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/COBRAMSEG2026.4/85

Impacto de Reforços Secundários em Muros de Solo Reforçado com Face Flexível

Luiz Augusto da Silva Florêncio
Professor, Escola Politécnica – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, luiz.florencio@poli.ufrj.br

Maurício Ehrlich
Professor Pleno, COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, me@coc.ufrj.br

Seyed Hamed Mirmoradi
Professor Pleno, COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, sh.mirmoradi@coc.ufrj.br

RESUMO: O arranjo dos reforços em um muro de solo reforçado (MSR) pode adotar espaçamento vertical entre reforços (Sv) constantes ou variáveis. No entanto, elevados Sv podem causar instabilidade local da face e aumento nas cargas nos reforços. Reforços secundários, usualmente com 1,0 m de comprimento, são utilizados para mitigar esses efeitos e promover uma maior estabilização próximo da face. Desse modo, validados por dados de instrumentação de campo, a presente pesquisa avaliou numericamente o efeito do comprimento e rigidez dos reforços secundários nos valores de carga máxima (Tmáx), na posição de Tmáx e nos deslocamentos de um MSR com diferentes tipos de face e Sv. Os resultados indicam que a inclusão dos reforços secundários reduzem as cargas nos reforços primários e diminui o deslocamento próximo da face por meio de um efeito combinado de suas propriedades. O tipo de face é relevante na variação do somatório de Tmáx nos reforços primários, sendo aproximadamente 6% maior em faces flexíveis, nas quais ocorre maior mobilização de cargas nos reforços secundários também. Por fim, a depender da combinação entre rigidez e comprimento dos reforços secundários, um MSR com face flexível pode ter um desempenho próximo a um muro com face em blocos.

PALAVRAS-CHAVE: Muro de solo Reforçado, Reforço Secundário, Análise numérica, Tipos de face.

ABSTRACT: The reinforcement layout in a mechanically stabilized earth (MSE) wall may adopt constant or variable vertical spacing between reinforcements (Sv). However, large Sv values may lead to local face instability and increased reinforcement loads. Secondary reinforcements, typically 1.0 m in length, are used to mitigate these effects and enhance stabilization near the face. Based on validation with field instrumentation data, this study numerically evaluated the influence of the length and stiffness of secondary reinforcements on the maximum tensile load (Tmax), the location of Tmax, and the displacements of an MSE wall with different face types and Sv values. The results indicate that the inclusion of secondary reinforcements reduces the loads in primary reinforcements and decreases displacements near the face due to the combined effect of their properties. The face type significantly affects the variation of the sum of Tmax in the primary reinforcements, being approximately 6% higher in flexible faces, where greater load mobilization in the secondary reinforcements is also observed. Finally, depending on the combination of stiffness and length of the secondary reinforcements, an MSE wall with a flexible face may achieve performance comparable to that of a block-faced wall.

KEYWORDS: Reinforced Soil Wall, Secondary reinforcement, Numerical analysis, Facing Types.

1 INTRODUÇÃO

O projeto de um Muro de solo Reforçado (MSR) deve atender aos critérios de estabilidade externa e interna, como a rotura e arrancamento dos reforços. A verificação da instabilidade interna define características como da conexão entre o reforço e a face, o espaçamento vertical (Sv) e a resistência e rigidez dos reforços.

O Sv depende da capacidade da face em resistir às cargas do processo de compactação. Para faces em blocos, recomenda-se valores de Sv menores ou iguais a duas vezes a largura do bloco. Em faces envelopadas o Sv é múltiplo da espessura da camada compactada, comumente 0,40 m. Em qualquer caso, recomenda-se um Sv máximo de 0,80 m.

Elevados Sv podem ocasionar modos de ruptura interna. Reforços intermediários, executados próximos a face, aumentam a estabilidade local sem o custo executivo e financeiro dos reforços principais. Devido ao curto comprimento desses reforços intermediários, esses não são, em princípio, dimensionados para mobilizar as cargas necessárias a estabilidade global do MSR, sendo denominados de reforços secundários.

Os reforços secundários podem reduzir a carga máxima e a carga de conexão dos reforços primários, diminui o deslocamento horizontal do muro, aliviar as forças de arrasto e alterar o modo de ruptura do MSR (Leshchinsky *et al*., 2014; Vyas e Khirwadkar, 2018; Florêncio et al., 2023; Li et al., 2024; Irawan et al., 2025). Além disso, são aplicáveis a qualquer tipo de face. Por exemplo, o comprimento de envelopamento de uma face flexível pode ser entendido como uma condição de reforço secundário.

