

# Velocidade, facilidade e precisão: modelagem geotécnica de túneis com o PLAXIS

Modelos geotécnicos detalhados, precisos e eficientes criados mais rapidamente





# Análise geotécnica rápida, detalhada e sem complicações para construção de túneis e escavações subterrâneas

## Como o PLAXIS garante a combinação de facilidade e precisão

Os melhores modelos geotécnicos são precisos, adaptáveis e criados rapidamente para que os engenheiros geotécnicos tenham a compreensão necessária para manter o andamento dos projetos e começar a escavar com confiança.

Nenhum projeto de construção de túneis deve ser iniciado sem uma avaliação clara e precisa do impacto de longo prazo da escavação de solo e maciços rochosos.

Porém, nem sempre é fácil transformar projetos iniciais em modelos detalhados e confiáveis de reforços e revestimentos de concreto reforçado e concreto projetado. Sem as ferramentas certas à disposição, o simples processo de modelagem da segurança e do impacto de um túnel pode paralisar todo o projeto.

Conseqüentemente, os projetos sofrem atrasos, e os engenheiros ficam frustrados. Além disso, os profissionais perdem um tempo valioso concentrados em criar modelos numéricos e realizar análises, em vez de fazer o que realmente precisam fazer: engenharia geotécnica prática.

Foi por isso que criamos o PLAXIS.

Há mais de 25 anos, o PLAXIS vem tornando a análise de elementos finitos mais rápida, simples e precisa para os engenheiros de túneis.

Neste eBook, mostraremos como o PLAXIS ajuda os engenheiros a analisar o solo, as rochas e as estruturas associadas com precisão, agilidade e facilidade.

### **Precisão**

Análise avançada de elementos finitos, com base em um amplo conhecimento de engenharia geotécnica e procedimentos computacionais consistentes.

### **Agilidade**

Resultados gerados, atualizados e compartilhados com rapidez, graças a um mecanismo de análise de última geração e técnicas de automação líderes do mercado.

### **Facilidade**

Uma interface intuitiva e uma integração perfeita com fluxos de trabalho digitais descomplicam a criação de modelos.

Mais importante ainda, você saberá por que tantos engenheiros geotécnicos em todo o mundo fizeram do PLAXIS uma parte essencial dos fluxos de trabalho.

Vamos nos aprofundar no assunto.

Atenciosamente,

*Equipe do PLAXIS*

# Índice

## **Capítulo 1: Conheça o PLAXIS**

- Uma breve visão geral do PLAXIS 2D e do PLAXIS 3D (e como eles facilitam incrivelmente a criação de modelos precisos e confiáveis).

## **Capítulo 2: Resultados confiáveis**

- Como o PLAXIS usa análise líder do setor e uma ampla variedade de técnicas de modelagem para fornecer resultados confiáveis.

## **Capítulo 3: Automação inteligente, projeto acessível**

- Como uma interface intuitiva e a automação avançada com Python facilitam mais do que nunca a criação, a análise e o pós-processamento de modelos.

## **Capítulo 4: Fluxos de trabalho digitais perfeitamente integrados**

- Como o PLAXIS se integra aos softwares dos ecossistemas Seequent e Bentley para criar modelos mais precisos e agilizar os projetos.

