

## SEGURANÇA ESTRUTURAL E ACÇÕES

A segurança de uma estrutura é verificada comparando as acções com as resistências – ref. Eurocódigo “0” – Bases para o projecto de estruturas:

### ACÇÕES

&lt; &gt;

### RESISTÊNCIAS

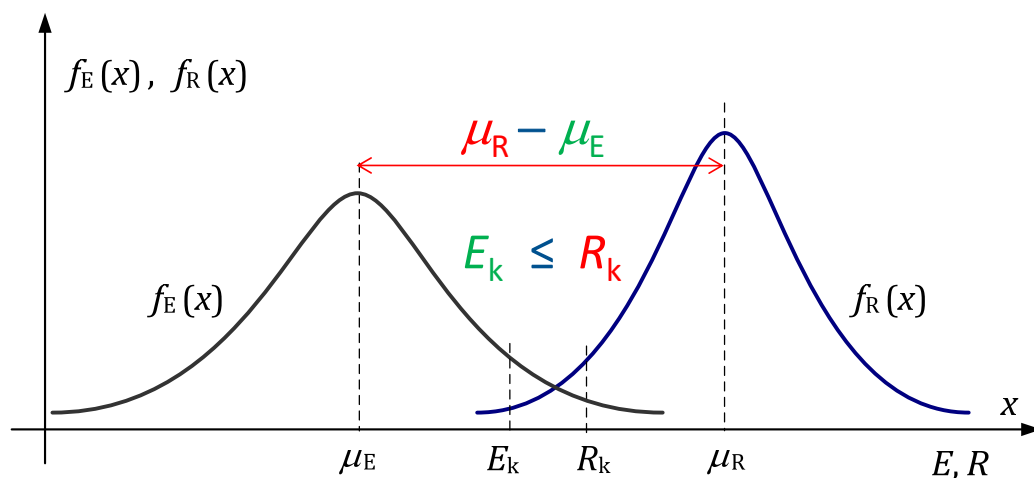
- ✓ Cargas permanentes =  $pp + rcp$
- ✓ Pré-esforço
- ✓ Retracção + fluência
- ✓ Pressões de terras / água
- ✓ Sobrecargas
- ✓ Neve
- ✓ Vento
- ✓ Variações de temperatura
- ✓ Sismos
- ✓ Assentamentos de apoio
- ✓ Acções de acidente

Factores que influenciam:

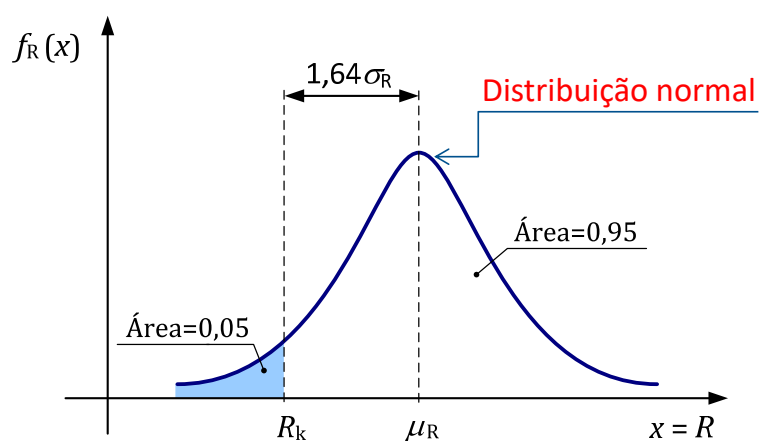
- ✓ Variabilidade das propriedades dos materiais
- ✓ Aproximações relativas ao comportamento dos materiais
- ✓ Imperfeições (ex. geométricas e tensões residuais, ...)
- ✓ Desvios / erros de execução em relação ao projecto

As verificações de projecto são efectuadas com base em informações com um certo grau de incerteza, e devem ter em consideração:

