

## Análise da estabilidade de taludes

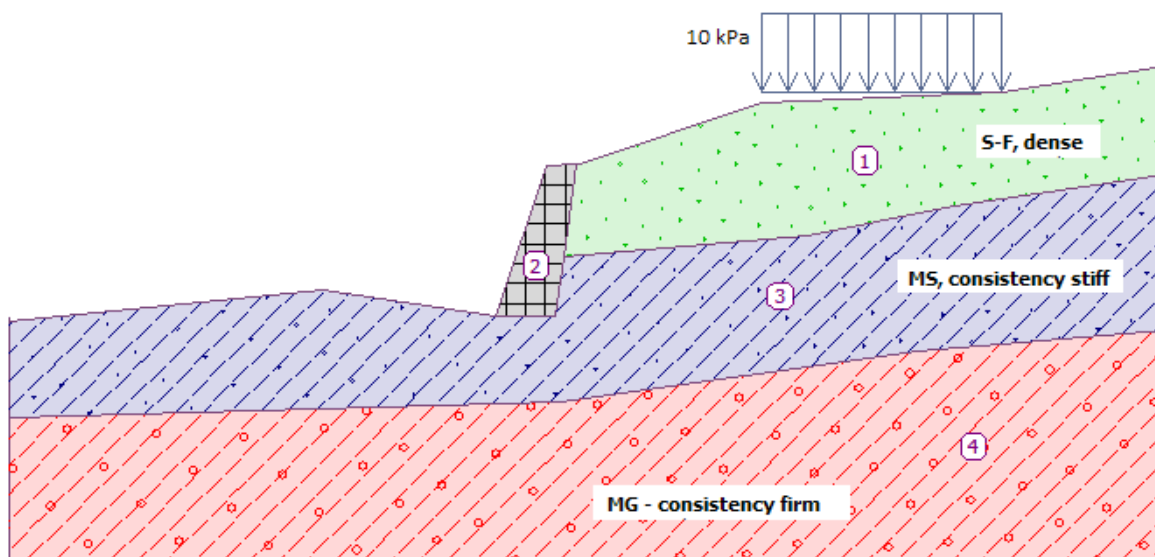
Programa: Estabilidade de Taludes

Arquivo: Demo\_manual\_08.gst

Neste manual de engenharia vamos mostrar como realizar a verificação da estabilidade de taludes para uma superfície de deslizamento circular crítica e para uma superfície de deslizamento poligonal (utilizando a otimização) e descrever as diferenças entre os diferentes métodos de análise da estabilidade de taludes.

### Tarefa

Realizar a análise de estabilidade de taludes para um talude com um muro de gravidade. Esta é uma situação de projeto permanente. O fator de segurança necessário é  $FS = 1.50$ . Não se considera a existência do nível freático no talude.