## **Capítulo 5: Suporte ao cliente dedicado**

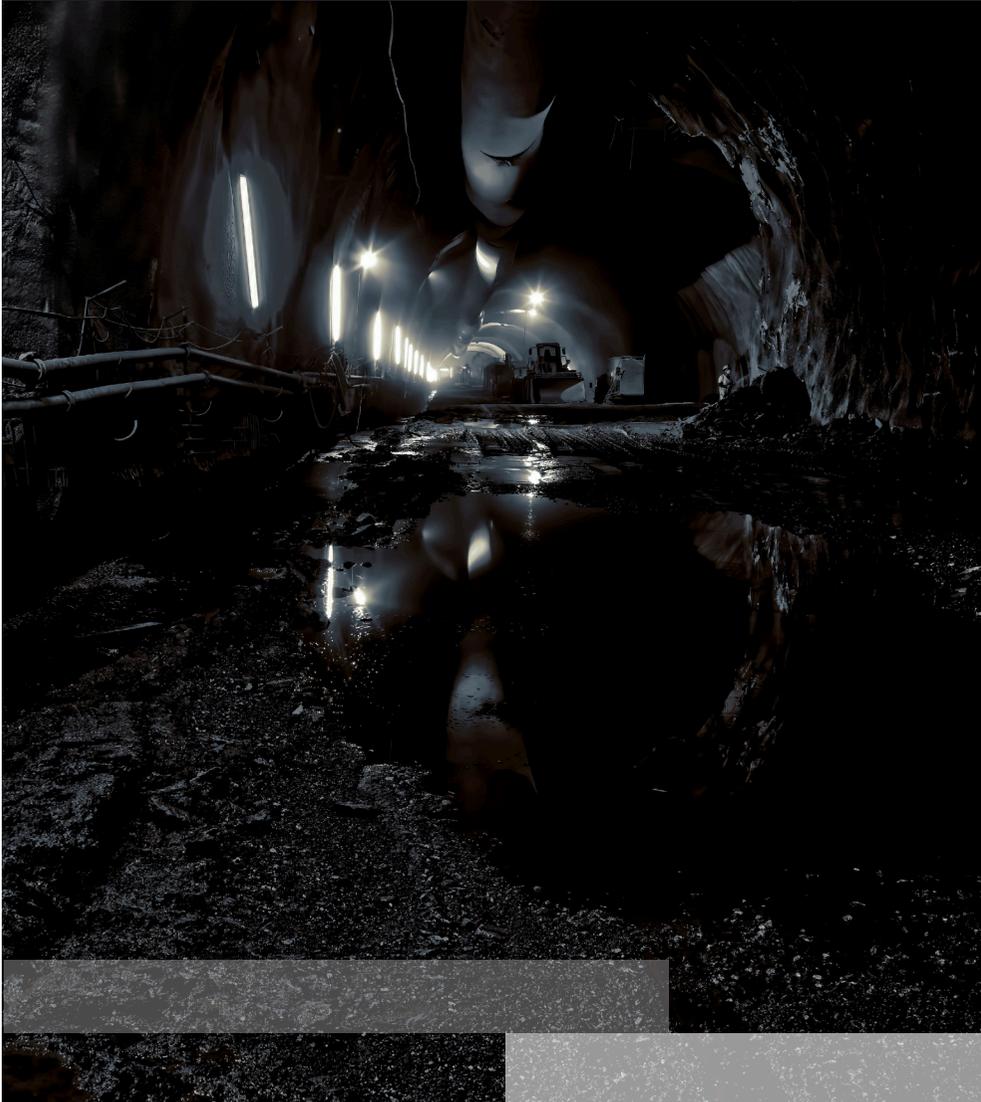
- Como nossa equipe de suporte ao cliente e nossa liderança inovadora vão além para garantir que você obtenha o máximo valor do PLAXIS.

## **Capítulo 6: PLAXIS em ação**

- O processo completo de criação de um modelo e simulação de uma escavação de subsuperfícies no PLAXIS.

# Conheça o PLAXIS

**A maneira mais rápida e fácil de criar modelos geotécnicos precisos para construção de túneis**



O PLAXIS foi criado para resolver os problemas que os engenheiros geotécnicos enfrentam diariamente, incluindo os desafios de reduzir os riscos dos projetos de construção de túneis.

Dessa forma, é possível criar, analisar e pós-processar com eficiência modelos de elementos finitos de túneis, sem precisar passar horas corrigindo erros ou repetindo as mesmas tarefas de baixo valor agregado.

Com o PLAXIS, é possível modelar e analisar todos os aspectos do desenvolvimento de projetos de construção de túneis:

- Defina perfis de solo complexos e seções transversais geotécnicas;
- Explore o impacto da inclusão de elementos estruturais, como conjuntos de aço, arcos de suporte e chumbadores;
- Analise o efeito da vibração sísmica ou causada pelo homem no solo, na rocha ou em estruturas associadas;
- Faça análises de fluxo e/ou deformação para avaliar o impacto do desaguamento ou de outras fontes de variações no nível da água;
- Organize os elementos da construção de túneis de forma eficiente no PLAXIS Tunnel Designer para definição otimizada da geometria, criação rápida de meshes, geração eficiente de fases e criação rápida e simplificada de modelos.



## O que torna o PLAXIS especial?

Nos próximos capítulos, detalharemos os recursos que fazem do PLAXIS a melhor solução para engenheiros geotécnicos.

### Resultados mais confiáveis

Ao realizar análises complexas com base em técnicas testadas e comprovadas, o PLAXIS permite a modelagem da construção e do impacto de túneis com novos níveis de precisão.

### Fluxos de trabalho mais integrados

O foco do PLAXIS é fazer a integração eficaz com softwares de todo o ecossistema da Seequent: ele usa dados anteriores para criar modelos mais precisos e transfere dados dos modelos do PLAXIS para a próxima fase do projeto.

### Automação inteligente

Com o PLAXIS, é possível automatizar totalmente o processo de criação de modelos usando scripts criados no Python. Além disso, com mais recursos da comunidade do PLAXIS disponíveis todos os dias, está ficando cada vez mais simples automatizar os fluxos de trabalho de modelagem.

