

# Estruturas de Concreto III - Resumo

@ivansnpmaster

August 23, 2018

## 1 Introdução à pilares

Em estruturas de edifícios, os pilares são elementos verticais que tem a função primária de transmitir as **ações verticais** gravitacionais e de serviço e as **horizontais (vento)** às fundações, além de conferirem **estabilidade global** ao edifício. Os pilares usuais dos edifícios apresentam um comportamento de flexo-compressão, sendo as forças normais preponderantes. Em edifícios de concreto armado, as seções dos pilares são geralmente **retangulares**.

Pilares de seção **quadrada** ou **circular** também podem ser considerados em projetos estruturais de edifícios. Em virtude do tipo de material (concreto) e da solicitação preponderantemente de força de compressão, os pilares apresentam **rupturas frágeis**. A **ruína** de uma seção transversal de **um único pilar** pode ocasionar o **colapso** progressivo dos demais pavimentos.

As **disposições** dos pilares na planta de forma de um edifício são importantes, pois, junto com as vigas, formam **pórticos** que proporcionam **rigidez** e **estabilidade global** ao edifício.

Os pilares são peças estruturais que precisam ser projetadas **cuidadosamente** em termos de resistência, estabilidade e durabilidade, sempre respeitando as diretrizes e recomendações das **normas técnicas**.

O dimensionamento dos pilares é feito em função dos esforços externos solicitantes de cálculo, que compreendem as forças normais ( $N_d$ ) e os momentos

fletores ( $M_{dx}$  e  $M_{dy}$ ).

## 2 Agressividade do ambiente

Está relacionada às **ações físicas** e **químicas** que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das **ações mecânicas**, das variações térmicas, da retração e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

Nos projetos das estruturas, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com a Tabela 6.1 da ABNT NBR 6118 e pode ser avaliada segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes. Conhecendo o ambiente em que a estrutura será construída, o projetista estrutural pode considerar uma condição de agressividade maior que a tabela.

Conforme a NBR 6118 - item 7.4: A durabilidade das estruturas é **altamente dependente** das características do concreto e da **espessura** e **qualidade** do concreto de cobrimento da armadura.

**Ensaaios comprobatórios** de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma **forte correspondência** entre a **relação água/cimento** e a **resistência do concreto** e sua **durabilidade**, permite-se que sejam adotados os requisitos mínimos da tabela abaixo:

Tabela 1: Tabela 7.1 da NBR 6118.

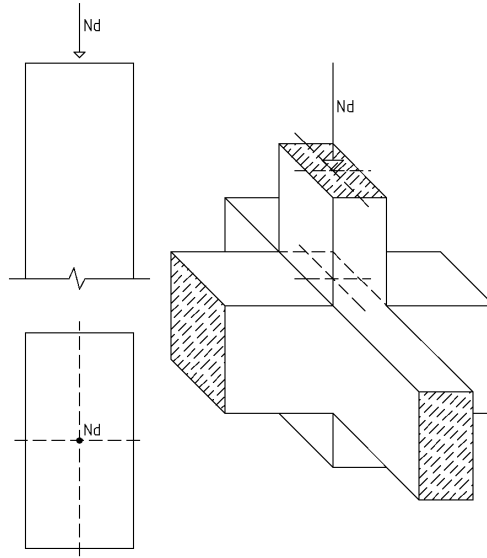
Concreto	Classe de Agressividade Ambiental (CAA)			
	I	II	III	IV
Relação a/c	$\leq 0,65$	$\leq 0,6$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
Classe de concreto	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$

### 3 Solicitações normais

Os pilares podem estar submetidos à forças normais e momentos fletores, gerando compressão simples e flexão composta.

- **Compressão simples:** Também chamada de compressão centrada ou compressão uniforme, é caracterizada pela aplicação da força normal ( $N_d$ ) no centro geométrico da seção transversal do pilar.

Figura 1: Solicitação normal acontecendo no centro geométrico da seção transversal do pilar.



- **Flexão composta:** Ocorre força normal e momento fletor sobre o pilar. Há dois casos:

- *Flexão composta normal (ou reta):* Existe a força normal e um momento fletor em uma direção, sendo:

$$M1_{dx} = e1_x \cdot N_d$$

- *Flexão composta oblíqua:* Existe força normal e dois momentos fletores, sendo:

$$M1_{dx} = e1_x \cdot N_d$$

$$M1_{dy} = e1_y \cdot N_d$$

## 4 Carga sobre pilares

Durante o desenvolvimento e desenho da planta de fôrma é necessário definir as dimensões dos pilares, antes mesmo que se conheçam os esforços solicitantes atuantes. Alguns processos podem ser utilizados para fixação das dimensões dos pilares, entre eles, a **experiência** do engenheiro. Outro processo simples que auxilia na fixação das dimensões do pilar é a estimativa da carga vertical no pilar pela sua área de influência, ou seja, a carga que estiver na laje dentro da área de influência do pilar "caminhará" até o pilar.