*Esboço da tarefa*

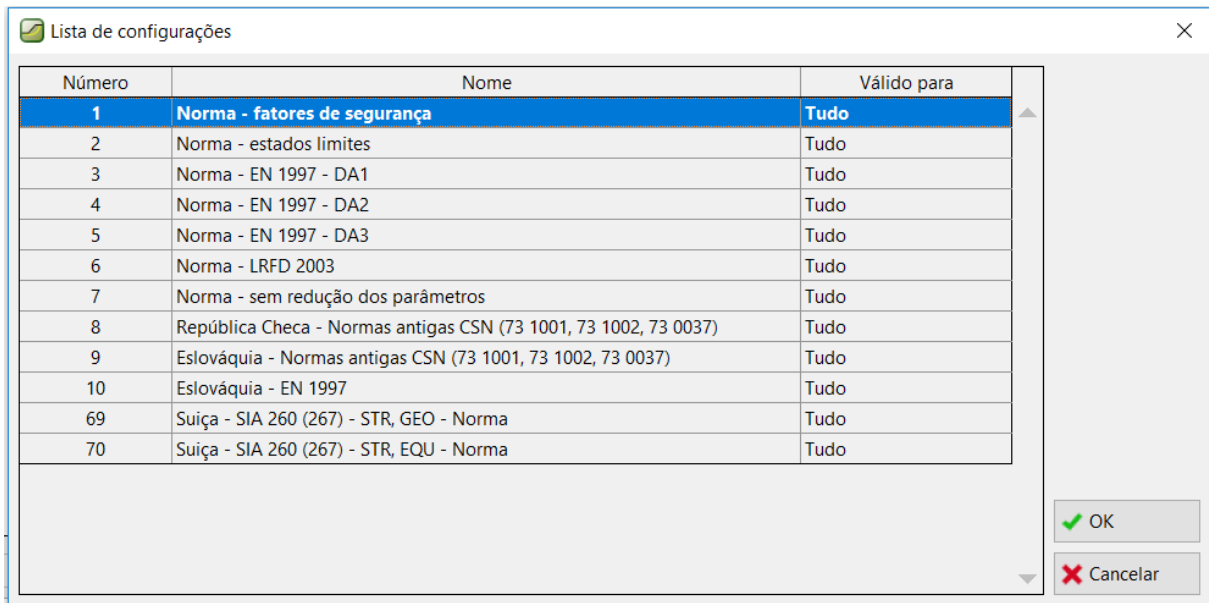
## Resolução

Para resolver este problema, vamos utilizar o programa GEO5 “Estabilidade de Taludes”. Neste texto, vamos explicar cada passo da resolução deste problema:

- Análise No. 1: otimização da superfície de deslizamento circular (Bishop)
- Análise No. 2: verificação da estabilidade do talude através de todos os métodos
- Análise No. 3: otimização da superfície de deslizamento poligonal (Spencer)
- Resultados da análise (conclusão)

## Definir a geometria e outros parâmetros

Na janela “Configurações”, clique em “Selecionar” e escolha a opção No. 1 – “Norma – fatores de segurança”.



Caixa de diálogo “Lista de configurações”

Para começar, na janela “Interface”, clique em “Configurar escalas” e insira as coordenadas das dimensões limite da tarefa, conforme mostra a imagem abaixo. A “profundidade desde o ponto mais fundo do modelo” serve apenas para visualizar o exemplo – não tem qualquer influência na análise.

Coordenadas globais

— Dimensões —

Escala X mínima :  [m]

Escala X máxima :  [m]

Profundidade desde o ponto mais fundo do modelo :  [m]

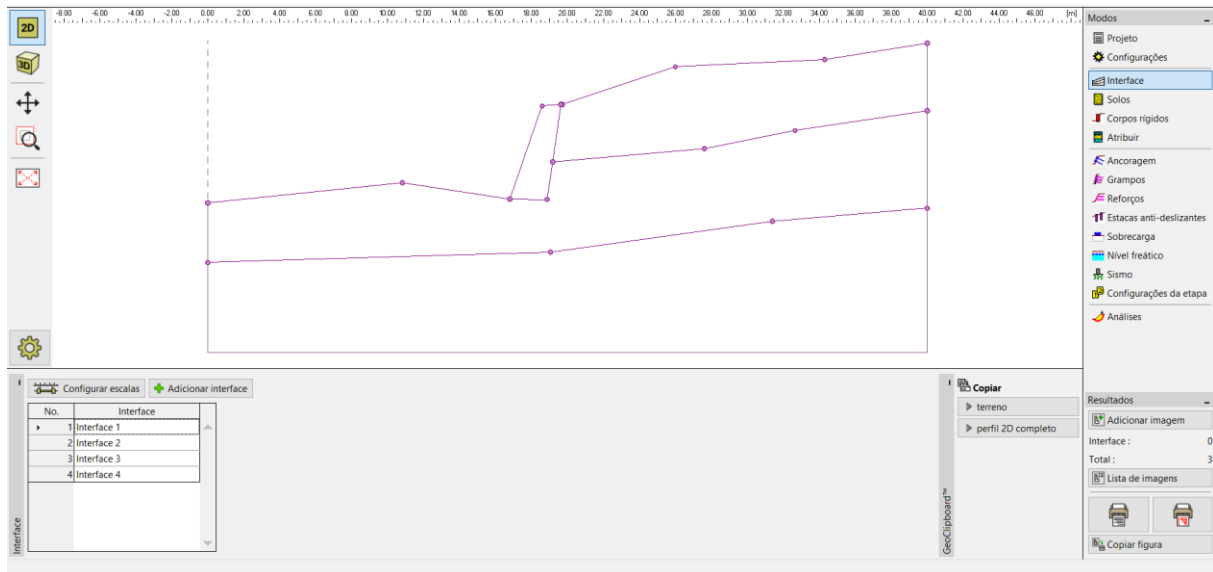
De seguida, clique em “Adicionar interface” para modelar as interfaces das camadas ou, mais concretamente, o terreno, através das coordenadas descritas abaixo. Para cada interface, adicione todos os pontos via texto e, de seguida, clique em “OK Adicionar interface”.