### Avançado e acessível

Cada aspecto da interface do PLAXIS foi escolhido para tornar a criação de modelos fácil e simples, além de facilitar o início imediato da modelagem.

### Suporte ao cliente oferecido por especialistas

Teve algum problema? Quer dicas e sugestões? Obtenha orientação rápida de especialistas da nossa equipe multidisciplinar de atendimento ao cliente, com sede em todo o mundo.

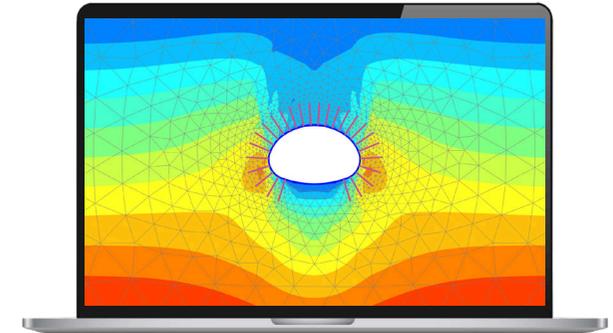
## Quer se aprofundar mais?

Escolha o software PLAXIS ideal para você.

### PLAXIS 2D

Realize análise rigorosa em 2D de elementos finitos de deformação e estabilidade:

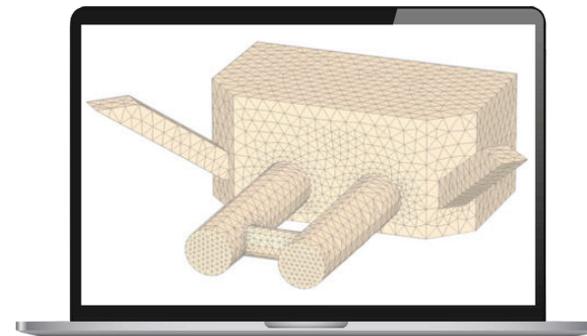
- Crie modelos rapidamente e analise a deformação e a estabilidade a partir de desenhos no plano em 2D;
- Realize análises dinâmicas e econômicas;
- Otimize o suporte a escavações e o reforço do solo por meio de análise de sensibilidade.



### PLAXIS 3D

Realize análise precisa em 3D de elementos finitos de deformação e estabilidade:

- Crie modelos em 3D detalhados e extremamente precisos e confira o impacto do seu projeto de todos os ângulos;



- Aproveite a engenharia geotécnica e a mecânica de rochas com procedimentos de criação de meshes totalmente automatizados e gerenciadores de cálculos de última geração para a geração econômica de resultados;
- Defina com eficiência a geometria importando componentes de subsuperfícies e túneis de outros softwares do amplo ecossistema integrado da Seequent e da Bentley.

# Resultados confiáveis

Como a modelagem extremamente precisa do PLAXIS ajuda você a escavar com confiança



Passar horas verificando três vezes os números ou fazendo cálculos manuais pode consumir muito tempo (e a paciência do engenheiro geotécnico).

Quando a segurança do projeto depende dos seus modelos, você precisa de dados totalmente confiáveis.

É por isso que o PLAXIS foi desenvolvido com base nas pesquisas mais recentes, em métodos de análise comprovados e na experiência de campo dos melhores engenheiros geotécnicos do setor. E compensa: nossos modelos numéricos são consistentemente alinhados com os dados medidos In Situ nos locais das escavações subterrâneas dos nossos clientes.

Qual é o resultado? O cliente passa para a próxima fase do projeto com total confiança de que o túnel será construído de forma eficiente e atenderá a todas as suas expectativas de segurança.

# O que torna a análise do PLAXIS tão precisa?

## Técnicas líderes do setor

Cada insight gerado pelo PLAXIS é baseado no método de elementos finitos (FEM), que foi testado e comprovado por vários estudos independentes e testes de campo.

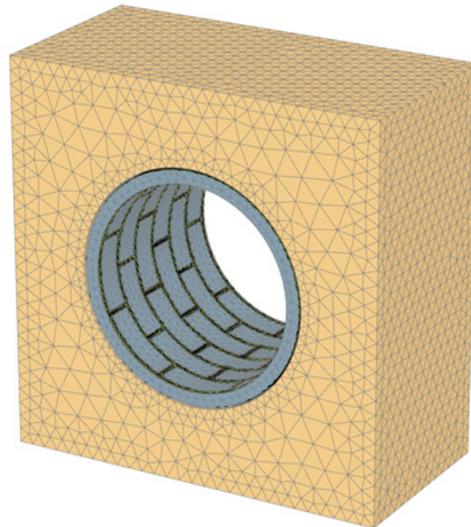
O PLAXIS também vem equipado com um procedimento automatizado de criação de meshes que se encarrega de gerar a densidade de meshes adequada no local certo usando elementos finitos de alta ordem.

