

# ARTIGOS ABRASFE

## **Combinações de Ações e Cálculo Estrutural (Parte 1)**

*Critérios de Dimensionamento de Acordo com o  
Eurocode EN12812*

Breno Santos

## Resumo

Neste artigo abordaremos a concepção, segundo a norma Européia EN 12812 de 2008 das combinações de ações que devem ser consideradas em sistemas de escoramentos e fôrmas, devendo estes serem dimensionados para suportar todas as ações que lhes são transmitidas. Os aspectos a considerar no dimensionamento são: a estabilidade do sistema e a curvatura dos elementos, para evitar o colapso da estrutura.

O dimensionamento de fôrmas e escoramentos é análogo ao dimensionamento de qualquer outro elemento estrutural, tendo especial importância as ações a serem consideradas, por estarmos tratando de elementos estruturais provisórios.

O dimensionamento baseia-se nos seguintes passos: primeiro quantificam-se as ações. Através da combinação destas ações calcula-se a carga mais desfavorável. Com esta carga é feita a verificação para o Estado Limite Último e para o Estado Limite de Serviço.

Os problemas de instabilidade ao nível estático que podem existir e que deverão ser considerados na análise de dimensionamento são o deslizamento global da estrutura, o deslizamento local nos elementos individuais, o tombamento e o levantamento da estrutura de escoramento. As excentricidades das ações e das ligações devem ser tidos em conta assim como a encurvadura dos elementos.

## Combinações de Cargas

A norma preconiza que deverão ser levadas em consideração quatro combinações de ações: casos de carga 1, 2, 3 e 4, a saber:

- O caso de carga 1 para quando a estrutura não está carregada e sujeita ao vento máximo admissível. Representa, por exemplo, o escoramento após a montagem e antes da concretagem
- O caso de carga 2 para simular a estrutura a ser carregada sujeita ao vento de trabalho. Representa, por exemplo o escoramento durante a concretagem.
- O caso de carga 3 simula a estrutura carregada e vento máximo. Representa, por exemplo, o cimbamento após a concretagem.
- Por fim, o caso de carga 4, que simula os efeitos sísmicos.

Cada ação vai ter um fator de combinação de ações associado,  $\psi$ , associado que representa a influência que cada ação possui em cada combinação. Na Tabela abaixo, estão apresentados todos os fatores para cada ação.

A norma permite modificar estas combinações ou até mesmo substituí-las por outras quando se verificarem diferentes condições no local de construção. Contudo, se se verificarem as condições normais de construção, dever-se-á utilizar as combinações de ações para Estados Limites Últimos (E.L.U) e Estados Limites de Serviço (E.L.S).



Tabla 1 – Factores de combinación de carga  $\psi$

Acción	Tipo de acción	Factores de combinación $\psi$			
		Caso de carga 1	Caso de carga 2	Caso de carga 3	Caso de carga 4 <sup>a</sup>
	<b>Acciones directas</b>				
$Q_1$	Acciones permanentes	1,0	1,0	1,0	1,0
$Q_2$	Acciones variables impuestas verticales permanentes	0	1,0	1,0	1,0
$Q_3$	Acciones variables impuestas horizontales permanentes	0	1,0	1,0	0
$Q_4$	Acciones variables impuestas horizontales	0	1,0	0	0
$Q_5$	Viento máximo	1,0	0	1,0	0
	Viento de servicio	0	1,0	0	0
$Q_6$	Acciones por flujo de agua	0,7	0,7	0,7	0,7
$Q_7$	Efectos sísmicos	0	0	0	1,0
	<b>Acciones indirectas</b>				
$Q_{s,i}$	Temperatura	0	1,0	1,0	1,0
	Asentamientos		0	1,0	1,0
	Pretensado		0	1,0	1,0
$Q_9$	Otras condiciones de carga	0	1,0	1,0	1,0

<sup>a</sup> Este caso de carga es un requisito de no-colapso de acuerdo con la Norma EN 1998-1-1.

## 1. Cálculo Estructural

Para o dimensionamento são efetuadas combinações de ações para o Estado Limite Último (incluindo resistência à flexão, estabilidade contra deslizamento lateral, tombamento, sucção, encurvadura e esforço axial) e para o Estado Limite de Serviço (deformação do escoramento tendo em conta as contra flechas), ou seja, no domínio da resistência e no domínio da deformabilidade. Assim, o dimensionamento estrutural, tal como a estrutura, devem estar de acordo com o desempenho necessário para os dois tipos de estados limites. A resistência e a rigidez do escoramento são normalmente determinadas por cálculo, contudo, poderá ser necessário efetuar ensaios laboratoriais para a sua determinação.