No entanto, estudos anteriores não investigaram o efeito combinado entre o comprimento e rigidez dos reforços secundários e sua a influência em outras características do MSR. Desse modo, a presente pesquisa destaca a influência de diferentes condições de reforços secundários em MSR com face em blocos e face flexível para diferentes Sv. O objetivo é aprofundar o entendimento do mecanismo de MSR com reforços secundários, avançando em sua modelagem e projeto, permitindo uma otimização de desempenho e execução.

2 ESTUDO DE CASO E VALIDAÇÃO NUMÉRICA

A pesquisa utilizou a instrumentação de campo de um MSR com face em blocos, conforme detalhado por Jiang et al. (2016). Foram monitoradas três seções do muro usando inclinômetros verticais para deslocamentos horizontais, células de carga para tensões verticais na base e tensões horizontais atrás da face, e *strain-gauges* nos reforços para medir deformações e cargas mobilizadas.

A região reforçada é composta por agregado, enquanto a fundação consiste em um maciço rochoso. As propriedades do aterro, da fundação e dos reforços primários são as mesmas independentes da seção instrumentada. Não há nível d'água. O comprimento de reforço primário varia de 18 a 18,9 m, resultando em uma relação entre comprimento do reforço primário (L) e altura do muro (H), ficou L/H = 1,6. Esse valor, superior ao mínimo recomendado de L/H = 0,7 (Elias et al. 2001), foi adotado devido ao carregamento imposto pelo talude do topo e informações imprecisas quanto às condições do maciço da fundação (Jiang et al., 2016).

O muro foi executado com quatro tipos diferentes de reforços primários, que se diferenciam principalmente pela variação de sua rigidez. Foi adotado um Sv entre reforços primários variável ao longo da altura do muro. No terço inferior do MSR o Sv entre reforços primários foi de 0,4 m (altura de dois blocos) e nos dois terços superiores foi de 0,6 m (altura de três blocos). Os reforços secundários, de mesma rigidez e 1,0 m de comprimento, foram inseridos em cada altura do muro que separa os reforços primários.

A modelagem numérica em condição *plane-strain* foi conduzida no software Plaxis 2D, reproduzindo as condições de campo. O modelo incluiu face vertical em blocos com 11,7 m de altura; zona reforçada de 18,6 m de comprimento; solo arrimado de 17,4 m de comprimento; fundação com 20 m de profundidade; talude de pé com 2,2 m de altura e talude no topo de 5,0 m de altura. A base do modelo numérico foi fixada nas duas direções e as laterais apenas horizontalmente. Elementos triangulares de 15 nós dividiram o modelo numérico em 14.452 elementos e 118.294 nós. A malha numérica foi refinada em zonas críticas como na região do solo reforçado, zona do solo arrimado e nas regiões próximas da conexão entre a face e o reforço.

Para zona reforçada, foi utilizado o modelo constitutivo *Hardening-Soil* (HS), que correlaciona a rigidez do solo com o nível de tensão e a tensão confinante. O Modelo HS é capaz de representar adequadamente a rigidez do solo sob condições de carregamento – descarregamento, essencial para simular as tensões induzidas pela compactação com fidelidade. Os parâmetros de entrada desse modelo foram obtidos por meio de ensaios

triaxiais (Jiang et al. 2016), posteriormente transformados para a condição *plane-strain* (Kulhawy e Mayne, 1990; Hatami e Bathurst, 2005). Para o solo arrimado e os aterros foi utilizado o modelo constitutivo elástico linear com critério de ruptura de Mohr-Coulomb. Para a face em blocos e o maciço da fundação foi utilizado o modelo elástico linear.

Os reforços foram modelados com o modelo elástico linear. Os reforços primários apresentam rigidez secante entre 360 a 860 kN/m, enquanto os reforços secundários adotaram 330 kN/m. De forma similar ao campo, foi simulado um MSR sem reforços secundários, mantendo-se as demais características. Para uma representação da conexão em campo (Jiang et al., 2016), foram simulados duas configurações de conexão face-reforço: Condição A, conexão frouxa (maior mobilidade) e Condição B, conexão rígida (menor mobilidade).