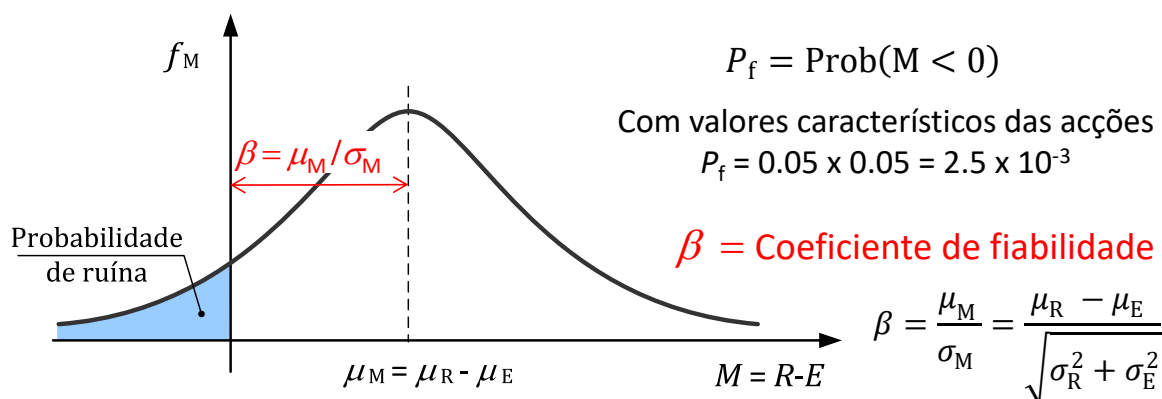
- variabilidade inerente a uma determinada grandeza (p. ex., a variabilidade da tensão de compressão do betão em resultado de desvios na produção);
- incertezas de modelação – qualquer modelo matemático corresponde a uma idealização, pelo que contém sempre algumas aproximações da “realidade”;
- incerteza estatística – as amostras que sustentam o modelo da acção ou da resistência têm, forçosamente, uma dimensão finita, pelo que haverá eventualmente situações não abrangidas por essas observações (p. ex., a acção da neve para o projecto de uma estrutura é definida em função das ocorrências passadas de que existem registos; não é impossível, contudo, que no futuro ocorra um nevão com intensidade superior à máxima registada até ao presente).



Funções densidade de probabilidade de  $R$  (resistência) e  $E$  (efeito da ação)



Valor médio e valor característico inferior duma variável aleatória  $R$  normalmente distribuída