No entanto, é necessário ter um valor que represente a carga total por metro quadrado de laje, levando-se em conta todos os carregamentos **permanentes** e **variáveis**. Para edifícios com fins residenciais e de escritórios, pode-se estimar a carga total de 8 a 10  $kN/m^2$  ou 800 a 1000  $kgf/m^2$  para pisos e 600 a 800  $kgf/m^2$  para cobertura. Edifícios com outros fins podem ter **cargas superiores** e edifícios onde a ação do **vento** é significativa, a carga por metro quadrado deve ser majorada.

Lembrando que essa carga de piso é em **um andar**. A cada andar para baixo esses valores vão sendo **agregados**. É importante salientar que a carga estimada serve apenas para o pré-dimensionamento da seção transversal dos pilares. O dimensionamento final deve ser obrigatoriamente feito com os **esforços reais** calculados em função das cargas das vigas e lajes sobre o pilar, e com a atuação das forças do vento e outras que existirem.

A carga do pilar pode ser obtida através da fórmula:

$$N_k = [(q + g) \cdot A_{inf} \cdot n] + (A_{inf} \cdot g_{cobertura})$$

Onde  $N_k$  é a carga do pilar em  $kgf$ ,  $A_{inf}$  é a área de influência do pilar em  $m^2$ ,  $q$  é a carga de utilização do ambiente em  $kgf/m^2$ ,  $g$  é a carga do peso próprio em  $kgf/m^2$  e  $n$  é o número de pavimentos acima da seção analisada.

A carga do pilar também pode ser obtida quando se tem os cálculos de força cortante das vigas, as quais já receberam as cargas das lajes.

## 5 Efeitos de 1ª e 2ª ordem

As estruturas de concreto armado devem ser projetadas, construídas e utilizadas de modo que, sob condições ambientais previstas e respeitadas as condições de manutenção preventiva especificadas no projeto, conservem sua **segurança, estabilidade** e **aparência aceitável**, sem exigir medidas extras de manutenção e reparo.

Há duas formas de se analisar estruturalmente uma edificação:

- Análise linear;
- Análise não-linear.

Se fosse feita uma análise puramente linear, o **deslocamento** resultante seria **proporcional** ao acréscimo de carga.

A resposta da estrutura em termos de deslocamentos teria um comportamento **linear** à medida que o carregamento fosse aplicado.

Por outro lado, se fosse efetuada uma análise não-linear, o deslocamento resultante **não seria proporcional** ao acréscimo de carga. E mais, provavelmente seria **maior** que o encontrado na análise linear.

Pode-se dizer que uma **análise não-linear** é um cálculo no qual a resposta da estrutura, seja em deslocamentos, esforços ou tensões, possui um comportamento **desproporcional** à medida que um carregamento é aplicado.

Os fatores que tornam as análises não-lineares importantes no projeto estrutural de edifícios de concreto armado são:

- O concreto armado é um material que possui um comportamento **essencialmente** não-linear;
- Pelas análises não-lineares, é possível simular o comportamento de um edifício de concreto armado de forma muito mais **realista**;

- Os elementos estruturais estão cada vez mais **esbeltos**, de tal forma que as **não-linearidades**, em muitos casos, passam a ser **preponderantes**.

Dois fatores que geram o comportamento não-linear de uma estrutura à medida que o carregamento é aplicado:

- **Não-linearidade física:** Alteração das **propriedades** dos materiais que compõem a estrutura;
- **Não-linearidade geométrica:** Alteração da geometria da estrutura.

## 6 Não-linearidade física

O material é linear quando obedece à Lei de Hooke, ou seja, quando a tensão é proporcional à deformação ( $\sigma = E \cdot \epsilon$ ). Considerando-se uma estrutura de concreto armado, a não-linearidade física resulta da resposta não-linear do **aço** e do **concreto**.

Além do comportamento não-linear dos materiais, existe um outro fator que é preponderante na análise de edifícios: a **fissuração**. Por causa da baixa resistência do concreto à tração, é comum o surgimento de fissuras à medida que o carregamento é aplicado à estrutura.

A NBR 6118 - item 15.3: "Princípios básicos de cálculo" é bem clara: a não-linearidade física, presente nas estruturas de concreto armado, deve ser obrigatoriamente considerada.

## 7 Não-linearidade geométrica

Ocorre em razão de mudanças na **geometria** dos elementos estruturais à medida que um carregamento é aplicado à estrutura.

Para que a influência da não-linearidade geométrica na análise de uma estrutura seja compreendida, é necessário entender o que são os **efeitos de segunda**

ordem.

A condição de equilíbrio sempre foi considerada na configuração geométrica **inicial** da estrutura, isto é, na sua posição **não-deformada**. Esta análise se chama **Análise de primeira ordem** e os seus efeitos (deslocamentos e esforços resultantes) são chamados de **Efeitos de primeira ordem**.

Ao admitir o equilíbrio na configuração **indeformada**, passa-se a se fazer uma aproximação. Porém, na realidade, o equilíbrio de uma estrutura se dá **sempre** numa configuração **deformada**.