O modelo numérico do muro foi modelo em etapas. A sequência executiva contemplou a ativação da fundação, escavação e ativação do bloco de fundação da face, lançamento e compactação de camadas de 0,20 m de solo, inclusão dos reforços e blocos da face em suas respectivas alturas, ativamento do talude do topo e base. A compactação foi modelada com uma tensão induzida de 8 kPa (Jiang et al. 2019, 2020) com um único ciclo de carga-descarga de carga igualmente distribuída no topo e na base de cada camada de solo (Mirmoradi e Ehrlich, 2015; Nascimento et al., 2020; Wang et al., 2022).

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de entrada na condição *plane-strain* utilizados na validação numérica. Mais detalhes sobre a validação podem ser encontrados em Florêncio et al. (2023).

Tabela 1. Parâmetros de entrada da zona de solo reforçado utilizados na validação numérica.

Parâmetro	Valor
Peso específico, γ (kN/m³)	18,1
Coesão, c (kPa)	1
Ângulo de atrito do solo (*Plane-strain*), ϕ' (°)	52
Ângulo de Dilatância, ψ (°)	8
Pressão de referência, p_{ref} (kPa)	100
Coeficiente de Poisson, υ_{ur}	0,1
Expoente de relação com a tensão, m	0,52
Razão de ruptura, R_f	0,9
Coeficiente de empuxo no repouso, K_0	0,248
E_{50}^{ref} (MPa)	31,50
E_{oed}^{ref} (MPa)	29,25
E_{ur}^{ref} (MPa)	109,8

A Figura 1a apresenta o Tmáx normalizado nos reforços primários, pela profundidade normalizada (z/H) do muro, com e sem reforço secundário e após a execução do talude do topo. Para o modelo com reforço secundário foram simuladas as duas condições da conexão. A área hachurada indica a altura do aterro do pé. De modo geral, há uma boa correspondência entre os dados monitorados e as previsões numéricas. Ambos os dados indicam um aumento de Tmáx com a profundidade até o topo do aterro da base; posteriormente, diminui devido à restrição da base. Além disso, a Figura 1a mostra que a inclusão do reforço secundário reduz Tmáx para valores abaixo da linha Ka. A Conexão B (rígida) apresenta valores de Tmáx ligeiramente maiores.

Ainda na Figura 1 tem-se o deslocamento lateral ao final da construção [Figura 1b] e após o aterro do topo [Figura 1c]. Conforme demonstrado, os modelos numéricos apresentam boa capacidade preditiva em comparação com os dados de campo. Observa-se uma redução no deslocamento lateral com a inclusão do reforço secundário. Nos modelos com reforço secundário, uma conexão firme entre o reforço e a face resulta em uma diminuição do movimento lateral.

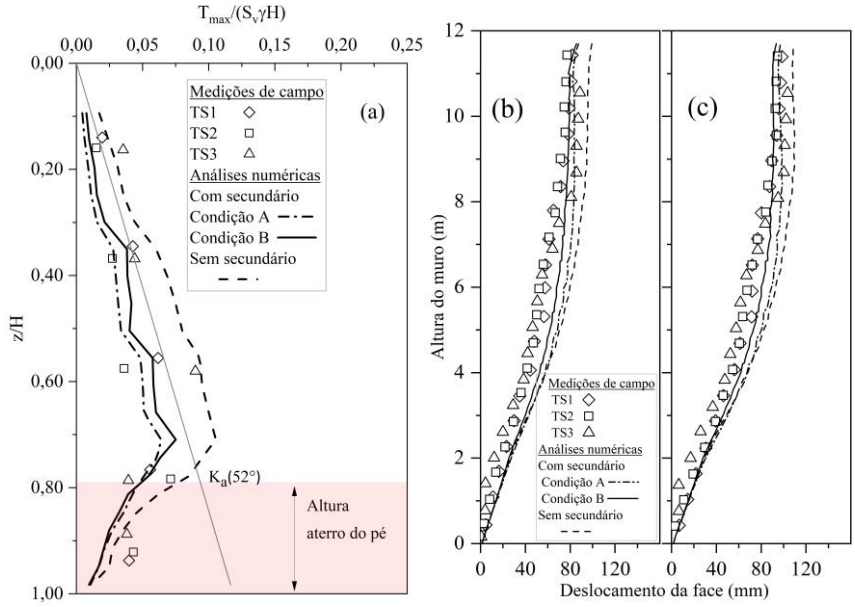


Figura 1. Validação do modelo numérico (a) Distribuição da tensão máxima normalizada após aterro no topo (b) Deslocamento horizontal do muro final da construção e (c) após aterro no topo. (Florêncio, 2023).

