



# Eurocódigo 7

EN 1997 – Projecto geotécnico

Apresentação geral

Rui Manuel Correia

LNEC

# Sumário

- Enquadramento, objecto e programa do EC 7
- Situação actual do EC 7
- Relevância do EC 7 em Portugal
- Algumas especificidades dos materiais geotécnicos
- **Apresentação geral do EC 7-1**
- A NP EN 1997-1 e o Anexo Nacional português
- Conclusão

# Enquadramento do EC 7

- Normalização em engenharia geotécnica
- Inserção no programa de Eurocódigos estruturais

# Normalização em eng<sup>a</sup> geotécnica

## Finalidade

- Garantia de qualidade - estabelecimento de parâmetros objectivos para a definição, avaliação e certificação da qualidade
- Estabelecimento de bases harmonizadas para a cooperação e entendimento entre todas as entidades envolvidas (autoridade, dono de obra, projectista, empreiteiro, gestão da qualidade, controlo técnico)

# Normalização em eng<sup>a</sup> geotécnica

## *Tipos de normas*

- Normas de materiais
- **Normas de projecto**
- Normas de execução de obras
- Normas de observação e controlo da segurança

# Normalização em eng<sup>a</sup> geotécnica

## Normas de materiais

- prospecção geotécnica e ensaios (de campo e de laboratório) de caracterização de terrenos

[CEN/TC 341, ISO/TC 182]

- geossintéticos (normas de ensaio, normas de exigência de características)

[CEN/TC 189, ISO/TC 221]

# Normalização em eng<sup>a</sup> geotécnica

## Normas de execução de obras geotécnicas especiais [CEN/TC 288]

- Estacas moldadas – EN 1536, 1999
- Ancoragens – EN 1537, 1999
- Paredes moldadas – EN 1538, 2000
- Estacas-prancha – EN 12063, 1999
- Estacas cravadas – EN 12699, 2000
- Tratamento de terrenos por injeções de calda de cimento –  
– EN 12715, 2000
- “Jet-grouting” – EN 12716, 2001
- Micro-estacas – EN 14199, 2005
- Aterros reforçados – EN 14475, 2006
- Tratamento de terrenos – EN 14679, 2005; EN 14731, 2005



# Eurocódigos estruturais

Conjunto de **normas europeias** relativas ao **projecto estrutural** de edifícios e outras obras de engenharia civil

Entidade emissora: Comité Europeu de Normalização (**CEN**)

Países aderentes: os **25** da União Europeia (UE) e os **4** da Associação Europeia para o comércio Livre (AECL-EFTA)



# Eurocódigos estruturais

Eurocódigo "0" – EN 1990 – Bases para o projecto de estruturas (2 partes)

Eurocódigo 1 – EN 1991 – Acções em estruturas (10)

Eurocódigo 2 – EN 1992 – Projecto de estruturas de betão (4)

Eurocódigo 3 – EN 1993 – Projecto de estruturas de aço (20)

Eurocódigo 4 – EN 1994 – Projecto de estruturas mistas aço-betão (3)

Eurocódigo 5 – EN 1995 – Projecto de estruturas de madeira (3)

Eurocódigo 6 – EN 1996 – Projecto de estruturas de alvenaria (4)

**Eurocódigo 7 – EN 1997 – Projecto geotécnico (2)**

Eurocódigo 8 – EN 1998 – Projecto de estruturas sismo-resistentes (6)

Eurocódigo 9 – EN 1999 – Projecto de estruturas de alumínio (5)

# A “transversalidade” do Eurocódigo 7

- Todos os projectos de obras de engenharia civil têm aspectos geotécnicos  
(embora o grau de relevância seja muito variável, desde obras de aterro para uma barragem ou uma infraestrutura de transporte até edifícios ou pontes fundados em rocha muito resistente)
- É no EC 7 (e também no EC 8 – acções sísmicas), e não no EC 1, que são definidas as acções geotécnicas  
(acções que são transmitidas à estrutura pelo terreno, por um aterro, por água livre ou por água do terreno)

# Programa do Eurocódigo 7

## ▶ **Parte 1: Regras gerais (EN 1997-1)**

Princípios e requisitos aplicáveis aos aspectos geotécnicos do projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil

## ▶ **Parte 2: Caracterização geotécnica – Prospecção e ensaios (EN 1997-2)**

Planeamento, requisitos e interpretação de resultados de ensaios utilizados no apoio ao projecto geotécnico

# Eurocódigo 7, Parte 1

- Bases do projecto geotécnico
  - ▶ Cumprimento de requisitos de segurança estrutural, aptidão para a utilização e durabilidade
  - ▶ Valores característicos e valores de cálculo das variáveis básicas: acções, propriedades dos materiais e dados geométricos
  - ▶ Definição das acções geotécnicas
- Regras gerais para os estudos de caracterização geotécnica
- Regras para o projecto dos principais tipos de estruturas geotécnicas

# Eurocódigo 7 - Parte 2

Regras relativas a:

- Planeamento dos estudos de caracterização geotécnica para apoio ao projecto (prospecção e ensaios)
- Requisitos gerais para os ensaios mais comuns de campo e de laboratório
- Interpretação dos resultados dos ensaios tendo em vista a determinação de valores deduzidos (*derived values*) dos parâmetros geotécnicos

