

## AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO $\alpha$ DO PROCESSO APROXIMADO PARA O DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO COMPOSTA OBLÍQUA

LÓREN FERREIRA DA CRUZ<sup>1</sup>; EDUARDO COSTA COUTO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – loren.fcruz@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – e.costacouto@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento e a verificação de seções de concreto armado submetidas a flexo-compressão são problemas frequentes na prática da Engenharia Civil. Exemplo disso é o projeto de pilares (LAIMER; 2019).

Na flexo-compressão reta esses problemas têm solução simples. A tarefa principal é encontrar a profundidade da linha neutra  $x_0$ . Para isso, resolvemos numericamente uma equação de equilíbrio não-linear (MODESTO; 1994).

Na flexo-compressão oblíqua não se conhece inicialmente nem a profundidade  $x_0$  da linha neutra nem a sua orientação, que é dada pela inclinação  $\theta$  em relação ao eixo  $x$ . Nesse caso, o dimensionamento da seção torna-se bastante difícil e só pode ser feito por tentativas. No entanto, a verificação da capacidade resistente é um problema relativamente simples (ARAÚJO; 2014). Para a construção das curvas de interação, a principal tarefa consiste em encontrar valores de  $x_0$  para valores escolhidos de  $\theta$ . Com esse fim, resolve-se numericamente uma equação de equilíbrio não-linear.

Para as seções mais usuais, encontram-se ábacos e tabelas na literatura que guiam o dimensionamento e a verificação das seções. A NBR 6118 (ABNT, 2014) no item 17.2.5 apresenta um processo aproximado para o dimensionamento à flexão composta oblíqua que, neste trabalho é interpretado como um processo simplificado (PS) para a construção de curvas de interação para seções submetidas a flexão composta simples ou oblíqua. Esse processo depende da definição de um expoente denominado  $\alpha$ .

Assim, o presente trabalho se insere na temática do cálculo estrutural ao verificar valores de  $\alpha$  que tornem seguro o uso do PS.

Os objetivos desta pesquisa estão divididos em geral e específico.

O objetivo geral consiste em indicar valores para o parâmetro  $\alpha$ , que permitam o uso seguro do processo simplificado de construção de curvas de interação apresentado no item 17.2.5 da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

- ❖ Desenvolver um algoritmo baseado na metodologia apresentada em Araújo (2014);
- ❖ Implementar um código na linguagem Python;
- ❖ Verificar o código comparando com os resultados obtidos com exemplos encontrados na literatura;
- ❖ Para uma seção retangular com diferentes armaduras, comparar curvas de interação obtidos com o código com curvas obtidas com o processo simplificado.

O processo simplificado para construção de curvas de interação é amplamente usado para verificação da armadura de pilares. Dessa forma, é

importante precisar o valor do parâmetro  $\alpha$  que conduz a cálculos seguros. Isto é, é importante precisar o valor do parâmetro  $\alpha$  que produz curvas de interação econômicas e que são envolvidas pelas envoltórias resistentes obtidas por métodos numéricos.

## 2. METODOLOGIA

O processo simplificado consiste em aplicar a Equação [1]

$$\left(\frac{M_{Rd,x}}{M_{Rd,xx}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Rd,y}}{M_{Rd,yy}}\right)^\alpha = 1 \quad [1]$$

onde:

$M_{Rd,x}$  e  $M_{Rd,y}$  são as componentes do momento resistente de cálculo em flexão oblíqua composta. Esses são os valores que geram as curvas de interação;

$M_{Rd,xx}$  e  $M_{Rd,yy}$  são os momentos resistentes de cálculo segundo cada um dos referidos eixos em flexão composta normal. Neste trabalho, esses valores são obtidos do código desenvolvido;

$\alpha$  é um expoente cujo valor depende de vários fatores, entre eles o valor da força normal, a forma da seção, o arranjo da armadura e de suas taxas geométricas. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), em geral pode ser adotado  $\alpha=1$ , a favor da segurança e, no caso de seções retangulares, pode-se adotar  $\alpha=1,2$ .

