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/COBRAMSEG2026.3/26

Proposta de Integração de Ferramentas Digitais para o Ensino e Aplicação de Geossintéticos em Muros de Solo Reforçado

Leandro Noronha Ferreira
Engenheiro Civil, Geo Soluções, São Paulo, Brasil, leandro.noronha@geosolucoes.com

Érica Maria Pavan
Engenheira Civil, Geo Soluções, São Paulo, Brasil, ericapavan23@gmail.com

Camyla Margarete Magalhães de Oliveira Cadavez
Coordenadora Técnica, Geo Soluções, São Paulo, Brasil, camyla.oliveira@geosolucoes.com

André Fernando Fanaya Dluhosch
Coordenador Técnico-Comercial, Geo Soluções, Curitiba, Brasil, andre.fanaya@geosolucoes.com

Júlia dos Santos Oliva
Engenheira Civil, Geo Soluções, São Paulo, Brasil, julia.oliva@geosolucoes.com

RESUMO: Geossintéticos são materiais poliméricos capazes de aprimorar as propriedades do solo e, no Brasil, embora seu uso tenha se iniciado na década de 1970, ainda há um movimento contínuo para ampliar sua presença na formação de engenheiros civis. Nesse cenário, iniciativas como o programa "Educando Educadores", promovido pela IGS Brasil, buscam fortalecer a inserção desse conteúdo nas instituições de ensino. Em razão desse esforço de expansão, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade de integração entre duas ferramentas gratuitas voltadas ao ensino de geossintéticos: a plataforma educacional GeoAcademy e o *plug-in* GeoQore, voltado ao apoio ao projetista no AutoCAD. A metodologia consistiu em um levantamento comparativo entre as funcionalidades práticas oferecidas pelo GeoQore e os conteúdos do módulo "Muros e Taludes Reforçados" disponibilizado na GeoAcademy. Foram analisados os conceitos abordados, sua correspondência com os recursos do *plug-in* e o potencial de aplicação conjunta em atividades formativas. Os resultados indicaram que, embora desenvolvidas de forma independente, as ferramentas apresentam compatibilidade entre parte dos conteúdos teóricos e suas aplicações operacionais, o que permite associações que fortalecem a aprendizagem. Conclui-se que a integração proposta apoia o esforço de ampliação do ensino sobre geossintéticos, complementa iniciativas consolidadas e oferece alternativas flexíveis para estudantes e profissionais.

PALAVRAS-CHAVE: Educação, Geossintéticos, Muros de Solo Reforçado com Geossintéticos.

ABSTRACT: Geosynthetics are polymeric materials capable of enhancing soil properties and, in Brazil, although their use began in the 1970s, there is still an ongoing effort to expand their presence in civil engineering education. In this context, initiatives such as the "Educate the Educators Program", promoted by IGS Brazil, seek to strengthen the inclusion of this subject in academic institutions. In line with this expansion effort, the present study aimed to evaluate the possibility of integrating two free tools dedicated to geosynthetics education: the GeoAcademy learning platform and the GeoQore *plug-in*, designed to support designers working in AutoCAD. The methodology consisted of a comparative assessment between the practical functionalities offered by GeoQore and the content of the "Reinforced Walls and Slopes" module available on GeoAcademy. The concepts addressed, their correspondence with the *plug-in's* features, and the potential for joint application in formative activities were analyzed. The results indicated that, although developed independently, the tools exhibit compatibility between part of the theoretical content and its operational applications, enabling associations that enhance learning. It is concluded that the proposed integration supports ongoing efforts to expand geosynthetics education, complements established initiatives and offers flexible alternatives for students and professionals.

KEYWORDS: Education, Geosynthetics, Geosynthetic Reinforced Soil Walls.

