



DIMENSIONAMENTO DE PILARES ATRAVÉS DE PROGRAMAÇÃO DESENVOLVIDA NO MICROSOFT EXCEL

Kaio Aguiar Campos¹, Tauana de Oliveira Batista², Isadora de Paula Bastos³

¹Graduado em Engenharia Civil, UVA, Cabo Frio-RJ, kaioaguiarcampos@gmail.com

²Mestre em Engenharia Civil com ênfase em Estruturas e Materiais, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, tauanaobatista@gmail.com

³Mestre em Engenharia Civil, UFF, Niterói-RJ, isadora.bastos@engenharia.uff.br

Resumo: Efetuar o cálculo de um pilar manualmente pode ser muito trabalhoso e demanda muito tempo, portanto foi desenvolvido um programa que serve de apoio para a área acadêmica e para incrementos em obras de pequeno porte. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um programa simples, nomeado FLUXXOS, para o dimensionamento de pilares internos de concreto armado e seção retangular pelo método do pilar padrão com curvatura aproximada utilizando o *software* Microsoft Excel. A organização da interface gráfica para interação com usuário foi elaborada de maneira didática utilizando-se de um painel simples e intuitivo. Para validação do programa foi elaborado um estudo comparativo de um mesmo caso dimensionado pelo FLUXXOS e manualmente. Concluiu-se que os resultados obtidos pelo programa foram muito semelhantes aos resultados obtidos manualmente, porém com a vantagem de ser mais prático e ágil. Sendo assim, o usuário pode testar diferentes seções transversais proporcionando um número de verificações maior em um tempo menor.

Palavras-chave: Dimensionamento; Pilar; Programação; Excel.

Área do Conhecimento: Engenharias

PILLAR SIZING THROUGH PROGRAMMING DEVELOPED IN MICROSOFT EXCEL

Abstract: Performing the calculation of a pillar manually can be very laborious and time-consuming, so a program has been developed that supports the academic area and increases in small works. This work aimed to develop a simple program, named FLUXXOS, for the design of reinforced concrete internal columns and rectangular section by the standard column method with approximate curvature using Microsoft Excel software. The organization of the graphical interface for user interaction was elaborated in a didactic way using a simple and intuitive panel. To validate the program, a comparative study of the same case designed by FLUXXOS and manually was prepared. It was concluded that the results obtained by the program were very similar to the results obtained manually, but with the advantage of being more practical and agile. Thus, the user can test different cross sections, providing a greater number of checks in a shorter time.

Keywords: Sizing; Pillar; Programming; Excel

INTRODUÇÃO

Na área da construção civil, a crescente demanda do uso de *software* deve-se ao fato de tais ferramentas facilitarem os cálculos de dimensionamento e detalhamento de elementos estruturais. Porém muitos desses *software* são complexos e possuem um custo de aquisição muito elevado, se tornando inviáveis para resolução de problemas acadêmicos.

Efetuar o cálculo de um pilar manualmente pode ser muito trabalhoso e demanda muito tempo, portanto, pretende-se desenvolver um programa que serve de apoio para a área acadêmica e para incrementos em obras de pequeno porte.

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um programa para o dimensionamento de pilares internos de concreto armado e seção retangular pelo método do pilar padrão com curvatura aproximada utilizando o Microsoft Excel.

REFERENCIAL TEÓRICO

A função da estrutura é fornecer um caminho seguro para as cargas até o solo. Para tanto é preciso: planejar, projetar e construir (BORGES, 1996). Para fazer a distinção entre sistema estrutural e elemento estrutural é importante analisar o comportamento da parte da construção que resiste às diversas ações e garante a estabilidade das edificações (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2019). As estruturas são caracterizadas por serem os elementos mais resistentes de uma construção e tem a responsabilidade de assegurar a forma espacial idealizada por projeto, garantindo a integridade à edificação por tanto tempo quanto necessário. Elas absorvem e transmitem os esforços, tornando-se de suma importância para a manutenção da segurança e da solidez de uma edificação. Os sistemas estruturais são a combinação de elementos estruturais que formam uma estrutura. Sua finalidade é receber e transmitir os efeitos das ações sofridas para o solo. As estruturas, dessa forma, devem ser construídas com materiais estruturais, que não são perfeitamente rígidos. No sistema estrutural de concreto armado, os elementos mais utilizados são: lajes, vigas, pilares e fundações. No entanto, os pilares são o foco deste trabalho (PINHEIRO, 2007).

