

Comportamento de Arrancamento de Âncora de Formato Irregular Rasa Embutida em Solo Residual Quartzítico

Eva Pricila Cardoso

Mestranda em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Ouro Preto, Brazil,
eva.cardoso@aluno.ufop.edu.br

Guilherme José Cunha Gomes

Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Ouro Preto, Brazil,
guilhermejcg@ufop.edu.br

Thiago Bomjardim Porto

Doutor em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Ouro Preto, Brazil,
thiago.porto@cefetmg.br

RESUMO: Este estudo investiga a capacidade de arrancamento de âncoras de formato irregular. Embora existam estudos teóricos e experimentais sobre âncoras, há uma carência de dados, especialmente para âncoras não convencionais aplicadas em campo. Experimentos foram realizados com um modelo de âncora irregular de 118 mm de comprimento e 92 mm de largura, projetada para fixar geossintéticos em encostas, tanto para proteção superficial quanto para restauração de áreas degradadas. As âncoras foram inseridas horizontalmente e em uma inclinação de 37° em relação à horizontal, em solo residual de uma voçoroca, pelo fato de representar um local de possível aplicação, com taxas de embutimento (H/h) entre 2,20 e 6,50 para âncoras horizontais e entre 2,20 e 5,30 para âncoras inclinadas. Os resultados foram comparados com equações de Meyerhof e Adams (1968), Das e Puri (1989) e outras equações empíricas. Observou-se que os resultados de campo superaram as estimativas teóricas para âncoras horizontais e inclinadas em valores mais elevados de H/h . As equações empíricas mostraram boa concordância com os resultados de campo para fatores de ruptura (F_q). Âncoras horizontais tiveram melhor desempenho em profundidades rasas ($H/h < 4$), enquanto âncoras inclinadas foram mais eficazes em aplicações mais profundas ($H/h > 4$). Uma nova equação foi proposta, alinhando-se aos dados de campo para âncoras inclinadas, oferecendo novas informações para prever o comportamento de arrancamento de âncoras irregulares em campo.

PALAVRAS-CHAVE: Âncora de solo, Âncora irregular, Âncora de campo, Capacidade de suporte, Interação solo-estrutura (SSI).

ABSTRACT: This study investigates the pullout capacity of irregularly shaped anchors. Although theoretical and experimental studies on anchors exist, there is a lack of data, especially for non-conventional anchors applied in the field. Experiments were conducted using an irregular anchor model with a length of 118 mm and a width of 92 mm, designed to secure geosynthetics on slopes, both for surface protection and for restoration efforts in degraded areas. The anchors were inserted horizontally and at an inclination of 37° relative to the horizontal, in the residual soil of a gully, representing a possible application site, with embedment ratios (H/h) ranging from 2,20 to 6,50 for horizontal anchors and from 2,20 to 5,30 for inclined anchors. The results were compared with equations by Meyerhof and Adams (1968), Das and Puri (1989), and other empirical equations. It was observed that the field results exceeded theoretical estimates for both horizontal and inclined anchors at higher H/h values. The empirical equations showed good agreement with the field results for break-out factors (F_q). Horizontal anchors performed better at shallow depths ($H/h < 4$), while inclined anchors were more effective at greater depths ($H/h > 4$). A new equation was proposed, aligning with field data for inclined anchors, providing new information to improve the prediction of the pullout behavior of irregular anchors in field scenarios.

KEYWORDS: Anchor of soil, Irregular anchor, Field anchor, Bearing capacity, Soil structure interaction (SSI).

1 INTRODUÇÃO

As âncoras de solo são descritas como um importante elemento utilizado para resistir cargas como, vento, terremoto, onda, cargas de elevação de água entre outras, que geram instabilidade em estruturas de engenharia civil (DAS e SHUKLA, 2013; YÜNKÜL e GÜRBÜZ, 2020). As âncoras de solo são usadas também para reforço e fixação de elementos de proteção em taludes, desempenhando um papel crucial na estabilização e prevenção de erosão com menor impacto ambiental (Simon e Steinemann, 2000).

Conforme Koerner (2014), o uso de âncoras de solo para fixação de geossintéticos em taludes tem crescido, mesmo não se tendo informações sobre o nível de sucesso individual dessas aplicações. Acredita-se que esses elementos tendem a fornecer uma fixação eficiente e resistente, minimizando a remoção indesejada e erosão.

Embora usadas há séculos, o desenvolvimento de teorias adequadas para seu dimensionamento começou há cerca de 45 anos ou mais (Das e Shukla, 2013). Estas teorias classificam as âncoras de acordo com o sentido de instalação no solo: inclinadas, com angulação β entre 0° e 90° em relação à horizontal (Figura 1a); horizontais, com angulação $\beta = 0^\circ$ em relação à horizontal (Figura 1b); e verticais, com angulação $\beta = 90^\circ$ em relação à horizontal (Figura 1c).