1 INTRODUÇÃO

O uso de geossintéticos, materiais poliméricos demandados para melhorar as propriedades do solo, tem se expandido mundialmente desde sua introdução, e no Brasil teve início na década de 1970. Apesar de seu potencial técnico, esses produtos ainda são relativamente recentes na prática da Engenharia Civil nacional, o que demanda esforços contínuos para promover a disseminação de conhecimento a respeito de suas funcionalidades e aplicações (Vertematti, 2015).

Iniciativas como o programa "Educando Educadores", promovido pela Associação Brasileira de Geossintéticos (IGS Brasil) desde 2016, têm buscado democratizar o acesso a conteúdos sobre geossintéticos, com o objetivo de capacitar professores de graduação de diferentes regiões do país. O programa confere caráter democrático ao conhecimento, favorece sua replicação em múltiplas instituições de ensino e contribui para a formação de engenheiros civis capazes de fundamentar a aplicação desses materiais em projetos de engenharia (Associação Brasileira de Geossintéticos, sd).

Paralelamente às metodologias clássicas de ensino, a tecnologia digital tem oferecido novas oportunidades para complementar a aprendizagem. Plataformas online e ferramentas computacionais, como *plug-ins* para softwares de desenho e modelagem, permitem que conceitos teóricos sejam aplicados diretamente em situações práticas, a fim de aproximar o estudante e o profissional da realidade do projeto (Kimura, 2018). Neste contexto, a integração entre conteúdos teóricos estruturados e recursos práticos de apoio ao engenheiro surge como uma estratégia promissora para ampliar a compreensão e a competência técnica no uso dos geossintéticos.

O presente estudo analisa a viabilidade de integração entre a plataforma de ensino GeoAcademy, baseada em módulos didáticos sobre geossintéticos, e o *plug-in* GeoQore para AutoCAD, voltado à análise de muros e taludes reforçados. Portanto, a pesquisa tem como objetivo investigar como a combinação dessas ferramentas pode reforçar a aprendizagem, articular conceitos teóricos com sua aplicação e ampliar o acesso ao conhecimento na área de geossintéticos, em apoio às iniciativas educacionais já existentes.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

2.1.1 A Plataforma de Ensino GeoAcademy

A GeoAcademy é uma plataforma digital e gratuita dedicada ao ensino sobre geossintéticos, suas características, aplicações e benefícios. Seu conteúdo é modular, conforme ilustrado na Figura 1, acessível a profissionais de diferentes níveis de conhecimento e totalmente isento de viés comercial. O desenvolvimento dessa ferramenta contou com o apoio de instituições acadêmicas, como a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), o que assegura rigor técnico e confiabilidade às informações apresentadas (GeoAcademy, sd.).

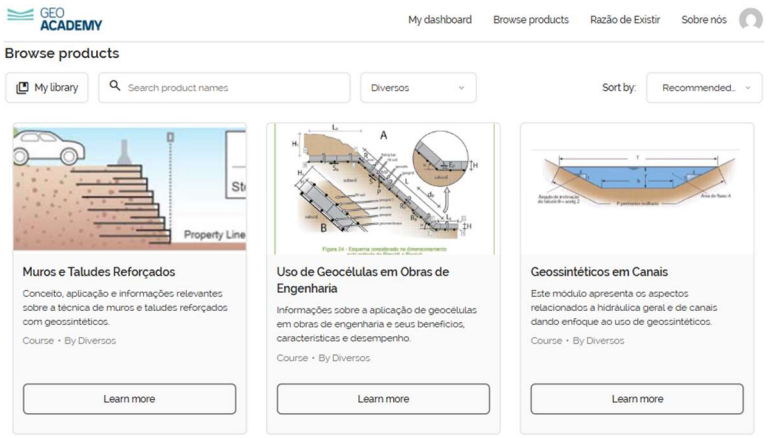


Figura 1. Alguns Módulo de Ensino da GeoAcademy.

