XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/18

Análise do Baixo Alongamento em Tirantes do Tipo Monobarra Devido ao Esmagamento do Tubo Protetor na Região das Luvas

Tatiana Guimarães Dias
Engenheira Civil, Civil Master, Rio de Janeiro, Brasil, tatiana.dias@civilmaster.com.br

Yago Fernando Custódio Lucas
Engenheiro Civil, Civil Master, Rio de Janeiro, Brasil, yago.lucas@civilmaster.com.br

RESUMO: Este trabalho apresenta a análise das causas do elevado índice de reprovação dos ensaios de recebimento de tirantes ancorados em solo executados em um empreendimento minerário de grande porte localizado no norte do Brasil. Os tirantes estudados eram do tipo monobarra, com trechos livres de até 30 m de comprimento. A partir da análise dos ensaios reprovados, verificou-se que o comprimento livre equivalente coincidia com a posição das luvas de emenda, indicando possível restrição de movimentação nesses pontos. Diversos cenários foram avaliados para identificar a origem dessa restrição.
A revisão bibliográfica revelou divergências entre a norma brasileira e referências internacionais quanto aos materiais recomendados para a proteção do trecho livre dos tirantes. Assim, foi analisado o comportamento dos tubos utilizados como bainha protetora, considerando as pressões hidrostáticas exercidas pela calda de cimento e os efeitos do calor de hidratação. Os cálculos indicaram possibilidade de colapso do tubo a partir de uma altura manométrica de aproximadamente 4 m de calda de cimento.
Para confirmar essa hipótese, foram realizados ensaios em escala real, nos quais se observou o esmagamento do tubo de PVC utilizado no revestimento das luvas de emenda, restringindo o alongamento do tirante. Um tubo alternativo, conforme recomendações internacionais, apresentou desempenho satisfatório.
Conclui-se que o atendimento exclusivo às exigências da norma brasileira não foi suficiente para garantir a integridade do tubo e o comportamento elástico do tirante. Em casos de tirantes monobarra com diâmetro superior a 32 mm e longos trechos livres, recomenda-se verificação específica dos elementos de emenda e do material de proteção, de forma a assegurar o desempenho adequado do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Tirantes Monobarra, Trecho Livre, Bainha Protetora, Baixo Alongamento, Cortina Atirantada.

ABSTRACT: This paper presents an investigation into the causes of the high rejection rate observed in acceptance tests of ground anchors executed at a large-scale mining project located in northern Brazil. The analyzed anchors were single bar systems with free lengths reaching up to 30 m. An initial assessment of the failed tests indicated that the equivalent free length coincided with the position of the coupler sleeves, suggesting possible movement restriction at these locations. Several scenarios were therefore evaluated in order to identify the origin of this restriction.
The literature review revealed discrepancies between the Brazilian standard and international references regarding the materials recommended for the protection of the anchor free length. Accordingly, the behavior of the pipes used as protective sheaths was analyzed considering the hydrostatic pressures generated by the cement grout and the thermal effects associated with the heat of hydration. The analytical results indicated the possibility of pipe collapse for grout head heights exceeding approximately 4 m.
To validate this hypothesis, full-scale tests were performed, in which crushing of the PVC pipe used to protect the coupler sleeves was observed, leading to restriction of anchor elongation. An alternative pipe configuration, consistent with international recommendations, exhibited satisfactory performance.
It is concluded that compliance solely with the requirements of the Brazilian standard was not sufficient to ensure the integrity of the protective pipe and the elastic behavior of the anchor. For single bar anchors with diameters greater than 32 mm and long free lengths, specific verification of the coupler elements and protective materials is recommended in order to ensure adequate system performance.

KEYWORDS: Single-Bar Anchors; Free Length; Protective Sheath; Reduced Elongation; Anchored Wall.