As âncoras também são categorizadas pela taxa de embutimento (H/h), que representa a profundidade de inserção da âncora no solo (H) dividida pela sua largura (h). Essas categorias incluem âncoras rasas, quando H/h é inferior à razão crítica de embutimento (H/h_{cr}), e âncoras profundas, quando H/h é superior a H/h_{cr} (YÜNKÜL E GÜRBÜZ, 2020). A taxa de embutimento crítica representa o limite no qual o fator de ruptura (F_q) deixa de aumentar com a profundidade de inserção, indicando a transição de um mecanismo de falha superficial para um profundo. Esta taxa varia com o ângulo de atrito do solo. Outra forma de classificar as âncoras pela sua forma geométrica, como circulares, retangulares, quadradas, em formato de parafuso, em formato de tiras ou de forma irregular (DICKIN, 1988; DAS e PURI, 1989; DAS e SHUKLA, 2013; NIROUMAND e KASSIM, 2014; YUNKUL e GURBUZ, 2020).

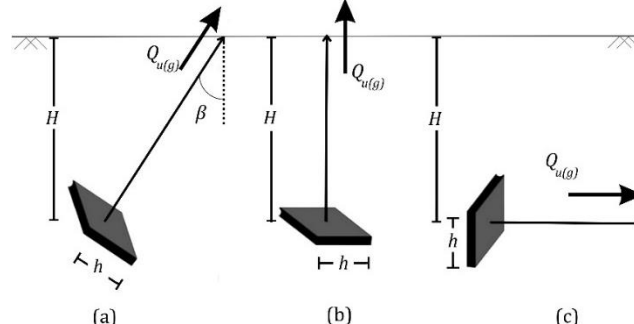


Figura 1 : Orientação da âncora: (a) inclinada; (b) horizontal; (c) vertical.

Meyerhof e Adams (1968) propuseram uma fórmula para avaliar a capacidade de elevação final ou capacidade de arrancamento ($Q_{u(g)}$) de âncoras horizontais. Segundo Das e Shukla (2013), Maiah et al. (1986) desenvolveram uma formulação empírica para âncoras inclinadas, inicialmente para âncoras rasas de tira em areia, aplicável também a âncoras rasas retangulares, popularizada por Das e Puri (1989). Zhuang et al. (2021) e Cheng et al. (2023) ajustaram essa formulação para âncoras retangulares em ambientes arenosos.

A capacidade de arrancamento final ($Q_{u(g)}$) é utilizada por profissionais da engenharia para determinar a força máxima que uma âncora pode suportar antes de ser arrancada do solo, sendo influenciada pela densidade do solo, taxa de embutimento, geometria da âncora e a relação entre DICKIN, 1988; NIROUMAND e KASSIM, 2013). As equações propostas para cálculos estão no item 2.4.

Em 2013 e 2014 Niroumand e Kassim realizaram pesquisas sobre capacidade de arrancamento de âncoras com formato irregular embutida em areia, por testes de laboratório, com objetivo de obter melhor compreensão da capacidade de arrancamento dessas âncoras e fornecer informações úteis para sua aplicação em campo. Niroumand e Kassim (2013) concluíram que o método que mais se aproxima dos resultados obtidos laboratorialmente para a areia densa e fofo é o de Meyerhof e Adams (1968).

Diversas pesquisas abordam a capacidade de elevação de âncoras, mas poucos estudos focam em âncoras de formato irregular e testes em campo. Conforme Niroumand e Kassim (2014), esses tipos de âncoras

são relativamente recentes e demandam avaliações mais aprofundadas. Este artigo avalia a capacidade de arrancamento de uma âncora de pequeno porte de formato irregular, desenvolvida por uma empresa brasileira, através de ensaios em campo em solo residual de quartzito, com a âncora embutida horizontalmente e inclinada a 37° , carregada perpendicularmente a ela (Figura 1(a) e (b)). A inclinação de 37° foi adotada para facilitar a cravação da âncora, já que ângulos menores não garantiram boa aderência e ângulos maiores dificultaram a operação. Adicionalmente, propõem-se equações empíricas para o cálculo de $Q_{u(g)}$ para âncoras horizontais e inclinadas, visando uma melhor convergência com os resultados obtidos em campo e desenvolver equações mais precisas para aplicações práticas.