## Modelo constitutivos avançados

Modele o impacto do projeto de um túnel em uma ampla variedade de tipos de solo e rocha. O PLAXIS vai além de modelos simples para simular com precisão o comportamento do solo e das rochas, proporcionando uma compreensão mais precisa de como os materiais respondem a instalações de túneis ou escavações.

Aproveite modelos constitutivos sofisticados usando recursos específicos como:

- Dependência de tensão e deformação da rigidez;
- Amolecimento e endurecimento por deformação;
- Memória de pré-consolidação;
- Estado crítico;
- Arraste;
- Empolamento e contração;
- Anisotropia, incluindo conjuntos de juntas multidirecionais.



## Modelos de solo definidos pelo usuário

Precisa de um modelo que não consta em nossa biblioteca? Programe seu próprio modelo de solo definido pelo usuário (UDSM) para criar previsões mais precisas e realizar análises mais detalhadas.

## Modelagem da pressão da água

Use recursos avançados de modelagem de poropressão (com base no princípio de Terzaghi) e monitore, de forma eficiente, o comportamento das águas subterrâneas e seu impacto na estrutura. Com o PLAXIS, é possível modelar:

- O comportamento com drenagem;
- O comportamento sem drenagem com o uso de abordagens de tensão efetiva e tensão total;
- Desaguamento e sua influência no comportamento mecânico do solo, levando em conta os valores de permeabilidade, a porosidade e o comportamento da zona não saturada.

## Análise de todos os ângulos

Conheça todos os aspectos do projeto do seu túnel escolhendo entre:

- Análise plástica;
- Análise de segurança;
- Análise dinâmica com análise de consolidação opcional;
- Análise do acoplamento completo de fluxo e deformação.

## Resultados precisos e eficientes (também no solo natural)

Comparados a materiais de engenharia mais estáveis, como aço e concreto, os materiais naturais, como solo e rochas, são altamente imprevisíveis. Sem uma análise geotécnica suficientemente complexa, o túnel poderá enfrentar alguns problemas potencialmente catastróficos:

1. Previsão em excesso da resistência ao cisalhamento sem drenagem;
2. Previsão imprecisa de deformações e previsões não realistas de ações no revestimento e nos recalques do solo atrás dele;
3. Recalque descontrolado no nível da superfície, inclinando e potencialmente danificando construções e estruturas acima da superfície;
4. Falta de previsão da perda de volume.

Com o PLAXIS, é possível modelar deformações e estabilidade na maioria dos materiais e ambientes, incluindo materiais desafiadores, como solo e rocha.

O PLAXIS usa modelos constitutivos avançados, como o modelo de solo macio e o modelo de solo endurecido com rigidez de pequenas deformações (HSsmall), variando de modelos lineares simples a modelos não lineares altamente avançados, para simular com precisão praticamente qualquer tipo de solo ou rocha.

# Automação inteligente, projeto acessível

Como o PLAXIS elimina obstáculos para uma análise geotécnica eficiente de construção de túneis



Os modelos são essenciais para reduzir os riscos em qualquer projeto de construção de túneis, mas isso não significa que os engenheiros geotécnicos devam desperdiçar um tempo precioso tendo dificuldades para usar softwares pouco intuitivos ou executando manualmente as mesmas tarefas simples.

Porém, sem as ferramentas certas, o processo de criação, análise e atualização de um modelo pode ser complexo e demorado.

Com tecnologia de ponta e automação líder do mercado, o PLAXIS elimina os obstáculos que tornam a modelagem demorada e facilita a criação de modelos detalhados e precisos.

“

"O PLAXIS é a melhor ferramenta que o mercado de softwares geotécnicos tem a oferecer às equipes de especialistas em engenharia geotécnica que desejam ter uma vantagem competitiva sobre seus pares."

– Șerban Nicolau  
Engenheiro de projetos MEF, SAIDEL Engineering.

# Projeto fácil de usar

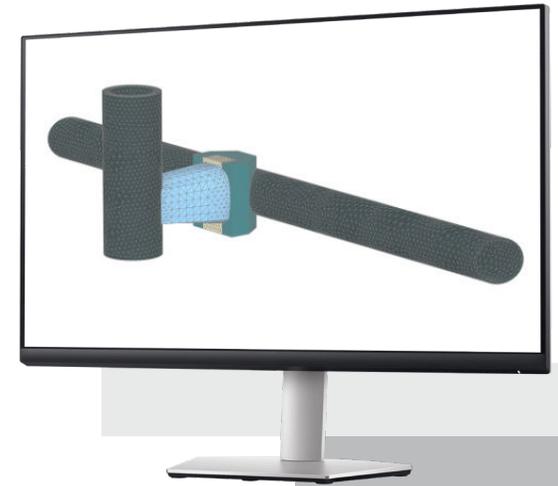
Análise avançada em um projeto fácil de usar. O PLAXIS coloca todas as ferramentas que você mais usa à sua disposição, facilitando a inclusão de dados, a atualização de projetos ou o detalhamento de suas análises.