1 INTRODUÇÃO

Tirantes são elementos estruturais amplamente utilizados em obras de contenção e estabilização de taludes e, conforme a ABNT NBR 5629:2018, são capazes de transmitir esforços ativos de tração distribuídos a uma região estável do terreno. De acordo com a referente norma, os tirantes são constituídos de cabeça, trecho livre e trecho ancorado. O trecho ancorado é aquele em que a barra ou cordoalha de aço é aderida à calda de cimento injetada, sendo responsável pela transferência das cargas para o maciço. Já o trecho livre tem a função de permitir o alongamento sob aplicação de carga durante o carregamento.

Para impedir a aderência entre o aço e a calda de cimento, o trecho livre é revestido por uma bainha protetora, cuja função é assegurar a livre movimentação da barra, além de atuar como barreira de proteção contra agentes agressivos. Segundo a ABNT NBR 5629:2018, essa bainha pode ser confeccionada em polietileno, PVC, poliéster ou outro material não degradável, devendo possuir espessura mínima de 1 mm para proteção individual e 2 mm para proteção coletiva. No entanto, a norma não define parâmetros de rigidez ou verificação da resistência ao colapso — aspectos que se mostraram determinantes no caso analisado neste trabalho.

Durante a execução de uma obra de contenção em cortina atirantada, foi necessário realizar emendas no tubo de proteção do trecho livre, em razão da incompatibilidade entre o diâmetro externo das luvas e o diâmetro do tubo de trecho livre. O projeto fornecido, entretanto, não especificava o tipo de material a ser empregado nessas emendas. Diante dessa ausência de detalhamento, foi proposta a utilização de tubos de PVC de 75 mm de diâmetro, classe esgoto, com espessura de 1,7 mm, solução amplamente utilizada no mercado e em conformidade com os requisitos mínimos da ABNT NBR 5629:2018.

Após o início dos ensaios de recebimento, identificou-se reduções anormais na deformação elástica dos tirantes instalados em maiores profundidades. Os tirantes com emendas situadas a mais de 6 m de profundidade apresentaram baixo alongamento elástico, impossibilitando o alcance da deformação mínima prevista em norma. Constatou-se ainda que os índices de reprovação aumentavam proporcionalmente ao tamanho dos trechos livres.

A partir dessa constatação, iniciou-se uma investigação sobre a possibilidade de colapso do tubo de proteção sob o efeito da pressão hidrostática da calda. Este trabalho apresenta o processo de análise, os cálculos teóricos e os ensaios realizados para comprovar o colapso do tubo de revestimento das luvas, discutindo as implicações construtivas e propondo recomendações para o projeto e execução de tirantes profundos do tipo monobarra, bem como verificações complementares às especificações normativas atualmente vigentes.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização das Condições de Campo

Os tirantes analisados possuíam 6 m de trecho ancorado, enquanto o comprimento do trecho livre variava até 30 m, sendo instalados com inclinação de 15° em relação à horizontal. Para efeito de análise, foram considerados os furos de 36 m de comprimento total, correspondentes à condição mais crítica do projeto, devido às maiores pressões hidrostáticas associadas à profundidade.