Probabilidade de ruína,  $P_f = \text{Prob}(M < 0)$

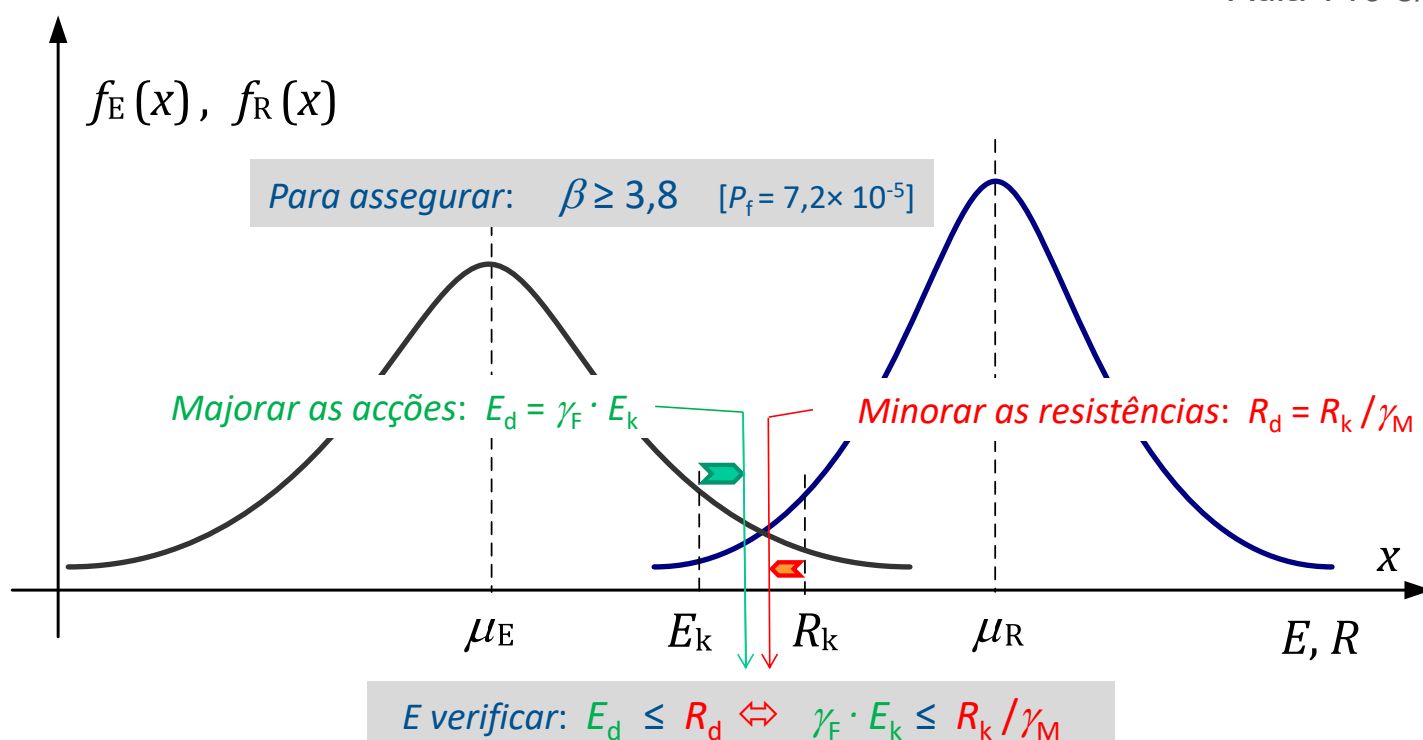
		$2.5 \times 10^{-3}$						
$P_f$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	
$\beta$	1,28	2,32	$\beta = 2.8$	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

Valores indicativos do tempo de vida útil de projeto

Categoria (em termos de vida útil de projeto)	Valores indicativos (anos)	Exemplos
1	10	Estruturas provisórias (e não reutilizáveis)
2	10 a 25	Componentes substituíveis (por exemplo, aparelhos de apoio)
3	15 a 30	Estruturas agrícolas e afins
4	50	Estruturas de edifícios e outras estruturas correntes
5	100	Pontes, edifícios social ou economicamente muito importantes

**Classes de fiabilidade e valores mínimos recomendados para o índice  $\beta$  associado a períodos de referência  $L = 1$  ano e  $L = 50$  anos (verificações de ELU)**

Classe de fiabilidade	Classe de consequências associável	$\beta_{\oplus}$	
		$L = 1$ ano	$L = 50$ anos
RC3	CC3 – consequências elevadas em termos de perda de vidas humanas, <b>ou</b> consequências económicas, sociais ou ambientais muito importantes	5,2	4,3
RC2	CC2 – consequências médias em termos de perda de vidas humanas; consequências económicas, sociais ou ambientais mediamente importantes	4,7	<b>3,8</b>
RC1	CC1 – consequências reduzidas em termos de perda de vidas humanas, <b>e</b> consequências económicas, sociais ou ambientais pouco importantes	4,2	3,3