Existem dois tipos básicos de pilares, os de contraventamento, que em edifícios de múltiplos andares são constituídos pela caixa de elevador e por pilares devidamente enrijecidos e situados junto às extremidades do piso (pilares, parede), e os contraventados que são os demais pilares. Os pilares contraventados são classificados quanto às solicitações iniciais e quanto à sua esbeltez. Na classificação quanto às solicitações iniciais eles são subdivididos em: pilares internos, onde se pode admitir compressão simples; pilares de borda em que as solicitações iniciais correspondem a flexão composta; e pilares de canto que são submetidos a flexão composta oblíqua. Já na classificação quanto à esbeltez, este trabalho adota: pilar curto, onde o índice de esbeltez é menor ou igual ao índice de esbeltez limite; pilar médio, onde o índice de esbeltez é maior que índice de esbeltez limite e menor ou igual a 90; pilar medianamente esbelto se o índice de esbeltez for maior que 90 e menor ou igual a 140; e pilar esbelto quando o índice de esbeltez for maior que 140 e menor ou igual a 200 (PINHEIRO, 2007).

Carvalho e Figueiredo Filho (2019) afirmam que com o objetivo de evitar um desempenho inadequado e propiciar boas condições de execução, a NBR 6118, norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2014), no seu item 13.2.3, estabelece que a seção transversal dos pilares, qualquer que seja a sua forma, não deve apresentar dimensão menor que 19 cm. Em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 14 cm e 19 cm, desde que no dimensionamento se multipliquem as ações por um coeficiente adicional (γ_n), de acordo com o indicado na Tabela 1. Em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm².

Tabela 1 – Valores do coeficiente adicional γ_n para pilares e pilares-parede (Fonte: ABNT, 2014)

b (cm)	γ_n
≥ 19	1,00
18	1,05
17	1,10
16	1,15
15	1,20
14	1,25

Onde: $\gamma_n = 1,95 - 0,05b$;

b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

Todas as recomendações referentes aos pilares, segundo o item 18.4.1 da norma NBR 6118 da ABNT (2014), são válidas nos casos em que a maior dimensão da seção transversal não exceda cinco vezes a menor dimensão ($h \leq 5b$). No item 14.4.2.4 da norma NBR 6118 da ABNT (2014) diz que quando esta condição não for satisfeita, o pilar deve ser tratado como pilar-parede.

Segundo a norma NBR 6118 da ABNT (2014), no item 15.6, o comprimento equivalente (l_e) do pilar (Figura 1), suposto vinculado em ambas extremidades, é o menor dos valores entre l e $l_0 + h$.

A norma NBR 6118 da ABNT (2014) ainda cita, no item 11.3.3.4.3, que o efeito das imperfeições locais nos pilares pode ser substituído em estruturas reticuladas pela consideração do momento mínimo de 1ª ordem ($M_{1d,min}$), dado pelo produto da força normal de cálculo (N_d) e a soma entre 0,015 e 0,03h, onde h é a altura total da seção transversal na direção considerada, expressa em metros (m).

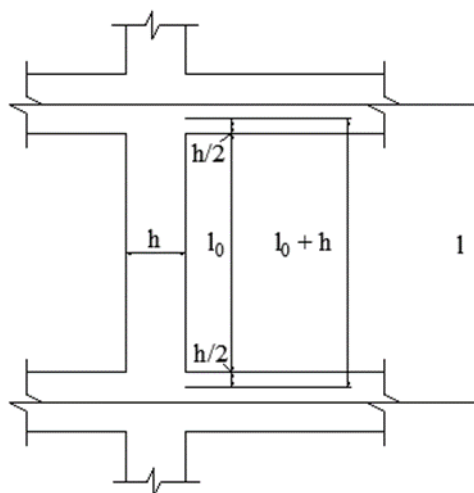


Figura 1 – Comprimento equivalente do pilar.

Quando os eixos baricêntricos das vigas não passam pelo centro de gravidade da seção transversal do pilar, as reações das vigas apresentam excentricidades que são denominadas excentricidades de forma. As excentricidades de forma, em geral, não são consideradas no dimensionamento dos pilares. A rigor, apenas nos níveis da fundação e da cobertura as excentricidades de forma deveriam ser consideradas. Entretanto, mesmo nesses níveis, elas costumam ser desprezadas (PINHEIRO, 2007).