	Interface 1		Interface 2		Interface 3		Interface 4	
	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]
1	0,00	-4,75	16,80	-4,54	19,17	-2,48	0,00	-8,07
2	10,81	-3,64	18,87	-4,57	27,61	-1,75	19,06	-7,50
3	16,80	-4,54	19,17	-2,48	32,66	-0,74	31,40	-5,77
4	18,59	0,63	19,62	0,71	40,00	0,36	40,00	-5,05
5	19,62	0,71						
6	19,71	0,71						
7	26,00	2,80						
8	34,30	3,20						
9	40,00	4,12						

### Adicionar pontos da interface

The screenshot shows the 'Interface' window with a table for adding points and a 'Novos pontos' dialog box. The dialog box has fields for 'x' (16.80) and 'z' (-4.54) with their respective units and ranges.

Janela “Interface” – adicionar pontos via texto



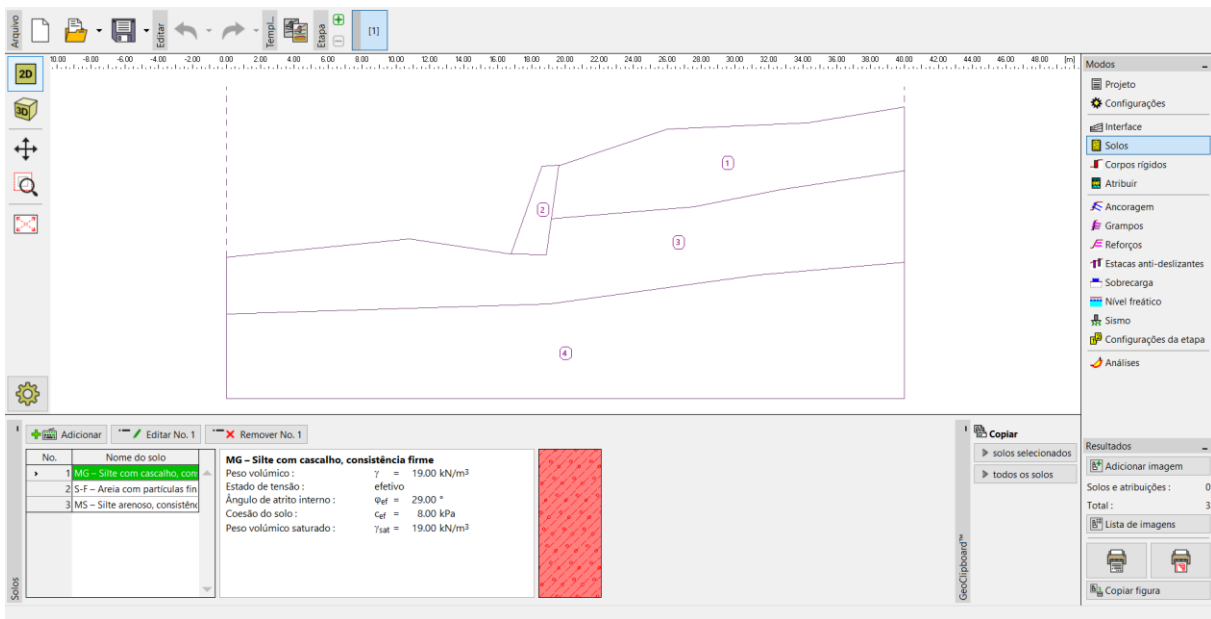
Janela "Interface" – as 4 interfaces adicionadas

Agora, adicione 3 solos com os parâmetros seguintes, na janela "Solos", através do botão "Adicionar". O estado de tensão deve ser considerado como efetivo para todos os solos e a foliação do solo não será considerada.

Solo (Classificação do solo)	Peso volúmico $\gamma$ [ $kN/m^3$ ]	Ângulo de atrito interno $\varphi_{ef}$ [ $^\circ$ ]	Coesão do solo $c_{ef}$ [ $kPa$ ]
MG – Silte com cascalho, consistência firme	19.0	29.0	8.0
S-F – Areia com partículas finas, solo denso	17.5	31.5	0.0
MS – Silte arenoso, consistência rígida, $S_r > 0,8$	18.0	26.5	16.0