## Modelagem

- Trace geometrias arbitrárias usando as ferramentas Combine (Combinar), Intersect (Intersectar), Extrude (Extrudar), Loft (Elevar), Blend Surfaces (Mesclar superfícies) e Revolve around axis (Girar em torno do eixo);
- Matriz polar e retangular;
- Tunnel Designer com definição fácil de chumbadores, arcos de suporte e vigas;
- Definição da sequência de escavação no Tunnel Designer;
- Geração automática das fases da construção do túnel em etapas;
- Análise da elastoplasticidade de vigas e placas;
- Ativação e pré-tensionamento dos parafusos dos cabos.

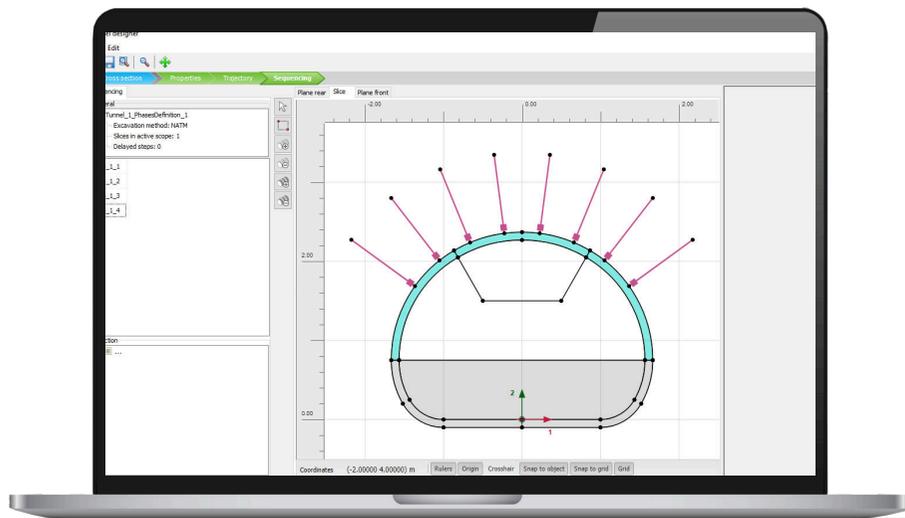
## Criação de meshes

- A ferramenta Automatic Swept Meshing ajuda a criar meshes eficientes com mais rapidez;
- Os refinamentos manuais de meshes oferecem total controle;
- Geração automática de meshes irregulares, regulares ou de varredura;
- Recursos para dar suporte a inspeção da qualidade das meshes.



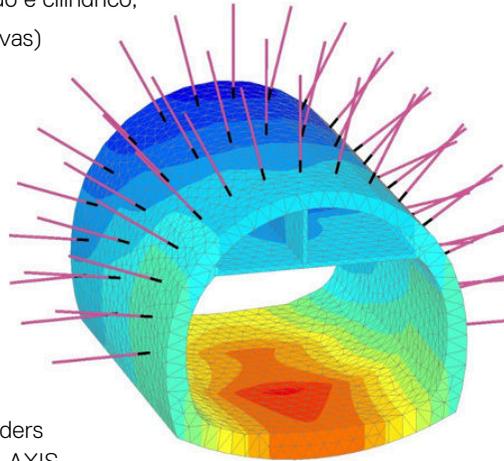
## Cálculos

- Procedimentos de cálculo comprovados e consistentes;
- Computação multicore;
- Procedimento K0, carga de gravidade e tensão de campo para cálculos da tensão inicial;
- Análise do deslocamento, do acoplamento completo de fluxo e deformação e da segurança;
- Recursos para cálculos de fluxo de águas subterrâneas transitórias e em condição estável, incluindo parâmetros de materiais relacionados a fluxo, condições de limites, drenos e poços;
- Análise dinâmica e pseudoestática, incluindo dinâmica com consolidação e campo livre e condições de limites de base compatível, além de cargas móveis pontuais ou lineares;
- Especifique variações de carga, aceleração ou altura ao longo do tempo com funcionalidades lineares, harmônicas ou de tabelas;
- Explorador de fases prático e intuitivo;
- Regeneração automática de etapas da construção para alterações geométricas.