O conceito de esbeltez limite surgiu a partir de análises teóricas de pilares, considerando material elástico-linear. Corresponde ao valor da esbeltez a partir do qual os efeitos de 2ª ordem começam a provocar uma redução da capacidade resistente do pilar. Em estruturas de nós fixos, dificilmente um pilar de pórtico, não muito esbelto, terá seu dimensionamento afetado pelos efeitos de 2ª ordem, pois o momento fletor total máximo provavelmente será apenas o de 1ª ordem, num de seus extremos. Diversos fatores influenciam no valor da esbeltez limite. Os preponderantes são: excentricidade relativa de 1ª ordem; vinculação dos extremos do pilar isolado; e forma do diagrama de momentos de 1ª ordem (PINHEIRO, 2007).

Segundo a norma NBR 6118 da ABNT (2014), no item 15.8.2, os esforços locais de 2ª ordem em elementos isolados podem ser desprezados quando o índice de esbeltez (λ) for menor que o valor limite (λ_l), onde λ_l é maior ou igual a 35 e menor ou igual a 90, que pode ser calculado pela soma de duas parcelas divididas pelo coeficiente α_b que depende da distribuição de momento no pilar. A primeira parcela é formada por 25 e a segunda parcela é composta pelo produto entre 12,5 e a excentricidade de 1ª ordem da seção do meio do pilar (e_1) divididos pela altura da seção transversal do pilar (h), medida no plano da estrutura em estudo.

A força normal atuante no pilar, sob as excentricidades de 1ª ordem (excentricidade inicial), provoca deformações que dão origem a uma nova excentricidade, denominada excentricidade de 2ª ordem. A determinação dos efeitos locais de 2ª ordem, segundo a norma NBR 6118 da ABNT (2014), em barras submetidas à flexo-compressão normal, pode ser feita pelo método geral ou por métodos aproximados. O método geral é obrigatório para $\lambda > 140$ segundo o item 15.8.3 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

A norma NBR 6118 da ABNT (2014) apresenta quatro diferentes métodos aproximados, sendo eles: método do pilar padrão com curvatura aproximada (item 15.8.3.3.2); método do pilar padrão com rigidez k aproximada (item 15.8.3.3.3); método do pilar padrão acoplado a diagramas M , N , l/r (item 15.8.3.3.4) e método do pilar padrão para pilares de seção retangular submetidos à flexão composta oblíqua (item 15.8.3.3.5). O método do pilar padrão com curvatura aproximada é simples de ser aplicado no dimensionamento de pilar. Permitido para pilares de seção constante e de armadura simétrica e constante ao longo de seu eixo e $\lambda \leq 90$. A excentricidade de 2ª ordem (e_2) é dada pelo produto de duas frações, sendo a primeira fração composta pelo quadrado do comprimento equivalente (l_e^2) dividido por 10 e a segunda fração composta por $1/r$, onde $1/r$ é a curvatura na seção crítica. A norma NBR 6118 da ABNT (2014) toma um valor convencional para a curvatura na base ($1/r$) como uma divisão, sendo o numerador 0,005 e o denominador composto pela altura da seção transversal do pilar (h), medida no plano da estrutura em estudo, multiplicado pela soma de u com 0,5. Com u sendo um valor adimensional relativo à força normal (N_d) expresso pela divisão entre a força normal de cálculo

(N_d) e o produto da área da seção transversal (A_c) pela resistência de cálculo à compressão do concreto (f_{cd}). A curvatura na base ($1/r$) ainda passa por uma verificação de que deve ser menor ou igual a 0,005 dividido pela altura da seção transversal do pilar (h), medida no plano da estrutura em estudo. Assim, o momento total máximo (M_{dtotal}) no pilar é dado pelo produto do coeficiente α_b , que depende da distribuição de momento no pilar, e o valor de cálculo de 1ª ordem do momento M_A ($M_{1d,A}$) sendo este o maior valor entre: $M_{1d,A}$ e o momento de 1ª ordem mínimo ($M_{1d,min}$). Este produto é somado à um produto de três fatores, sendo o primeiro a força normal de cálculo (N_d), o segundo composto pela décima parte do quadrado do comprimento equivalente ($l_e^2/10$) e o terceiro sendo a curvatura na seção crítica ($1/r$).

Os cobrimentos nominais exigidos pela norma NBR 6118 da ABNT (2014) são dados em função da classe de agressividade ambiental. No caso dos pilares, os cobrimentos nominais exigidos são indicados na Tabela 2. Em qualquer caso, o cobrimento nominal de uma determinada barra não deve ser inferior ao diâmetro da própria barra.