# Propriedades dos terrenos

**Resultados de ensaios de laboratório e de campo**

(teoria, correlação,...) ↓

**Valores deduzidos**

EN 1997-2



(estimativa cautelosa...) ↓

EN 1997-1

**Valores característicos**

(coeficientes parciais  $\gamma_M$ ) ↓

**Valores de cálculo**

# Situação actual do EC 7

- Estão publicadas

**EN 1997-1:2004**

**EN**

**1997-2: 2007**

- Estão em preparação

**NP EN 1997-1**

**NP EN 1997-2**

# Relevância do EC 7 em Portugal

Não existe em Portugal nenhum regulamento ou norma com o objecto do EC 7 (aspectos geotécnicos do projecto de obras de engenharia civil, em geral)

No domínio do projecto geotécnico há contudo a referir:

- Algumas especificações do LNEC, como “Fundações directas correntes – Recomendações” (1968)
- Normas de Projecto de Barragens (1993), complementar do Regulamento de Segurança de Barragens (1990)
- Regulamento de Pequenas Barragens (1993)
- “Recomendações na Área da Geotecnia” (2004), da EGOE



# Relevância do EC 7 em Portugal

A prática corrente do projecto geotécnico em Portugal é ainda preponderantemente a tradicional:

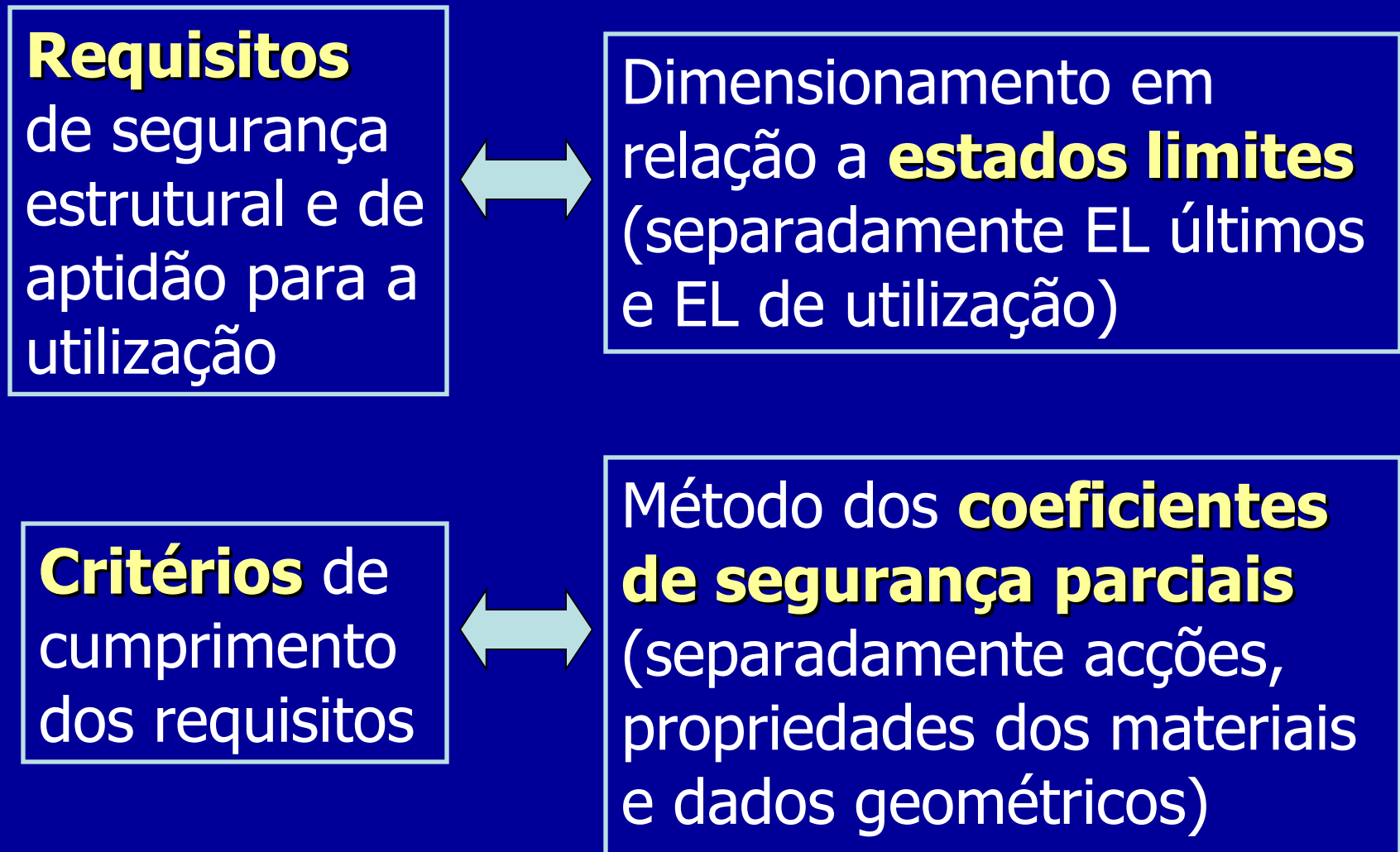
- utilização de um **coeficiente de segurança global** (CSG) como critério de cumprimento do requisito de segurança estrutural
- recurso frequente ao CSG como critério indirecto de cumprimento do requisito de aptidão para a utilização

# Relevância do EC 7 em Portugal

O EC 7 estabelece uma metodologia (princípios, requisitos e critérios) e uma terminologia idênticas às já utilizadas nos aspectos estruturais dos projectos

- Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (1983)
- Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado (1984)
- Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (1986)

