

# Análise de estabilidade de taludes usando o GeoStudio e o PLAXIS

Como a abordagem integrada ajuda engenheiros a trabalhar de maneira mais produtiva, obter melhores insights e executar projetos com mais eficiência





# Introdução

**No setor de mineração**, a estabilidade de taludes é uma questão de segurança e também econômica. A ruptura de um talude representa perigo real para os trabalhadores. Além disso, eventos catastróficos como esse podem interromper as operações de mineração e prejudicar a lucratividade de maneira significativa.

Esse tipo de incidente é mais preocupante em grandes cavas a céu aberto, pois são menos estáveis e mais propensas a rupturas.

A estabilidade de taludes sempre foi um aspecto preocupante, mas agora é ainda mais crítico. As empresas de mineração estão cavando mais fundo, pois buscam aumentar os lucros em cada campo. No entanto, o risco de desestabilização aumenta.

A estabilidade de taludes é igualmente importante no setor de **engenharia civil**, pois uma pequena ruptura também pode causar um impacto enorme na estabilidade de uma estrutura. Nesse setor, estabilidade significa segurança. Os engenheiros geotécnicos devem projetar estruturas permanentemente resistentes para proteger as pessoas e o meio ambiente.

A estabilidade de taludes não pode ser negligenciada ou subestimada. Mas isso não significa que o processo será fácil sempre. O trabalho dos engenheiros depende bastante da modelagem numérica para desenvolver projetos e avaliar problemas de estabilidade de taludes. Mas cada método de modelagem numérica tem os próprios processos e especificidades, e o resultado é melhor quando são aplicados da maneira correta e nas condições adequadas.

Escolher entre análise em 2D e análise em 3D pode ser igualmente difícil. Geralmente, a análise em 2D simplifica muito as estruturas e topografias de subsuperfícies complexas. Com isso, os engenheiros tornam-se excessivamente conservadores nas estimativas. Essa análise também pode ignorar mecanismos essenciais que afetam a estabilidade.

Comparativamente, a análise em 3D fornece uma representação mais precisa da geologia do campo, pois oferece uma precisão mais geométrica e considera condições anisotrópicas de maneira mais realista. Mas a análise em 3D também requer mais dados de campo, especialmente quando é necessário usar modelos geológicos mais complexos e interpretar resultados de maneira mais abrangente.

Portanto, o maior desafio de qualquer projeto de estabilidade de taludes costuma ser identificar o melhor tipo de análise para cada caso.

Neste eBook, vamos analisar mais detalhadamente as vantagens e desvantagens de cada tipo de análise. E, sobretudo, vamos mostrar como todas as técnicas (análise em 3D, análise em 2D, método de elementos finitos e método de equilíbrio limite) se complementam. Juntas, elas oferecem flexibilidade, precisão e insights para que engenheiros possam garantir segurança às pessoas e agilidade aos projetos.

# Sumário

Neste eBook, vamos explorar:

## **Seleção de um método – método de equilíbrio limite**

- As vantagens do método de equilíbrio limite
- As limitações do método de equilíbrio limite
- Como aplicar o método de equilíbrio limite

## **Seleção de um método – método de elementos finitos**

- As vantagens do método de elementos finitos
- As limitações do método de elementos finitos
- Principais considerações no uso do método de elementos finitos

## **O melhor dos dois métodos – combinação entre o método de equilíbrio limite e o método de elementos finitos**

- Como o método de elementos finitos e o método de equilíbrio limite se integram?
- Quando combinar o método de equilíbrio limite e o método de elementos finitos?
- Um guia passo a passo para combinar o método de equilíbrio limite e o método de elementos finitos

## **Estabilidade de um projeto de construção de rodovia usando o método de equilíbrio limite e o método de elementos finitos**

- Visão geral de um projeto da Seequent
- Os desafios na modelagem de vários fatores de segurança
- Como o método de equilíbrio limite e o método de elementos finitos favorecem novos insights?

## **Análise em 3D ou em 2D?**

- Vantagens e desvantagens de modelos em 2D
- Vantagens e desvantagens de modelos em 3D
- Como escolher entre análise em 2D e análise em 3D para um projeto de estabilidade de taludes?

## **Uma abordagem integrada para análise de estabilidade de taludes**

- Vantagens de uma abordagem integrada
- O ecossistema da Bentley/Seequent

# Seleção de um método – método de equilíbrio limite

## As vantagens do método de equilíbrio limite e como usá-lo



Qual método de modelagem numérica é adequado para a minha análise de estabilidade de taludes?

Normalmente, essa pergunta gera divergências entre engenheiros geotécnicos. E talvez seja difícil identificar o método capaz de garantir um equilíbrio perfeito entre eficiência e precisão para o seu projeto.

Mas, se você usa as ferramentas certas, é fácil escolher entre os dois métodos mais relevantes, o método de equilíbrio limite (LEM, Limit Equilibrium Method) e o método de elementos finitos (MEF), de acordo com as necessidades do projeto.

Neste capítulo, vamos mostrar como os recursos do GeoStudio podem ser úteis para os seus projetos.

# Como e quando usar o método de equilíbrio limite?

O LEM avalia o equilíbrio de um solo ou maciço rochoso, em especial a sua tendência a deslizamentos causados por influência da gravidade.

Com o LEM, um engenheiro geotécnico pode comparar as forças e os momentos que resistem ao movimento com as forças e os momentos que geram esse movimento.

Os dados de saída do LEM são um fator de segurança (FOS, Factor Of Safety). Um FOS inferior a 1.0 indica instabilidade.



## As vantagens do método de equilíbrio limite

### Eficiência

O tempo de cálculo é relativamente rápido com o LEM. Isso significa mais tempo para avaliar diferentes formas de ruptura, além dos vários mecanismos que afetam a estabilidade.

### Flexibilidade

O LEM pode ser usado em inúmeras situações de estabilidade de taludes naturais e antropogênicos. Ele também pode ser usado para taludes reforçados, pois permite modelar variados tipos de reforço a fim de considerar a resistência às forças de cisalhamento e de arrancamento.

### Abrangência

O LEM pode representar as características de resistência da maioria dos tipos de rocha e solo (do modelo linear de Mohr-Coulomb a resistências não lineares com e sem drenagem). Isso inclui opções não saturadas e anisotrópicas.

O LEM também pode modelar a poropressão usando vários métodos, além da integração com infiltração de elementos finitos ou análise de consolidação. Isso é fundamental. Como a água pode ter um impacto significativo na estabilidade de um talude, é essencial considerar a poropressão.

### Facilidade de configuração

O LEM é relativamente fácil de configurar e interpretar. Portanto, é possível avaliar rapidamente diferentes partes de um talude usando vários métodos de busca de superfície de deslizamento. Isso aumenta a confiança para compreender os locais propensos a um mecanismo de ruptura.



## LEM no GeoStudio – uma avaliação de segurança em uma cava a céu aberto

Como usar o LEM no GeoStudio? Vamos usar o exemplo de uma cava a céu aberto que requer uma avaliação de segurança.

