos ou passivos e de acordo com a Norma NBR5629/2018 poderão estes serem classificados como provisórios ou permanentes. Os tirantes provisórios, são aqueles que se destinam a obra com duração de até 2 anos e os permanentes são aqueles que se destinam a obras com duração superior a 2 anos (ABNT, 2018).

Carvalho (2009) e More (2003), fizeram um levantamento dos modos de ruptura de uma estrutura ancorada e as principais verificações que devem ser consideradas no desenvolvimento dos projetos.

Mitaine e Rincint (2015) descrevem a determinação da tensão em tirantes com a utilização de técnicas não destrutivas, pois a perda de carga nos tirantes é uma das principais causas de desmoronamentos em muros de contenção ancorados no terreno.

De acordo com Coelho et al. (2025) é de grande importância se avaliar o estado de conservação de estruturas de contenção, com o objetivo de se evitar a ocorrência de acidentes ou de elevados custos para buscar ações de remediação.

A cortina atirantada é uma estrutura utilizada para conter esforços de empuxos do solo em taludes e paredes de escavações, impedindo a movimentação, assim como, o desabamento de encostas e muros de sustentação. O principal componente da cortina é o tirante, o qual, é o elemento responsável pelo acréscimo de estabilidade do talude, mediante a sua ação ativa no solo. Na figura 1 apresenta-se um esquema dos componentes de um tirante numa estrutura de contenção.

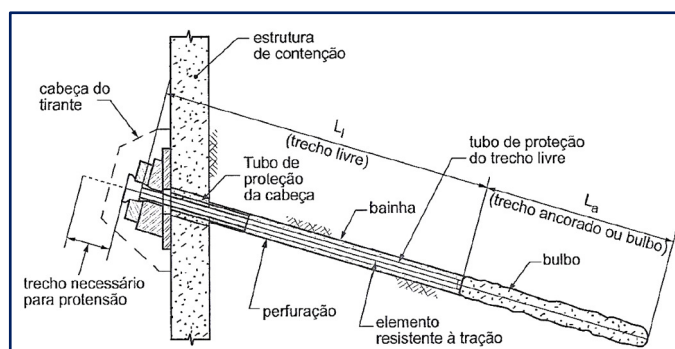


Figura 1. Esquema dos componentes de um tirante numa estrutura de contenção (NBR 5629/1996).

O tirante é modelado principalmente como um sistema elástico linear, mas reconhece-se que, sob certas condições de carga, fenômenos plásticos podem ocorrer localmente no aço ou nas interfaces. Para a determinação da capacidade de carga de ancoragens em solo considera-se que a resistência da ancoragem se deve exclusivamente à resistência ao cisalhamento desenvolvida na interface solo-bulbo. A capacidade de

carga geotécnica das ancoragens no Brasil é obtida através de ensaios que são realizados em conformidade com a NBR 5629 (ABNT, 2018).

2.1 Métodos não destrutivos

Existem dois diferentes tipos de ensaios não destrutivos: ensaio de carga estática e ensaios dinâmicos. Estes ensaios não destrutivos utilizam equipamentos leves, fáceis de operar e permitem o acesso a grandes alturas das cortinas atirantadas e sobretudo não provocam danos à estrutura de contenção. O ensaio de impedância mecânica com análise de frequência é baseado na análise da resposta vibratória do elemento testado, através da propagação das ondas no tirante, utilizando um martelo específico conforme se apresenta na Figura 2a, e na figura 2b temos a realização dos ensaios ao mesmo tempo. O uso de um martelo com extremidade de elastômero para o impacto é o mais recomendado, pois produz um intervalo de frequência na faixa de 0 a 2000 Hz, adequado para este tipo de ensaio.

De acordo com Coelho et al. (2025), o procedimento consiste em submeter à ancoragem a um impacto controlado, utilizando um martelo de impacto equipado com sensor de força, de modo a gerar vibrações no tirante, conforme esquema que apresentamos na figura 3.