2 METODOLOGIA

2.1 Local do Ensaio e descrição da âncora utilizada

Uma série de testes foi realizada em solo residual quartzítico da voçoroca Alto da Jacuba localizada em um trecho da BR-367, no município de Diamantina, Minas Gerais, Brasil (Figura 2(a)). Esta escolha se deu pelo fato de a área estar sujeita à erosão, tornando-se uma representação mais próxima da realidade para a qual as âncoras utilizadas no presente estudo foram desenvolvidas. A âncora utilizada possui modelo irregular de pequeno porte, desenvolvida por uma empresa brasileira para fins comerciais. Com o propósito de auxiliar na fixação de geossintéticos em taludes, para proteção superficial e recuperação de áreas degradadas. Fabricada em chapas de aço carbono (SAE 1020), com tensão de escoamento de 350 MPa, dimensões aproximadas apresentadas na Figura 2(b) e espessura entre 2 e 3 mm.

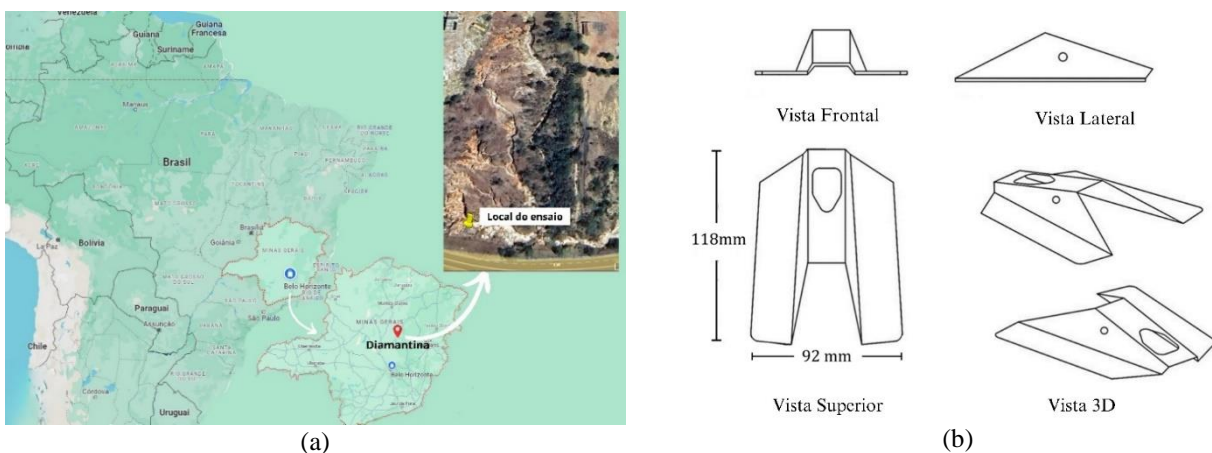


Figura 2: (a) Voçoroca do Alto da Jacuba, Diamantina -MG, (b) Geometria e dimensões da âncora irregular.

2.2 Caracterização do Solo

A amostra do solo residual quartzítico foi coletado conforme a NBR 9604 (ABNT, 2016), a uma profundidade de 0,9 m a 1,1 m.. No laboratório, foram realizados ensaios de caracterização, incluindo teor de umidade (NBR 6457, ABNT, 2016), granulometria (NBR 7181, ABNT, 2016), massa específica dos sólidos (NBR 6458, ABNT, 2016), compactação (NBR 7182, ABNT, 2016), e limites de liquidez e plasticidade (NBR 6459 e NBR 7180, ABNT, 2016). Para avaliar os parâmetros de resistência, foram realizados ensaios de cisalhamento direto em amostras indeformadas com teor de umidade natural, conforme ASTM D3080-04, com tensões normais de 25, 50, 100 e 200 kPa.

2.3 Testes de arrancamento

Foram realizados um total de 43 testes de campo (Tabela 1), sendo 23 testes em âncoras de solo rasas orientadas horizontalmente (Figura 1b), com profundidade de embutimento variando entre 0,2 e 0,6 m. E 20 testes em âncoras inclinadas a 37° (Figura 1a), com profundidades de embutimento variando em ordem de 0,2 a 0,5 m. O objetivo destes ensaios foi determinar a capacidade de arrancamento ($Q_{u(g)}$) em condições de campo.