# EC 7 – Requisitos e Critérios



# Algumas especificidades dos materiais geotécnicos

- Com exceção dos materiais de aterro, ocorrem em maciços naturais maior incerteza na caracterização →
- Reologia dos solos: dilatância, viscosidade, anisotropia, ...
- Maciços rochosos: influência das discontinuidades

# Algumas especificidades dos materiais geotécnicos

- Solos: meios trifásicos
  - influência das pressões intersticiais na resistência e na deformabilidade
  - forças de percolação, que podem causar roturas hidráulicas
  - interacção entre a deformação do esqueleto sólido e o escoamento da água e do ar dos poros

# Apresentação geral do EC 7-1

## Composição:

- 168 páginas
- 12 secções
- 9 anexos (1 normativo + 8 informativos)

# Secções do EC 7-1

**Secção 1** – Generalidades

**Secção 2** – Bases do projecto geotécnico

**Secção 3** – Dados geotécnicos

**Secção 4** – Supervisão da construção,  
observação e manutenção

**Secção 5** – Aterros, rebaixamento freático e  
melhoramento ou reforço  
do terreno

# Secções do EC 7-1 (cont.)

**Secção 6** – Fundações superficiais

**Secção 7** – Fundações por estacas

**Secção 8** – Ancoragens (\*)

**Secção 9** – Estruturas de suporte

**Secção 10** – Rotura hidráulica (\*)

**Secção 11** – Estabilidade global (\*\*)

**Secção 12** – Aterros (\*\*)

(\*) Não existia na ENV; (\*\*) Estavam juntas na ENV



# Anexos do EC 7-1

## **Anexo A** (normativo)

Coeficientes parciais e de correlação para estados limites últimos e valores recomendados

## **Anexo B** (informativo)

Informação básica sobre os coeficientes parciais a utilizar nas Abordagens de Cálculo 1, 2 e 3

## **Anexo C** (informativo)

Exemplos de procedimentos para a determinação dos valores limites das pressões de terras sobre estruturas de suporte verticais

# Anexos do EC 7-1 (cont.)

## **Anexo D** (informativo)

Exemplo de um método analítico de cálculo da capacidade resistente do terreno ao carregamento

## **Anexo E** (informativo)

Exemplo de um método semi-empírico para a estimativa da capacidade resistente do terreno ao carregamento

## **Anexo F** (informativo)

Exemplos de métodos de avaliação do assentamento

# Anexos do EC 7-1 (cont.)

## **Anexo G** (informativo)

Exemplo de um método para a determinação da capacidade resistente presumida do terreno de fundações superficiais em rocha

## **Anexo H** (informativo)

Valores limites da deformação estrutural e dos movimentos das fundações

## **Anexo J** (informativo)

Lista de verificação para a supervisão da construção e a observação do comportamento

# Aspectos seleccionados do EC 7-1

- Formas de efectuar o dimensionamento
- Dimensionamento por cálculo
- Valores característicos dos parâmetros geotécnicos
- Tipos de estados limites últimos
- Efeitos de acções e capacidades resistentes
- Abordagens de cálculo

# Dimensionamento

A verificação de que, em qualquer situação de projecto, nenhum estado limite é excedido, pode ser efectuada:

- por cálculos (modelos analíticos, semi-empíricos ou numéricos)
- por medidas prescritivas (EC 7)
- por (ou com apoio de) modelos experimentais ou ensaios de carga
- pelo método observacional (EC 7)

# Dimensionamento por cálculo

## Modelos



- analíticos
- semi-empíricos
- numéricos

- de acções
- de efeitos das acções
- de capacidade resistente

# Dimensionamento por cálculo

No projecto geotécnico,

o conhecimento das propriedades do terreno e o controlo da qualidade da execução

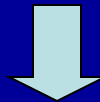
**são mais importantes** do que

o rigor dos modelos de cálculo e dos coeficientes de segurança parciais

# Propriedades dos terrenos

**Resultados de ensaios de  
laboratório e de campo**

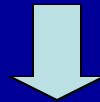
(teoria, correlação,...)



**Valores deduzidos**

EN 1997-2

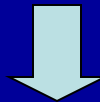
(estimativa cautelosa...)



EN 1997-1

**Valores característicos**

(coeficientes parciais  
 $\gamma_M$ )



**Valores de cálculo**



# O valor característico de um parâmetro geotécnico ...

*... deve ser escolhido de forma a constituir uma estimativa cautelosa do valor que governa a ocorrência do estado limite em consideração*

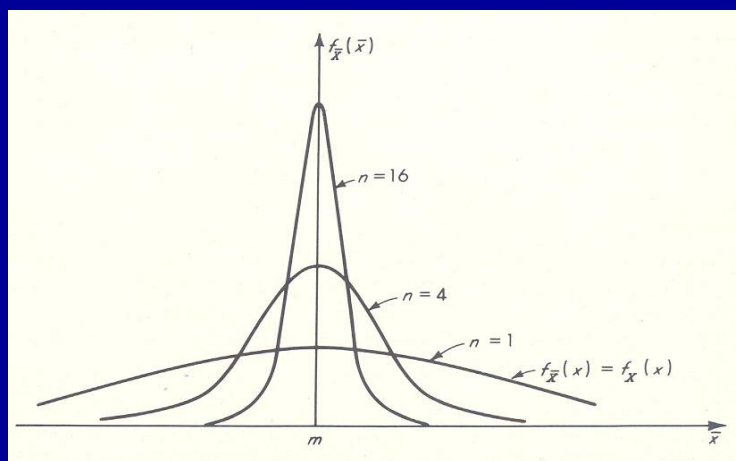
Em geotecnia, o “valor que governa” é muitas vezes uma média espacial  $X_m$  do valor “pontual”  $X$