### 1. Criar o modelo geológico em 3D ou uma geometria de seção em 2D no GeoStudio

Nessa etapa, inclua a geometria e os detalhes das propriedades dos materiais e, em seguida, selecione o modelo de materiais com resistência a cisalhamento que seja mais representativo para cada camada. Além disso, atribua condições para as zonas frágeis, como falhas, na geometria.

### 2. Definir os parâmetros da análise com o LEM

Selecione o tipo de LEM e, em seguida, defina a massa deslizante usando um dos vários métodos de busca de superfície de deslizamento. Os componentes adicionais, como condições de poropressão, também podem ser incluídos na análise.

### 3. Iniciar a análise

Após as configurações iniciais, todo o domínio de cava a céu aberto ou o subdomínio especificado é analisado no GeoStudio para localizar a área do domínio mais propensa a rupturas.

### 4. Avaliar os dados de saída

No módulo de dados de saída, é possível verificar a superfície de deslizamento da avaliação com as massas deslizantes categorizadas pelo fator de segurança. Dessa forma, é possível verificar o risco relativo de várias zonas de interesse. Em seguida, verifique mais detalhes dos locais de interesse para averiguar melhor a estimativa de massa de ruptura em 3D e a superfície crítica de deslizamento não circular em zonas frágeis.

### 5. Comparar os fatores de segurança em 2D e em 3D

No GeoStudio, é possível avaliar os fatores de segurança em 2D e em 3D para aumentar a sua confiança nos resultados. Dessa forma, se você compreender a influência da geometria e da variação dos parâmetros de materiais na probabilidade de ruptura, poderá reduzir os riscos.

Agora, vamos ver esse processo em uma cava a céu aberto.

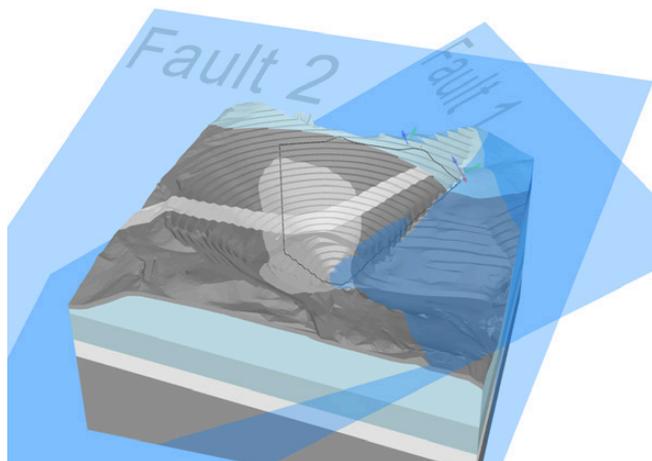
## ESTUDO DE CASO

# Estabilidade controlada da estrutura de uma cava a céu aberto

## ■ O desafio

As feições estruturais, como falhas e descontinuidades, controlam o comportamento do maciço rochoso e são fatores importantes no controle da estabilidade de taludes de rochas. Em muitos casos, a estrutura determina a complexidade do mecanismo de ruptura, que pode variar de ruptura translacional a uma ruptura complexa causada por vários mecanismos.

Em rochas sedimentares, os planos de fragilidade podem ocorrer no acamamento e causar deslizamento se esse acamamento estiver exposto. Da mesma forma, planos de falha normalmente geram superfícies de deslizamento ou superfícies de alívio. É fundamental identificar o impacto dessas estruturas geológicas no FOS calculado para segurança e desenvolvimento do projeto de uma cava a céu aberto.



Geometria da cava a céu aberto com a posição das duas maiores falhas

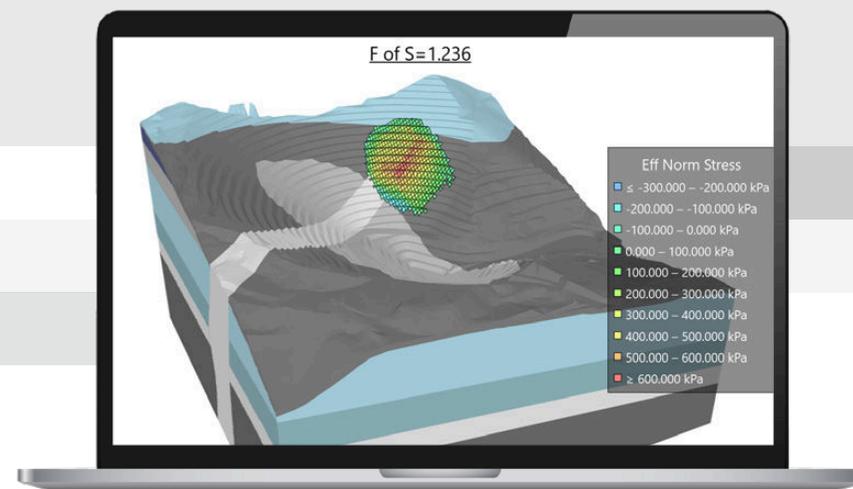
## ■ A solução

A primeira etapa foi criar uma geometria que identificasse o nível necessário de complexidade da geologia do campo. Para isso, um modelo geológico no Leapfrog (um produto da Seequent) foi criado usando os dados dos furos de sondagem e as superfícies em meshes.

Com o Central da Seequent, a solução baseada em nuvem para gerenciamento de modelos, o engenheiro integrou dinamicamente o GeoStudio ao modelo geológico no Leapfrog e o usou para definir a geometria em 3D.

Após a definição da geometria e dos materiais, a etapa seguinte foi definir a geometria das falhas de interesse. Nesse caso, o mergulho e a direção do mergulho das duas estruturas foram medidos diretamente no campo. Esses dados foram usados no GeoStudio para definir os planos, que foram convertidos em meshes de plano de fundo. Na etapa final, um modelo de materiais de baixa resistência foi associado a cada falha para representar a resistência de um material de preenchimento de falhas.

A forma e a resistência ao cisalhamento da massa deslizante foram alteradas para superfícies de deslizamento da avaliação na interseção com as falhas. A análise mostrou que o FOS era inferior a um valor aceitável quando havia interação entre as duas falhas. Mais importante do que isso, com o processamento rápido e a configuração simples do GeoStudio, o engenheiro foi capaz de explorar o local crítico da superfície de deslizamento com vários cenários e propriedades de resistência.



Análise do local crítico da massa deslizante e o fator de segurança associado às duas falhas

# Seleção de um método – método de elementos finitos

**Análise de resistências com o método de elementos finitos e um guia passo a passo para conhecer as vantagens de usá-lo**



Com o MEF, engenheiros realizam uma ou mais análises de segurança após a análise de deformação e/ou consolidação.

A resistência real com o MEF é obtida verificando se os requisitos de segurança para desenvolver um projeto foram atendidos durante a execução do projeto e após sua conclusão.

Assim como o LEM, os dados de saída do MEF são um FOS, nesse caso, o fator de redução de resistência nas falhas em taludes.



