

Análise da capacidade de carga e do assentamento de estacas com base em ensaios CPT

Programa: Estaca via CPT

Arquivo: Demo_manual_15.gpn

O objetivo deste manual de engenharia é explicar como utilizar o programa GEO5 Estaca via CPT.

Definição do problema

A definição geral do problema foi descrita em um dos capítulos apresentados anteriormente (*12. Fundações por estacas – Introdução*). Analise a capacidade de carga e o assentamento de uma estaca isolada ou de um grupo de estacas, de acordo com EN 1997-2.



Esboço do problema – estaca isolada analisada com base em ensaios CPT

Resolução

Para analisar este problema vamos utilizar o programa GEO5 Estaca via CPT. No texto abaixo, vamos descrever a resolução deste problema passo-a-passo.

Na janela "Configurações", utilize o botão "Selecionar configurações" (na parte central do ecrã). Na caixa de diálogo "Lista de configurações" escolha a opção "Norma – EN 1997". A metodologia de dimensionamento não é importante, sendo que a análise será realizada de acordo com a Norma *EN 1997-2*: *Geotechnical Design – Part 2: Ground investigation and testing*.

	Lista de conf	igurações			×	
2D	Número	Nome		Válido para	1	Modos _
	1	Norma - fatores de segurança		Tudo		Projeto
100	2	Norma - estados limites		Tudo		🌣 Configurações
	3	Norma - EN 1997 - DA1		Tudo		A CRT
	- 4	Norma - EN 1997 - DA2		Tudo		Nivel fraitico
\leftrightarrow	5	Norma - EN 1997 - DA3		Tudo		PE Charles de sales
	7	Norma - sem redução dos parâmetros		Tudo		Classificação dos solos
Q	41	LRFD - Norma		Tudo		E Perfil
	42	LRFD - Muros pré-fabricados		Tudo		Solos
\mathbf{x}	69	Suiça - SIA 260 (267) - STR, GEO - Norma		Tudo		Atribuir
	70	Suiça - SIA 260 (267) - STR, EQU - Norma		Tudo		Construção
	72	Roménia - EN 1997 - edifícios (SR EN 1990:2004/NA	k:2006)	Tudo		Geometria
	73	Roménia - EN 1997 - pontes (SR EN 1990:2004/A1:2	006/NA:2009)	Tudo		A. 0. 11.1.1
Obr					🗸 ОК	Capacidade de carga
						EX Assentamento
					X Cancelar	
Configurações de análises : Norma - EN 1997 - DA2 Metodologia de verificação : EN 1997-2 Tipo de análise : EN 1997-2		Selecionar configurações	Análise baseada nos testes : ☐ Considerar atrito superficial neg ✔ Realizar a classificação dos solo	CPT • gativo ss		
		Adicionar ao administrador	Fator parcial sobre a incerteza do m Fatores parciais $\xi_3, \xi_4:$ Reduzir coef. ξ_3, ξ_4 (estrutura ríç	nodelo : ? _{cal} = 1,00 [-] padrão •		Resultados Projeto : 0 Total : 0 International constructions of the second s
Configurações		🗲 Editar				E Copiar figura

Janela "Configurações"

Na primeira análise, vamos avaliar uma estaca isolada, não sendo necessário definir os coeficientes de redução de correlação ξ_3 , ξ_4 . Não vamos considerar a influência do atrito superficial negativo. Nesta janela, também é possível definir o *fator parcial de incerteza do modelo*, que é utilizado para reduzir a capacidade de suporte total da estaca calculada – vamos manter o valor de origem igual a 1.0.

Nesta janela, vamos selecionar a opção "Realizar a classificação dos solos". Esta opção assegura que os parâmetros dos solos serão atribuídos automaticamente, para toda a tarefa, a partir dos ensaios CPT realizados.

Nota: Os coeficientes de correlação ξ_3 , ξ_4 e a capacidade de suporte total da estaca dependem do número de ensaios CPT realizados. Quando existirem mais ensaios CPT, o valor dos coeficientes de correlação é menor. Para dois ensaios de penetração estáticos, os valores dos coeficientes são $\xi_3 = 1.35$, $\xi_4 = 1.27$, de acordo com a **Tabela A.10** - <u>Coeficientes de Correlação para Avaliar a</u> <u>Capacidade de Suporte de Estacas a partir de CPTs</u>, presente na Norma EN 1997-1 (Parte A.3.3.3).