## Análise de resultados

- Obtenha uma avaliação realista de tensões e deslocamentos;
- Veja gráficos de vetores, contornos e isossuperfícies de deslocamento, tensão, poropressão ou aceleração;
- Analise forças estruturais de estacas de volume quadrado e cilíndrico;
- Use a ferramenta Curves Manager (Gerenciador de Curvas) para visualizar o deslocamento causado por diferentes cargas;
- Confira gráficos de aceleração pseudoespectral ou curvas de seção transversal;
- Faça uma análise mais detalhada com segmentação avançada de dados;
- Analise de todos os ângulos com seções transversais móveis;
- Relatório abrangente e gerador de vídeos para compartilhamento de dados fácil e eficiente;
- Compartilhe os resultados dos projetos com os stakeholders e investidores por meio do Output Viewer gratuito do PLAXIS.



## Automação avançada

O PLAXIS automatiza totalmente o processo de geração de modelos, desde a criação do modelo até a extração de resultados e geração de relatórios.

Com a criação de scripts no Python, é possível automatizar processos usados com frequência tanto no programa de entrada quanto no programa de saída para economizar tempo reduzindo tarefas de menor valor agregado e que consomem mais tempo, como:

- **Alterações de variáveis**

Crie scripts que prevejam o impacto de alterações de variáveis, como capacidade do solo ou espessura do concreto.

- **Parâmetros de materiais usados com frequência**

Você faz modelagem de muitas estruturas semelhantes? Insere os mesmos parâmetros de materiais várias vezes? Crie um script que leia os parâmetros de materiais diretamente do banco de dados da sua empresa.

## Como criar scripts com o PLAXIS

Automatizar o processo de modelagem de túneis com o PLAXIS é simples para qualquer pessoa que tenha conhecimento básico do Python.

O que você deseja automatizar? Seguindo menos de 10 passos, você terá um novo script instalado e funcionando.

1. **Identifique o comando que você deseja executar.** É possível usar a Interface gráfica do usuário (GUI, Graphical User Interface) para verificar sua sessão de linha de comando ou acessar Help > Command reference (Ajuda > Referência de comando) para verificar se você está no caminho certo;
2. **Acesse o programa PLAXIS Input.** Aqui você pode configurar seu script;
3. **Abra o menu Help (Ajuda) e selecione Scripting reference (Referência para criação de scripts);**
4. **Configure a janela de definição do servidor de script remoto;**
5. **Encontre o comando para Input (Entrada) ou Output (Saída).** Esta lista está em ordem alfabética para que seja mais fácil encontrar o que você procura;
6. **Clique no nome do comando.** Uma nova guia se abrirá mostrando um exemplo;
7. **Selecione cell > Run All (célula > Executar tudo);**
8. **A plataforma Jupyter Notebook executa o exemplo e fornece resposta(s) do PLAXIS;**
9. **Verifique Input/Output (Entrada/Saída) do PLAXIS para ver o exemplo;**
10. **Coloque o script para funcionar,** adaptando o exemplo ao problema ou processo que você deseja resolver com a automação.

# Fluxos de trabalho digitais perfeitamente integrados

Como o PLAXIS se encaixa em seu processo de engenharia geotécnica  
(e ainda melhora ele)



Quanto mais dados você incluir em seu modelo, mais precisa será sua análise.

No entanto, mover dados de um software para outro geralmente consome um tempo precioso.

Quanto tempo você desperdiça transferindo dados de projeto para o modelo de túnel? Ou fazendo atualizações no seu modelo quando os requisitos de desenvolvimento do projeto mudam? Ou ainda transmitindo os resultados da sua análise para a próxima fase do projeto?