$$R = \sum X_i l_i = X_m l$$

# Valores característicos

Nesse caso, dado que a variância da média espacial diminui com a extensão  $l = \sum l_i = n l$



$$\text{Var}[X_m] = 1/n$$

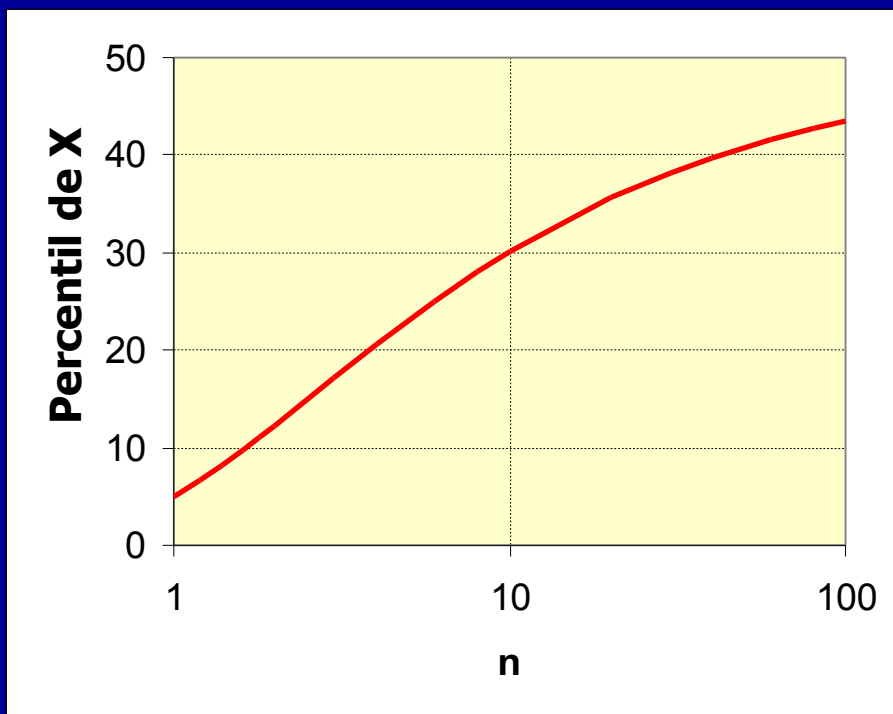
$$\text{Var}[X]$$

o valor característico do parâmetro depende da extensão da zona de terreno que governa o comportamento da obra na situação de projecto e no estado limite em análise (não é intrínseco)

# Valores característicos

$$X_k = m_X - 1,65 \sigma[X] \quad (\text{percentil } 5 \%)$$

$$X_{mk} = m_X - 1,65 \sigma[X]/\sqrt{n} \quad \text{depende de } n$$



# Tipos de estados limites últimos a considerar no projecto geotécnico

- perda de equilíbrio – EQU
- rotura estrutural – STR

- rotura do terreno – GEO

projecto estrutural

tratados no EC 0 e no EC 7-1

- levantamento – UPL

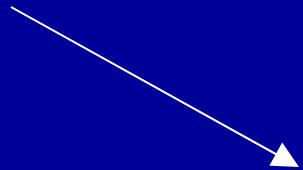
- rotura hidráulica – HYD

tratados apenas no EC 7-1

# Estados limites últimos a considerar no projecto geotécnico

**EQU** – *perda de equilíbrio da estrutura ou de uma das suas partes, consideradas como corpos rígidos*

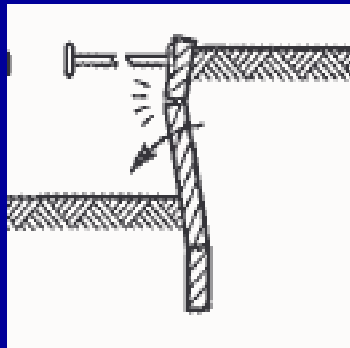
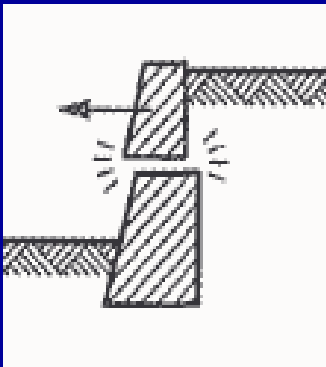
*... no projecto geotécnico a verificação EQU limitar-se-á a um número reduzido de casos, tais como fundações rígidas assentes em rocha*