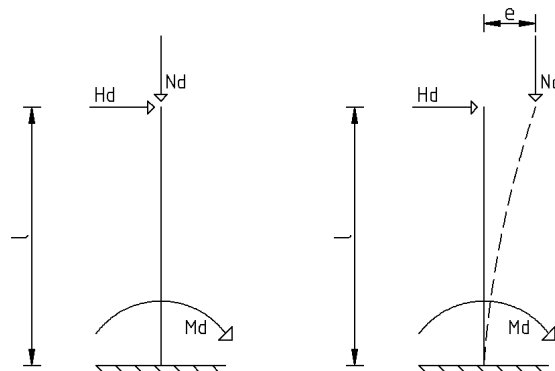
A análise do equilíbrio de uma estrutura na sua posição deformada é denominada de **Análise de segunda ordem** e os seus efeitos são chamados de **Efeitos de segunda ordem**.

A análise de 1ª ordem é uma aproximação que pode ser perfeitamente utilizada pelo fato de os efeitos de 2ª ordem, em muitos casos, **serem desprezíveis** (quando não apresentam acréscimo superior a 10% nas solicitações em relação aos efeitos de 1ª ordem).

No entanto, existem certas situações em que os efeitos de 2ª ordem necessitam, obrigatoriamente, serem considerados, tais como:

- Análise da estabilidade global;
- Cálculo dos esforços para dimensionamento dos pilares.

Figura 2: Efeitos de 1ª ordem à esquerda e Efeitos de 2ª ordem à direita.



## 8 Estruturas de nós fixos ou móveis

A **estabilidade global** de uma estrutura se dá quando **menores** forem os efeitos de 2ª ordem. Para criar condições de cálculo, as estruturas são definidas de nós fixos ou nós móveis.

- **Estruturas de nós fixos:** Na verdade não são fixos, mas deslocáveis, mas os deslocamentos horizontais são muito pequenos e, por consequência, os **efeitos globais de 2ª ordem** são **desprezíveis** (<10%). Nessas estruturas, basta considerar os **efeitos locais de 2ª ordem**;
- **Estruturas de nós móveis:** Aquelas em que os deslocamentos horizontais **não são pequenos**, exigindo cálculo dos **efeitos globais de 2ª ordem**.

Assim:

- **Nós fixos:** **Não há** necessidade de se calcular efeitos globais de 2ª ordem;
- **Nós móveis:** **Há** necessidade de se calcular.

## 9 Coeficiente $\gamma_z$

O coeficiente  $\gamma_z$  é um parâmetro que avalia a **estabilidade global** de uma estrutura de concreto armado de forma simples e eficiente.

Também é capaz de **estimar** os esforços globais de **2ª ordem** por uma **simples majoração** dos esforços de **1ª ordem** dos **esforços horizontais**. Valores coerentes para esse coeficiente são números um pouco maiores que 1. Porém, valores superiores a 1,2 devem ser evitados, já que as diferenças começam a ficar muito altas.

Valores entre 1,15 e 1,2 começam a aparecer diferenças de 3% contra a segurança. Acima disso, aumentam para mais de 5%.

De acordo com a NBR 6118, o limite para o coeficiente é 1,3 e, acima disso, a estrutura é **instável e impraticável**.



- Nós fixos:  $\gamma_z \leq 1,1 \rightarrow$  Não calcula efeitos globais de 2ª ordem para carga horizontal;
- Nós móveis:  $1,1 < \gamma_z \leq 1,3 \rightarrow$  Calcular os efeitos.

Este método é válido para edifícios acima de 4 andares. Abaixo disso, **não se deve majorar** as cargas horizontais com  $\gamma_z$ .

O coeficiente  $\gamma_z$  é:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{total,d}}{M_{1,total,d}}}$$

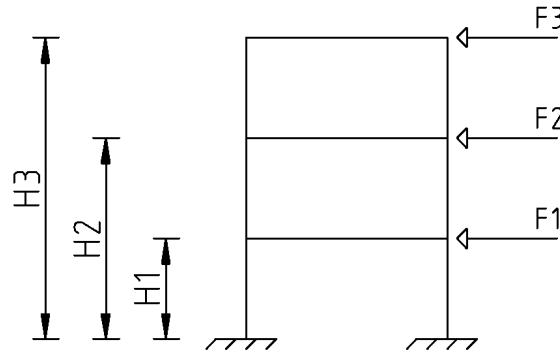
Onde  $\Delta M_{total,d}$  é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura com seus valores de cálculo pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, sendo:

$$\Delta M_{total,d} = P_d \cdot d_{horiz}$$

$P_d$  é a soma de todas as cargas verticais ( $g$  e  $q$ ) multiplicada pela majoração do concreto, já  $d_{horiz}$  é o deslocamento horizontal devido à carga horizontal (obtido no FTOOL).

$$M_{1,total,d} = \sum_{i=1}^n F_{d,i} \cdot H_i$$

Figura 3:  $M_{1,total,d}$  identificado na estrutura.



Com isso, é possível verificar o deslocamento horizontal máximo permitido pela NBR 6118 - tabela 13.3. No topo é  $H/1700$  e entre pavimentos é  $H_{pisos}/850$ , adotando-se coeficiente de pressão dinâmica do vento para cálculo do estado limite  $\psi_1 = 0,30$ .