Ademais, a GeoAcademy tem como objetivo contribuir para a democratização do conhecimento sobre geossintéticos e apoiar a formação de profissionais de forma educacional (GeoAcademy, sd.). Dentro desse contexto, o presente estudo concentrou-se no módulo "Muros e Taludes Reforçados", que reúne sete seções temáticas e totaliza 44 aulas. Os conteúdos desse eixo temático serviram como base para análise e correlação com as funcionalidades práticas do *plug-in* GeoQore.

2.1.2 O Plug-in GeoQore

O *plug-in* GeoQore, integrado ao AutoCAD, foi utilizado para análise de muros de solo reforçado com geogrelhas. A ferramenta permite gerar vistas frontais e seções transversais das estruturas, como ilustrado na Figura 2, e fornece fatores de segurança de acordo com a ABNT NBR 16920-1:2021. Além disso, o GeoQore disponibiliza a memória de cálculo completa, com transparência nos dados para a correlação entre fundamentos teóricos e aplicação prática (Geo Soluções, sd.).

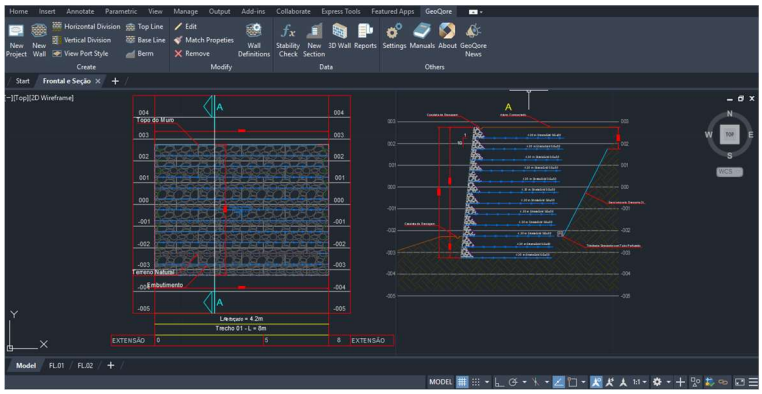


Figura 2. Frontal e Seção de Muro Genérico Extraídas do GeoQore.

2.2 Método

O estudo foi conduzido em três etapas principais. A primeira consistiu na análise das funcionalidades do *plug-in* GeoQore voltadas ao dimensionamento de muros de contenção de solo reforçado com geossintéticos. A segunda envolveu o levantamento dos conteúdos abordados nas seções do módulo "Muros e Taludes Reforçados" da plataforma GeoAcademy. Por fim, a terceira etapa consistiu na compatibilização entre o conteúdo teórico da GeoAcademy e as funcionalidades do GeoQore, com o objetivo de estabelecer correspondências entre teoria e prática.

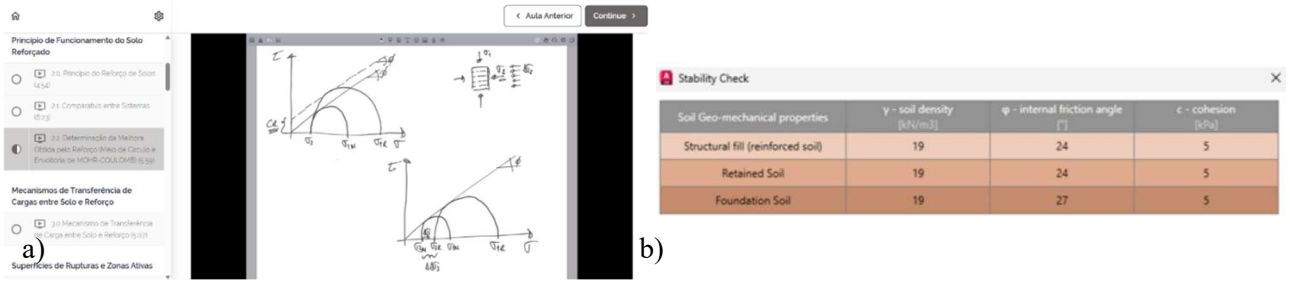
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Parâmetros do Solo

Na análise de questões de estabilidade, destacam-se como parâmetros fundamentais do solo o ângulo de atrito e a coesão. Esses parâmetros exercem influência direta no comportamento do material e, consequentemente, na segurança das estruturas geotécnicas (Guidicini e Nieble, 1984).