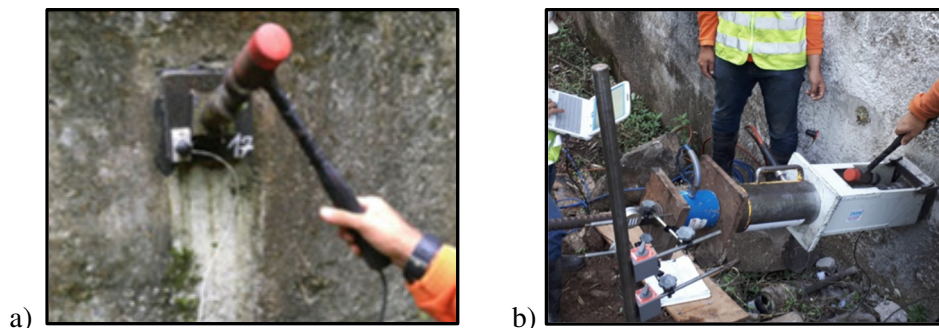


Figura 2. Realização de ensaios não destrutivos (Rincent, 2024).

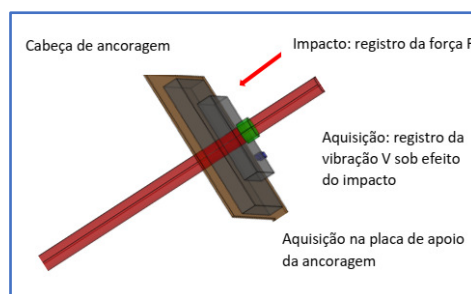


Figura 3. Esquema do ensaio de impedância (Beno e Dantas, 2020).

A resposta vibratória do elemento é registrada por meio de um sensor de velocidade (geofone, velocímetro ou acelerômetro). A análise dessa vibração permite determinar a rigidez dinâmica do tirante e da estrutura na qual está ancorado. O princípio da impedância mecânica é uma medida da resistência ao movimento de uma estrutura submetida a uma determinada força periódica. A partir da transformada de Fourier, obtém-se a resposta vibracional na forma de uma curva que relaciona velocidade e força em função da frequência. Este método permite também determinar a força de tração interna, comprimento e diâmetro dos tirantes de forma não invasiva. Segundo Beno (2013), a improbabilidade nos resultados quanto ao comprimento do tirante está principalmente relacionada à velocidade de propagação das ondas no tirante, que podem variar cerca de 10%.

2.2 Perda de carga em tirantes

A rigidez dinâmica obtida é posteriormente corrigida por um parâmetro que reflete a influência da estrutura nesse domínio de rigidez. É necessária uma periodicidade na execução de ensaios para verificação da capacidade de carga de tirantes, visto que é comprovado a perda de carga com o passar do tempo. Sobre-

porque todos os tirantes são suscetíveis à perda de tensão, sendo um fenômeno comum que pode levar à instabilidade e, em casos extremos, ao colapso do talude e da estrutura de sustentação.

Estudos de caso em muros de contenção realizados e publicados por Rincent (2023), alguns destes com décadas de existência, revelaram perdas de carga média variando de 1% a 5,5% ao ano.

A capacidade de realizar um grande número de testes dinâmicos permite obter uma amostra representativa da situação existente, o que seria impraticável com ensaios estáticos devido ao seu custo e complexidade. Desta forma, a realização de ensaios dinâmicos não destrutivos tem se mostrado eficazes na avaliação do estado de tirantes em campo, fornecendo informações cruciais para o diagnóstico e manutenção de estruturas de contenção e de cortinas atirantadas.

Segundo Coelho et al. (2025) quando uma cortina tem apenas uma linha de tirantes é esperado que os valores de carga de trabalho sejam sempre próximos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram compiladas as cargas iniciais e finais de um total de 590 tirantes distribuídos em 12 linhas de acordo com ensaios realizados durante vários anos por Rincent (2023) para um período médio de 30 anos, e apresentados na tabela 1. Na tabela 2 apresentamos os valores das cargas iniciais e finais por linha de tirantes e os percentuais da perda de carga média obtida num período de 30 anos em cada linha de tirantes, assim como a perda média total do conjunto das 12 linhas.

Tabela 1. Carga média inicial e final de 590 tirantes em 12 linhas.

Linha	Quantidade de tirantes por linha	Carga inicial (tf)	Carga final (tf)
1	75	33,6	7,56
2	72	42,1	10,17
3	71	42,1	10,49
4	68	42,1	10,5
5	65	42,1	13,09
6	57	33,6	13,05
7	50	33,6	14,75
8	45	33,6	16,48
9	42	33,6	16,03
10	20	33,6	15,72
11	14	33,6	22,65
12	11	33,6	22,38

Tabela 2. Perda de carga média percentual por linha de tirantes em 30 anos.