3 ESTUDO PARAMÉTRICO

O estudo paramétrico foi conduzido com uma versão simplificada do modelo de validação. As modificações incluem: a remoção do talude no pé e topo do muro; adoção de L/H = 0,7; Sv = 0,4 m entre reforços primários; reforços primários com a mesma rigidez de 800 kN/m; conexão forte entre reforço e face e valor do ângulo de atrito do solo na zona reforçada de 40°, modificando consequentemente todos os parâmetros relacionados.

Para a análise paramétrica, apesar da diferença no Sv e na rigidez do reforço primário, o valor do índice de rigidez relativa solo-armadura primária, S_{ip}, definido por Ehrlich e Mitchell (1994), foi mantido constante. Para este estudo, considerando a pressão atmosférica e o módulo da curva tensão-deformação hiperbólica como constantes, uma forma simplificada de S_i é:

$$S_i = J_r/S_v \tag{1}$$

Onde: J_r é o módulo de rigidez secante e Sv é o espaçamento vertical entre reforços. No estudo paramétrico, foi utilizada a relação S_{is}/S_{ip}, que é um índice que relaciona a rigidez solo-reforço para cada tipo de reforço. S_{is} é o índice de rigidez relativa solo-reforço para o reforço secundário.

A Tabela 2 apresenta as condições do estudo paramétrico. O asterisco indica os valores do modelo de referência.

Tabela 2. Condições da análise paramétrica.

Parâmetro	Valor
Comprimento Secundário L_s (m)	0,5; 1,0*; 1,5 e 2,0
Rigidez secundário J_{rs} (kN/m)	400; 800*; 1600, 4000 e 16000
S_{is}/S_{ip}	0,5; 1,0*; 2,0; 5,0 e 20,0
Face em Blocos	Igual a validação*
Face flexível	Rigidez axial (EA): 80,0 kN/m Rigidez a flexão (EI): 1,0 kN.m²/m
Rigidez primário J_{rp} (kN/m)	800*; 1200, 1600 e 2000
Espaçamento vertical, S_v (m)	0,4*; 0,6; 0,8 e 1,0

4 RESULTADOS

A Figura 2 apresenta os valores normalizados e as localizações de Tmáx no reforço primário plotados em função da altura normalizada do muro (h/H), onde h é a altura a partir da base e H é a altura total. Os resultados referem-se ao modelo base sem reforço secundário, face em blocos [Figura 2(a) e (b)] e face flexível [Figura 2(c) e (d)]. A rigidez do reforço primário variou de acordo com o Sv para manter um valor constante de S_{ip}. A condição de estado ativo (linha Ka) também é apresentada como referência.

Para a face em blocos, apesar da variação de Sv, os valores e a posição de Tmáx permaneceram inalterados, pois S_{ip} foi mantido constante. Sem reforços secundários, Tmáx é igual ou ligeiramente superior à linha Ka acima de aproximadamente 3,5 m da base do muro, e inferior próximo à base, devido à rigidez da face em blocos e à resistência de pé (Liu e Won, 2009; Han e Leshchinsky, 2010; Jiang et al., 2019). A posição de Tmáx ocorreu predominantemente nas conexões, exceto nas camadas próximas à base do muro. Para muros com face flexível, os valores de Tmáx e suas posições também permanecem praticamente constantes para S_{ip} fixo, aproximando-se da linha Ka quando a tensão vertical é calculada pelo método de Meyerhof (1953). Para a face flexível, o Tmáx aumenta do pé ao topo, seguindo uma linha mais vertical que a de Rankine, devido ao movimento relativo entre a face e aterro.