A GeoAcademy disponibiliza conteúdos relacionados a esses parâmetros, com destaque para a seção "Princípio de Funcionamento do Solo Reforçado". Nesse material, apresenta-se uma abordagem teórica que contempla aplicações em solos coesivos e não coesivos e, posteriormente, o aprimoramento das propriedades do solo por meio do uso de geossintéticos. Esse conteúdo é apresentado em um ambiente que utiliza uma lousa virtual para a organização dos aulas, o que permite expor, de maneira sequencial, os princípios que envolvem o papel do ângulo de atrito e da coesão no desempenho do solo reforçado. Nesse contexto, são empregados conceitos básicos de Mecânica dos Solos, como a envoltória de Coulomb (Figura 3a).

Por sua vez, o *plug-in* GeoQore possibilita a inserção dos valores desses parâmetros em sua interface de entrada de dados, além do peso específico, e permite a atualização imediata do fator de segurança das estruturas de contenção frente às análises de estabilidade (GeoQore, s.d.); conteúdo detalhado na seção 3.4 deste artigo. O recurso viabiliza a definição desses parâmetros para três componentes distintos: o solo a ser empregado no aterro (*structural fill*), o solo a ser contido (*retained soil*) e o solo de fundação (*foundation soil*) onde a estrutura será implantada (Figura 3b).



a) b)

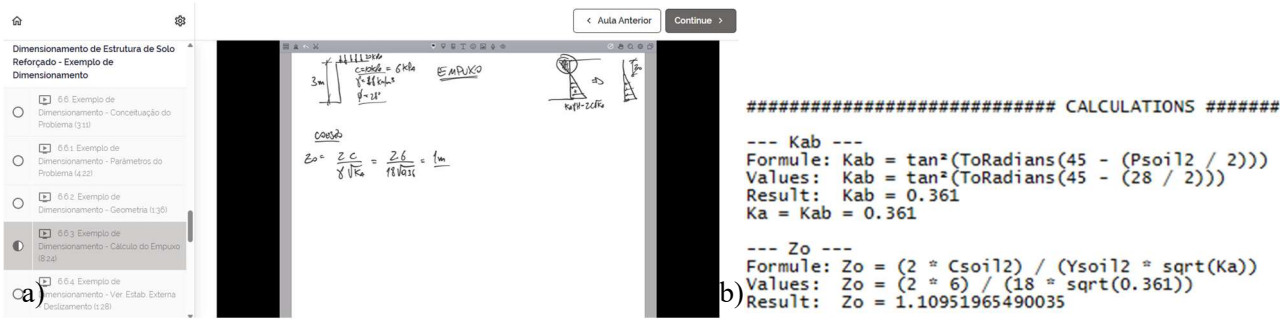
Figura 3. a) Abordagem sobre Parâmetros de Solo na GeoCademy. b) Entrada de Dados de Parâmetros de Solo no GeoQore.

3.2 Empuxo Ativo pela Teoria de Coulomb

A determinação do empuxo ativo pela Teoria de Coulomb requer a análise sucessiva de diferentes superfícies adjacente à estrutura. Para cada hipótese, considera-se o equilíbrio das forças atuantes na cunha de solo. Portanto, o empuxo representativo corresponde à condição mais desfavorável entre as situações analisadas (Gerscovich; Danziger; Saramago, 2016).

O *plug-in* GeoQore aplica esse procedimento de forma automatizada nas verificações de estruturas de solo reforçado com geossintéticos. Nesse sentido, a ferramenta incorpora as propriedades geométricas do sistema solo–estrutura na avaliação das superfícies potenciais de ruptura e fornece o valor do empuxo ativo empregado no dimensionamento (GeoQore, sd.).