Nesse trabalho foram avaliadas as influências, em  $\alpha$ , do arranjo e da taxa geométrica para seções retangulares.

Para avaliar se os valores de  $\alpha$  sugeridos pela norma citada, no presente trabalho foi desenvolvido um código que verifica seções transversais de concreto armado à flexo-compressão oblíqua, baseado na metodologia desenvolvida por Araújo (2014).

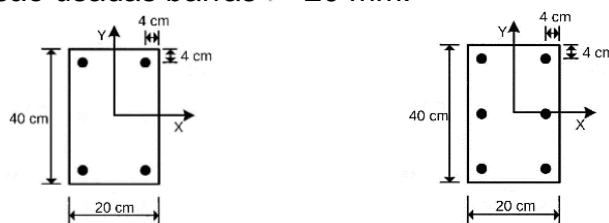
O código foi desenvolvido na linguagem PYTHON e fornece os pares de momentos  $M_{Rd,x}$  e  $M_{Rd,y}$  que geram as envoltórias resistentes para seções transversais de concreto armado submetidas à flexo-compressão oblíqua. O diagrama tensão deformação adotado para o concreto é o retangular, com características descritas no item 17.2.2 da ABNT NBR 6118:2014. Estão previstas a utilização de concretos do grupo I ( $f_{ck} \leq 50 \text{ Mpa}$ ) e concretos do grupo II ( $f_{ck} > 50 \text{ Mpa}$ ).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando apenas seções retangulares, com o objetivo de avaliar as influências em  $\alpha$ , do arranjo e da taxa geométrica foram analisados três casos. Em todos os casos o pilar tem seção transversal 20 cm x 40 cm, concreto C20, aço CA-50 e esforço normal solicitante de cálculo  $N_{Sd} = 574 \text{ kN}$ .

### 3.1 INFLUÊNCIA DO ARRANJO

As Figuras 1(a) e 1(b) apresentam os dois arranjos comparados. Em ambos, inicialmente, são usadas barras  $\emptyset=20 \text{ mm}$ .



(a) (b)

Figura 1: Arranjos com (a) quatro (b) seis barras.  
Fonte: Elaborada pelo autor.

As Figuras 2(a) e 2(b) apresentam as curvas de interação dos dois arranjos obtidas com o código desenvolvido e as obtidas com o PS usando diferentes valores de  $\alpha$ .

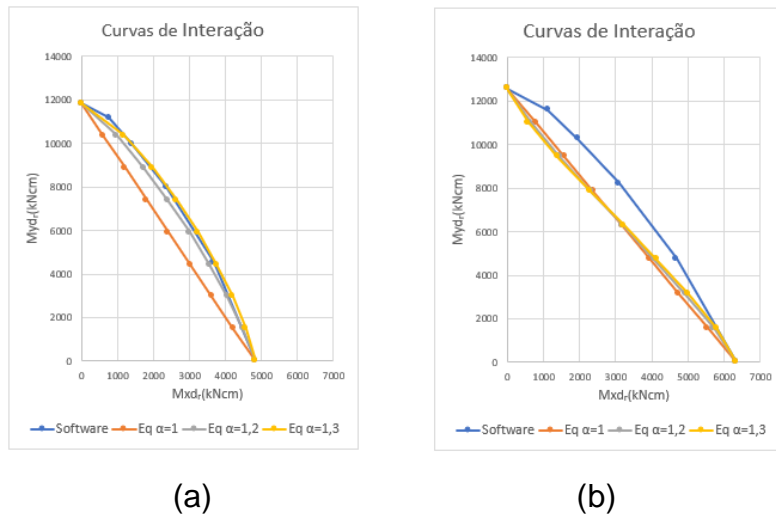


Figura 2: Curvas de interação: método numérico e processo simplificado.  
Arranjos com (a) quatro e (b) seis barras.  
Fonte: Elaborada pelo autor.