## Fluxo de dados digital simplificado e perfeitamente integrado

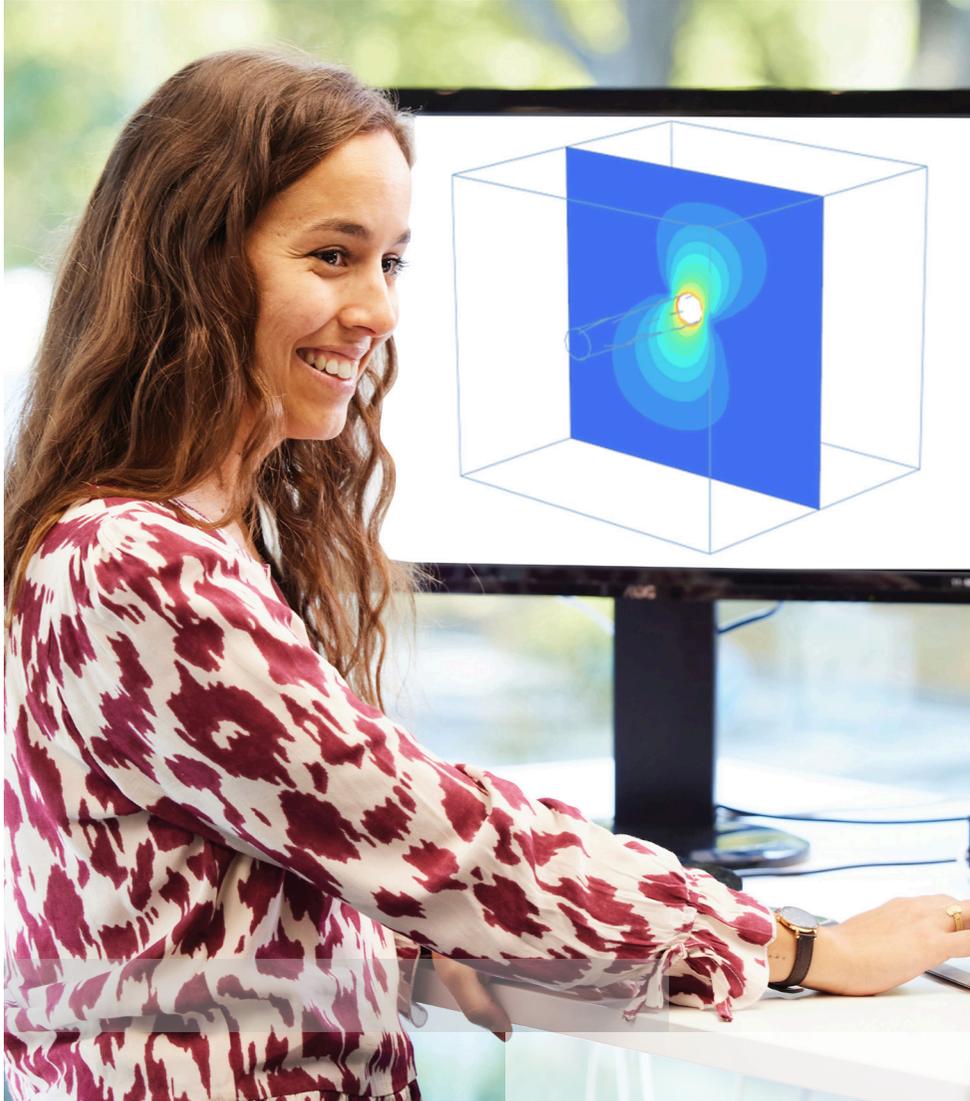
Como o PLAXIS faz parte do ecossistema Seequent e Bentley, ele foi desenvolvido para se integrar às plataformas mais populares para tudo, desde modelagem geológica até geração de gêmeos digitais.



- Expanda seu modelo com informações geotécnicas obtidas por meio de levantamento no campo, pesquisas e planos;
- Faça uma análise mais detalhada com dados de modelagem geológica extraídos do Leapfrog;
- Crie todo o modelo de infraestrutura de túnel no OpenTunnel Designer e gere um modelo analítico no PLAXIS com apenas um clique;
- Realize análises de estabilidade de taludes de equilíbrio limite com o GeoStudio;
- Transmita os resultados da sua análise para outras equipes de profissionais.

# Suporte ao cliente dedicado

Como a equipe de suporte especializado do PLAXIS ajuda você a aproveitar o software ao máximo



Alguma dúvida sobre o PLAXIS? Procurando maneiras de usar scripts do Python ou expandir seus modelos? Nossa equipe de suporte ao cliente está sempre disponível para ajudar.

- **Respaldo da experiência em engenharia geotécnica**  
Além de sermos especialistas no PLAXIS, nossa equipe de suporte é formada por engenheiros geotécnicos com ampla experiência no setor.
- **Suporte ao cliente em todo o mundo**  
Sem call centers terceirizados, somente suporte local e exclusivo. Nossas equipes de suporte ao cliente estão localizadas ao redor do mundo para que você possa entrar em contato com alguém da sua região.
- **Resposta rápida**  
Nunca deixaremos que um suporte ao cliente não responsivo atrapalhe seu projeto. Entraremos em contato com você rapidamente para ajudar a resolver o problema o mais rápido possível para que você possa voltar ao trabalho.
- **Suporte personalizado**  
Não oferecemos orientações universais. Conheceremos você, seu projeto e seus processos para que possamos oferecer suporte personalizado em tudo, desde a implantação do PLAXIS até o tipo de modelo mais adequado para o seu projeto.