Em consonância com essa metodologia, a plataforma GeoAcademy disponibiliza material de apoio teórico, como a aula "Exemplo de Dimensionamento – Cálculo do Empuxo", que apresenta os fundamentos do empuxo ativo e inclui a fenda de tração (Z_0) entre os principais conceitos introdutórios abordados. A Figura 4a ilustra o valor de Z_0 calculado na aula e, a Figura 4b, as operações reproduzidas pelo *plug-in*, no qual foram inseridos peso específico (Ysoil2) igual a 18 kN/m³, ângulo de atrito (Psoil2) de 28° e coesão (Csoil2) de 6 kPa, os mesmos parâmetros utilizados na plataforma de ensino.



a) b)

Figura 4. a) Z_0 Calculado em Aula da GeoAcademy. b) Memória de Cálculo de Z_0 Calculado pelo GeoQore;

3.3 Espaçamento entre Camadas de Reforço

Ehrlich e Becker (2020) definem o espaçamento vertical entre reforços como um parâmetro fundamental de configuração das estruturas em solo reforçado, o qual pode ser estabelecido de forma uniforme ou ajustado conforme as exigências do projeto.

A plataforma GeoAcademy, em sua seção “Superfícies de Ruptura e Zonas Ativas”, aprofunda essa abordagem ao articular fundamentos teóricos com evidências experimentais. O material disponibilizado inclui registros de ensaios em laboratório que demonstram o comportamento de estruturas com diferentes arranjos de reforços. Entre esses recursos, destaca-se a abordagem didática apresentada na Figura 5, extraída de uma das aulas, na qual se observa a configuração de uma estrutura com reforços espaçados e seus efeitos sobre o mecanismo de ruptura.

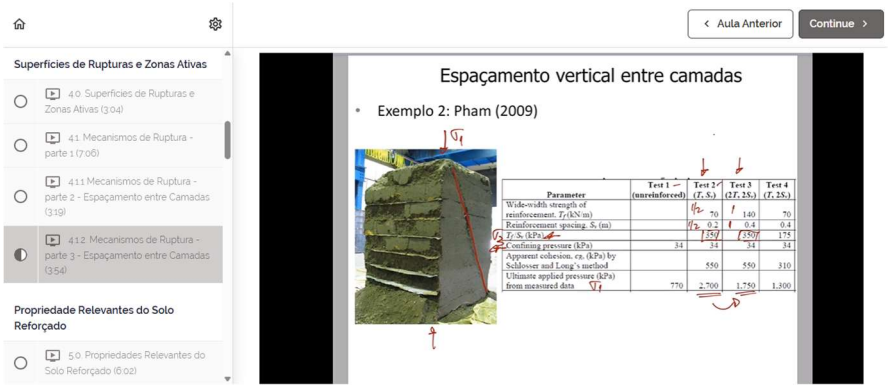


Figura 5. Aula com Exposição de Ensaio de Espaçamento Vertical.

No âmbito das aplicações práticas, a incorporação desse conceito ao ambiente do GeoQore revela possibilidades de integração para o processo de análise. O *plug-in* disponibiliza uma série de opções de resistência para os reforços, com valores de 40, 50, 60, 90, 100, 150, 200, 300, 400, 500 e 600 kN/m. O software também permite ajustar os espaçamentos verticais entre os reforços, recurso que viabiliza a avaliação de diferentes cenários de configuração estrutural (Geo Soluções, sd).

A relação entre essas funcionalidades e os princípios apresentados na GeoAcademy evidenciam que a redução do espaçamento vertical pode, em determinadas configurações, mitigar a necessidade de reforços com maior resistência. Esse comportamento é exemplificado na Figura 6, na qual geogrelhas de 50 kN/m (em azul) e elementos de 100 kN/m (em amarelo) apresentam fatores de segurança iguais para ruptura dos reforços em um arranjo com menor espaçamento, as situações A e B ilustram casos reais de muros estáveis.