Tabela 1: Lista de testes de campo

Orientação da âncora	H (m)	H/h	Testes	Orientação da âncora	H (m)	H/h	Testes
Horizontal	0,2	2,2	5	Inclinada	0,2	2,2	5
	0,3	3,3	5		0,3	3,3	5
	0,4	4,3	4		0,4	4,3	5
	0,5	5,4	5		0,5	5,4	5
	0,6	6,5	4		-	-	-

O procedimento de fixação da âncora no solo é ilustrado na Figura 3. Um cabo de aço é passado através de furos na âncora e preso com uma braçadeira (Figura 3(a)). Com uma haste metálica temporariamente fixada à âncora, a instalação é realizada (Figura 3 (a) e (b)) por meio de golpes de martelo até a profundidade desejada. Após isso, a haste é removida, mantendo a conexão entre a âncora e o cabo. Um braço de alavanca no equipamento de teste aplica força de tração para extrair a âncora (Figura 3(b)). Antes da ruptura do solo, a âncora rotaciona suavemente, mobilizando o solo acima. Um dinamômetro de 10 kN mede a força máxima de arrancamento ($Q_{u(g)}$), para cada teste.

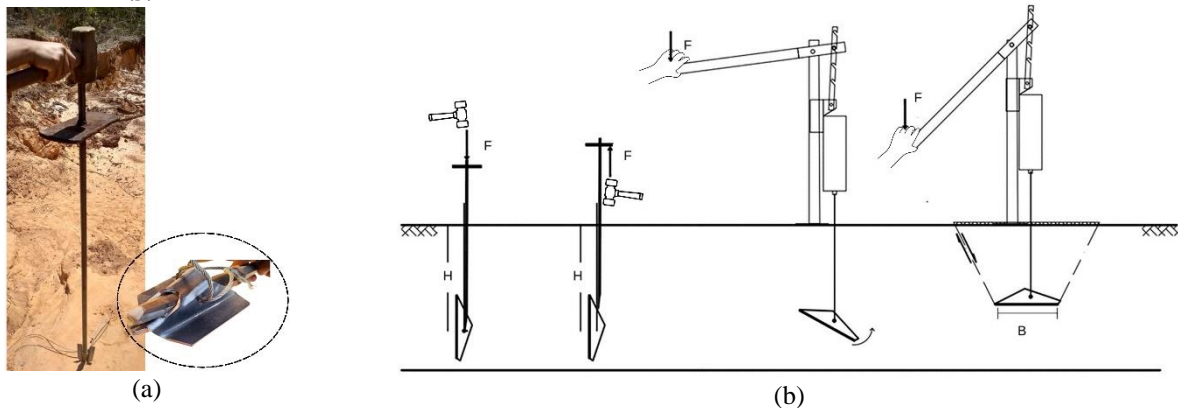


Figura 3: (a) Conjunto haste metálica e âncora, (b) Ensaio de arrancamento da âncora.

2.4 Comparação da capacidade de arrancamento obtida em campo com formulações teóricas

Para avaliar a concordância entre as análises teóricas e os resultados de campo, foram comparados os resultados médios dos ensaios obtidos em campo com as previsões teóricas de Meyerhof e Adams (1968) para âncoras de placa retangulares na horizontal (Equações 1 e 2), e equações propostas por de Das e Puri (1989) para âncoras inclinadas, representadas pelas variáveis $Q_{u(g)-\beta}$ e $F_{q-\beta}$ (Equações 3 e 4). Para garantir dados confiáveis, foram excluídos os valores discrepantes que se desviaram significativamente da média. Para cada profundidade de teste, manteve-se três amostras representativas, removendo os valores mais altos e mais baixos.

$$Q_{u(g)} = W + \gamma H^2 (2 S_f h + B - h) K_u \tan(\phi) \quad (1)$$

$$F_q = \frac{Q_{u(g)}}{\gamma A H} \quad (2)$$

Sendo F_q é um fator de ruptura adimensional ou fator de capacidade de carga, que representa a resistência do solo à ancoragem; W o peso do solo sob a âncora (kN), A a área da âncora (m²); H a profundidade de embutimento (m), h a largura da âncora (m), B o comprimento (m), ϕ o ângulo de atrito do solo, γ o peso específico do solo. O parâmetro K_u o coeficiente de elevação nominal aproximadamente igual a 0,95 para ϕ entre 30° a 48°, e S_f é o fator de forma da âncora, que representa o efeito do formato da âncora nos resultados de capacidade de arrancamento (DAS e SHUKLA, 2013).

$$Q_{u(g)-\beta} = Q_{u(g)-0^\circ} + (Q_{u(g)-90^\circ} - Q_{u(g)-0^\circ}) \left(\frac{\beta}{90^\circ}\right)^n \quad (3)$$

$$F_{q-\beta} = \frac{Q_{u(g)-\beta}}{\gamma A H} \quad (4)$$

Sendo n igual a 2, conforme recomendado por Das e Puri (1989) e por Maiah et al. (1986). $Q_{u(g)-0^\circ}$ e $Q_{u(g)-90^\circ}$ são a capacidade de arrancamento das âncoras horizontais (Equação 1) e verticais, respectivamente.