exemplo: derrubamento de muro de suporte

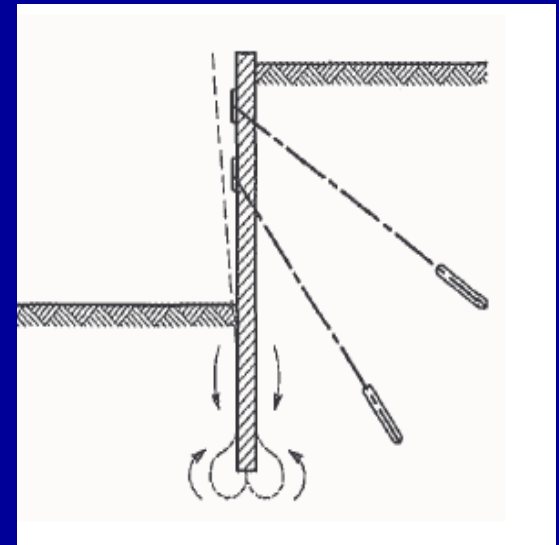
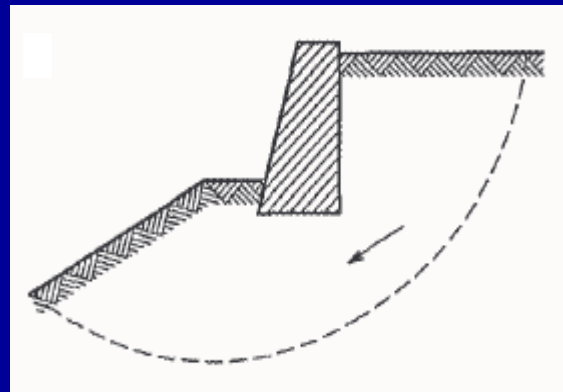
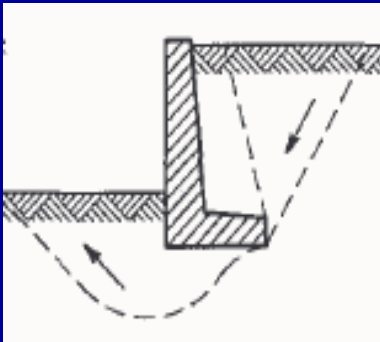
# Estados limites últimos a considerar no projecto geotécnico

**STR** – *rotura interna ou deformação excessiva da estrutura ou de elementos estruturais (incluindo, por exemplo, sapatas, estacas ou paredes de caves), em que as propriedades de resistência dos materiais estruturais têm influência significativa na capacidade resistente.*



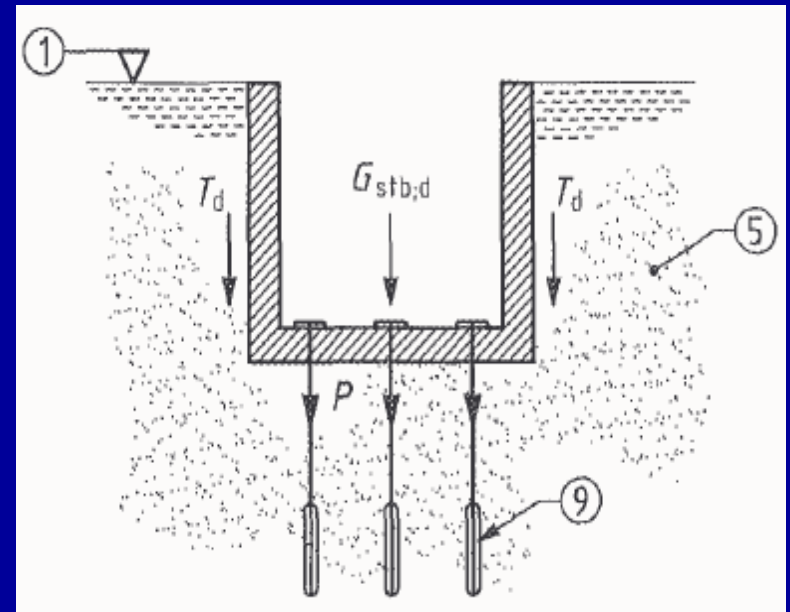
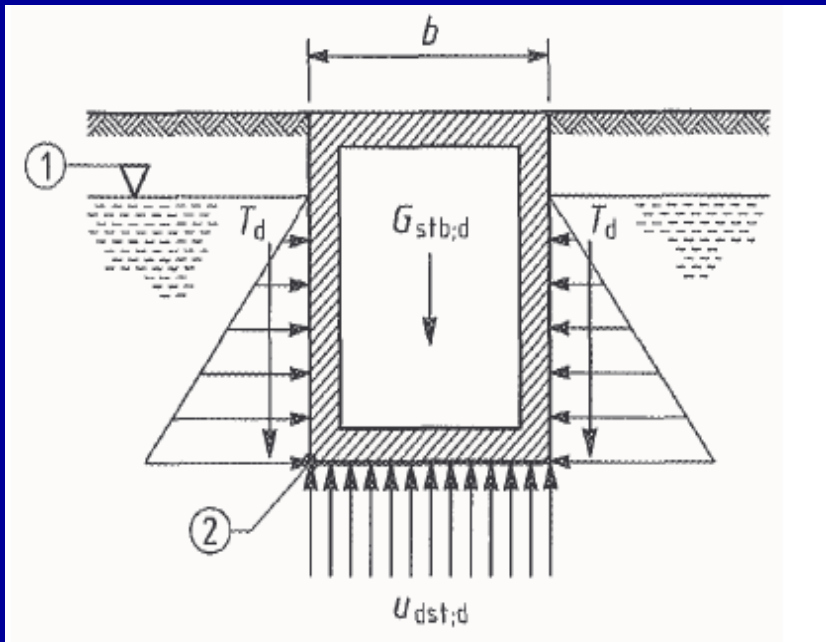
# Estados limites últimos a considerar no projecto geotécnico

**GEO** – *rotura ou deformação excessiva do terreno, em que as propriedades de resistência do solo ou da rocha têm influência significativa na capacidade resistente*