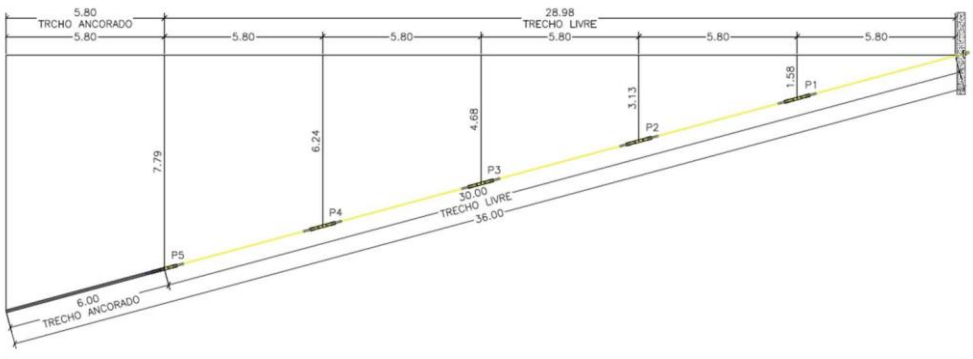


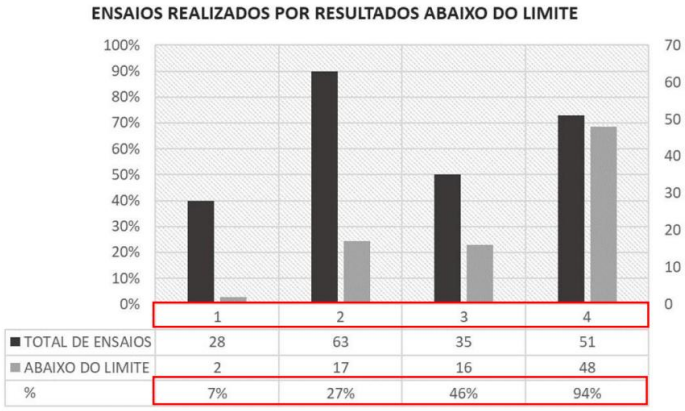
Figura 1. Esquematização das Condições de Campo.

As emendas entre os trechos livres foram executadas por meio de luvas posicionadas a cada 5,8 m, identificadas como P1, P2, P3, P4 e P5 para fins de análise e correlação com os resultados obtidos. As profundidades correspondentes de cada luva, medidas a partir da boca do furo, foram de 1,58 m, 3,13 m, 4,86 m, 6,24 m e 7,79 m, respectivamente.

Em razão do diâmetro externo das luvas de emenda não era possível utilizar um único tubo contínuo para revestir todos elementos do tirante, portanto, foram executadas emendas no tubo de proteção do trecho livre na região dessas conexões, utilizando-se tubo de PVC tipo esgoto, com 75 mm de diâmetro e 1,7 mm de espessura, solução comumente empregada no mercado.

2.2 Ensaios de Recebimento

Durante os ensaios de recebimento, constatou-se que o alongamento elástico de grande parte dos tirantes não estava alcançando a deformação mínima prevista em norma. Esta deformação elástica diminuía conforme o número de luvas aumentava. Tirantes com apenas uma luva apresentaram 7% de resultados abaixo do limite, enquanto tirantes com quatro luvas apresentaram 94% de falhas.



	1	2	3	4
TOTAL DE ENSAIOS	28	63	35	51
ABAIXO DO LIMITE	2	17	16	48
%	7%	27%	46%	94%

Figura 2. Percentual de falhas por número de luvas.

2.3 Pressões Atuantes

Após consultas a fabricantes de tirantes e pesquisa por referências internacionais, a identificou-se que as referências e detalhes técnicos especificavam tubos de proteção da bainha deveria atender a critérios e espessura e pressão (DIBt (2023), Approval Z-20.1-17 – DYWIDAG Permanent Anchors.) superiores ao previsto na NBR 5629:2018. A partir dessa informação, foi iniciada a análise das pressões atuantes no tubo de proteção.

Para estimar a pressão exercida pela calda de cimento sobre cada luva do trecho livre, considerou-se pressão manométrica hidrostática, definida como a diferença entre a pressão externa da coluna de calda e a pressão interna do tubo. Admitiu-se que o interior do tubo encontra-se ventilado à pressão atmosférica, e que não há sobrepressão de bombeamento nem perdas por atrito. Nessas condições, a pressão atuante sobre a luva é governada exclusivamente pelo peso da coluna de calda acima do ponto considerado, sendo adequadamente representada pela expressão clássica:

$$P_h = \rho . g . h \qquad (1)$$

Onde:
Ph = Pressão hidrostática (Pa);
ρ = Densidade da calda de cimento (kg/m³);
g = Aceleração da gravidade (m/s²);
h = Profundidade vertical (m).

A densidade foi determinada por corpo de prova cilíndrico. Com a hidratação e evolução de umidade podem ocorrer variações de ρ, no entanto foi utilizado o valor medido, o que é conservador para a verificação.



Figura 3. Corpo cilíndrico utilizado para determinação da densidade.

Considerando ρ = 1746 kg/m³, g = 9,81 m/s² e as profundidades das luvas de 1,58 m, 3,13 m, 4,86 m, 6,24 m e 7,79 m, foram calculas as seguintes pressões atuantes:

Tabela 1. Pressões atuantes nos tubos de emenda nas regiões das luvas.