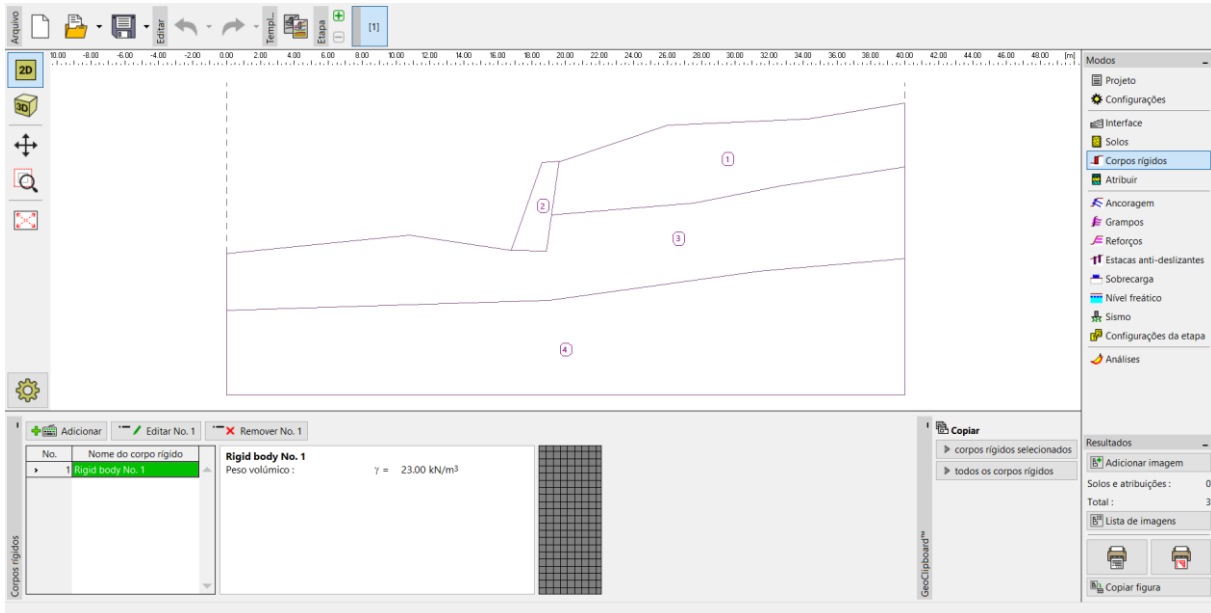
Tabela com os parâmetros do solo

*Nota: Nesta análise, vamos realizar a verificação da estabilidade do talude a longo prazo. Assim, vamos analisar esta tarefa com recurso aos parâmetros efetivos da resistência ao deslizamento dos solos ( $\varphi_{ef}, c_{ef}$ ). A foliação dos solos – parâmetros do solo piores ou diferentes numa direção – não é considerada nesta tarefa.*



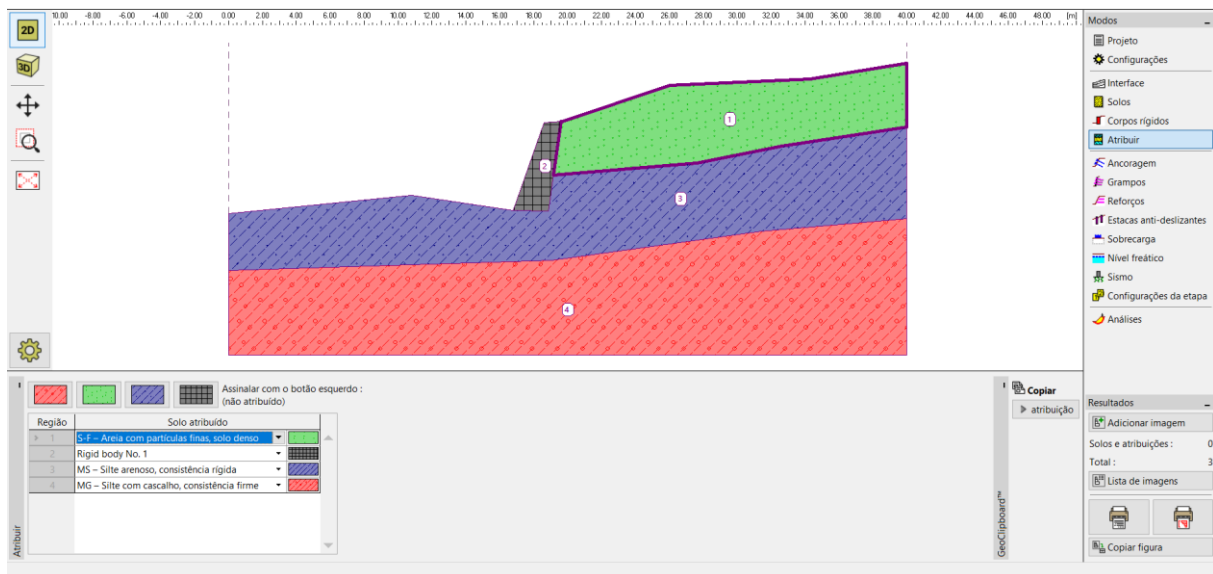
Janela "Solos" – os 3 novos solos adicionados

Passa à janela "Corpos Rígidos". Aqui, vamos modelar o muro de gravidade como um corpo rígido com um peso volúmico de  $\gamma = 23,0 \text{ kN}/\text{m}^3$ . A superfície de deslizamento não atravessa este objeto, uma vez que é uma área de resistência elevada (Mais informações na Ajuda – F1).