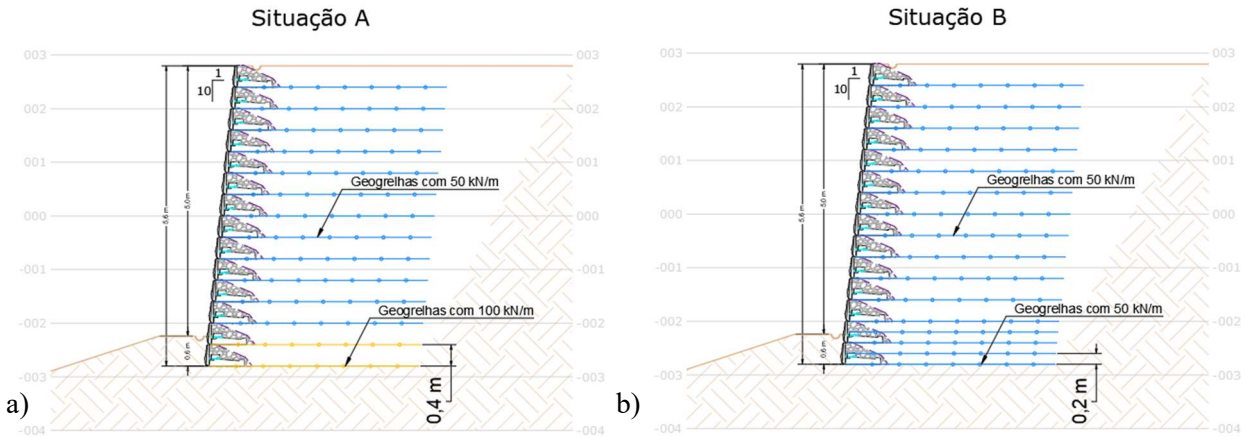


Figura 6. a) Reforços da Base Espaçados a 40 cm. b) Esforçados da base espaçados a 20 cm.

3.4 Análises de Estabilidade: ABNT NBR 16920-1 (2021)

Conforme a ABNT NBR 16920-1 (2021), a estabilidade externa considera o maciço de solo reforçado como um bloco monolítico, o que abrange as verificações de capacidade de suporte do solo de fundação, deslizamento na base e tombamento. Ademais, a norma também estabelece os critérios de estabilidade interna, que incluem a análise da ruptura estrutural dos reforços e do arrancamento, bem como das estabilidades de conexão com o paramento e global. Os fatores de segurança referentes a todos esses critérios encontram-se reunidos na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores de Segurança pela ABNT NBR 16920-1 (2021).

Estabilidade	**Mecanismo**	**Fator de segurança global mínimo**
Externa	Tensão admissível na fundação [a]	2,0 no bordo mais carregado
	Deslizamento	1,5
	Tombamento	2
Interna	Ruptura estrutural do reforço	1,5
	Arrancamento do reforço	1,5
Geral	-	Variável
Conexão com o paramento	-	1,5

[a] No caso de tratamento de fundação, cabe ao projetista apresentar a justificativa de fator de segurança adotado.

O GeoQore permite o cálculo automático das principais verificações de estabilidade externa e interna previstas na norma, com exceção da estabilidade global. Nesses casos, o fato de o *plug-in* operar diretamente no ambiente AutoCAD constitui uma vantagem adicional, pois possibilita a exportação imediata do modelo para softwares especializados, o que permite a continuidade e a integração do processo de projeto (GeoQore, sd.).

Além de apresentar, em sua interface principal, os fatores de segurança relativos a cada verificação de estabilidade, conforme ilustrado na Figura 7, o GeoQore disponibiliza o detalhamento sequencial dos cálculos efetuados. Esse material é disponibilizado no ambiente da aplicação, de forma acessível ao usuário.