Luvas	Profundidade (m)	Pressão Atuante (kPa)
P1	1,58	27,06
P2	3,13	53,61
P3	4,86	83,24
P4	6,24	106,88
P5	7,79	133,43

2.4 Cálculo da Tensão Crítica de Colpaso

A tensão de colapso é definida como a pressão interna ou externa na qual o tubo perde sua forma circular, sofrendo deformação anelar e adquirindo geometria ovalizada, o que compromete sua função estrutural. A determinação dessa tensão pode ser realizada de forma experimental, conforme os procedimentos descritos na NBR 9053 – Tubos plásticos: Determinação da resistência ao colapso por compressão diametral, ou por meio de correlações teóricas, com base nas propriedades geométricas e mecânicas do material.

A literatura nos fornece meios de estimar qual seria essa tensão crítica de deformação a partir da qual haverá uma deformação anelar, em condições em que a pressão externa a tubulação é maior do que a pressão interna. De acordo com os critérios estabelecidos na AS/NZS 2566.1:1998 e com as recomendações técnicas do fabricante Vinidex, a tensão crítica de colapso pode ser calculada conforme a expressão a seguir:

$$Pc = \frac{2\,E\,10^{3}}{(1-\nu^{2})}\left(\frac{t}{Dm}\right)^{3} \qquad (2)$$

Onde:
Pc = Diferença entre as pressões externa e interna do tubo (kPa);
E = módulo de elasticidade do material (MPa)
ν = Coeficiente de Poisson;
t = espessura da parede do tubo (mm);
Dm = diâmetro médio do tubo (m).

Foi calculada a tensão crítica de colapso do tubo utilizado nas emendas nas regiões das luvas. Conforme especificações do fabricante, o tubo de PVC rígido, tipo esgoto (cor branca), de diâmetro nominal de 75 mm e espessura de parede de 1,7 mm, possui módulo de elasticidade do material da ordem de 3.000 MPa.

De acordo com catálogos técnicos de fabricantes, o coeficiente de Poisson do PVC rígido pode ser adotado como $\nu = 0{,}4$.

Adicionalmente, foi considerado um fator de correção igual a 0,66, tendo em vista que o processo de cura da calda de cimento ocorre por reação exotérmica, a qual provoca elevação temporária da temperatura e consequente redução momentânea da rigidez do PVC, até sua completa estabilização após a cura.

Com a substituição desses valores na equação, obtém-se uma pressão crítica de colapso (Pc) igual a 58,81 kPa. Conforme a Tabela 2, a comparação desse valor com as pressões atuantes evidencia que, nas luvas P3, P4 e P5, a pressão atuante é superior à tensão crítica de colapso do tubo e baixo fator de segurança para a luva P2.

Tabela 2. Comparação entre pressões atuantes e pressão de colapso.

Luvas	Profundidade (m)	Pressão Atuante (kPa)	Pressão de Colpaso (kPa)
P1	1,58	27,06	
P2	3,13	53,61	
P3	4,86	83,24	58,81
P4	6,24	106,88	
P5	7,79	133,43	

2.5 Teste em Escala Real

Para validação dos cálculos teóricos, foram realizados testes fora do campo, em escala real, com a finalidade de reproduzir as condições executivas da obra. Foi montada uma estrutura de suporte para o tirante, utilizando-se um tubo externo para simular o ângulo de instalação dos tirantes e as respectivas pressões durante a injeção da bainha. A montagem dos trechos livre e ancorado foi executada conforme a metodologia adotada em campo, bem como o procedimento de injeção, que seguiu rigorosamente os mesmos parâmetros operacionais. O objetivo do ensaio foi avaliar o comportamento do tubo de proteção nas regiões das luvas de emenda utilizando os mesmos materiais utilizados na obra, além de validar as hipóteses uma vez que o fenômeno não era de conhecimento da projetista nem do dono do ativo.



Figura 4. Teste em escala real com objetivo de reproduzir as condições executivas da obra.