# Estados limites últimos a considerar no projecto geotécnico

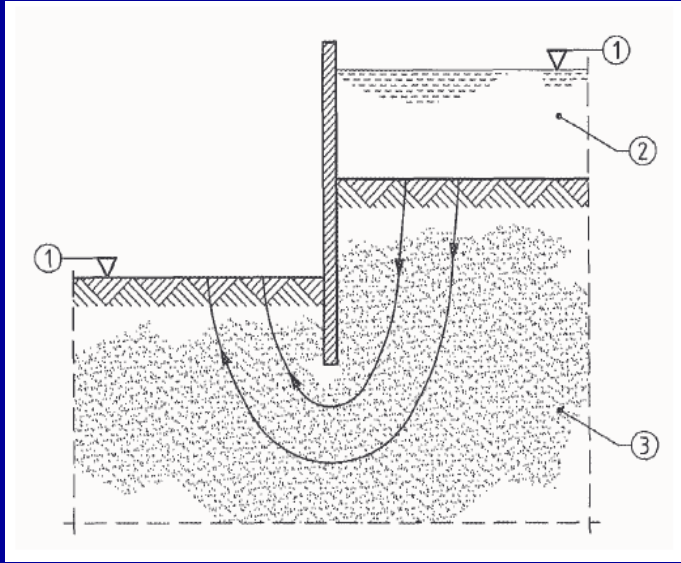
**UPL** – *perda de equilíbrio da estrutura ou do terreno devida a levantamento originado por pressão da água (flutuação) ou por outras acções verticais.*





# Estados limites últimos a considerar no projecto geotécnico

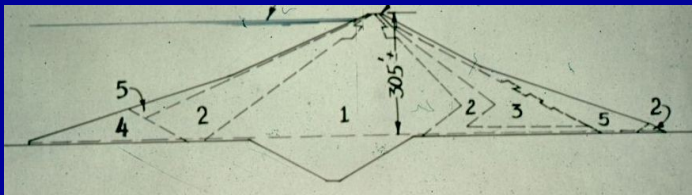
**HYD** – levantamento hidráulico, erosão interna ou erosão tubular no terreno causados por gradientes hidráulicos



Levantamento hidráulico



Erosão tubular (Barragem de Teton EUA, 1976)



# Efeitos das acções e capacidades resistentes no projecto geotécnico (ELU's STR/GEO)

$$E_d \leq R_d$$

$E_d$  – Valor de cálculo do efeito das acções

$$E_d = E\{\gamma^F F_{rep}; X_k/\gamma^M; a_d\} \quad \text{só no EC 7-1}$$

$R_d$  – Valor de cálculo da capacidade resistente

$$R_d = R\{\gamma^F F_{rep}; X_k/\gamma^M; a_d\}/\gamma^R \quad \text{só no EC 7-1}$$

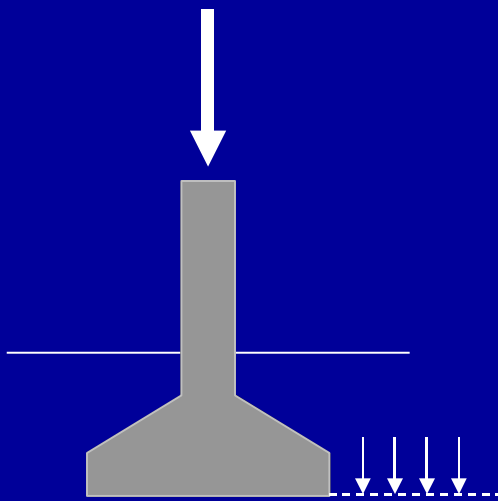
$$E_d = E\{\gamma F F_{rep}; X_k/\gamma M; a_d\}$$

$$I_a = 1/2 K_a \gamma H^2$$

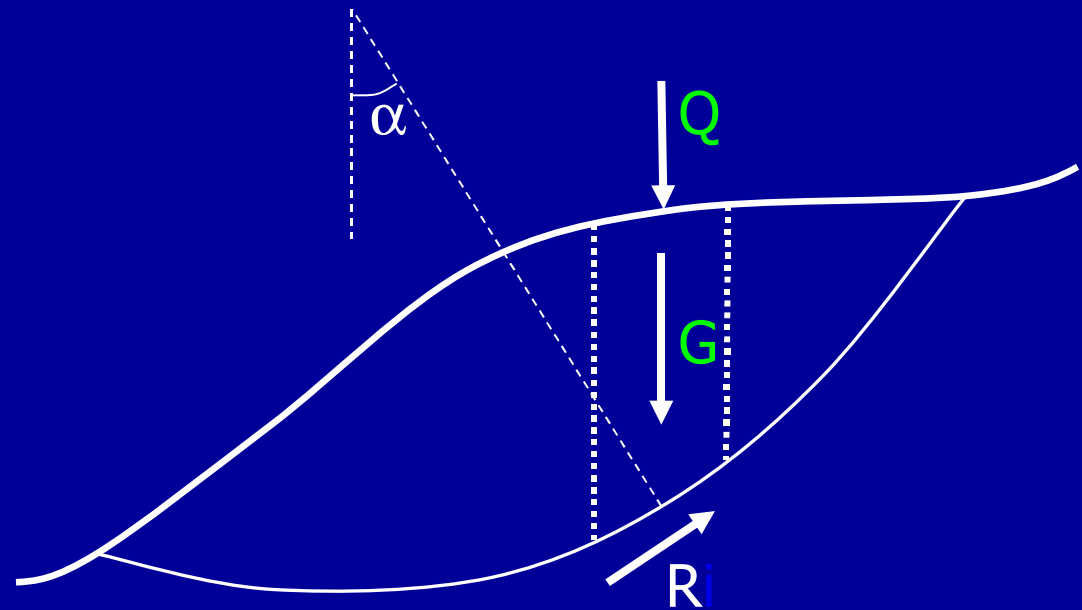
o valor de cálculo das acções geotécnicas pode depender do valor de cálculo de parâmetros do terreno (c, φ, δ)

$$R_d = R \{ \gamma F; F_{rep}; X_k / \gamma M; a_d \} / \gamma R$$

o valor de cálculo da capacidade resistente pode depender do valor de cálculo das acções