## As vantagens do método de elementos finitos

### Automático

Com o MEF, o modelo forma automaticamente o mecanismo de ruptura mais prevalente em áreas onde a resistência ao cisalhamento mobilizado não é suficiente para a tensão de cisalhamento.

### Abrangência

O MEF pode ser usado para fazer a modelagem de solo e rochas, além de variadas condições da água. Com isso, os engenheiros criam uma imagem mais detalhada e abrangente da estabilidade de taludes em uma variedade muito maior de cenários. Por sua vez, isso aumenta a confiança do engenheiro nos resultados da análise.

### Adaptável

O MEF favorece insights sobre deformação e permite a evolução da superfície de deslizamento com base nas características de resistência e rigidez do solo ou das rochas. Ele também estima a tensão resultante e a poropressão. Em conjunto, essas análises favorecem insights importantes sobre a segurança dos taludes, os possíveis riscos e as medidas de estabilização que precisam ser implantadas.



## Uso do MEF no PLAXIS

Em uma análise de estabilidade de taludes no PLAXIS, é necessário considerar vários aspectos práticos que podem aumentar ou reduzir a confiabilidade do valor do FOS resultante:

### 1. Verificar se a mesh está refinada o suficiente

Uma mesh com espessura muito grossa supervaloriza o FOS. Além disso, certifique-se de que a análise de segurança inclua etapas de cálculo suficientes para que o mecanismo de ruptura seja completamente desenvolvido, conforme mencionado abaixo.

### 2. Considerar a influência da sucção

Refaça os cálculos anteriores incluindo sucção para que a análise de segurança forneça FOS mais altos. Esses fatores de segurança serão menos conservadores, mas serão mais realistas.

### 3. Definir onde e como avaliar o FOS

É possível obter o FOS na tabela de informações de cálculos do PLAXIS. Mas, normalmente, é necessário avaliar o FOS usando um gráfico de curva. Selecione um ponto de monitoramento na área geral onde há possibilidade de ruptura de talude. O gráfico de curva é gerado após o cálculo de análise de segurança e mostra os deslocamentos do ponto de controle em relação ao fator de redução de resistência do modelo. Em princípio, a curva deve atingir uma assíntota que corresponde ao FOS.

### 4. Programar etapas de cálculo suficientes

Uma pequena etapa ou o aumento do FOS deve causar uma grande mudança no deslocamento. É possível verificar, no gráfico de curva, se esse é o caso da análise. Se não for, realize a análise de segurança com mais etapas de cálculo. A verificação dos gráficos de sombra dos deslocamentos incrementais (que mostram os deslocamentos na última etapa do cálculo) ou das deformações por cisalhamento ajudam a identificar o mecanismo de ruptura que ocorre.

## Solução para um desafio complexo de escavação de túnel em construção de rodovia usando o PLAXIS 3D

### ■ O desafio

Enquanto construía uma rodovia que interligava as cidades de Tepic e Puerto Vallarta na costa oeste do México, uma equipe de especialistas em construção subterrânea descobriu um grande maciço rochoso que estava deslizando próximo ao portal de um túnel. A causa era um corte aberto pela reativação de uma falha geológica. Era a estação de chuvas na região e, consequentemente, o talude se movimentava mais rápido do que o esperado.

Também surgiu uma falha no portal do túnel e, por isso, o nível de risco tornou-se alto no local da construção.

Esses fatores combinados indicaram a inviabilidade de estabilizar o deslizamento e a falha no portal usando os métodos convencionais.

Da mesma forma, os trabalhos de escavação para abrir o portal do túnel também foram afetados pela instabilidade do maciço rochoso. Havia um alto risco de que o trabalho desencadeasse um mecanismo de ruptura enorme.

Toda a equipe enfrentava um problema geotécnico complexo, que precisava ser resolvido rapidamente para garantir a segurança das equipes no campo e o sucesso do projeto.



### ■ A solução

A equipe decidiu interligar o túnel, o recorte aberto do portal e a zona do deslizamento de terra a um túnel com cobertura e recorte muito rígidos, mas protegido por uma grande cortina de estacas de concreto e tirantes ativos.

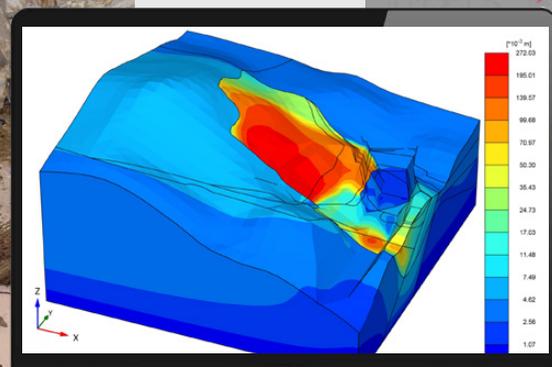
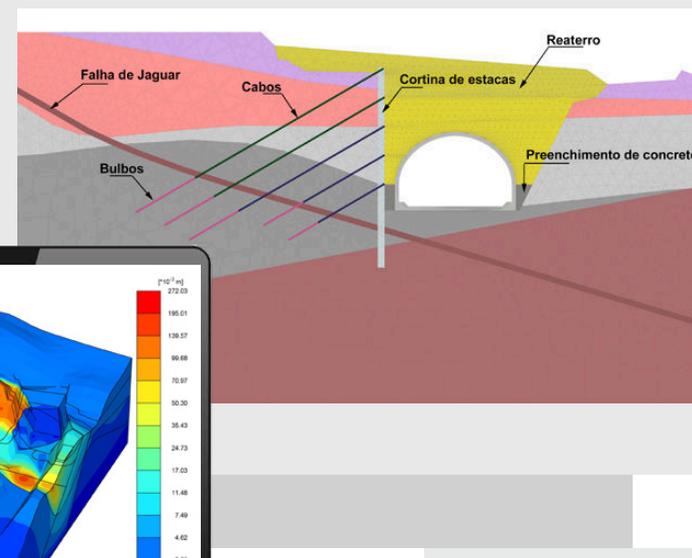
Antes de executar essa solução, a equipe precisava recriar um modelo geotécnico em 3D o mais próximo possível da realidade para modelar a solução proposta com precisão.

Foram oito meses de estudo exaustivo do terreno, que incluiu a instalação de piezômetros, o monitoramento da superfície, a sondagem e o mapeamento geológico/geotécnico da área de estudo.

Após a avaliação dos resultados do campo, eles criaram um modelo em 3D no PLAXIS para representar o movimento do maciço rochoso da maneira mais precisa possível. No PLAXIS, eles também usaram um conjunto de seções transversais em 2D, que foram ajustadas para complementar as informações do modelo em 3D com um nível mais alto de refinamento.

Por fim, esses modelos foram usados para calcular as novas escavações, as estruturas e os preenchimentos compactados do projeto.

“Embora a solução proposta não tenha sido a menos cara, é a melhor solução de longo prazo e a mais econômica, pois foi possível calcular e modelar a solução mais segura para o problema de estabilidade, além de recuperar o terreno afetado pela escavação aberta”, comentou o Dr. Fermín Sanchez Reyes, engenheiro geotécnico líder do projeto.