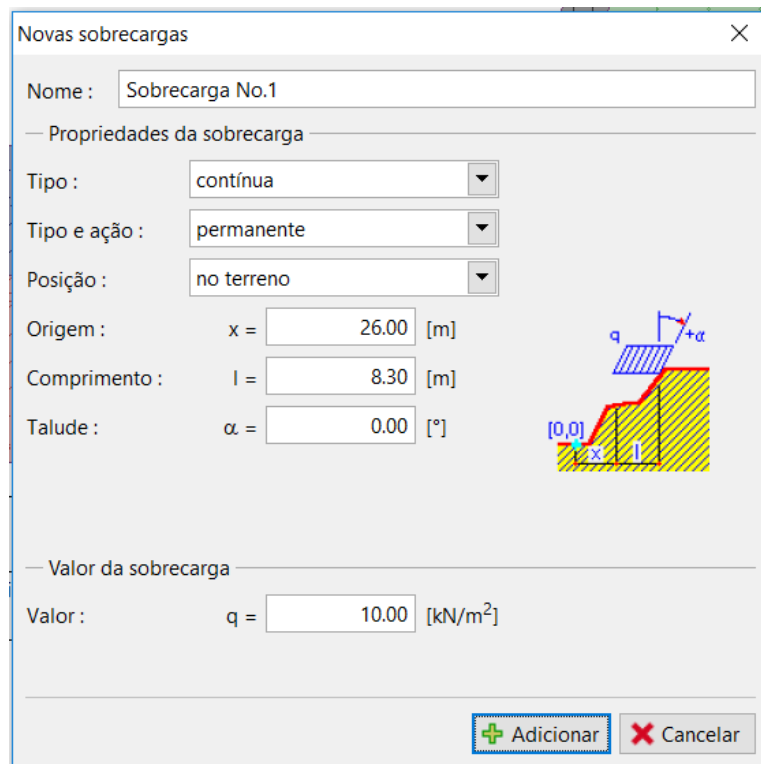
Janela "Corpos Rígidos" – novo corpo rígido

Agora, vamos atribuir os solos e o corpo rígido ao perfil, na janela “Atribuir”.



Janela “Atribuir”

O passo seguinte é definir uma sobrecarga contínua, na janela “Sobrecarga”, que é considerada como permanente, localizada na superfície do terreno.

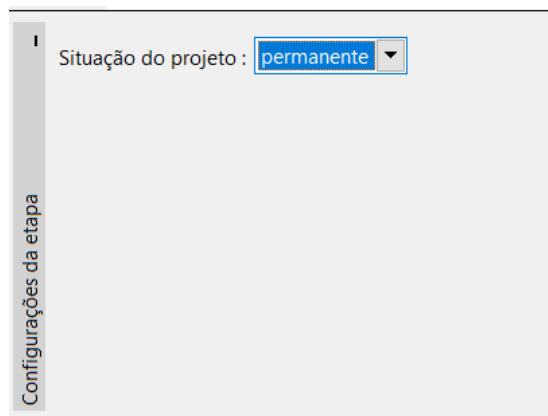


Caixa de diálogo “Novas sobrecargas”

*Nota: A sobrecarga é introduzida para 1 m de desenvolvimento do talude. A única exceção é a carga concentrada, em que o programa calcula o efeito da carga no perfil analisado. Para mais informações, consulte a Ajuda (F1).*

Salte as janelas “Aterro”, “Escavação”, “Ancoragem”, “Pregagens”, “Estacas Anti-deslizantes”, “Reforços” e “Nível freático”. A janela “Sismo” não tem influência nesta análise porque o talude não está localizado numa zona de atividade sísmica.

Seguidamente, na janela “Configurações da etapa”, selecione a situação de projeto. Neste caso, considere uma situação de projeto “permanente”.