- **Estados limites últimos (ELU)** – estados associados à rotura ou a outras formas de colapso da estrutura (ex. esgotamento da capacidade da estrutura por formação dum mecanismo, por deformação excessiva, por perda de estabilidade global ou de uma parte, rotura provocada por fadiga, etc.); *corresponde a  $\beta \geq 3,8$  [ $P_f=7,2 \times 10^{-5}$ ] para  $T=50$  anos.*
  - Na verificação dos ELU são consideradas: **Combinação fundamental, Combinação acidental; e Combinação sísmica.**
- 
- **Estados limites de utilização (ELS)** – estados que correspondem a condições para além das quais os requisitos de funcionamento da estrutura previamente especificados deixam de ser satisfeitos (ex. utilização normal, conforto das pessoas ou aspecto da própria construção); *corresponde a  $\beta \geq 1,5$  [ $P_f=6,7 \times 10^{-2}$ ] para  $T=50$  anos.*
  - Na verificação dos ELS são consideradas: **Combinação característica; Combinação frequente e Combinação quase permanente.**

- SP persistentes ou transitórias ( $Q_1$  – acção variável de base)

Aula T10 10/18

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

- SP acidentais ( $A_d$  – valor de cálculo da acção de acidente)

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

- SP sísmicas ( $A_{Ed}$  – valor de cálculo da acção sísmica)

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

**Valores dos coeficientes  $\gamma_G$  e  $\gamma_Q$  (para verificações de ELU)**

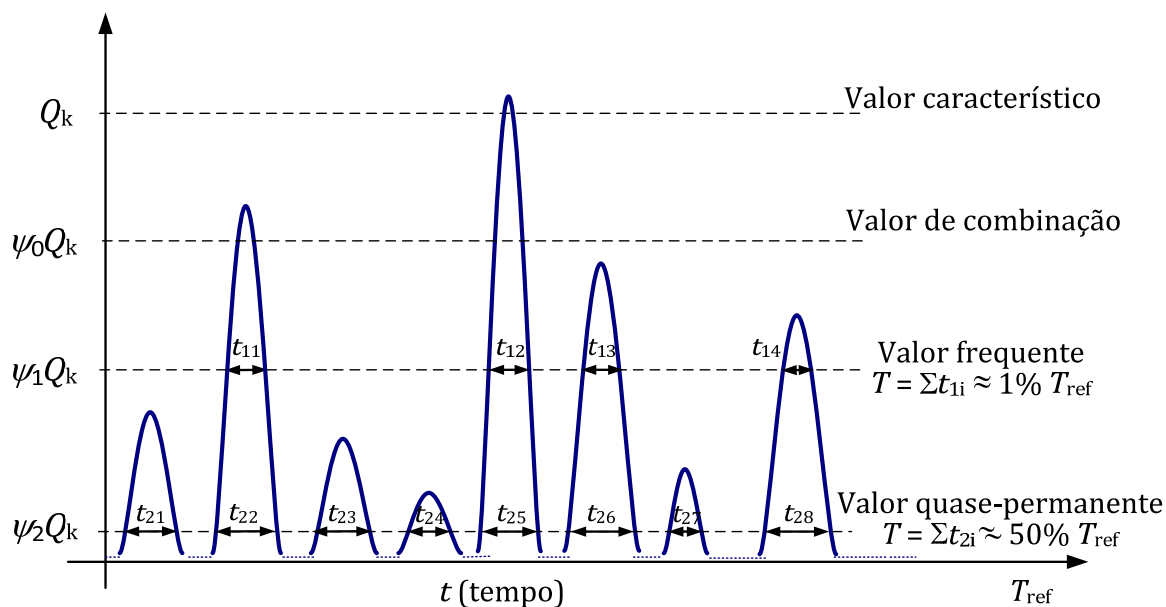
• EQU	$\gamma_G = 1,10 / 0,90$ , $\gamma_Q = 1,50 / 0,0$
• STR sem ações geotécnicas envolvidas	$\gamma_G = 1,35 / 1,00$ , $\gamma_Q = 1,50 / 0,0$
• STR com ações geotécnicas envolvidas (ex. na verificação da segurança de sapatas, estacas e muros) e GEO	$\gamma_G = 1,35 / 1,00$ , $\gamma_Q = 1,50 / 0,0$ e, em separado, $\gamma_G = 1,00$ , $\gamma_Q = 1,30 / 0,0$

EQU – Perda de equilíbrio estático (ex. derrubamento dum muro de suporte por rotação devida ao impulso de terras);

STR – Rotura ou deformação excessiva da estrutura ou de elementos estruturais (ex. rotura de secções transversais, formação de mecanismo, encurvadura, etc...);

GEO – Rotura ou deformação excessiva do terreno;

FAT – Rotura provocada por fadiga.