# O melhor dos dois métodos – combinação entre o método de equilíbrio limite e o método de elementos finitos

**Como combinar duas formas de modelagem numérica aumenta os detalhes de uma análise além de evitar problemas**



Decidir entre o LEM e o MEF pode ser complicado, e muitos engenheiros sentem que escolher um método em vez do outro gera lacunas na análise.

Com as ferramentas certas, o LEM e o MEF podem ser complementares, ou seja, podem ser integrados para fornecer uma perspectiva mais completa da estabilidade de taludes. Isso aumenta a confiança na precisão da análise no processo.

Uma análise combinando o LEM e o MEF permite considerar cada fator que pode afetar a estabilidade de taludes.

De fato, em algumas situações, faz mais sentido escolher apenas um dos métodos. Por exemplo, o LEM é perfeito para situações que exigem controle total do mecanismo que está sendo considerado. O MEF, por outro lado, favorece mais insight sobre deformação e interação entre solo e estrutura para taludes reforçados.

Mas, em situações que exigem mais detalhes, combinar as duas formas de análise garante aos engenheiros novos níveis de compreensão. Isso significa que não é obrigatório fazer estimativas conservadoras para ter um buffer de ruptura. Em vez disso, é possível divulgar aos stakeholders todas as informações necessárias para que aumentem o potencial do campo.

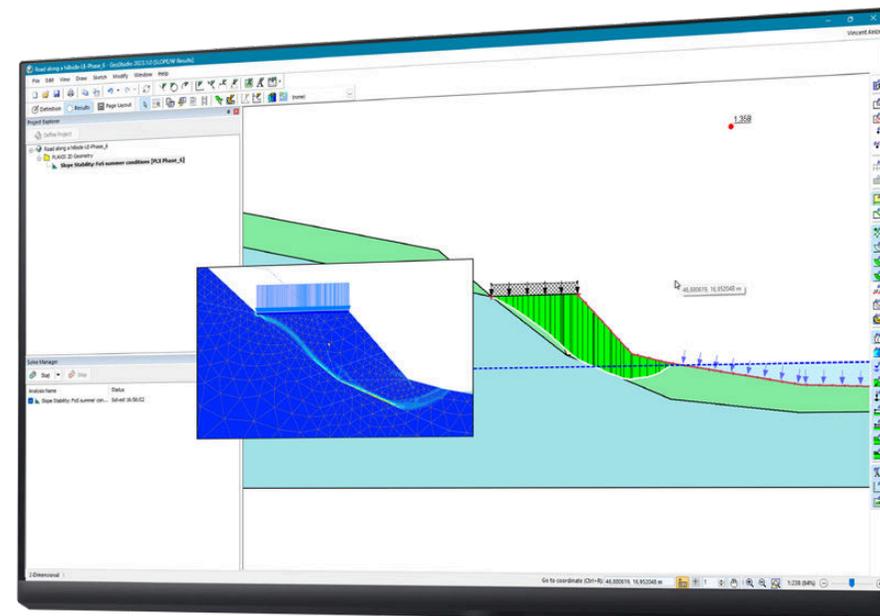
# Como é uma análise de estabilidade de taludes combinando o LEM e o MEF?

Para determinar um fator de segurança, o método de redução da resistência é uma ferramenta muito eficiente para obter a superfície de deslizamento mais crítica, que pode ser circular ou ter qualquer outra forma. No entanto, algumas situações exigem mais informações do que apenas os dados da superfície de deslizamento mais crítica ou quando a relevância da superfície de deslizamento é menor do ponto de vista da engenharia.

Nesses casos, determinar um FOS usando o método de equilíbrio limite é a solução. Com o método de equilíbrio limite, é possível especificar exatamente em qual parte do modelo o FOS deve ser determinado, e esse método ainda determina a superfície de deslizamento possivelmente não circular e mais crítica nessa área. Isso também permite determinar vários fatores de segurança para diferentes partes de um único modelo.



Assista ao vídeo



**01.**

Inicie a análise de estabilidade de taludes com o LEM no GeoStudio.

**02.**

Após criar o modelo do LEM, refine-o integrando os cálculos gerados pelo MEF a esse modelo.

**03.**

Em seguida, usando o PLAXIS, avalie as situações mais críticas no gráfico de resultados com análises detalhadas com o MEF para otimizá-las o máximo possível e reduzir os custos.

# Estabilidade de um projeto de construção de rodovia usando o método de equilíbrio limite e o método de elementos finitos

## LEM e MEF juntos em ação



Vamos ver um caso em que o LEM e o MEF foram usados em conjunto para realizar uma análise mais detalhada e abrangente.

## ESTUDO DE CASO

### Visão geral das condições da rodovia recém-construída

#### ■ O desafio

Um novo trecho da rodovia estava em construção ao longo da linha costeira de uma baía das marés na Ilha Norte da Nova Zelândia.

Idealmente, a rodovia seria construída afastada da baía para reduzir a probabilidade de instabilidade. Mas, como a figura acima mostra, essa área era uma propriedade privada. Consequentemente, uma nova rodovia precisava ser construída ao longo do gradiente mais inclinado na linha costeira da baía das marés.

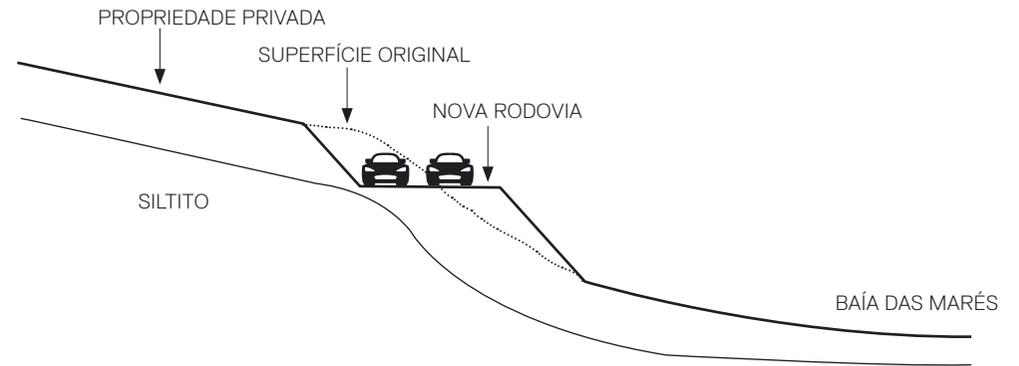
Durante o primeiro inverno após a construção da rodovia, ela começou a apresentar inclinação em direção à baía das marés. Isso indicava risco de queda de rochas e deslizamentos de terra sobre a rodovia.

Para resolver essas questões, a equipe decidiu realizar uma outra análise de estabilidade de taludes acima da rodovia.

No entanto, a complexidade da situação era um sinal de que uma forma de modelagem numérica não forneceria os detalhes e a precisão que a equipe precisava. O método de redução de resistência do MEF indicaria a superfície de deslizamento mais crítica, mas não seria tão eficaz em determinar um FOS para uma área específica. Então, a equipe decidiu combinar o MEF e o LEM para determinar a estabilidade do talude acima da rodovia.