Linha	Variação entre a carga inicial e final (tf)	Perda de carga (%)
1	26,04	77,00%
2	31,93	76,00%
3	31,61	75,00%
4	31,6	75,00%
5	29,01	69,00%
6	20,55	61,00%
7	18,85	56,00%
8	17,12	51,00%
9	17,57	52,00%
10	17,88	53,00%
11	10,95	33,00%
12	11,22	33,00%
Total		Média = 59,25%

A análise dos resultados observados na avaliação da perda de carga é apresentada na figura 4, onde as maiores perdas tendem a se concentrar nas primeiras linhas superiores de uma cortina atirantada, no caso das linhas 1 a 4.



Constata-se que as cargas iniciais das linhas nos tirantes apresentadas na figura 4 indicam um comportamento não-linear possivelmente atreladas às condições geológicas e inerentes aos diferentes projetos de contenção, mesmo sendo valores médios por linha e não por tirante.

Por outro lado, as cargas finais resultantes nas 12 linhas apresentaram um comportamento do tipo linear, conforme observado no ajuste linear em vermelho, mostrando uma possível acomodação do solo às pressões exercidas nesse período médio de 30 anos.

São necessárias mais pesquisas para uma melhor compreensão desta resposta da perda de carga próxima a uma linearidade.

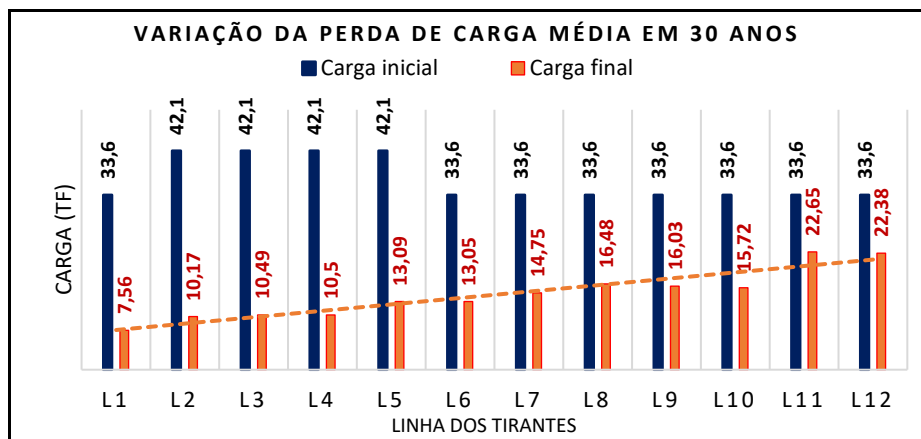


Figura 4. Variação entre a perda de carga inicial e final em 12 linhas de tirantes.

Para um entendimento da grande perda de carga observada, em maior parte nas primeiras linhas, foi realizada uma comparação gráfica da perda de carga média das 12 linhas que é apresentada na figura 5.

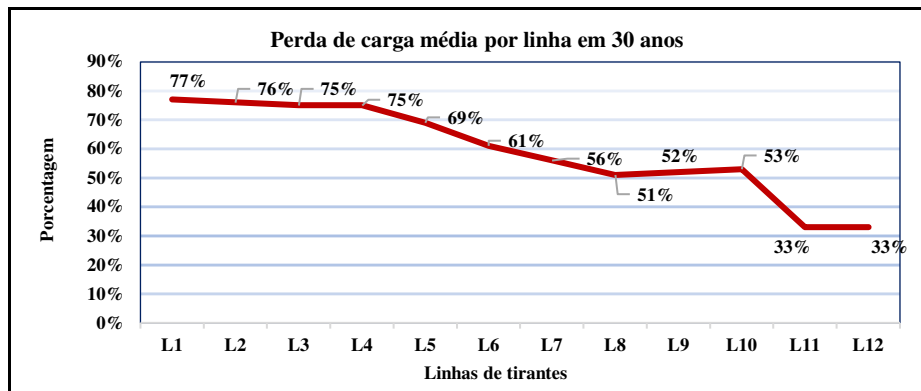


Figura 5. Variação percentual da perda de carga média por linha de tirantes.

Verifica-se no gráfico da figura 5 que comparativamente as primeiras linhas apresentaram maior perda de carga, em torno de 76%, o que é explicado pela proximidade com as pressões exercidas, que exercem maior atividades e respostas dos cabos dos tirantes, o que levam a uma perda de tensão acumuladas nos cabos dos tirantes das primeiras linhas.