Agora, vamos passar à janela "CPT". Aqui, vamos importar os ensaios existentes para o programa, através dos botões "Importar" e "Adicionar".



Janela "CPT"

Nota: Os ficheiros para importação (cpt_test1.gef, cpt_test2.gef) estão incluídos na pasta de instalação GEO5 e estão localizados na pasta FINE, em documentos públicos.

Nota: Os ensaios CPT podem ser importados em vários formatos. No nosso exemplo, vamos utilizar o formato Holandês GEF. Para mais informações, consulte a Ajuda do programa – clique em F1 ou via <u>online</u>.

Nota: Também é possível adicionar ensaios CPT manualmente, através do botão "Adicionar CPT". Uma vez que é normal existir um número elevado de pontos de medição, é mais frequente utilizar a importação de dados.

Após clicar no botão "OK", os ensaios são carregados no programa e são exibidos os gráficos com os valores medidos para a resistência de cone e para o atrito local.



Janela "CPT" – ensaios importados

Nota: Os ensaios CPT podem ser divididos em dois tipos. Os ensaios CPT normais, medem a resistência de cone (q_c) e o atrito superficial (f_s). O segundo tipo é um ensaio mais detalhado conhecido como CPTu, que também mede a pressão nos poros. Os ensaios CPTu são mais dispendiosos e mais complexos a nível técnico. No entanto, o conhecimento da pressão nos poros (u) é necessário para classificar os solos corretamente, com base nos resultados dos ensaios CPT. Se a posição do nível freático for conhecida, o programa pode calcular a pressão nos poros automaticamente. Isto está explicado no texto seguinte.



Selecione o ficheiro "cpt_test1" e clique no botão "Editar No. 1". Após clicar no botão "Editar", abre-se a caixa de diálogo com os resultados detalhados do ensaio selecionado.

Editar proprie	dades do ens	aio de campo (Ensai	o de penetração	de cone								
— Parâmetro	s do ensaio –						Resistê	ncia de cone	Atrite	o superficial	Press	ão nos poros
Nome do en	saio : cpt_te	st1					0.00		0.00		0.001	
Altura : inserir						2.50 -		2.50 -		2.50 -		
Prof. do 1º p	to a partir da	sup de terreno origi	inal: d1 =	0	[m] 00.		5.00		5.00 -		5.00 -	
	to. a partir da	sup. de terreno origi			00 (111)		7.50		7.50 -	>	7.50 -	
Prof. total :			dtot =	29	.91 [m]							
Tabela CPT					Água subt	rânea	×		10.00 -		10.00 -	
Registo	Altura	Resistência de cone	Atrito superficial	Pressã	C Som		-	3	_12.50-	}	12.50 -	
Número	d [m]	q _c [MPa]	fs [kPa]	u	Jenn			2-7	E 15.00-	5	E 15.00-	
> 1	0.00	0.00	0.00)	Prof. do r	rel do freático a partir do 1º ponto do teste :	4.50 [m]	5	Altur	ξ	Altur	
2	0.91	0.18	22.00)				>	17.50 -	ş	17.50	
3	0.93	0.30	26.00)		🗸 ОК 🛛 🗙	Cancelar	ž –	20.00 -		20.00 -	
4	0.94	0.39	25.00)				\geq				
5	0.96	0.39	26.00)			22.50-0		22.50 -		22.50 -	
6	0.98	0.38	31.00)			25.00-		25.00 -	5	25.00 -	
7	1.00	0.39	29.00)				2		2		
8	1.02	0.40	27.00)			27.50	5	27.50 -	5	27.50 -	
9	1.04	0.35	26.00)			29.91		29.91		29.91	
10	1.06	0.35	24.00)		-	0	10 20 30	0	200 400 600	0	
11	1.08	0.37	23.00)		*		dc [Mba]		т ₅ [кра]		u ₂ [kPa]
붬 Importa	r 👂 Calcu	lar u2			_					OK + 🔱	🗸 ОК	X Cance

Janela "CPT" – cálculo da pressão nos poros

Nesta caixa de diálogo, clique no botão "Calcular u2", na parte esquerda do ecrã, e defina o nível freático pretendido à profundidade de 4.50 m.

Calculamos a pressão nos poros de ambos os ensaios desta forma.

Também é necessário introduzir o nível freático na janela "Nível freático".