O estudo inicial calculou da capacidade de arrancamento e do fator de ruptura (F_q), comparando os resultados de campo com as formulações semiteóricas da literatura. Análises de sensibilidade variaram o ângulo de atrito (ϕ) e peso específico (γ) do solo, devido a variabilidade inerente aos solos residuais. Propuseram-se adaptações das equações empíricas para calcular $Q_{u(g)}$ e $Q_{u(g)-\beta}$. Para âncoras horizontais, substituiu-se a parcela W da Equação 3, pelo peso do cone truncado (W_c). Para as âncoras inclinadas, foi proposta uma função para calcular n em relação à razão de embutimento (H/h), baseada nos valores médios de $Q_{u(g)-\beta}$ obtidos em campo para cada razão de embutimento, por meio da formulação proposta por Das e Puri (1989) como referência. Após determinar os valores de n , foi feito um gráfico de n , em função de H/h obtendo uma equação empírica para n , que foi então substituída na equação original de Das e Puri (1989) para cálculo de $Q_{u(g)-\beta}$. Essas adaptações visaram obter uma melhor convergência com os resultados de campo, e capturar cenários do mundo real com maior precisão. Os resultados foram comparados com as equações originais de Meyerhof e Adams (1968) e Das e Puri (1989).

3 RESULTADOS

3.1 Parametrização do solo

O resultado do ensaio de granulometria, indica que o material ensaiado é uma areia siltosa amarelada mal graduada, com porcentagem de 86,47% de areia fina a grossa, 12,23% de finos e 1,3% de pedregulho. Possui coeficiente de curvatura (C_c) igual a 4,3 e coeficiente de uniformidade (C_u) igual a 21,0. O valor do peso específico (γ) encontrado foi de 17,5 kN/m³, umidade natural ($w_{nat.}$) de 1,9%, peso específico dos grãos de 26,57 kN/m³ e apresenta parâmetros de ângulo de atrito (ϕ) igual a 37,2° e coesão (c') igual a 3,8 kPa. Sendo o valor de c' negligenciado nos cálculos.

3.2 Resultados obtidos em campo para âncoras irregulares horizontais e inclinadas

A Figura 4 apresenta os resultados médios, para cada razão de embutimento, da capacidade de elevação final ($Q_{u(g)}$ e $Q_{u(g)-\beta}$) e dos fatores de ruptura (F_q e $F_{g-\beta}$) para âncoras instaladas na horizontal e inclinadas em 37° em relação a superfície do solo, obtidos em campo. Os valores de $Q_{u(g)}$ e $Q_{u(g)-\beta}$ aumentam com o crescimento da H/h , em concordância com Meyerhof e Adams (1968), e Niroumand e Kassim (2014). Para razões de embutimento menores que 4, âncoras horizontais superam as inclinadas, mas essa tendência se inverte para razões maiores que 4. Isso sugere que âncoras inclinadas de formato irregular são mais adequadas para a razão de embutimento que ultrapassa 4, uma observação inédita em relação aos estudos anteriores. Zhuang et al. (2021) indicam que o aumento da inclinação de instalação da âncora em relação a horizontal (β) aumenta significativamente a capacidade de elevação final e o fator de ruptura, independentemente da razão de embutimento (H/h).

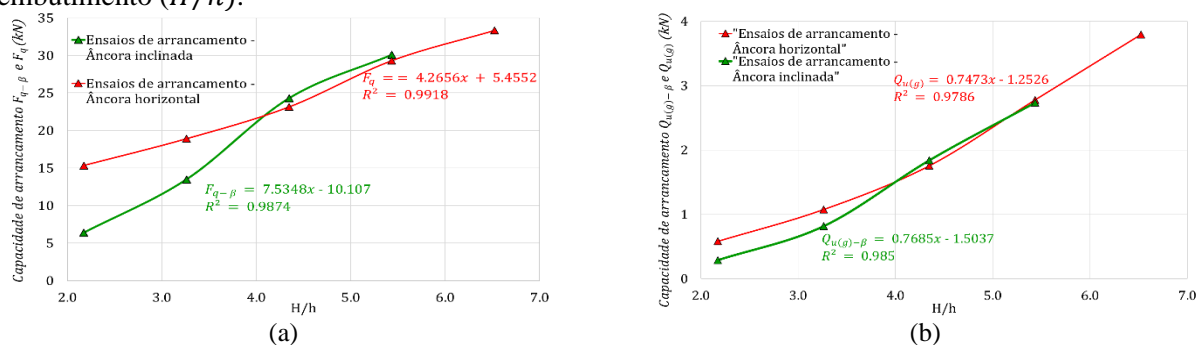


Figura 4: Resultados médios dos ensaios de campo para cada razão de embutimento. (a) Fator de ruptura; (b) capacidade de arrancamento.