### 1.1 Estados Limites Últimos

Depois de quantificadas todas as ações que solicitam a estrutura de escoramento e de estarem definidas todas as características desta última, como a altura, o material de que é constituída, a capacidade resistente e a geometria de contraventamento, a norma obriga à verificação da seguinte condição (conforme verificado no artigo da Teoria de Dimensionamento das Seções):

$$E_d \leq R_d$$



$E_d$  = Valor de Dimensionamento de uma Solicitação Interna  
 $R_d$  = Valor de Dimensionamento da Resistência do Material

O valor de  $E_d$  deverá ser estabelecido pelos valores de dimensionamento das ações  $Q_d$ , tomando em consideração os efeitos de segunda ordem.

Os valores quantificados no artigo das ações são valores característicos, contudo, para efeitos de cálculo, deve-se determinar os valores de dimensionamento,  $Q_d$ , que para as combinações de carga 1, 2 e 3, indicados na Tabela acima, deverão ser calculados utilizando a seguinte equação:

$$Q_d = \sum \gamma_{F,i} * \psi_i * Q_{k,i} \text{ (para o caso de combinações de ações 1, 2 e 3)}$$

$Q_d$  é o valor de dimensionamento da combinação de ações;

$Q_{k,i}$  é o valor característico da ação  $i$ ;

$\gamma_{F,i}$  é o fator parcial, que deve ser tomado de:

1,35 para as ações permanentes ( $Q_1$ );

1,50 para outras ações ( $Q_2$  até  $Q_9$ ).

$\psi_i$  é o coeficiente da combinação de ações da ação "i" (ver acima)

Para o caso de carga 4 (sísmico) o valor de dimensionamento da ação  $Q_d$ , baseado nos valores característicos das ações especificadas no artigo das ações, deverá ser calculado utilizando a mesma equação utilizando  $\gamma_{F,i}$  igual a 1,0, logo:

$$Q_d = \sum \psi_i * Q_{k,i} \text{ (para o caso de combinações de ações 4)}$$

O valor de dimensionamento da resistência do material,  $R_{d,i}$ , para cada uma das classes B1 e B2, deve ser determinado utilizando as respectivas equações:

· Para a classe B1:

$$R_{d,i,1} = \frac{R_{k,i}}{\gamma_{M,i}}$$

· Para a classe B2:

$$R_{d,i,2} = \frac{R_{k,i}}{\gamma_{M,i} \times 1,15}$$

Onde:

$R_k$  é o valor característico da resistência do material  $i$ ;

$\gamma_M$  é o fator parcial de minoração da resistência do material

Para aço e o alumínio este fator deve ser tomado igual a 1,1.

O classe B1 impõe os requisitos mais rigorosos para análise do escoramento através da modelação computacional que simule o comportamento da estrutura solicitada por cargas reais. Neste caso, todas as ações e imperfeições que afetem a determinação das tensões que atuam nos componentes da estrutura deverão ser tidas em conta com base na ENV 1993-1-1. Uma vez que esta análise é bastante rigorosa, tanto ao nível da resistência dos elementos como das ações, não é utilizado coeficiente de segurança adicional ao das ações e da resistência dos materiais.



**ABRASFE**  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DE FÓRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994  
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101  
São Paulo/SP - CEP 04045-003

[www.abrasfe.org.br](http://www.abrasfe.org.br)

No classe B2, a resistência dos elementos, a estabilidade da estrutura e as suas ligações deverão ser verificados por cálculo estático. Este cálculo deverá ser realizado com base na EN 12812.

Uma vez que a análise a realizar nesta classe é mais simplista que a anterior o coeficiente de segurança adicionaç a utilizar é incrementado para 1,15. Este coeficiente é utilizado em adição aos já utilizados coeficientes de majoração das cargas e minoração da resistência dos materiais.

## 1.2 Estados Limites de Serviço

No caso do escoramento e da fôrma, estas tem de permitir uma deformação de maneira que a estrutura permanente não sofra modificações em termos de forma ou comprimento. Os aspectos mínimos a serem verificados são o assentamento de fundações, deslocamentos dos apoios e flexão e deformação das vigas.. Para a verificação de segurança do estado limite de serviço, os fatores parciais,  $\gamma_F$  e  $\gamma_M$ , tomam o valor da unidade, logo:

$$Q_d = \sum \psi_i * Q_{k,i} \text{ (para todos os casos de combinações de cargas)}$$

$$R_{d,i} = R_k$$

## 1.3 Equilíbrio Estático

A estrutura deve ser estável quando sujeita às combinações de ações especificadas anteriormente no que respeita ao deslizamento (global e local), tombamento e levantamento. Com o objectivo de determinar se uma estrutura é estável, esta deve ser considerada como um corpo rígido. Cada ação deve ser considerada individualmente para determinar se é estabilizadora ou destabilizadora. Os valores para o factor parcial,  $\gamma_{F,i}$  são:

Acción	Estabilizante	Desestabilizante
$Q_1$ y $Q_2$	0,9	1,35
Las demás acciones	0	1,5

Eventuais contrapesos devem ser considerados como ação permanente,  $Q_1$ .