Janela "Nível freático"

GEO5

Agora, passamos à janela "Classificação dos solos". Selecione a classificação de acordo com Robertson (2010). O rácio de área líquida do penetrómetro tem um valor standard de 0.75. Selecione a opção "calcular" para calcular o peso volúmico através dos ensaios CPT. Por último, defina a espessura mínima da camada como 0.50 m, de forma a obter uma visualização clara do perfil geológico. Para mais informações, consulte a Ajuda do programa – clique em F1 ou via <u>online</u>.



Janela "Classificação dos solos"

Nota: A classificação dos solos é sempre realizada apenas para um ensaio CPT – é necessário especificá-lo no campo correspondente.

Podemos saltar as janelas "Perfil", "Solos" e "Atribuir" – todos os dados são preenchidos automaticamente com base nos valores obtidos através dos ensaios CPT.



Na janela "Construção", selecione a opção "estaca isolada". De seguida, defina o valor da carga vertical máxima atuante na estaca, conforme mostra a imagem abaixo. A carga de projeto é utilizada para a análise da capacidade de suporte da estaca e a carga de serviço é utilizada para a análise de assentamento.



Janela "Construção"

Na janela "Geometria", vamos introduzir o material da estaca e a secção transversal, definir as dimensões base, isto é, o diâmetro da estaca e o seu comprimento cravado no solo. Seguidamente, vamos definir a técnica de execução da estaca. Neste caso, vamos considerar estacas escavadas sem revestimento do furo ou estabilizado com lamas de escavação.

O coeficiente da capacidade de suporte da base da estaca $lpha_{_p}$ é calculado automaticamente.



Janela "Geometria"

Agora, passamos à janela "Capacidade de carga" para realizar a análise de verificação da estaca isolada. Esta janela permite-nos visualizar os resultados obtidos.

1.00 o 1.00 o <td< th=""><th>Modos ■ Projeto ☆ Configurações ▶ CPT ■ Nivel freático ₱ Classificação dos solos ■ Perfil ■ Solos ■ Atribuír ■ Geometria ▲ Capacidade de carga ▶ Assentamento</th></td<>	Modos ■ Projeto ☆ Configurações ▶ CPT ■ Nivel freático ₱ Classificação dos solos ■ Perfil ■ Solos ■ Atribuír ■ Geometria ▲ Capacidade de carga ▶ Assentamento
Analise para : todos os ensaios ▼ Resultados Cálculo da cap, de carga vertical - resultados Cálculo realizado para todos os testes. Resistência mínima da estaca à compressão R _{cman} = 1359.29 kN Coeficiente \$4 = 1.27 Resistência média de estaca à compressão R _{cman} = 1359.29 kN Coeficiente \$4 = 1.27 Resistência média de estaca à compressão R _{cman} = 1548.98 kN Coeficiente \$3 = 1.25 Capacidade de carga característica estaca R = 1070.31 kN Carga de projeto da estaca R _d = 1070.31 kN Carga de projeto 4 Estaca * 700.00 kN Verificação da cap, de carga da estaca & SATISFATÓRIA	Resultados - Maticinar imagem Capacidade de carga : 0 Total : 0 Si Lista de imagens Resultados - Si Lista de imagens Resultados - - - - - - - - - - - - - -

Janela "Capacidade de carga"

O botão "Em detalhe" permite visualizar os resultados intermédios da análise da capacidade de suporte vertical da estaca.

Cálculo da cap. de carga vertical da esta	aca - resu	ilta	dos i	ntei	rmedia	ários
Diâmetro da estaca		dec	=	1.00) m	
Diâmetro da estaca na base		d _{s,e}	eq =	1.00) m	
Área da estaca na base		Ab	=	0.79) m ²	
Coef. de redução da cap. de carga da base d	la estaca	αp	=	0.50)	
Coef. de influência da forma da estaca		s	=	1.00)	
Coef. de influência da estaca alargada na ba	ise	β	=	1.00)	
Cálculo realizado para todos os testes.						
Resistência mínima da estaca à compressão	Remin	=	1359	29	kN	
Coeficiente	د. در	=	1	.27		
Resistência média da estaca à compressão	Remean	=	1548	.98	kN	
Coeficiente '	č,mean č3	=	1	.35		
Capacidade de carga característica estaca	R _c	=	1070	.31	kN	
Capacidade de projeto da estaca	R _{cd}	=	1070	.31	kN	
Carga de projeto	F _{s,d}	=	700	.00	kN	
R _{cd} = 1070.31 kN > F _{s d} = 700.00 kN						
Verificação da cap. de carga da estaca É SAI	ISFATÓR	IA				

Caixa de diálogo "Verificação (em detalhe)" – capacidade de carga vertical

Nota: A análise da capacidade de suporte pode ser realizada para um ensaio em específico ou para todos os ensaios.