As tensões no solo de maneira simplificada podem ser classificadas em geostáticas e induzidas. As tensões geostáticas são aquelas decorrentes do próprio peso próprio do solo e/ou da água presente em seus interstícios. No entanto, as tensões induzidas são causadas por elementos externos, podendo ser sobrecarga de trânsito, fundações, ou ainda de cargas atemporais, como é o caso das rodovias e ferrovias.

Por outro lado, constata-se que as linhas mais profundas como as linhas 11 e 12 perderam em média 33%, mostrando que estas linhas apresentam maior estabilidade no decorrer do tempo, cujas exceções podem ocorrer no caso se houverem heterogeneidades do solo. A importância de se considerar o fenômeno da fadiga, especialmente sob cargas cíclicas como o tráfego de veículos, principalmente os mais pesados. Essas sobrecargas dinâmicas, mesmo que aplicadas por curtos períodos de tempo, podem induzir deformações no solo e afetar o comportamento dos tirantes no decorrer do tempo.



Os ensaios não destrutivos contribuem para um maior conhecimento da estabilização da contenção e para evitar que entrem em colapso e provoquem acidentes com perdas materiais e principalmente de vidas.

Na figura 6 apresenta-se a perda de carga relativa média anual especificamente para a linha 1, que foi a que apresentou maior perda de carga, variando de 33,6 tf para 7,56 tf, e cujo valor foi em torno de 4,85% de perda anual.

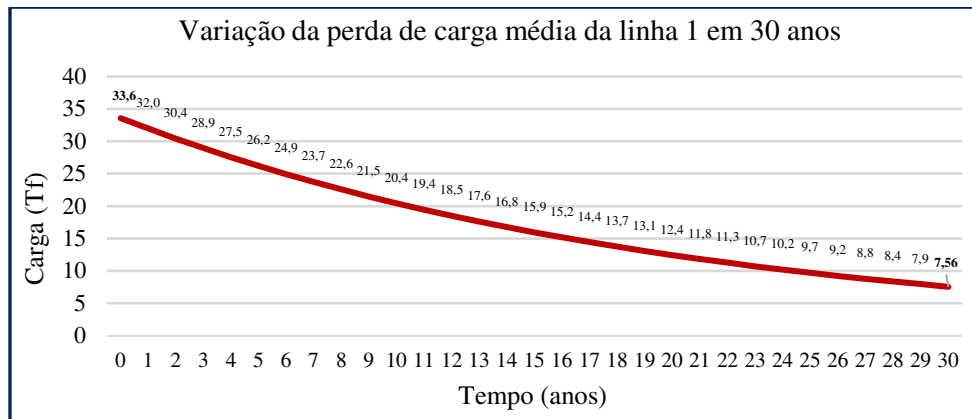


Figura 6. Variação da perda de carga média anual estimada para a linha 1.

Os resultados obtidos permitem que para futuros ensaios não destrutivos, é possível a otimização dos custos e da capacidade de realizar diagnósticos em larga escala em cortinas atirantadas são benefícios inegáveis que contribuem para a segurança e durabilidade das infraestruturas. Desta maneira, verifica-se que a necessidade da realização de ensaios periodicamente contribui para um maior entendimento da estabilidade das cortinas atirantadas e/ou da própria necessidade de uma retenção dos tirantes.

Deste modo, os ensaios dinâmicos não destrutivos em tirantes, baseados na análise vibratória e na técnica da impedância mecânica, concebem uma evolução significativa nas práticas de investigação e monitoramento de cortinas atirantadas. No caso de necessidade de re-protensão, tem-se uma operação significativamente bem mais econômica do que a instalação de novos tirantes.

4 CONCLUSÕES

A análise dos resultados dos ensaios não destrutivos realizados em 590 tirantes distribuídos em 12 linhas e considerando um período de tempo médio de 30 anos, apresentou resultados que contribuem para um maior conhecimento da perda de carga em tirantes de ancoragem, e principalmente, quais são as linhas de tirantes que estão mais sujeitas a grandes perdas, sobretudo porque a perda de carga nos tirantes tem sido uma das principais causas de desmoronamentos e acidentes em muros de contenção e de cortinas atirantadas.

A utilização dos ensaios dinâmicos não destrutivos vem se mostrando eficaz na avaliação do estado de tirantes em muros de contenção e cortinas atirantadas, os quais, fornecem informações importantes e decisivas para o diagnóstico e manutenção das estruturas de contenção, sendo que a análise vibratória é capaz de determinar a força de tração interna, o comprimento total e o comprimento livre do tirante, bem como o seu diâmetro.