3.3 Comparação dos resultados de campo com formulações semiteóricas de Meyerhof e Adams (1968) e Das e Puri (1989)

Os testes em âncoras horizontais mostraram resultados mais de 60% superiores aos previstos pela equação de Meyerhof e Adams (1968), utilizando os parâmetros do solo obtidos em laboratório ($\phi = 37,2^\circ$ e $\gamma = 17,5 \text{ kN/m}^3$), exceto para taxa de embutimento de 6,5 (Figura 5 (a) e (b)). Isso contrasta com a ideia de Bradshaw et al. (2016), que testes em modelos superestimam a capacidade de arrancamento. A análise mostrou maior discrepância entre resultados de campo e teóricos para embutimentos superficiais. A análise de sensibilidade variando ϕ de $37,2^\circ$ a 43° , e mantendo $\gamma = 17,5 \text{ kN/m}^3$, mostrou que a influência do ϕ é maior em embutimentos profundos do que em embutimentos superficiais (Figura 5 (a) e (b)). Variando γ de $17,5$ a $22,5 \text{ kN/m}^3$, mantendo $\phi = 37,2^\circ$, não há influência em F_{q1} , mas há aumento de $Q_{u(g)}$ com o aumento de γ .

Os testes nas âncoras inclinadas demonstraram comportamento semelhante os das âncoras horizontais ao variar os valores do ϕ e do γ . Os testes em campo revelaram variações significativas, entre -40% e mais de 60%, diferentes do observado por Zhuang et al. (2021) e Cheng et al. (2023), em relação aos valores derivados da equação semiteórica proposta por Das e Puri (1989). Para embutimentos de 2,2, os resultados de campo mostraram-se inferiores aos valores calculados, alinhando-se com as previsões de Bradshaw et al. (2016). No entanto, essa dinâmica se inverte a partir de embutimentos de 3,3 (Figura 5 (c) e (d)).