# PLAXIS em ação

## Como usar o PLAXIS para desenvolver e analisar o seu projeto de túnel

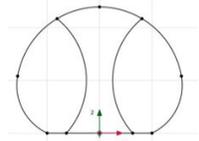


Agora que você está familiarizado com os recursos que fazem do PLAXIS uma das plataformas de simulação geotécnica mais populares do setor, mostraremos como ele funciona na prática.

Vamos relembra o processo de modelagem de túneis, passo a passo.

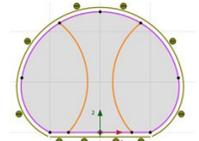
### 1. Use o Tunnel Designer para definir a geometria do túnel

Insira valores para os contornos do túnel, seu posicionamento e seus materiais de engenharia. Defina a geometria da vista frontal do túnel e crie contornos de escavação interna.



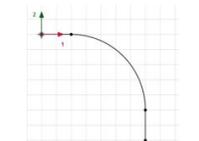
### 2. Gere e posicione elementos estruturais

Defina a composição dos chumbadores e outros elementos estruturais e sua localização no túnel.



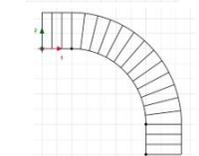
### 3. Defina a trajetória do túnel

É aqui que você definirá a trajetória do túnel vista de cima.



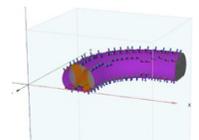
### 4. Defina o sequenciamento em 3D

Entre no modo de escavação em etapas e simule a escavação corte por corte. É possível avaliar a deformação do solo ou rocha ao redor e o impacto geral de suas escolhas de projeto em cada etapa da escavação.



### 5. Gere seu túnel

É hora de juntar tudo e transformar todos os parâmetros inseridos em um modelo finalizado.

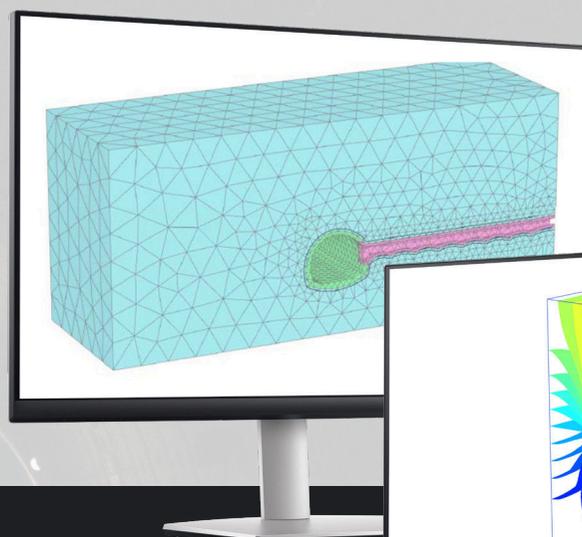


# Quer uma modelagem de túneis mais fácil e mais precisa?

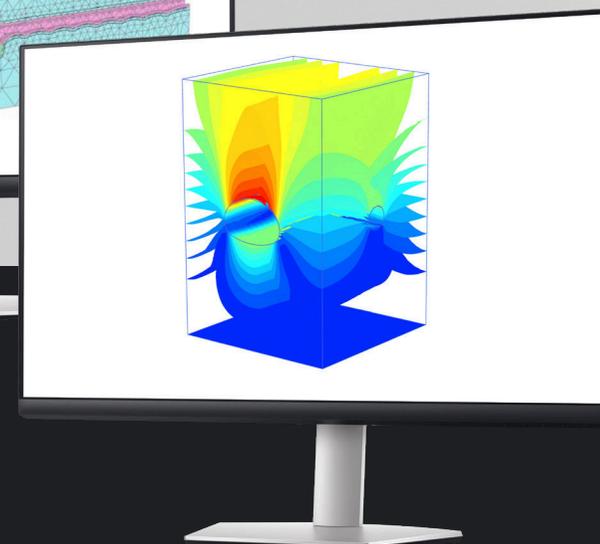
**Mais rápido. Mais fácil. Mais preciso. É hora de atualizar seu software de análise de túneis.**

Com o PLAXIS, é possível avaliar rapidamente o impacto das decisões de projeto, seja na escolha entre escavação tradicional ou mecanizada, ou entre revestimentos de concreto projetado ou reforçado.

Tudo pronto para se juntar aos engenheiros em todo o mundo que usam o PLAXIS para reduzir os riscos de seus projetos de construção de túneis?



**PLAXIS®**



**Sua avaliação gratuita do PLAXIS 2D ou PLAXIS 3D já está disponível.**

Como começar



Uma melhor compreensão da geologia  
cria um mundo melhor para todos

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