ABNT NBR (Section 1)			
Active Thrust [kN/m]	113.57		
FSslide - Sliding Factor of Safety	2.42	✔ ok	
FSfound - Bearing on Foundation Soil Factor of Safety	4.87	✔ ok	
FSoverturning - Overturning Factor of Safety	4.45	✔ ok	
FSpull-out - Pull Out - Factor of Safety	4.7	✔ ok	
FSrupture - Reinforcement Rupture - Factor of Safety	1.02	⚠ not ok	

Figura 7. Fatores de Segurança Baseados na Norma ABNT NBR 16920-1.

Na análise dos fatores de segurança apresentada, o memorial de cálculo permite identificar os elementos que exigem atenção. No caso de problemas relacionados à resistência das geogrelhas, o *plug-in* indica, como mostrado na Figura 8, qual geogrelha apresenta necessidade de aumento de resistência.

```
***************************** Grid level: 1 ******************************
Z:                  6
Sv:                 0.5

------------------------------- Ti -------------------------------
Formule: Ti = (Sv * Ka1 * YSoil1 * Z) + (Sv * (Berm Density / longest grid) * Ka1) + (Sv * q * Ka1)
Values:  Ti = (0.5 * 0.42 * 19 * 6) + (0.5 * (0 / 4.2) * 0.42) + (0.5 * 20 * 0.42)
Result:  Ti = 28.26

----------------------------- Tdesign ------------------------------
Tdesign:            28.9    (StrataGrid SGu50)

----------------------------- FSrupt -------------------------------
Formule: FSrupt = Tdesign / Ti
Values:  FSrupt = 28.9 / 28.26
Result:  FSrupt = 1.02

GRID RESULT:        1.02    (FSrupture < 1.5, so is not ok!)
```

Figura 8. Memorial de Cálculo com Indicação de Geogrelha com Fator de Segurança de Ruptura Inadequado.

Essa funcionalidade pode facilitar a compreensão para os usuários que acompanham as aulas disponibilizadas na GeoAcademy. Na plataforma, a seção “Dimensionamento de Estrutura de Solo Reforçado – Exemplo de Dimensionamento” apresenta o procedimento completo de dimensionamento de um muro com base nos fatores de segurança preconizados pela ABNT NBR 16920-1:2021, cuja execução é possível no GeoQore. Assim, o usuário pode realizar cálculos manuais, consolidar o aprendizado teórico e comparar os resultados com os obtidos automaticamente pelo *plug-in*.

3.5 Critérios da BS 8006 e sua Implementação na Integração GeoAcademy-GeoQore

Além da ABNT NBR 16920-1:2021, os muros de solo reforçado também são tratados por normativas internacionais, entre as quais se destaca a BS 8006-1, cuja metodologia de projeto pode ser aplicada no GeoQore (Geo Soluções, s.d). Essa norma reúne critérios de dimensionamento e inclui parâmetros essenciais como o comprimento dos reforços e a profundidade de embutimento.

Os comprimentos dos reforços variam conforme a tipologia do muro. Para estruturas destinadas à função convencional de contenção, a BS 8006-1 (2010) determina um valor prescritivo correspondente a 70% da altura mecânica, associado a um comprimento mínimo de 3 m. Outros percentuais podem ser empregados em configurações diferentes, desde que atendam às disposições normativas.

A profundidade de embutimento constitui um parâmetro igualmente normatizado. A BS 8006-1 (2010) admite valores entre 5% e 20% da altura mecânica, definidos conforme o tipo de estrutura e as condições do projeto. Tal como ocorre com os comprimentos dos reforços, esses percentuais refletem prescrições específicas vinculadas à tipologia da estrutura adotada.

O GeoQore incorpora essas diretrizes ao permitir que o usuário defina livremente o comprimento total dos reforços e ao oferecer, em suas configurações, a seleção direta dos percentuais de embutimento de 5%, 10% ou 20%, compatível com os valores estabelecidos pelas normativas nacionais e internacionais.