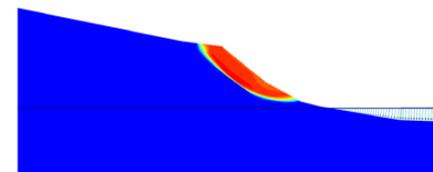
Os principais objetivos do projeto eram:

- Determinar o FOS da encosta original
- Modelar a nova rodovia em condições secas (verão) e calcular o FOS
- Simular condições úmidas (inverno) e calcular o FOS
- Instalar grampos estabilizantes de solo e calcular o FOS em condições úmidas
- Calcular a estabilidade do talude acima da rodovia usando o LEM

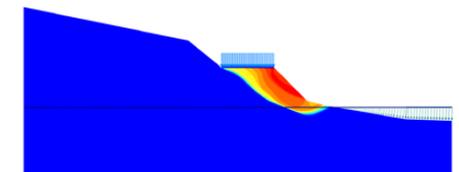


#### ■ A solução

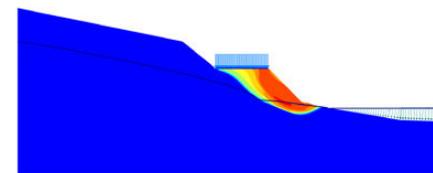
Os resultados da análise com o MEF mostraram que, após a instalação de todos os grampos, a área mais crítica dos taludes apresentava bastante variação dependendo das condições climáticas. No inverno, o talude acima da rodovia exigia mais atenção, mas, em outras condições, o talude abaixo da rodovia parecia o mais crítico.



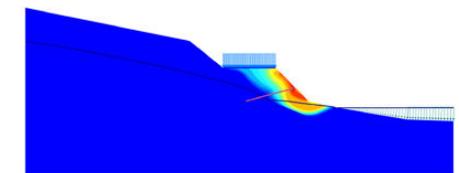
Antes da construção



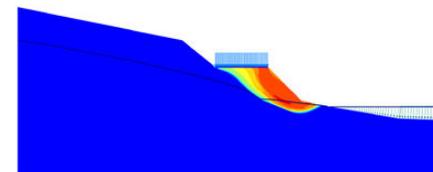
Condições no verão



Condições no inverno (sem grampos)



Condições do inverno (grampos superiores)



Condições no inverno (sem grampos)

Análise com o MEF – deslocamentos incrementais mostrando mecanismos de ruptura



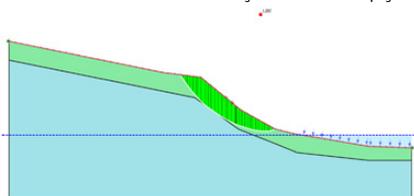
No entanto, as autoridades rodoviárias exigiam informações mais detalhadas do que apenas a ruptura mais crítica. Para cumprir as normas dessas autoridades, a equipe precisava determinar o FOS comparando dois cenários:

### 1. Perda total da rodovia:

Quando o talude abaixo da rodovia se rompe ou quando ocorre a ruptura de toda a encosta. O FOS mínimo exigido em relação a perda total é 1,8.

### 2. Interrupção temporária do serviço:

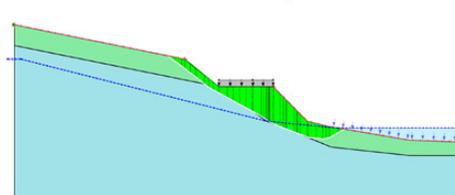
Quando o talude acima da rodovia se rompe e solo/rochas bloqueiam o tráfego temporariamente. Essa ruptura é considerada menos grave; portanto, o FOS mínimo necessário em relação a interrupção do serviço é 1,6.



Antes da construção



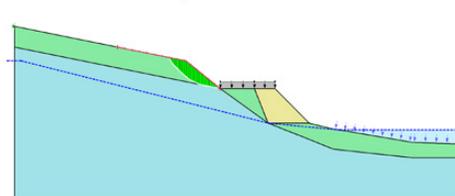
Superfície de deslizamento abaixo da rodovia simulando uma rodovia resistente



Superfície de deslizamento para estabilidade de todo o talude



Superfície de deslizamento abaixo da rodovia simulando uma rodovia frágil



Superfície de deslizamento do talude superior

Ainda assim, foi difícil determinar com precisão o fator de segurança dos mecanismos locais de ruptura nos taludes usando apenas o MEF. O MEF apenas identifica o mecanismo mais crítico, mas não é capaz de apresentar fatores de segurança para a perda total e a interrupção temporária do serviço da rodovia.

Então, a equipe decidiu incluir o LEM para determinar todos os fatores de segurança relevantes. Eles realizaram a análise com o LEM para a fase após a construção da rodovia e com grampos superiores instalados considerando as condições no verão e no inverno para determinar os respectivos fatores de segurança.



## Conclusões

Com uma análise combinando o LEM e o MEF, a equipe poderia desenvolver projetos geotécnicos com informações consideravelmente mais detalhadas. Ou seja, a equipe obteve resultados muito mais abrangente e também verificou amplamente as conclusões da análise com o MEF comparando-a com os resultados do LEM.

Novas conclusões:

- No verão e no inverno, talvez não fosse possível obter o FOS necessário em relação à perda total da rodovia sem medidas complementares.
- No verão e no inverno, o FOS necessário em relação à interrupção temporária de serviço poderia ser atingido; portanto, nenhuma medida complementar de estabilização seria necessária para o talude acima da rodovia.

Com a instalação de uma série de grampos de solo, o FOS necessário pode ser atingido conforme a análise com o LEM, mas depende da influência (variável) de reforços da rodovia.

- Quando todos os grampos de solo estiverem instalados, o fator de segurança necessário em relação à perda total e à interrupção do serviço é atingido. No entanto, o risco de ruptura local abaixo da margem da rodovia permanece.
- A instalação de todos os grampos de solo é, provavelmente, a melhor maneira de garantir a estabilidade da rodovia.

Ao combinar o MEF e o LEM, a equipe percebeu que poderia atender com facilidade vários requisitos de fatores de segurança sem comprometer a eficiência e a precisão. Nesse caso, com o MEF, eles identificaram a superfície de deslizamento mais crítica em qualquer fase do projeto. E pela análise com o LEM, a equipe determinou fatores de segurança em relação a outras eventualidades críticas, como perda total da rodovia e interrupção temporária do serviço. O mais importante é que a análise com o LEM foi validada em relação aos resultados da análise com o MEF. Os dois métodos foram fundamentais para o sucesso do projeto.

# Análise em 3D ou em 2D?

Como escolher entre análise em 2D e análise em 3D para um projeto de estabilidade de taludes?

Há outra escolha que normalmente intriga os engenheiros. A análise deve ser realizada em 2D ou em 3D?