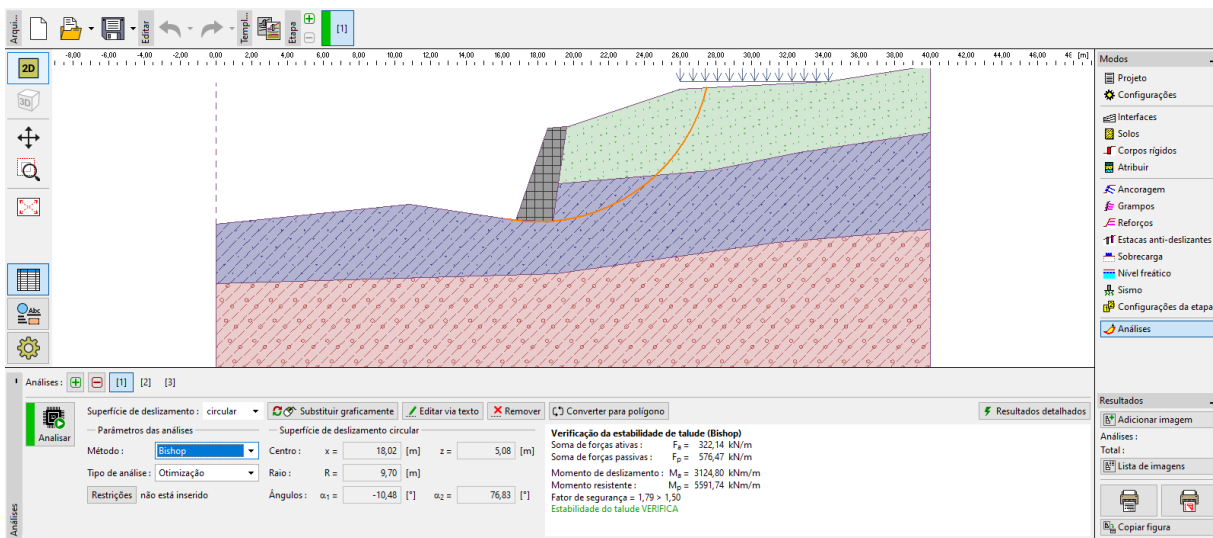
*Janela “Configurações da etapa”*

## Análise 1 – superfície de deslizamento circular

Abra a janela “Análises”, onde a superfície de deslizamento inicial deve ser definida pelo usuário, através das coordenadas do centro ( $x$ ,  $y$ ) e pelo raio, ou utilizando diretamente o mouse na Área de trabalho – clicar na interface para adicionar três pontos através dos quais a superfície de deslizamento passa.

*Nota: Em solos coesivos, verificam-se com frequência superfícies de deslizamento rotacionais. Estas são modeladas através de superfícies de deslizamento circulares. Esta superfície é utilizada para encontrar as áreas críticas do talude analisado. Para solos não coesivos, as análises através de superfícies de deslizamento poligonais também devem ser realizadas para verificar a estabilidade do talude (ver Ajuda – F1).*

Após definir a superfície de deslizamento inicial, selecione a opção “Bishop” como método de análise e defina o tipo de análise como “otimização”. De seguida, execute a análise através do botão “Analisar”.



Janela “Análises” – Bishop – otimização da superfície de deslizamento circular

*Nota: A otimização consiste na busca da superfície de deslizamento circular com menor estabilidade – a superfície de deslizamento crítica. A otimização de superfícies de deslizamento do programa Estabilidade de Taludes avalia todo o talude e é bastante confiável. Desta forma, mesmo para superfícies de deslizamento iniciais diferentes, obtemos o mesmo resultado para a superfície de deslizamento crítica.*



O grau de estabilidade definido para a superfície de deslizamento crítica, utilizando o método de “Bishop”, é satisfatório ( $FS = 1.79 > FS = 1.5$ ).