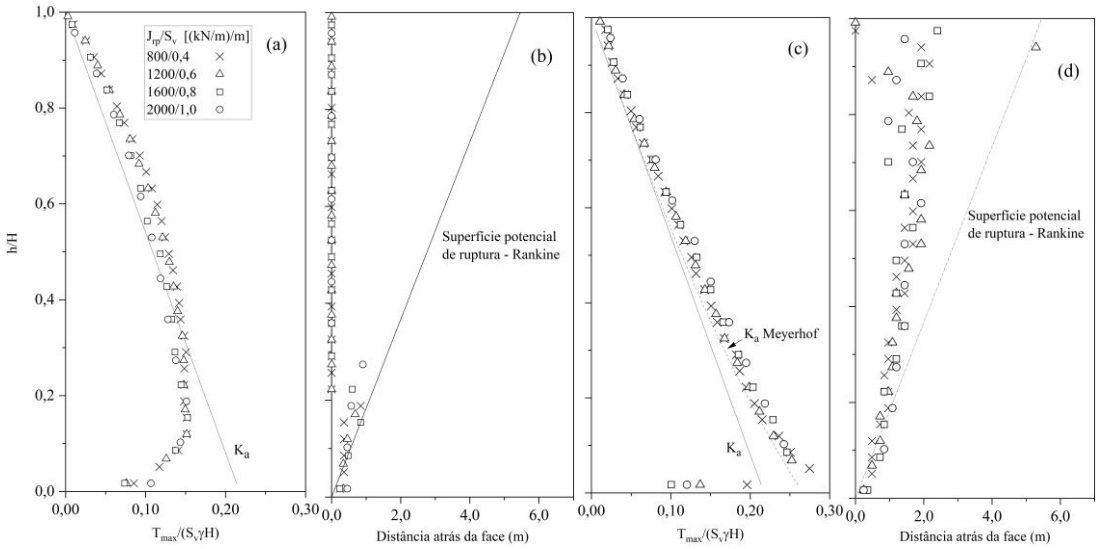


Figura 2. Valores e posição de Tmáx para face em blocos [(a) e (b)] e flexível [(c) e (d)], respectivamente.

A Figura 3 apresenta a posição de Tmáx para a face flexível sem e com reforço secundário, considerando diferentes S_{is}/S_{ip} (0,5 e 20) e comprimentos de reforço secundário Ls de 0,5; 1,0 e 2,0 m (área hachurada representa a região do reforço secundário), sendo o Ls acrescido de 0,3 m para comparação direta com a face em blocos. Os resultados mostram que a posição de Tmáx em faces flexíveis é influenciada pelo efeito combinado entre rigidez e comprimento, sendo principalmente influenciada pelo comprimento do reforço secundário: para Ls curtos (0,5 m), a posição de Tmáx segue o perfil do modelo sem reforço secundário, enquanto Ls maiores, que ultrapassam a linha da posição do Tmáx para um muro sem secundário, verticalizam a posição do Tmáx, aproximando-se do comportamento de uma face rígida, ou seja, o conjunto de reforços secundários trabalha como um "faceamento equivalente" e garantindo estabilidade local similar à de uma face em blocos.

Considerando o comprimento usual dos reforços secundários em campo (Ls = 1,0 m), tem-se desempenho próximo ao desejado, com pequenas diferenças no topo. Na região inferior do MSR ($h/H \leq 0,2$), a posição do Tmáx ocorre dentro da zona dos reforços secundários, permitindo que eles atuem como reforços primários, contribuindo parcialmente para a estabilidade global.

Considerando o modelo numérico com Sv = 0,4 m, a Figura 4 apresenta a variação do somatório normalizado do Tmáx para o reforço primário [Figura 4(a)] e reforço secundário [Figura 4(b)] em função da relação entre rigidezes relativas (S_{is}/S_{ip}) e do comprimento do reforço secundário (Ls), para duas condições de face e incluindo o caso sem secundário como referência.