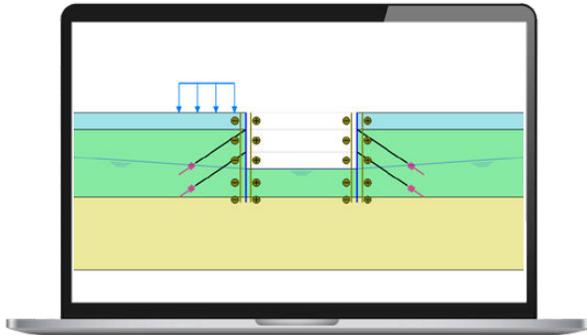
Os dois métodos têm vantagens inquestionáveis, mas também têm desvantagens.

Mais uma vez, é necessário decidir qual é o método adequado ao seu projeto. E, em alguns casos, é melhor descobrir uma maneira de combinar a análise em 2D e em 3D para obter mais insights.

## Simplificação com 2D...

Geralmente, a análise em 2D é a opção menos detalhada, mas tem algumas vantagens e é mais adequada a muitos projetos, pois a configuração e o tempo de cálculo são mais rápidos.

Normalmente, a análise em 2D é mais fácil de configurar do que a análise em 3D, e as tarefas, como definir a geometria, são concluídas em menos tempo. E, como o modelo de resultados é muito menor, o tempo de cálculo da análise em 2D costuma ser muito mais rápido do que na análise em 3D.



### Quando ela deve ser usada?

A análise em 2D é perfeita quando não há mecanismos em 3D que controlam a estabilidade. Use-a em projetos com geometrias quase lineares e uniformes, condições de poropressão relativamente simples e propriedades de materiais isotrópicos.

## ...ou mais detalhes com 3D?

A análise em 3D apresenta muito mais detalhes geométricos do que a análise em 2D.

A maior desvantagem é que esses detalhes complementares significam mais tempo de configuração e análise em 3D do que em 2D. Mas esse tempo extra é compensado com mais informações. Em 3D, é possível explorar mecanismos que não podem ser identificados em 2D, e a representação de alguns sistemas físicos é melhor.

Após a criação da geometria em 3D, é possível analisá-la em 3D ou usar muitas seções transversais em 2D. Isso garante uma imagem mais representativa do espaço na análise de estabilidade do campo de interesse, reduz (em longo prazo) o tempo necessário para desenvolver o projeto de engenharia e melhora a qualidade do produto final do projeto.

Como a modelagem em 3D é mais detalhada, ela representa melhor a realidade do campo. Ela permite coletar dados de locais maiores e mais complexos em modelos mais precisos. Ela também facilita o uso de dados multidisciplinares para integrar modelos em todo o ciclo de vida do projeto e para tomar decisões com base em informações mais detalhadas. Dessa forma, é possível combinar os seus dados e a análise, além de criar uma imagem mais precisa do talude.

Embora o tempo de modelagem em 3D seja maior, a ferramenta adequada permite reduzir consideravelmente o tempo para criar um modelo. Busque soluções, como o PLAXIS e o GeoStudio, que tenham ferramentas para modelagem que facilitem a inclusão de rupturas locais, descontinuidades e planos frágeis, além de cargas, deslocamentos, elementos estruturais e reforços.

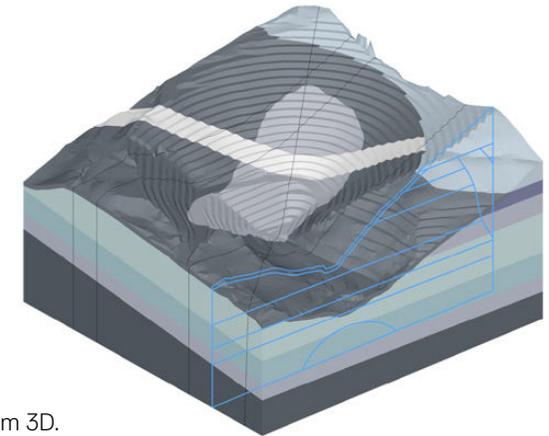
## Quando ela deve ser usada?

Em análises que envolvem complexidades relacionadas a geologia, águas subterrâneas, estrutura geológica e topografia. Quando muitos fatores distintos afetam a estabilidade de um talude e quando é necessário ter um alto grau de certeza para avançar no projeto.

Se você realizou uma análise em 2D e está se perguntando se é necessário criar um modelo em 3D, responda essas perguntas:

- A natureza da geometria real em 3D pode ter um impacto negativo sobre o valor do FOS em 2D?
- Ou pode gerar um efeito positivo para reduzir custos de desenvolvimento do projeto e construção?

Se a resposta a qualquer uma dessas perguntas for sim, provavelmente é o momento de pensar em criar um modelo em 3D.

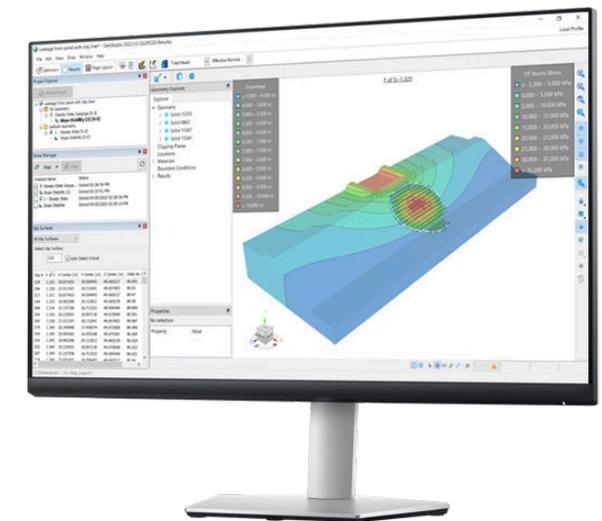


## O equilíbrio

A análise em 3D e a análise em 2D têm vantagens e desvantagens; portanto, elas são ideais para algumas situações e inadequadas para outras.