Dado que os muros de solo reforçado apresentam diferentes configurações, o *plug-in* permite ajustar os comprimentos dos reforços de acordo com a solução escolhida. Essa funcionalidade está alinhada ao conteúdo da GeoAcademy, especialmente à seção “Dimensionamento de Estruturas de Solo Reforçado”, que reúne os fundamentos normativos que sustentam a compreensão e a aplicação prática desses critérios.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou que a integração entre a GeoAcademy e o GeoQore, que reúne funcionalidades práticas para AutoCAD, amplia as oportunidades de aprendizado na área de geossintéticos aplicados a muros e taludes reforçados. Embora originalmente independentes, os conteúdos teóricos da plataforma e as funcionalidades do *plug-in* podem ser correlacionados, o que permite que conceitos aprendidos em módulos educacionais sejam concomitantemente aplicados em cenários preliminares de projeto.

Apesar das compatibilizações apresentadas entre os conteúdos conceituais neste artigo, observa-se que a integração entre essas ferramentas ainda constitui uma proposta em desenvolvimento. A utilização conjunta já se demonstra útil para estudos autônomos e para a aplicação preliminar de conceitos, porém uma articulação mais estruturada entre os ambientes, com sequenciamento pedagógico, conexões diretas entre módulos e aplicações práticas, representa um potencial avanço para consolidar uma experiência educacional mais contínua e integrada.

Além disso, os resultados indicam que a combinação entre essas ferramentas digitais gratuitas amplia e facilita o acesso a informações técnicas e recursos de análise, a fim de contribuir para a democratização do conhecimento entre estudantes e profissionais da Engenharia. Ademais, a disponibilidade aberta desses recursos promove a difusão de conteúdo especializado e favorece a compreensão dos critérios de segurança e confiabilidade no emprego de geossintéticos, ao integrar teoria e prática de forma didática e tecnicamente consistente.

Por fim, a integração desses recursos ao processo de ensino e aprendizagem configura-se como uma estratégia destinada a complementar, e não a substituir, iniciativas já consolidadas, como o programa "Educando Educadores" da IGS Brasil. Tal abordagem amplia a flexibilidade de acesso ao conhecimento, pois permite que o conteúdo seja consultado a qualquer momento e em diferentes localidades, em razão de sua natureza digital.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Geossintéticos. (s.d.) Programa Educando Educadores. Disponível em: <https://igsbrasil.org.br/educando-educadores/>. Acesso em: 25 jan. 2026. 6.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16920-1. *Muros e taludes em solos reforçados Parte 1: Solos reforçados em aterros*. Rio de Janeiro.

British Standards Institution (2010). BS 8006-1: *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills.*

Ehrlich, M., Becker, L. (2020) *Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução*, 2. ed., Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil, 128 p.

GeoAcademy. (s.d.) *Sobre a GeoAcademy*. Disponível em: <https://geoacademy.com.br/p/about>. Acesso em: 28 jan. 2026.

GeoQore (s.d.) *Manual Técnico*. Disponível em: <https://arsenaltechno.com/GeoQore/ManualABNT_rev4.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2026.

Geo Soluções (s.d.) *GeoQore Autocad plugin for soil reinforced structures*. Disponível em: <https://www.geosolucoes.com/geoqore>. Acesso em: 25 jan. 2026.

Gerscovich, D., Saramago, R., Danziger, B. R. (2019) *Contenções: teoria e aplicações em obras*, 2. ed., Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil, 320 p.

Guidicini, G., Nieble, C. M. (1984) *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*, 2. ed., Editora Blucher, São Paulo, SP, Brasil, 216 p.

Kimura, A. (2018) *Informática aplicada a estruturas de concreto armado*, 2. ed., Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil, 432 p.

Vertematti, J. C. (2015) *Manual brasileiro de geossintéticos*, 2. ed., Editora Blucher, São Paulo, SP, Brasil, 670 p.