Valores representativos das ações variáveis

- combinações características ( $Q_1$  – ação variável de base),

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

- combinações frequentes,

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

- combinações quase-permanentes,

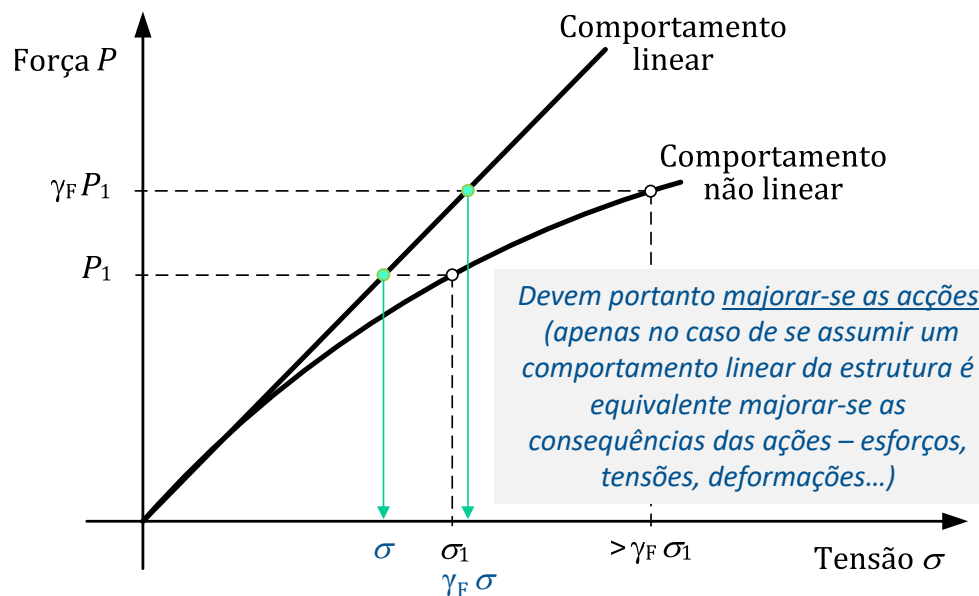
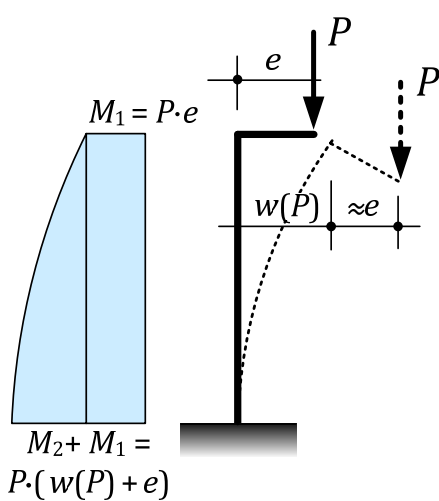
$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

### Valores dos coeficientes de combinação $\psi$ para ações em edifícios

Ação	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
<b>Sobrecargas</b>			
- Categoria A (e.g. zonas de habitação)	0,7	0,5	0,3
- Categoria B (zonas de escritórios)	0,7	0,5	0,3
- Categoria C (e.g. cinemas, escolas, palcos)	0,7	0,7	0,6
- Categoria D (zonas comerciais)	0,7	0,7	0,6
- Categoria E (e.g. armazéns)	1,0	0,9	0,8
- Categoria F (e.g. auto-silos, $P_v \leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
- Categoria G (e.g. zonas de carga/descarga)	0,7	0,5	0,3
- Categoria H (coberturas não acessíveis)	0	0	0