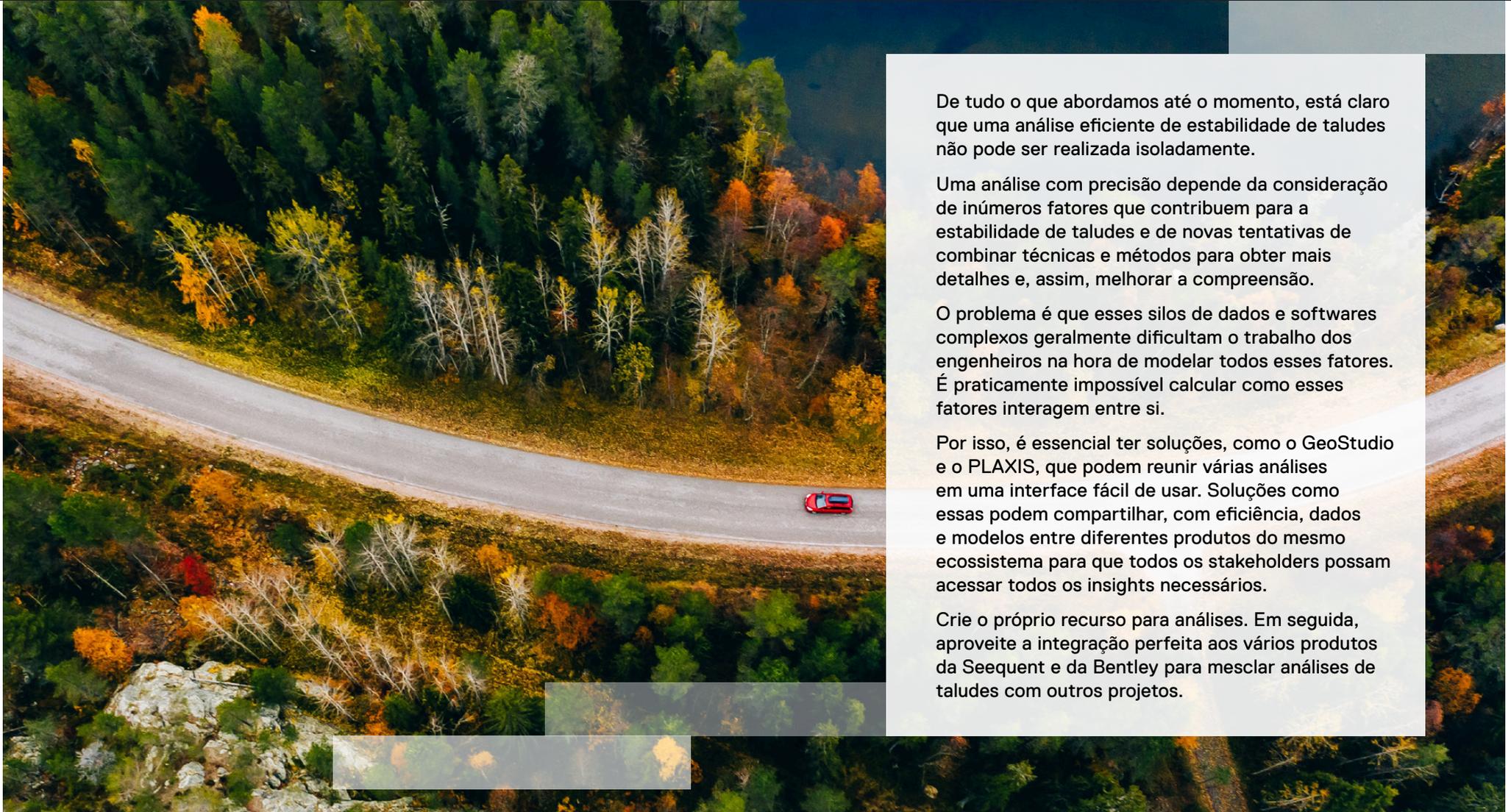
Mas, para encontrar o equilíbrio perfeito entre precisão e eficiência, a maioria das equipes de geociência precisa usar as duas ferramentas. Essas equipes precisam ser capazes de alternar com facilidade entre a análise em 3D e a análise em 2D, além de compartilhar todos os insights entre as duas análises, quando assumem novos projetos e exploram novas possibilidades.

Nesse caso, o PLAXIS e o GeoStudio devem ser usados. Eles foram projetados para trabalhar juntos, ou seja, com integração perfeita para garantir aos engenheiros o uso das análises necessárias e quando necessário.



# Uma abordagem integrada para análise de estabilidade de taludes

Visão completa usando os métodos combinados e modelos detalhados



De tudo o que abordamos até o momento, está claro que uma análise eficiente de estabilidade de taludes não pode ser realizada isoladamente.

Uma análise com precisão depende da consideração de inúmeros fatores que contribuem para a estabilidade de taludes e de novas tentativas de combinar técnicas e métodos para obter mais detalhes e, assim, melhorar a compreensão.

O problema é que esses silos de dados e softwares complexos geralmente dificultam o trabalho dos engenheiros na hora de modelar todos esses fatores. É praticamente impossível calcular como esses fatores interagem entre si.

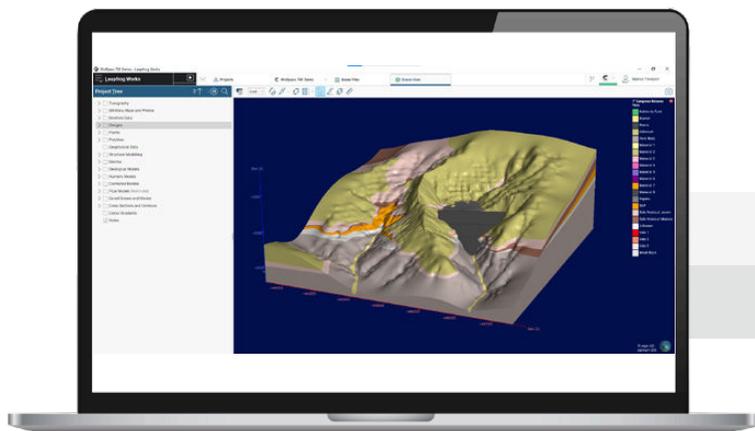
Por isso, é essencial ter soluções, como o GeoStudio e o PLAXIS, que podem reunir várias análises em uma interface fácil de usar. Soluções como essas podem compartilhar, com eficiência, dados e modelos entre diferentes produtos do mesmo ecossistema para que todos os stakeholders possam acessar todos os insights necessários.

Crie o próprio recurso para análises. Em seguida, aproveite a integração perfeita aos vários produtos da Seequent e da Bentley para mesclar análises de taludes com outros projetos.

# Compartilhamento e uso de insights com facilidade usando os produtos da Seequent e da Bentley

O GeoStudio e o PLAXIS fazem parte do ecossistema da Seequent e da Bentley. Eles ajudam a integrar os dados de saída de análises de estabilidade de taludes ao fluxo de trabalho dos projetos.

**Não sabe por onde começar? Comece com dois dos nossos maiores produtos:**



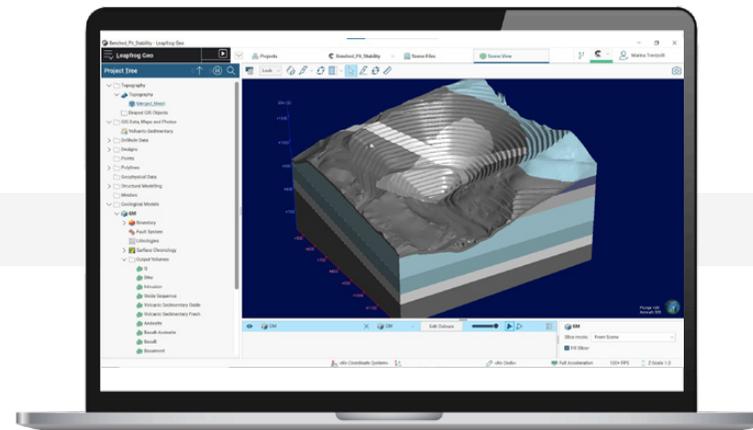
## Modelagem geológica em 3D usando o Leapfrog

O Leapfrog é uma solução revolucionária para compreender, visualizar e divulgar as condições do solo. Ele é um software para modelagem geológica implícita em 3D que permite criar modelos com base em dados de furos de sondagem em 3D, dados do GIS e dados estruturais de maneira rápida e com pouca digitalização manual.