Os resultados observados no teste em escala real confirmaram as verificações teóricas relacionadas a deformações no tubo. A Figura 5 ilustra o tubo que reveste a luva inteiramente esmagado, apoiado na barra. A luva que está embutida no interior desse tubo da bainha, tem a sua seção completamente obstruída, impedindo a passagem da luva e a deformação elástica do trecho livre.



Figura 5. Tubo de PVC tipo esgoto (cor branca) que reveste a luva esmagado.

Diante da comprovação de colapso do tubo que vinha sendo realizado em campo, procedeu-se à realização de ensaio adicional com um tubo de maior resistência, visando à verificação de desempenho superior para adoção na sequência da obra. Para tanto, foram testados um tubo de PVC para condução de água (cor marrom), com diâmetro nominal de 85 mm e espessura de parede de 5 mm e outro tubo PEAD de 90mm de diâmetro e 5mm de espessura de parede.

O tubo PVC apresentou desempenho satisfatório para a aplicação proposta, não sendo observada ocorrência de colapso na região das luvas de emenda. Já o tubo PEAD apresentou comportamento de colapso, que foi associado a menor rigidez do material quando comparado ao PVC.



Figura 6. Tubo de PVC de água (cor marrom) com comportamento satisfatório (esquerda) e tubo PEAD com comportamento insatisfatório (direita).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta dos resultados teóricos e dos ensaios em escala real permitiu identificar uma correlação consistente entre a profundidade das luvas, a pressão atuante da calda de cimento e o percentual de deformações abaixo do limite normativo estabelecido para o alongamento do trecho livre.

A estimativa teórica da pressão crítica de colapso para o tubo de PVC branco utilizado resultou em um valor na ordem de 58,8 kPa. A comparação desse valor com as pressões hidrostáticas calculadas indicou que as regiões correspondentes às luvas P3, P4 e P5 estão submetidas a níveis de pressão superiores à capacidade resistente do tubo, tornando-o suscetível à deformação anelar e ao colapso causando a obstrução ao livre alongamento dos tirantes.

Os resultados observados em campo mostraram-se coerentes com essa previsão teórica. Verificou-se que o tubo, a partir da terceira luva, apresentou esmagamento, com perda completa da circularidade e obstrução da seção interna.

O mecanismo identificado consiste na ovalização do tubo sob ação da pressão da calda de cimento durante a injeção, intensificada pela elevação temporária da temperatura decorrente da reação exotérmica de cura. Essa deformação reduz a seção livre interna disponível para o deslocamento axial do tirante durante o ensaio de recebimento, restringindo o alongamento medido no trecho livre e conduzindo à reprovação do sistema.

Com o objetivo de avaliar alternativa com maior rigidez estrutural, foi testado tubo de PVC para condução de água (cor marrom), cujas características conferem resistência superior à do tubo anteriormente empregado e também um tubo PEAD de maior diâmetro. No ensaio realizado com essa nova configuração, o tubo PVC apresentou desempenho satisfatório, não sendo observadas ocorrências de colapso na região das luvas de emenda. A partir desses resultados, o tubo PVC aprovado passou a ser adotado na obra como solução definitiva, não sendo mais registradas reduções anormais na deformação elástica dos tirantes. O tubo PEAD apresentou ovalização e possibilidade de obstrução ao alongamento dos tirantes e seu uso foi interrompido para sequência da obra.

No âmbito internacional, observa-se que ainda existem divergências entre normas e aprovações técnicas quanto às características recomendadas para bainhas na região das luvas. De modo geral, entretanto, tais documentos convergem no sentido de indicar a adoção de bainhas com maiores espessuras nessa região ou o emprego de tubos com geometria corrugada, os quais apresentam maior rigidez estrutural e melhor desempenho frente às pressões de injeção e às variações térmicas decorrentes do processo de cura da calda de cimento.

A aprovação técnica Z-20.1-17, emitida pelo *Deutsches Institut für Bautechnik* (DIBt) para a DYWIDAG, por exemplo, recomenda espessura mínima de 4 mm e resistência a pressão mínima de 15 bar para tubos na região de cobertura das luvas. Já a EN 1537:2013 estabelece, como referência para tubos de proteção lisos, espessuras entre 2 e 2,5 mm.