Valores dos coeficientes de combinação  $\psi$  para ações em edifícios

Ação	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Neve			
- Locais com altitude > 1000 m	0,7	0,5	0,2
- Locais com altitude $\leq$ 1000 m	0,5	0,2	0
Vento	0,6	0,2	0
Variação de temperatura (exceto incêndio)	0,6	0,5	0



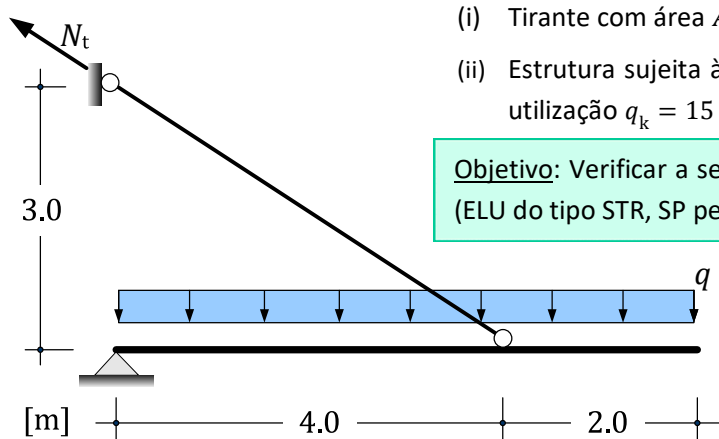
Intensidade do carregamento aplicado ( $P$ ) vs. resposta estrutural (p. ex., a máxima tensão normal numa determinada secção transversal,  $\sigma$ )



**Resumo das Combinações de ações para edifícios (ECO)**

Tipo de estado limite	Combinação	G	Q	A	A <sub>E</sub>
ELU (EQU, STR ou GEO)	Fundamental	$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}$	$\gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$	---	---
	Acidental	$\sum G_{k,j}$	$\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$	A <sub>d</sub>	---
	Sísmica	$\sum G_{k,j}$	$\sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$	---	A <sub>Ed</sub>
ELS	Característica	$\sum G_{k,j}$	$Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$	---	---
	Frequente	$\sum G_{k,j}$	$\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$	---	---
	Quase-Perm.	$\sum G_{k,j}$	$\sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$	---	---

**Exemplo de verificação da segurança ao ELU - STR**



- (i) Tirante com área  $A_t = 1510 \text{ mm}^2$  em aço S235 ( $f_{yk} = 235 \text{ MPa}$ );
- (ii) Estrutura sujeita às acções estáticas: peso próprio  $g_k = 18 \text{ kN/m}$  e sobrecarga de utilização  $q_k = 15 \text{ kN/m}$ .

**Objetivo:** Verificar a segurança do tirante através do método dos coeficientes parciais (ELU do tipo STR, SP persistente), tomando  $\gamma_G = 1,35$ ,  $\gamma_Q = 1,50$  e  $\gamma_M = 1,10$ .

Valor de cálculo da carga uniformemente distribuída actuante em toda a viga,

$q_{Ed} = 1,35 \times 18 + 1,50 \times 15 = 46,8 \text{ kN/m} \rightarrow N_{t,Ed} = 351,0 \text{ kN}$

Valor de cálculo do esforço normal resistente do tirante:

$N_{t,Rd} = A_t \cdot f_{yd} = 322,6 \text{ kN}$ , com  $f_{yd} = 235/1,10 \text{ MPa}$ .

Condição de segurança:  $N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd} \Leftrightarrow 351,0 \text{ kN} > 322,6 \text{ kN}$   
 Logo a condição de segurança ao ELU de resistência do tirante não é verificada!