Nas Figuras 2 (a) e (b) observa-se que para o arranjo de quatro barras, as curvas correspondentes à  $\alpha$  igual à 1, 1,1 e 1,2 são envolvidas pela curva obtida pela solução numérica. Já a curva correspondente à  $\alpha$  igual a 1,3 é quase coincidente com a obtida pelo código desenvolvido. No entanto, para o arranjo de seis barras, qualquer valor de  $\alpha$  dos já experimentados proporciona curvas envolvidas pela curva obtida pela solução numérica.

### 3.2 INFLUÊNCIA DA TAXA GEOMÉTRICA

As Figuras 3(a) e 3(b) referem-se ao arranjo Figura 1(b). Apresentam as curvas referentes à (a) barra  $\phi=12,5$  mm e taxa 0,92% e (b) barra  $\phi=20$  mm e taxa 2,36%.

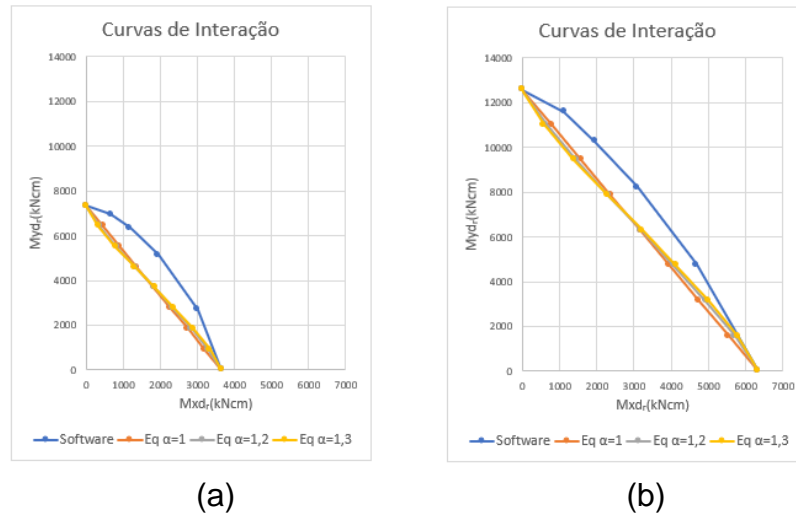


Figura 3: Curvas de interação: método numérico e processo simplificado. (a) Barra  $\phi = 12,5$  mm e taxa 0,92% e (b) barra  $\phi = 20$  mm e taxa 2,36%. Fonte: Elaborada pelo autor.

Nas Figuras 3 (a) e (b) observa-se que para qualquer das taxas de armadura experimentadas, 0,92 % e 2,36 %, as curvas obtidas pelo processo simplificado são envolvidas pela obtida com código desenvolvido.

#### 4. CONCLUSÕES

A NBR 6118 (ABNT, 2014) recomenda que em geral pode ser adotado  $\alpha=1$ , a favor da segurança. No caso de seções retangulares, pode-se adotar  $\alpha=1,2$ . Os resultados apresentados no item 3 deste trabalho mostram que para os exemplos estudados a orientação da norma é segura, . Sugere-se para trabalhos futuros que sejam estudadas a dependência de  $\alpha$  do valor da força normal e da forma da seção.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR- 6118: Projeto de Estruturas de Concreto*. Rio de Janeiro, 2014.

ARAÚJO, J. M. *Curso de Concreto Armado*. Rio Grande: Ed. Dunas, 2014.

SANTOS, L. M. *Sub rotinas básicas do dimensionamento de concreto armado*. São Paulo: Ed. LMS, 1994.

da ROSA, D. L. *Desenvolvimento de software para o dimensionamento de seções transversais de concreto armado à flexo-compressão oblíqua*. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.