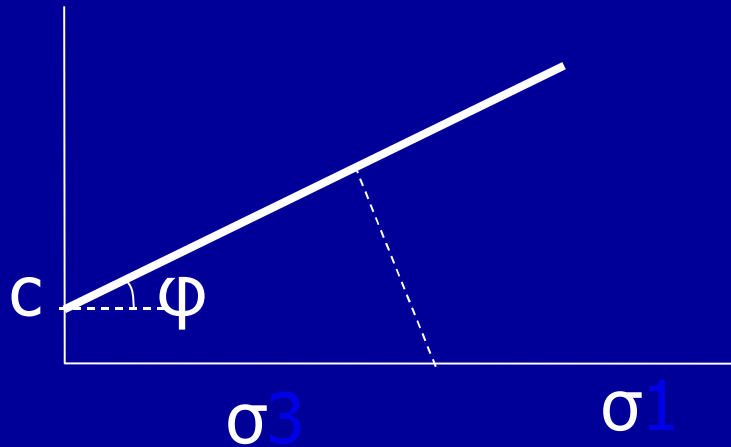


$$R = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + q N_q$$



$$R_i = (G + Q) \operatorname{tg} \varphi / (\cos \alpha + \operatorname{sen} \alpha \operatorname{tg} \varphi)$$

(Método de Bishop simplificado)



$$\sigma_{1f} = A(\varphi) \sigma_{3f} + B(\varphi)$$

c

Estruturas de betão

$$\sigma_3 / \sigma_1 \approx 0$$

$$\sigma_{1f} \approx B(\varphi) c$$

# Abordagens de cálculo

## ELU's STR/GEO

### Situações persistentes ou transitórias

A aplicação das equações para a determinação de  $E_d$  e de  $R_d$  é efectuada recorrendo a uma de três **abordagens de cálculo** alternativas:

- AC 1 – combinação 1 e combinação 2
- AC 2
- AC 3

utilizando diferentes conj. de valores de coef. parciais: A (acções), M (mat.), R (cap. resist.)

# Situações persistentes e transitórias – ELU STR/GEO



		AC 1 - C 1		AC 1 - C 2		AC 2		AC 3	
		Geral	Estacas e ancor.	Geral	Estacas e ancor.	Proc. 1	Proc. 2	Acções geotéc.	Acções estrut.
$E_d$	$\gamma_F$	A1	A1	A2	A2	A1	---	A2	A1*
	$\gamma_E$	---	---	---	---	---	A1	---	---
	$\gamma_M$	M1=1	M1=1	M2	M2	M1=1	M1=1	M2	---
$R_d$	$\gamma_F$	A1	A1	A2	A2	A1	= 1	A2	A1*
	$\gamma_M$	M1=1	M1=1	M2	M1=1	M1=1	M1=1	M2	
	$\gamma_R$	R1=1	R1>1	R1=1	R4>1	R2>1	R2>1	R3=1**	

\* A2 para estabilidade de taludes e estabilidade global

\*\* R3 > 1 para estacas à tracção

# Estados limites últimos

Valores dos coeficientes parciais – acções

		EC0/EC7			EC7	
		EQU	<b>STR/GEO</b>		UPL	HYD
			<b>A1</b>	<b>A2</b>		
$\gamma_F$ ( $\gamma_E$ )	$\gamma_{G;sup}$	1,10	<b>1,35</b>	<b>1,00</b>	1,00	1,35
	$\gamma_{G;inf}$	0,90	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,90	0,90
	$\gamma_Q$	1,50	<b>1,50</b>	<b>1,30</b>	1,50	1,50