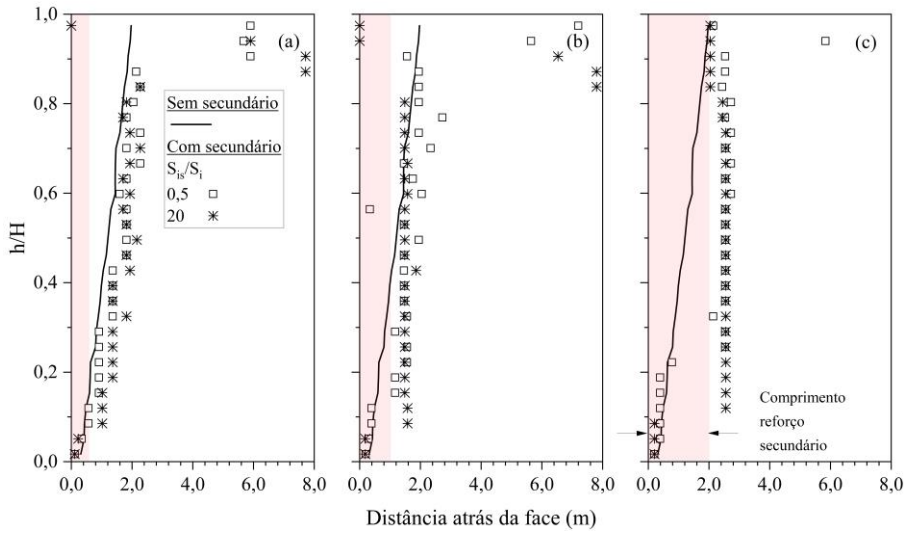


Figura 3. Posição de Tmáx para face flexível e secundário: (a) Ls = 0,5 m (b) Ls = 1,0 m (c) Ls = 2,0 m.

Os resultados da Figura 4(a) indicam que a inclusão do reforço secundário reduz o $\Sigma T_{max}/\gamma H^2$ nos reforços primários de forma mais expressiva com o aumento de Ls e S_{is}/S_{ip} em um efeito combinado. O efeito de S_{is}/S_{ip} é mais significativo para maiores Ls. Entretanto, tanto o aumento de Ls quanto de S_{is}/S_{ip} apresentam ganhos decrescentes, evidenciados pela aproximação e horizontalização das curvas. Para faces em blocos os alívios de carga pela inclusão do reforço secundário variam de 1,2% a 23%, conforme o comprimento do reforço secundário (Ls) aumenta de 0,5 m para 1,5 m. Na prática, adotam-se reforços secundários iguais aos primários (S_{is}/S_{ip} = 1) e com Ls = 1. Nessas condições, observa-se bom alívio de cargas, com redução de cerca de 24% em $\Sigma T_{max}/\gamma H^2$ em comparação ao modelo sem reforço secundário. No entanto, para condições equivalentes, o alívio de carga nos reforços primários com a inclusão dos secundários é maior em uma face flexível. A variação de $\Sigma T_{max}/\gamma H^2$ entre Ls de 0,5 e 1,0 m é de 6% e 18%, contra 1,2% e 12% no modelo com face em blocos. Isso ocorre porque a maior rigidez e restrição da face rígida absorvem parte das cargas, reduzindo a influência do reforço secundário; na face flexível, o efeito na redução Tmáx do reforço primário pela inclusão do secundário é mais expressivo.

Em relação a variação do somatório de cargas máximas no próprio reforço secundário [Figura 4(b)], para um mesmo Ls, o modelo com face em blocos mobiliza menores valores que o de face flexível, devido à maior rigidez e restrição no pé. Embora o $\Sigma T_{Smax}/\gamma H^2$ aumente com S_{is}/S_{ip} e Ls, a taxa de crescimento diminui para maiores comprimentos, efeito mais pronunciado na face em blocos. Para baixos S_{is}/S_{ip}, aumentar Ls de 1,0 m para 1,5 m não altera significativamente o $\Sigma T_{Smax}/\gamma H^2$, independentemente do tipo de face. Assim, para reforços primários e secundários do mesmo material (S_{is}/S_{ip} = 1), um Ls = 1,0 m, valor usual em obras, oferece desempenho máximo de forma mais econômica.