Essa comparação evidencia que as exigências atualmente previstas na norma brasileira — limitadas à especificação de espessura mínima — podem não ser suficientes para assegurar o desempenho adequado de tirantes monobarras submetidos a maiores profundidades, especialmente em situações nas quais a pressão hidrostática da calda atinge níveis capazes de induzir o colapso dos tubos na região das luvas. Desta forma, torna-se necessária a avaliação específica da rigidez estrutural e da resistência ao colapso dos tubos, considerando as condições reais de profundidade além de detalhes específicos para essas emendas com especificação de materiais mais resistentes.

4 CONCLUSÃO

Os estudos desenvolvidos permitiram identificar o colapso do tubo de PVC utilizado como bainha protetora no trecho livre dos tirantes como o principal fator responsável pela redução da deformação elástica observada nos ensaios de recebimento. A análise teórica, associada aos ensaios em escala real e às medições de campo, demonstrou que o tubo inicialmente empregado, embora atenda ao requisito mínimo de espessura previsto na NBR 5629, não apresenta rigidez estrutural suficiente para resistir às pressões hidrostáticas geradas por colunas de calda de cimento em determinadas profundidades.

Os resultados indicaram que o colapso tende a ocorrer a partir da terceira luva, correspondente a aproximadamente 18 m de trecho livre, evidenciando a necessidade de verificações específicas para tirantes monobarras com comprimentos superiores a essa faixa. Constata-se, portanto, que a simples conformidade com a espessura mínima normativa não garante o desempenho adequado do sistema em condições de maior profundidade.

Dessa forma, a especificação do tubo de proteção deve contemplar não apenas o atendimento aos requisitos mínimos de espessura, mas também a avaliação da rigidez estrutural e da resistência ao colapso em função das pressões atuantes e da profundidade de instalação. Recomenda-se, para tirantes com maiores comprimentos de trecho livre, a adoção de tubos com desempenho estrutural superior ao mínimo estabelecido em norma.

É importante ressaltar a necessidade de um melhor detalhamento dos projetos nas regiões das luvas dos tirantes e devida compatibilização dimensional entre o tubo de proteção e as luvas de emenda, garantindo continuidade e resistência homogênea ao longo do trecho livre. Esse é um ponto frequente de incompatibilidade geométrica nos projetos em relação aos materiais e diâmetros dos tubos necessários e também em relação ao diâmetro de perfuração que precisa acomodar adequadamente além do tubo protetor do trecho livre o tubo de injeção das manchetes.

Adicionalmente, recomenda-se que os materiais sejam avaliados em condições representativas de uso, a fim de comprovar sua eficácia frente às solicitações reais de campo.

O presente trabalho contribui para o aperfeiçoamento dos critérios de projeto e execução de tirantes ancorados, ao demonstrar experimental e analiticamente as limitações do uso de tubos de PVC de baixa rigidez em aplicações profundas com utilização de projetos com monobarra, reforçando a importância de verificações complementares de desempenho e da adequação dos materiais especificados em norma às condições reais de solicitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à contratante do projeto pela colaboração técnica e à equipe de engenharia e Diretoria da Civil Master pelo apoio nas análises e disponibilização dos recursos necessário ao testes e ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR 9053. *Tubos plásticos – Determinação da resistência ao colapso por compressão diametral*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 5629. *Execução de tirantes ancorados no terreno*. Rio de Janeiro.

DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL GmbH (2023). General Construction Supervisory Authority Approval Z-20.1-17 – Permanent Anchors (Single Bar Anchors) for Soil and Rock. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt).

European Committee for Standardization – CEN (2013). EN 1537:2013 – Execution of special geotechnical works – Ground anchors. Brussels.

Standards Australia; Standards New Zealand (1998). AS/NZS 2566.1:1998 – Buried flexible pipelines – Part 1: Structural design. Sydney/Wellington.

Vinidex Pty Ltd (s.d.). PVC Technical Manual. Bentley.