### 1.3.1 Deslizamento Global

O deslizamento global deve ser resistido por meio do atrito resultante do peso próprio, por um equipamento mecânico ou pela combinação de ambos. Apenas quando é possível provar que o equipamento mecânico atua conjuntamente com a resistência proveniente do atrito se podem considerar simultaneamente a resistências de ambas restrições.

Deve ser verificado que a força de dimensionamento resistente de deslizamento,  $F_{stb,d}$  é maior ou igual que as ações, já multiplicadas pelos respectivos coeficientes, que provocam o deslizamento,  $F_{dst,d}$ :



$$F_{dst,d} \leq F_{stb,d}$$

### 1.3.2 Tombamento

O tombamento deve ser resistido pelo peso próprio, contrapeso, fixação mecânica ou a combinação dos três. Deverá ser verificado que o momento de dimensionamento resistente de derrubamento,  $M_{stb,d}$ , é maior do que o momento que conduz a derrubamento,  $M_{dst,d}$ :

$$M_{dst,d} < M_{stb,d}$$

### 1.3.3 Levantamento

O levantamento (deslocamento ascendente da estrutura), deve ser resistida pelo peso próprio, lastros, fixação mecânica ou a combinação dos três. Deverá ser verificado que a resistência de dimensionamento contra a sucção,  $N_{stb,d}$  é maior ou igual do que as forças de dimensionamento que conduzem à sucção,  $N_{dst,d}$ :

$$N_{dst,d} \leq N_{stb,d}$$

## 1.4 Deslizamento Local

Nos casos em que a flexibilidade da estrutura não impede o movimento independente de um dos elementos, serão geradas forças internas que deverão ser analisadas de modo adequado, deslizamento local. O deslizamento local deve ser resistido por meio do atrito, de equipamento mecânico ou por ambos. Apenas quando é possível provar que o equipamento mecânico atua conjuntamente com a resistência proveniente do atrito se podem considerar simultaneamente.

A rigidez do equipamento mecânico e qualquer remoção ou relaxamento que seja necessário efetuar antes de aplicar resistência deverá ser levada em consideração.

Deverá ser verificado que a força de dimensionamento que conduz ao deslizamento,  $F_d$ , é inferior ao valor da resistência ao deslizamento,  $R_{f,d}$ :

$$F_d \leq R_{f,d}$$

Onde:

$R_{f,d}$  é o valor de dimensionamento da resistência contra o deslizamento paralelo ao plano do apoio e é calculado conforme:

$$R_{f,d} = \frac{\mu}{\gamma_u} \times N_d + R_{m,d,i}$$

Onde:



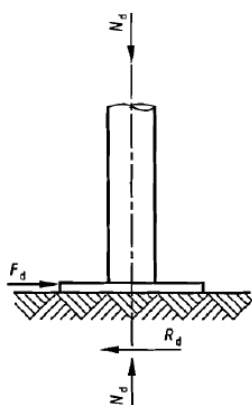
$F_d$  é o valor de dimensionamento da força paralela ao plano do apoio que conduz ao deslizamento (ver imagem abaixo);

$N_d$  é força de dimensionamento normal ao plano de deslizamento (ver imagem abaixo);

$R_{m,d,i}$  é o valor de dimensionamento da resistência do equipamento mecânico;

$\gamma_{\mu}$  é o fator parcial do atrito e considerado como 1,3;

$\mu$  é o coeficiente de atrito mínimo (ver tabela abaixo).



#### Atrito de resistência contra o deslizamento

Coefficientes de atrito,  $\mu$ , para várias combinações de materiais

Combinção do material de construção	Coeficiente de atrito $\mu$		
	Máximo	Mínimo	
<p>1</p> <p>Madeira/madeira – nervuras paralelas ou formando um ângulo recto.</p>	1.0	0.4	
<p>2</p> <p>Madeira/madeira – nervuras formando um ângulo recto em planos diferentes ou coincidentes no mesmo plano.</p>	1.0	0.6	
3	Madeira/aço	1.2	0.5
4	Madeira/betão armado	1.0	0.8
5	Aço/aço	0.8	0.2
6	Aço/betão armado	0.4	0.3
7	Aço/argamassa	1.0	0.5
8	Betão armado/betão armado	1.0	0.5



**ABRASFE**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE FÓRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994  
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 – Sala 101  
São Paulo/SP - CEP 04045-003

[www.abrasfe.org.br](http://www.abrasfe.org.br)

## **Referências**

*Regras para o dimensionamento de Cimbres em estruturas de Betão Armado – Pedro Daniel Rocha Oliveira*

*Dimensionamento de Cofragens para Estruturas de Betão Armado – Joana Inês Riberio de Sá Correia*

*Estudio de Criterios de Diseño y Cálculo de Encofrados de Elementos Verticales. Aplicación a Varias Estructuras – Pedro José Lorenzo Plumed*

*UNE-EN 12812 Requisitos de comportamiento y diseño general*



**ABRASFE**  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994  
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 – Sala 101  
São Paulo/SP - CEP 04045-003

[www.abrasfe.org.br](http://www.abrasfe.org.br)