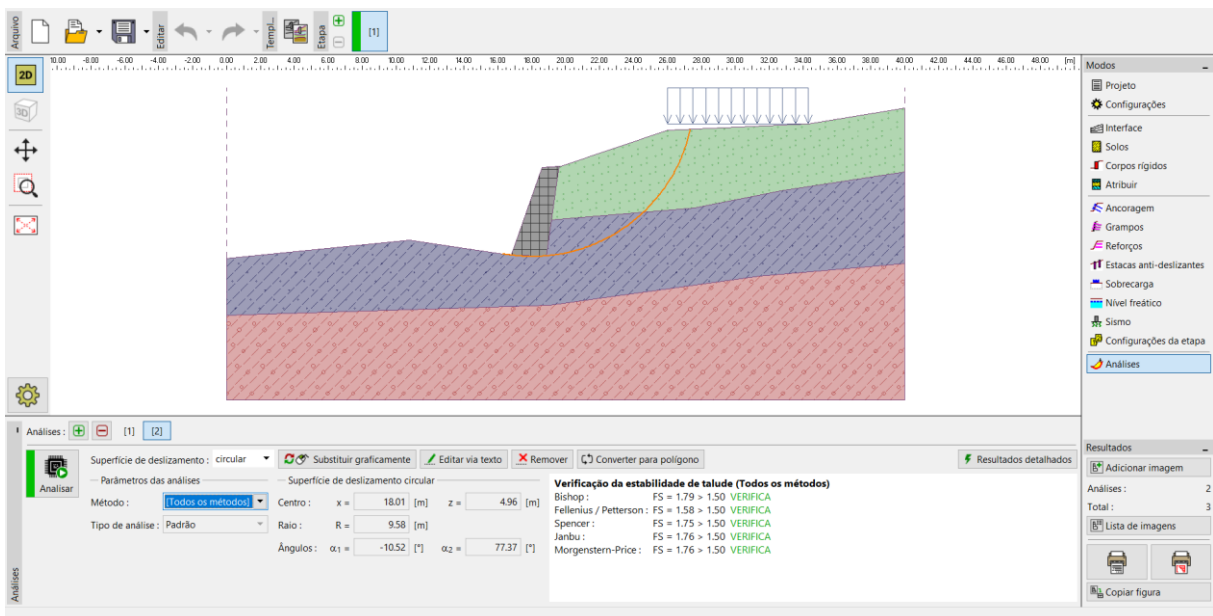
## Análise 2 – comparação entre métodos diferentes

Adicione uma nova análise na barra de ferramentas, na parte superior da janela “Análises”.



Barra de ferramentas “Análises”

Altere o tipo de análise para “Padrão” e selecione a opção “todos os métodos”. De seguida, clique em “Analisar”.



Janela “Análises” – Todos os métodos – tipo de análise padrão

*Nota: Através deste procedimento, a superfície de deslizamento resultante, calculada para todos os métodos, corresponde à superfície de deslizamento crítica obtida a partir da análise anterior, segundo o método de Bishop. Para obter melhores resultados o usuário deve escolher o método e executar a otimização das superfícies de deslizamento.*

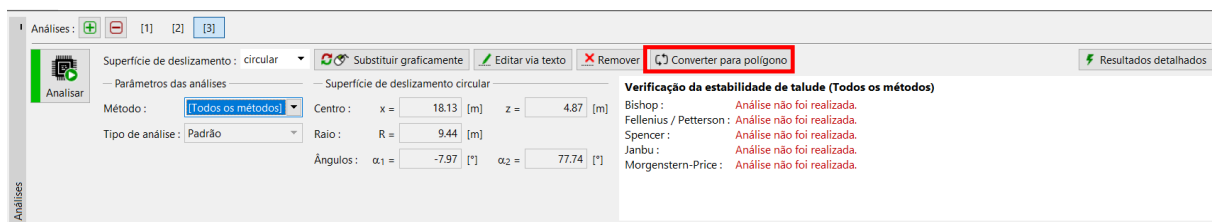
*Nota: A escolha do método de análise depende da experiência do usuário. Os métodos mais comuns são os métodos por camadas, sendo o mais comum o método de Bishop. O método de Bishop fornece resultados conservativos.*

*Para taludes reforçados ou ancorados, são preferíveis outros métodos mais rigorosos (Janbu, Spencer e Morgenstern-Price). Estes métodos mais rigorosos garantem todas as condições de equilíbrio e descrevem melhor o comportamento real da estrutura.*

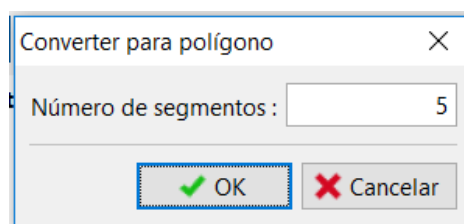
*Não é necessário (nem correto) analisar um talude através de todos os métodos de análise. Por exemplo, o método sueco de Fellenius – Petterson fornece resultados muito conservativos, o que pode levar a fatores de segurança irrealisticamente baixos. No entanto, como este é um método famoso e obrigatório em alguns países, para a análise da estabilidade de taludes, este faz parte do software GEO5.*

### Análise 3 – superfície de deslizamento poligonal

Na última etapa, adicionamos mais uma análise e convertemos a superfície de deslizamento circular original numa superfície de deslizamento poligonal, através do botão “Converter para polígono”. Para este caso, inserimos vários segmentos: 5



*Janela “Análises” – converter para uma superfície poligonal*



*Caixa de diálogo “Converter para polígono”*

Como método de análise, selecione a opção “Spencer” e como tipo de análise, selecione “otimização” e execute a análise.