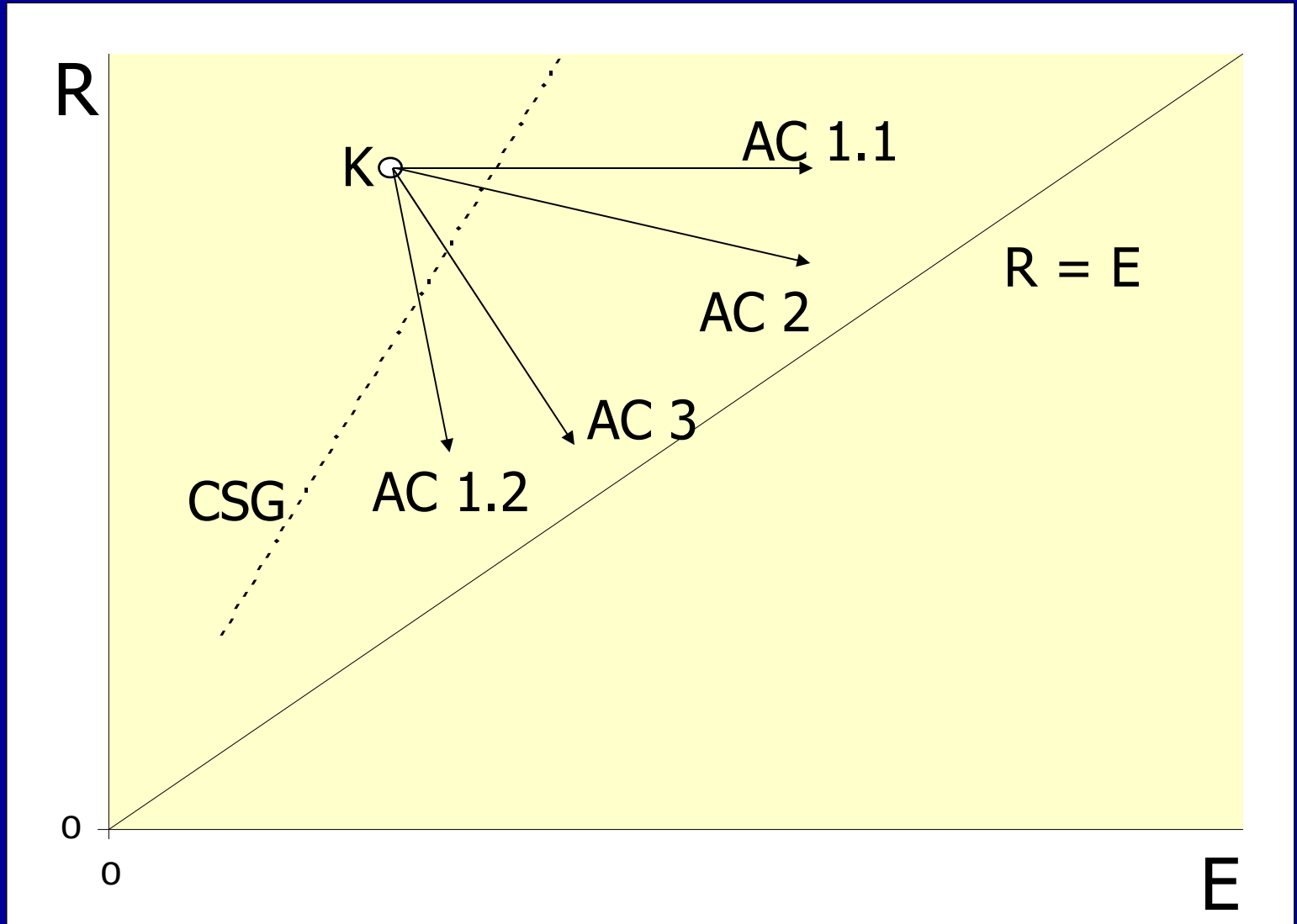


# Estados limites últimos

Valores dos coef. parciais – propriedades (EC 7)

		EQU	STR/GEO		UPL	HYD
			M1	M2		
$\gamma_M$	$\gamma_{\phi'}$	1,25	<b>1,00</b>	<b>1,25</b>	1,25	---
	$\gamma_{c'}$	1,25	<b>1,00</b>	<b>1,25</b>	1,25	---
	$\gamma_{cu}$	1,40	<b>1,00</b>	<b>1,40</b>	1,40	---
	$\gamma_{qu}$	1,40	<b>1,00</b>	<b>1,40</b>	---	---
	$\gamma_{\gamma}$	1,00	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	---	---

# Abordagens de cálculo (ELU's STR/GEO)



# Anexo Nacional da NP EN 1997-1

## 1) Parâmetros definidos a nível nacional (NDP)

- valores de coeficientes (parciais, de correlação e de modelo)

Com poucas excepções, são adoptados os valores recomendados na Norma para os CSP e para os coeficientes de correlação

São definidos os valores dos CSP para acções, parâmetros do terreno e capacidades resistentes em situações acidentais

São definidos valores de alguns coeficientes de modelo

# Anexo Nacional da NP EN 1997-1

## Parâmetros definidos a nível nacional (NDP)

- abordagens de cálculo (3 alternativas)

Em princípio será adoptada, em qualquer circunstância, a AC 1

# Anexo Nacional da NP EN 1997-1

## **2) Utilização dos anexos informativos**

- Mantêm esse carácter

## **3) Informações complementares para auxiliar a aplicação da Norma**

# Conclusão

- O EC 7 supre uma antiga lacuna regulamentar em Portugal
- Facilita a articulação entre os aspectos estruturais e geotécnicos dos projectos (por via do alargamento ao projecto geotécnico da metodologia DEL/MCSP)
- Introduce um enquadramento mais racional da problemática da fiabilidade das obras geotécnicas (superioridade conceptual da metodologia DEL/MCSP)

## Conclusão (cont.)

- A racionalização introduzida permitirá ganhos de economia, sem redução da fiabilidade, mas apenas se também forem observados os requisitos estabelecidos na norma acerca dos estudos de caracterização geotécnica
- O aproveitamento do novo enquadramento metodológico, mas mantendo práticas deficientes (em quantidade e em qualidade) no que diz respeito à caracterização geotécnica, poderia redundar em prejuízo da fiabilidade

## Conclusão (cont.)

As exaustivas listas de verificação relativas a situações de projecto e a estados/modos limites possíveis constituem uma ferramenta útil para os projectistas,

... mas podem levar a uma maior responsabilização no caso de comportamento deficiente