Os resultados foram analisados de três maneiras diferentes. Verificou-se inicialmente que a perda de carga absoluta média de todas as 12 linhas do muro de contenção foi de 59,25%. As primeiras 4 linhas (L1, L2, L3 e L4) apresentaram a maior perda de carga com valor médio de 75,75%, enquanto as 2 duas últimas (L11 e L12) perderam apenas 33% de sua carga inicial, onde se constata que as pressões cíclicas que atuam nas primeiras linhas produzem maiores esforços nos tirantes. Nas linhas intermediárias de L5 a L10, as perdas variaram entre 51% e 69% com valor médio de 57%. A maior perda de carga ocorreu na linha L1, com carga inicial de 33,6 tf e final de 7,56 tf resultando numa perda de carga absoluta média de 77% em um período médio de 30 anos, no entanto, analisou-se que ocorreu uma perda de carga absoluta média anual de 2,57% e relativa média anual de 4,85%.

Com base na literatura para os tirantes que já estão em uso há vários anos, ocorre uma perda média de carga anual variando de 1% a 5,5 % de sua carga de trabalho, em comparação com a estimada em projeto, cujos valores resultantes variam em função das condições geológicas-geotécnicas locais de cada tirante e das condições do paramento da cortina atirantada.



2 0 2 5

Deste modo, constata-se que a capacidade de determinar a força de tração interna, comprimento e diâmetro dos tirantes de forma não invasiva, oferece uma alternativa robusta e eficiente para uma melhor interpretação das condições de estabilidade de muros de contenção e de cortinas atirantadas. No entanto, mais pesquisas são necessárias para melhor compreender a perda de carga no decorrer do tempo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio recebido na realização deste trabalho da empresa RINCENT LABORATOIRES e à Université Evry Paris-Saclay, cujas contribuições e estudos foram fundamentais para a elaboração e realização destes resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1996). NBR 5629:1996. *Estacas- Tirantes ancorados no terreno - Projeto e execução*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 5629:2018. *Estacas- Tirantes ancorados no terreno - Projeto e execução*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682:2009. *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 12131:2020. *Estacas - Prova de carga estática - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Beno, P. J. N.; Wolney, D. (2013). *Método não-destrutivo de verificação dos tirantes*. Fundações e Obras Geotécnicas, Rudder, ed. 33 (3), p. 86-89.
- Beno, P. J. N.; Dantas, P. D. U. (2019). *Ensaio de Impedância Mecânica em 7 Cortinas Atirantadas Próximas ao Município de Gramado/RS*. 9º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 3ª Feira da Indústria de Fundações e Geotecnia, São Paulo.
- Beno, P.J.N., Dantas, P.D.U. Rossi, B. M. C. Filho and P.R.M., 2020. *Ensaio Não Destrutivo de Impedância Mecânica em Cortinas Atirantadas localizadas na Serra do Mar, nas Proximidades do Município de Cubatão/SP*. In: XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), 20. São Paulo, SP. <http://dx.doi.org/10.4322/cobramseg.2022.0529>
- CARVALHO, M. A. R. *Ancoragens pré-esforçadas em obras geotécnicas. Construção, ensaios, e análise comportamental*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. 495p. 2009.
- Coelho, E. C.; Ferreira, L. D.; Rincint, J. J.; Gomes, A. J. L.; Pereira, A. B.; Fernandes, M. T.; Elacoste, T. S.; Porto, T. B. (2025). *A study on dynamic non-destructive testing of ground anchorages - dynamic stiffness method*. International Journal of Geoscience, Engineering and Technology, v. 11, p. 19-30. <https://doi.org/10.70597/ijget.v11i1.556>.
- Horb, C. (2005). *Détermination des efforts et des longueurs de tirants au moyen d'essais non destructifs*. Travaux, Fédération Nationale des Travaux Publics, ed. N° 821.
- Mitaine, L.; Rincint, J.-J., (2015). *Technique non destructive innovante pour la détermination de la tension dans des tirants d'ancrage*. Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime. Anais, p. 267-272. Itália.
- More, J. Z. P. *Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos*. Dissertação de mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2003. 120p. 2003.
- Rincint, J.-J., (2023). *Ensaio não destrutivo: Análise Vibratória: Aplicações em Tirantes-Força*. São Paulo: RG Editores.
- Rincint, J.-J., (2024). *Ground Anchors Tension Force—Vibratory Analysis*. Springer. Disponível em open access em <https://doi.org/10.1007/978-981-97-4414-5>.