### Como a integração é feita?

Use os modelos geológicos em 3D criados no Leapfrog para definir a geometria em 2D ou em 3D das análises no GeoStudio e no PLAXIS.

Use esses dados para criar um gêmeo digital do campo incluindo o modelo geológico da subsuperfície e a análise geotécnica. Garanta uma única fonte de informações para que as pessoas possam tomar decisões com base em informações detalhadas.



## Gerenciamento de dados usando o Central

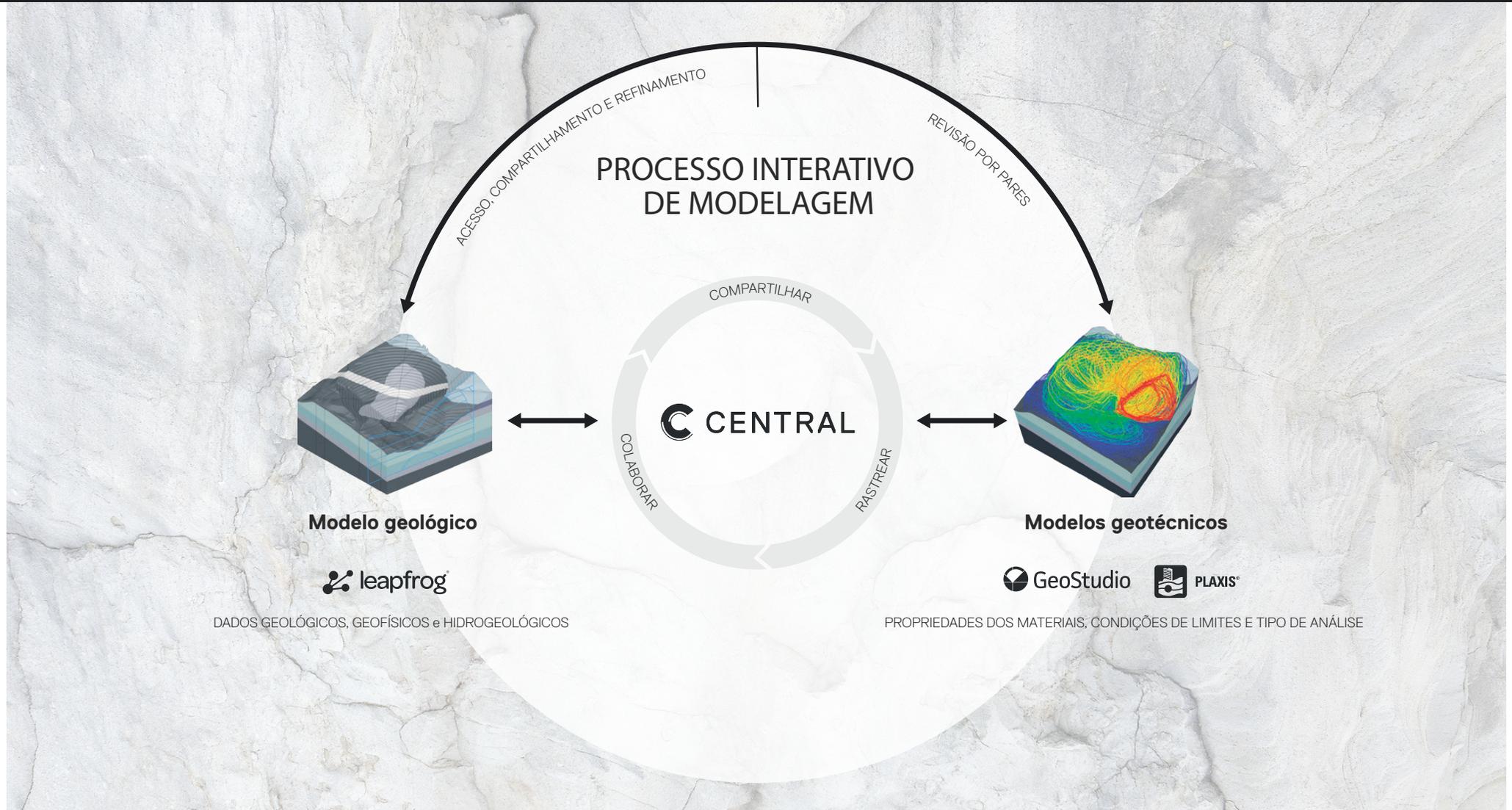
O Seequent Central permite fluxos de trabalho integrados, visualização em 3D compartilhada e colaboração em equipe. Criado para equipes que gerenciam dados geológicos complexos, ele é a base do processo de modelagem, pois reúne insights e gerenciamento de dados eficaz em um ambiente auditável.

O Central é baseado na nuvem; portanto, a sua equipe pode trabalhar em qualquer lugar e permanecer atualizada sobre o andamento de seus projetos. Todos podem obter os insights para tomar decisões com confiança e eficiência.

### Como a integração é feita?

Importe, e sincronize, as seções transversais geológicas publicadas do Leapfrog e as superfícies do Seequent Central para o PLAXIS e o GeoStudio a fim de criar modelos. Os modelos geológicos também podem ser importados para o GeoStudio a fim de realizar uma análise de estabilidade de taludes em 3D.

# Fluxo de trabalho integrado para análise geotécnica



# Uma abordagem integrada

**Como um software que garante detalhes, abrangência e flexibilidade (além de ser perfeitamente integrado) transforma a análise de estabilidade de taludes?**

A análise de estabilidade de taludes é um processo complexo.

Mas você não deve comprometer os detalhes ou a precisão para obter eficiência e facilidade. Em vez disso, use ferramentas que apoiam todas as formas mais precisas e importantes de análise e abordagens de modelagem.

Ao combinar os recursos do PLAXIS e do GeoStudio, é possível modelar a estabilidade de taludes com detalhes e precisão inigualáveis. Escolha uma combinação perfeita de análises em 2D e em 3D, ou as ferramentas do MEF e do LEM, para verificar os aspectos físicos e as condições de projetos.

O ecossistema da Seequent/Bentley foi desenvolvido considerando a complexidade dos projetos de engenharia geotécnica para ajudar a resolver os problemas geotécnicos mais comuns e complexos de solo e rochas.

Mais importante do que isso, o PLAXIS e o GeoStudio garantem flexibilidade e integração para que você use o método mais adequado aos seus projetos. Dessa forma, é possível tomar decisões com mais rapidez e fazer recomendações com segurança.

**Deseja aumentar a precisão e a eficiência de análises de estabilidade de taludes?**

Confira detalhes sobre o GeoStudio [aqui](#).

Conheça mais detalhes sobre o PLAXIS [aqui](#).





 **SEEQUENT**

[www.seequent.com](http://www.seequent.com)

Seequent, The Bentley Subsurface Company