A capacidade de suporte vertical de uma estaca $R_{c,d}$ corresponde à soma do atrito superficial com a resistência da base da estaca (mais detalhes na Ajuda – F1). Para verificar a condição de confiança, este valor deve ser superior ao valor da carga de projeto atuante $F_{s,d}$.

- EN 1997-2: $R_{c,d} = 1070,31 \, kN > F_{s,d} = 700,0 \, kN$ SATISFAZ

De seguida, passamos à janela "Assentamento", é possível visualizar a curva de carregamento último da estaca e o assentamento resultante. O assentamento total da estaca é $w_{1,d} = 15,6 mm$, para uma carga de serviço de $F_s = 300 \ kN$.



Janela "Assentamento" – Curva de carga última (diagrama de trabalho) de uma estaca



É possível visualizar os resultados detalhados através do botão "Em detalhe".

🛃 Verificação					_		×		
Cálculo de assentamento: Carga de serviço Cap. de carga lateral Cap. de carga na base Assentamento da base da estaca Deformação elástica da estaca Assentamento total	F _s R _s R _b Wbase Wel,d W1,d		300.00 119.11 180.89 15.4 0.2 15.6	kN kN kN mm mm					
Cálc. de assentamento da estaca - resultados Para carregamento Fs = 300.00 kN o assentamento da estaca é = 15.6 mm									

Caixa de diálogo "Verificação (em detalhe)" – Assentamento

Grupo de estacas

Agora, vamos realizar a análise de um grupo de estacas com uma grelha rígida. Na janela "Configurações", selecione a opção "Reduzir coeficientes ξ_3 , ξ_4 (estrutura rígida)".



Janela "Configurações"

GEO5

De seguida, passe para a janela "Construção", onde vamos definir os parâmetros necessários para a análise de um grupo de estacas. Vamos considerar a fundação por estacas (placa de capeamento e estacas) como uma **estrutura rígida**, para a qual se assume que **todas as estacas sofrem igual assentamento**. Definimos o número de estacas como 4.



Janela "Construção"

As restantes janelas não sofrem alterações.

Agora, volte à janela "Capacidade de carga", para visualizar os resultados da análise.

Values 🔁 🚭 🗐 Values Values		
		Modos _
	1.00 0	🗐 Projeto
30	4.50	🛠 Configurações
		🕨 СРТ
↔		Nível freático
•		Classificação dos solos
Q		Perfil
		Solos
		Atribuir
		Construção
		🕇 Geometria
		🛔 Capacidade de carga
eha		S Assentamento
Anàlise para : Todos os ensaios 💌	🕃 Em detaihe	1
- Resultados		
Cálculo da cap. de carga vertical - resultados Cálculo realizado para todos os testes.	▲	
Resistência mínima da estaca à compressão R _{c.min} = 1359.29 kN		Resultados _
Coeficiente $\xi_4 = 1.15$		B* Adicionar imagem
Coeficiente $\xi_3 = 1.23$		Capacidade de carga : 0
Capacidade de carga característica estaca R _c = 1177.34 kN		Total : 0
Capacidade de projeto da estaca Red = 4709 37 kN		B [#] Lista de imagens
Carga de projeto $F_{s,d} = 2800.00 \text{ kN}$		
R _{cd} = 4709.37 kN > F _{s,d} = 2800.00 kN		
Verificação da cap. de carga da estaca É SATISFATÓRIA	•	Ba Copiar figura
0		

Caixa de diálogo "Verificação (em detalhe)" – Capacidade de carga vertical

- EN 1997-2: $R_{c,d} = 4709.37 \ kN > F_{s,d} = 2800.0 \ kN$ SATISFAZ

Conclusão

A análise da capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada e de um grupo de estacas é satisfatória. A principal vantagem da análise realizada com base nos resultados de ensaios CPT é a rapidez e clareza. Esta metodologia está definida de acordo com a Norma *EN 1997-2: Geotechnical Design – Parte 2: Ground investigation and testing*, sendo que a definição de parâmetros de resistência, que por vezes se podem revelar ambíguos, não é necessária.