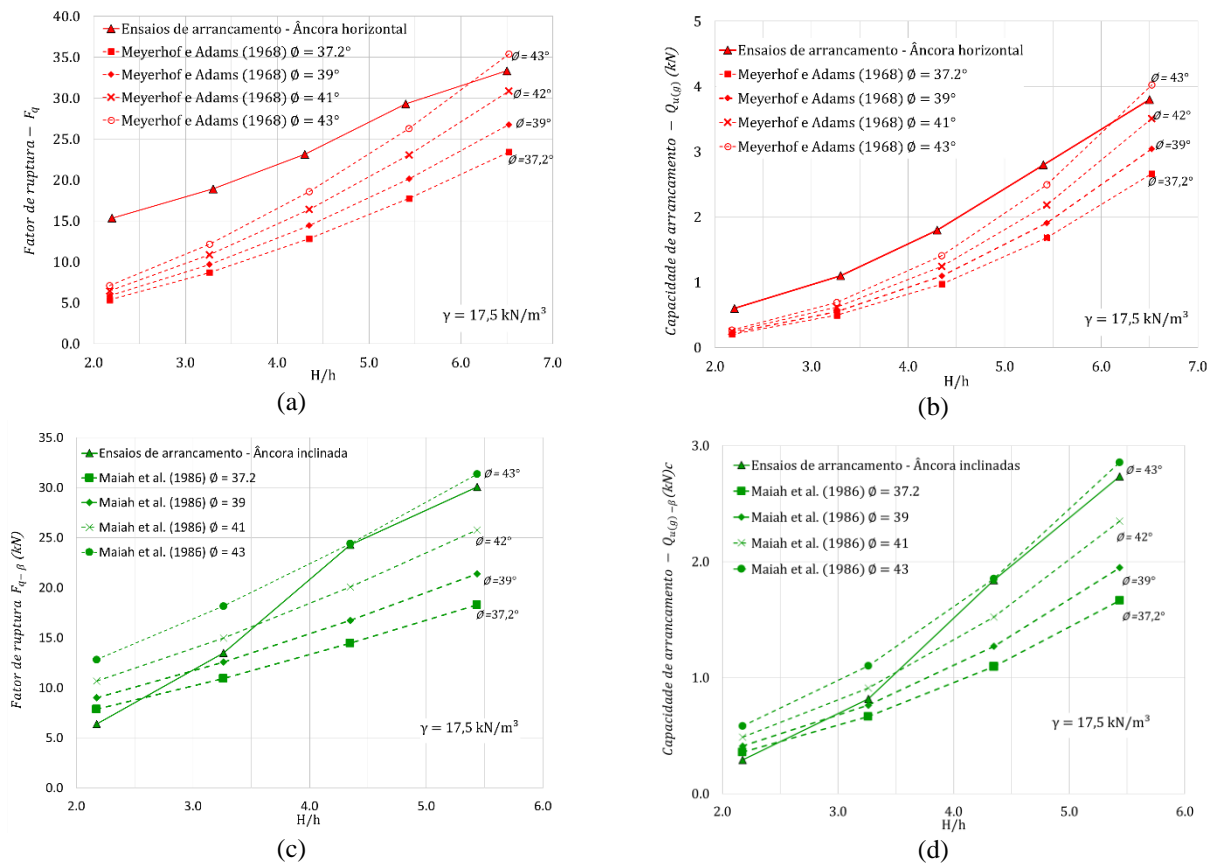


Figura 5: Sensibilidade da influência do ângulo de atrito no desempenho da âncora: resultados de campo e previsões de Meyerhof e Adams (1968) e Das e Puri (1989). (a) Fator de ruptura horizontal; (b) capacidade de arrancamento horizontal; (c) fator de ruptura inclinada; (d) capacidade de arrancamento inclinadas.

3.3 Formulação empíricas elaboradas

A substituição da parcela peso na equação 1 para as âncoras horizontais pela equação 5, obteve-se a equação 6. Pelos resultados obtidos aplicando tal adequação da fórmula, observou-se que a parcela peso não possuem interferência significativa nos resultados das âncoras horizontais. Assim como as equações propostas por Meyerhof e Adams (1968), a equação 6 proposta no presente trabalho não apresentou resultados próximos aos encontrados em campo, apresentando um aumento de cerca de 10% em relação as equações de Meyerhof e Adams (1968) (Figura 6(a)).

Para as âncoras inclinadas o uso da equação 7 para obtenção de do fator n , aplicada a equação 3 para obtenção de $Q_{u(g)-\beta}$, resultou em um ajuste mais preciso à curva dos valores médios obtidos em campo. No

entanto, para H/h de 2,2, 3,3 e 5,4, os resultados obtidos pela equação situaram-se entre 0,1 e 0,2 kN superiores aos resultados médios obtidos em campo. Assim, recomenda-se a multiplicação dos resultados por um coeficiente de minoração (θ) de 0,7, para obter valores mais conservadores da capacidade de arrancamento, o que resultou em valores muito próximo aos obtidos pela equação de Das e Puri (1989), conforme pode ser observado na (Figura 6 (b)).

$$W_c = HB\gamma(H\tan(90 - \alpha)) \quad (5)$$

$$Q_{u(g)} = HB\gamma(H\tan(90 - \alpha)) + \gamma H^2(2 S_r h + B - h) K_u \tan(\emptyset) \quad (6)$$

$$n = -0,6797 (H/h) + 3,202 \quad (7)$$

Sendo α é o ângulo formado entre a superfície de ruptura e a horizontal.

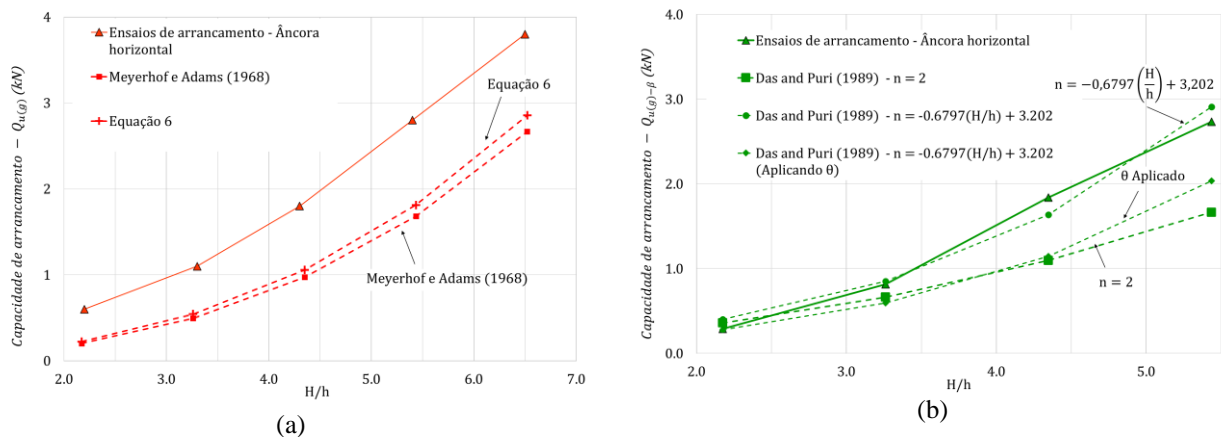


Figura 6: Impacto das componentes modificadas na capacidade de arrancamento: horizontais (a) e inclinadas (b).