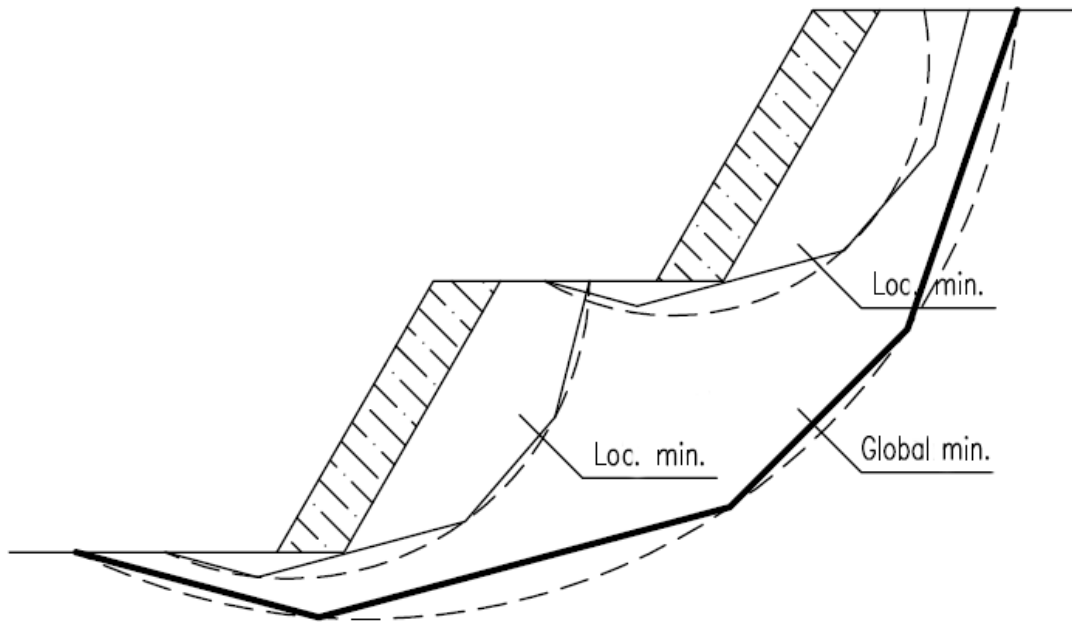
Verificação da estabilidade de talude (Spencer)  
Fator de segurança = 1,52 > 1,50  
Estabilidade do talude VERIFICA

No.	x [m]	z [m]
1	15,76	-4,38
2	15,77	-4,39
3	18,08	-5,03
4	22,05	-2,69
5	24,29	-1,10
6	26,84	0,96
7	28,85	2,94

Janela “Análises” – Spencer – otimização da superfície de deslizamento poligonal

Os resultados do grau de estabilidade do talude para a superfície de deslizamento poligonal são satisfatórios ( $FS = 1.52 > FS = 1.5$ ).

*Nota: A otimização de uma superfície de deslizamento poligonal é gradual e depende da localização da superfície de deslizamento inicial. Isto significa que é melhor realizar várias análises, com superfícies de deslizamento iniciais diferentes e com diferentes números de secções. A otimização de superfícies de deslizamento poligonais também pode ser afetada pelos fatores de segurança mínimos locais. Isto significa que é necessário encontrar a superfície de deslizamento crítica real. Por vezes é mais eficiente o usuário definir a superfície de deslizamento inicial com uma forma semelhante e defini-la como uma superfície de deslizamento circular otimizada.*



Mínimos locais – superfícies de deslizamento poligonal e circular

*Nota: Recebemos algumas queixas de usuários de as superfícies de deslizamento “desaparecerem” após a otimização. Para solos não coesivos, em que  $c_{ef} = 0 \text{ kPa}$ , a superfície de deslizamento crítica é igual à linha mais inclinada da superfície do talude. Neste caso, o usuário deve alterar os parâmetros do solo ou introduzir restrições que a superfície de deslizamento não pode atravessar.*

### Conclusão

A estabilidade do talude após otimização é:

- Bishop (circular - otimização):                      FS = 1.79 > FS = 1.5                      **SATISFAZ**
- Spencer (poligonal - otimização):                      FS = 1.52 > FS = 1.5                      **SATISFAZ**

O talude em análise, com o muro de gravidade, satisfaz os requisitos de estabilidade.