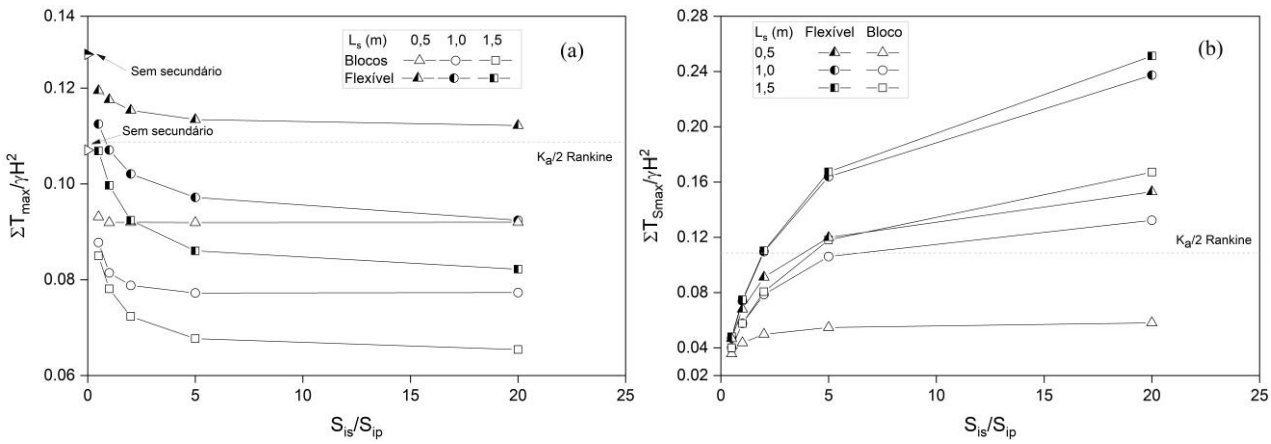


Figura 4. Somatório de Tmáx normalizado (a) nos reforços primários (b) nos reforços secundários.

A Figura 5 apresenta o deslocamento horizontal efetivo da face pela altura normalizada (h/H) para modelos com face flexível. O deslocamento efetivo representa a soma das deformações por camada, com Ls constante e variação de S_{is}/S_{ip}, incluindo também a curva sem reforço secundário. A inclusão de reforço secundário reduz os deslocamentos horizontais, com efeito maior à medida que aumenta a razão S_{is}/S_{ip} ou o comprimento do reforço (Ls); reforços muito rígidos são eficazes apenas se suficientemente longos. Os deslocamentos máximos ocorrem cerca de 5 m acima da base do muro, permanecendo com valores abaixo de 1% da altura do muro com posição constante, enquanto os deslocamentos próximos ao topo são quase nulos.

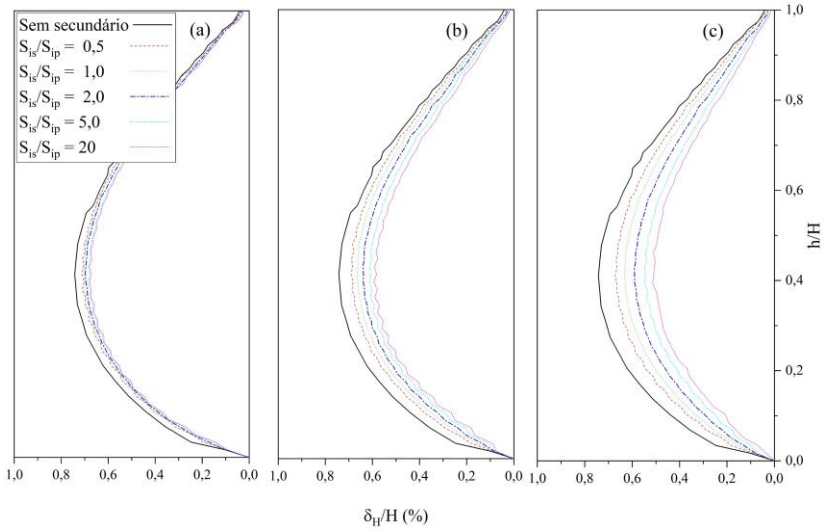


Figura 5. Deslocamento horizontal efetivo para face flexível. (a) Ls = 0,5 m (b) Ls = 1,0 m (c) Ls = 1,5 m.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo desenvolveu uma análise numérica sobre os efeitos da inclusão de reforço secundário na magnitude e na localização da carga máxima ao longo dos reforços primários e secundários, bem como no deslocamento horizontal. O modelo numérico foi validado por meio do software Plaxis 2D, utilizando dados de monitoramento de campo. Foram realizadas análises paramétricas para representar condições típicas de campo, investigando as interações entre espaçamento vertical dos reforços primários, rigidez dos reforços primários, comprimento e rigidez dos reforços secundários e tipo de face.