4 CONCLUSÃO

Por meio das investigações da capacidade de arrancamento de âncoras irregulares horizontais e inclinadas em solo residual arenoso através de testes de campo, pelas análises da influência da razão de embutimento e inclinação da âncora e dos modelos teóricos existentes, concluiu-se que: com aumento da razão de embutimento (H/h) aumenta-se a capacidade de arrancamento ($Q_{u(g)}$ e $Q_{u(g)-\beta}$) e os fatores F_q e $F_{q-\beta}$, porém diminuem à medida que o embutimento se torna mais profundo; âncoras horizontais superam âncoras inclinadas quando H/h é menor que 4; a variação de \emptyset afeta positivamente $Q_{u(g)}$, $Q_{u(g)-\beta}$, F_q e $F_{q-\beta}$, enquanto γ influencia apenas $Q_{u(g)}$ e $Q_{u(g)-\beta}$; a adaptação da componente peso na equação de Meyerhof e Adams (1968) aumentou a capacidade de arrancamento em 10%, indicando baixo impacto desta componente na $Q_{u(g)}$; para âncoras inclinadas, a modificação do parâmetro n na equação de Das e Puri (1989) produziu resultados próximos aos dados de campo, entretanto para algumas razões de embutimento os resultados apresentaram-se superestimados, sendo sugerido assim incorporar um coeficiente de minoração ao modelo empírico para possíveis aplicações práticas.

Embora este estudo tenha natureza preliminar, este estudo destaca as limitações dos modelos existentes para âncoras irregulares e propõe ideias para pesquisas futuras e desenvolvimento de modelos.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES pelo apoio financeiro à pesquisa, a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e a Deflor, que financiou coletivamente este Projeto pelo incentivo e oportunidade

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) (2016) NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) (2016) NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4.8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) (2016) NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) (2016) NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) (2016) NBR 7181: Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) (2016) NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) (2016) NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASTM (2012) ASTM D3080-04: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. West Conshohocken, PA, EUA.
- BRADSHAW, A. S. et al. *Scaling considerations for 1-g model horizontal plate anchor tests in sand*. Geotechnical testing journal, v. 39, n. 6, p. 20160042, 2016.
- CHENG, L. et al. *Numerical investigation of pullout capacity for inclined strip plate anchors in sand*. Applied ocean research, v. 130, n. 103414, p. 103414, 2023.
- DAS, B. M.; PURI, V. K. *Holding capacity of inclined square plate anchors in clay*. SOILS AND FOUNDATIONS, v. 29, n. 3, p. 138–144, 1989.
- DAS, B. M.; SHUKLA, S. K. *Earth Anchors*. 2. ed. Boca Raton, FL, USA: J Ross Publishing, 2013.
- Dickin, E. A. (1988). *Uplift Behavior of Horizontal Anchor Plates in Sand*, Journal of Geotechnical Engineering, v.11, p. 1300-1317.
- KOERNER, R. M. *In-situ stabilization of soil slopes using nailed or anchored geosynthetics*. International journal of geosynthetics and ground engineering, v. 1, n. 1, 2015.
- Maiah, A.A.; Das, B.M. and Picornell, M. *Ultimate resistance of shallow inclined strip anchor plate in sand*. Proceedings of the 13th Southeastern Conference on Theoretical and Applied Mechanics. Columbia, SC. Vol. 2, pp. 503 – 509, 1986.
- MEYERHOF, G. G.; ADAMS, J. I. *The ultimate uplift capacity of foundations*. Canadian geotechnical journal, v. 5, n. 4, p. 225–244, 1968.
- NIROUMAND, H.; KASSIM, K. A. *Pullout capacity of irregular shape anchor in sand*. Measurement: journal of the International Measurement Confederation, v. 46, n. 10, p. 3876–3882, 2013.
- NIROUMAND, H.; KASSIM, K. A. *Uplift response of irregular shape anchor in sand*. Soil mechanics and foundation engineering, v. 51, n. 1, p. 23–28, 2014.
- SIMON, K.; STEINEMANN, A. *Soil bioengineering: Challenges for planning and engineering*. Journal of urban planning and development, v. 126, n. 2, p. 89–102, 2000.
- YÜNKÜL, K.; GÜRBÜZ, A. *Uplift behavior of shallow horizontal plate anchors reinforced with geocells in cohesionless soil*. European journal of environmental and civil engineering, v. 26, n. 4, p. 1243–1266, 2022.
- ZHUANG, P.-Z. et al. *Pullout behaviour of inclined shallow plate anchors in sand*. Canadian geotechnical journal, v. 59, n. 2, p. 239–253, 2022.