Com base nas análises conduzidas, podem-se extrair as seguintes conclusões:

- Para muros de solo reforçado sem reforço secundário, a distribuição do Tmáx ao longo da altura do muro e sua posição ao longo do reforço primário permanecem inalteradas caso a razão entre a rigidez do reforço e espaçamento vertical fique constante, independentemente do tipo de face;
- A inclusão dos reforços secundários, dependendo da combinação entre seu comprimento e rigidez, altera a distribuição da posição do Tmáx em uma face flexível de modo a trabalha como um "faceamento equivalente" e garantindo estabilidade local similar à de uma face em blocos;
- A inclusão dos reforços secundários mobilizam cargas que reduzem o somatório de Tmáx mobilizado nos reforços primários, em um efeito combinado entre comprimento e rigidez do secundário, sendo também influenciados pelo tipo de face;
- Os deslocamentos horizontais em uma face flexível é reduzida com a inclusão dos reforços secundários com efeito maior à medida que aumenta da rigidez ou comprimento do reforço em um efeito combinado. No entanto, a deformada dos deslocamentos ao longo da altura permanece constante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento deste estudo pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento 001, e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ehrlich, M. e Mitchell, J. K. (1994). Working stress design method for reinforced soil walls. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 120, No 4, 625 – 645.

Elias,V.; Chistopher, B. R., Berg, R. R. (2001). Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes – Design and construction guidelines. *Federal Highway Administration, Report No. FHWA – NHI – 00-043*, Washington DC. Estados Unidos da América.

Florêncio, L.A.S., Ehrlich, M., Mirmoradi, S.H. (2023) Secondary reinforcement effect on the value and location and maximum reinforcement load. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering*.

Han J., Leshchinsky D. (2010). Analysis of back-to-back mechanically stabilized earth walls. *Geotextiles and Geomembranes* 28(3): 262–267.

Hatami, K., Bathurst, R.J. (2005). Development and verification of a numerical model for the analysis of geosynthetic reinforced soil segmental walls under working stress conditions. *Canadian Geotechnical Journal* 42(4): 1066-1085.

Irawan, A.D., Lim, A., Wijaya, M. (2025) Evaluation of Secondary Reinforcement Layers on Segmental MSE Wall Behavior Using 3D Finite Element Method: A Case Study. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering* 11 (10).

Jiang, Y.; Han, J. e Parsons, R.L. (2020). Numerical evaluation of secondary reinforcement effect on geosynthetic reinforced retaining walls. Geotextiles and Geomenbranes 48, pp. 98 – 109.

Jiang, Y.; Han, J.; Parsons, R.L. e Brennan, J. (2016). Field Instrumentation and Evaluation of Modular-Block MSE Walls with Secondary Geogrid Layers. Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, ASCE, 142 (12): 05016002.

Jiang, Y.; Han, J.; Zornberg, J.; Parsons, R.L.; Leshchinsky, D. e Tanyu, B. (2019). Numerical Analysis of Field Geosynthetic-Reinforced Retaining Walls with secondary Reinforcement. Géotechnique,Vol. 69, Issue 2, pp. 122 - 132.

Kulhawy, F.H., Mayne, P.W. (1990) Manual on estimating soil properties for foundation design, EPRI-EL-6800. Electric Power Research Inst. Palo Alto, CA, USA, https://www.osti.gov/biblio/6653074.

Leshchinsky, D., Kang, B., Han, J., Ling, H. (2014) Framework for limit state design of geosynthetic-Reinforced Walls and Slopes. Technical Paper. *Transportation Infrastructure Geotechnology* 1(2):129–164.

Li, F., Guo, W., Zheng, Y. (2024). Influence of secondary reinforcements on the behavior of geosynthetic reinforced soil walls. *Geotextiles and Geomembranes* 52, pp. 828 – 840.

Liu, H., Won, M.S. (2009). Long-term reinforcement load of geosynthetic-reinforced soil retaining walls. *Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering ASCE* 135(7): 875–889.

Mirmoradi, S.H., Ehrlich, M. (2015). Modeling of Compaction-Induced stress on reinforced soil walls. *Geotextiles and Geomembranes* 43(1): 82–88.

Nascimento, G.; Ehrlich, M., Mirmoradi, S.H. (2020). Numerical-simulation of compaction-induced stress for the analysis of RS walls under surcharge loading. *Geotextiles and Geomembranes* 48(4): 532–538.

Vyas, S., Khirwadkar, B. (2018) Use of secondary reinforcement for connection for block facing reinforced soil wall. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Geosynthetics*, september, Seoul, South Korea;. ISBN: 978-1-7138-0608-0.

Wang, C.; Wang, L. e Liu, H. (2022). Analyzing the influence of facing batter on reinforcement loads of reinforced soil walls under working stress conditions. *Geotextiles and Geomembranes* 50(6): 1244– 1251.