Tabela 2 – Cobrimentos nominais para pilares (Fonte: ABNT, 2014)

Classe de agressividade	Cobrimento nominal (cm)
I	2,5
II	3
III	4
IV	5

A escolha e a disposição das armaduras devem atender não só à função estrutural como também às condições de execução, particularmente com relação ao lançamento e adensamento do concreto. Os espaços devem permitir a introdução do vibrador e impedir a segregação dos agregados e a ocorrência de vazios no interior do pilar, diz a norma NBR 6118 da ABNT (2014) em seu item 18.2.1. As armaduras colaboram para resistir à compressão, diminuindo a seção do pilar, e também resistem às tensões de tração. Têm a função de diminuir as deformações do pilar, especialmente as decorrentes da retração e da fluência. O diâmetro da armadura longitudinal deve ser maior ou igual a 10 mm e menor ou igual a um oitavo da base da seção transversal do pilar. A área de aço (A_s) pode ser calculada pelo produto da taxa de armadura (ω), área da seção transversal do pilar (A_c) e a tensão de compressão de cálculo (f_{cd}) divididos pela tensão de escoamento de cálculo (f_{yd}). Segundo o item 17.3.5.3 da norma NBR 6118 da ABNT (2014), a armadura longitudinal mínima ($A_{s,min}$) deve ser igual a 15% da divisão entre a força normal de cálculo (N_d) e a tensão de escoamento de cálculo (f_{yd}). Faz-se também uma verificação de que a armadura longitudinal mínima ($A_{s,min}$) deve ser maior ou igual a 0,4% da área da seção transversal (A_c).

A maior área de armadura longitudinal possível deve ser 8% da seção real, considerando-se inclusive a sobreposição de armadura nas regiões de emenda, ou seja, na região de emenda a armadura total deve respeitar a armadura máxima ($A_{s,max}$).

O espaçamento mínimo (a) livre entre as faces das barras longitudinais, medido no plano da seção transversal, fora da região de emendas, deve ser igual ou superior ao maior dos seguintes valores em milímetros: 20; diâmetro da armadura longitudinal (ϕ_l); 1,2 $d_{máx}$, agregado.

O espaçamento máximo (s_l) entre os eixos das barras deve ser igual ou inferior ao menor dos seguintes valores em centímetros: o dobro da base da seção transversal do pilar ($2b$); 40. Esses valores se aplicam também às regiões de emenda por transpasse.

A armadura transversal, constituída por estribos e, quando for o caso, por grampos suplementares, deve ser colocada em toda a altura do pilar, sendo obrigatória sua colocação na região de cruzamento com vigas e lajes, pontua o item 18.4.3 da norma NBR 6118 da ABNT (2014). Os estribos devem ser fechados, geralmente em torno das barras que se transpassam, colocados em posições alternadas. Os estribos têm as seguintes funções: garantir o posicionamento e impedir a flambagem das barras longitudinais; garantir a costura das emendas de barras longitudinais; confinar o concreto e obter uma peça mais resistente ou dúctil. De acordo com a norma NBR 6118 da ABNT (2014), o diâmetro dos estribos (ϕ_t) em pilares não deve ser inferior a 5 mm nem a 1/4 do diâmetro da barra isolada que constitui a armadura longitudinal. O espaçamento longitudinal entre estribos (s_t), medido na direção do eixo do pilar, deve ser igual ou inferior ao menor dos seguintes valores em centímetros: 20; menor dimensão da seção; 12 ϕ_l para CA50; 25 ϕ_l para CA25.

Sempre que houver possibilidade de flambagem das barras da armadura, situadas junto à superfície, devem ser tomadas precauções para evitá-la. A norma NBR 6118 da ABNT (2014) no item 18.2.4 considera que os estribos poligonais garantem contra flambagem as barras longitudinais

situadas em seus cantos e as por eles abrangidas, situadas no máximo à distância de $20\phi_t$ do canto, se nesse trecho de comprimento $20\phi_t$ não houver mais de duas barras, não contando a do canto conforme ilustra a Figura 2.

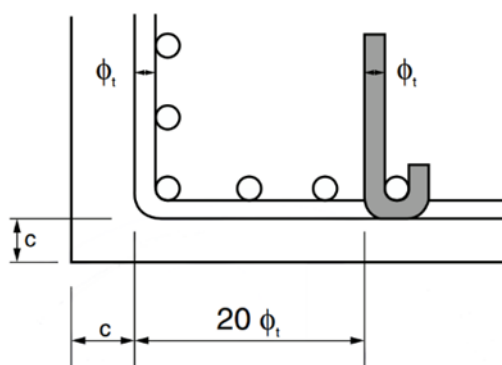


Figura 2 – Proteção contra flambagem das barras (Fonte: ABNT, 2014)

Quando houver mais de duas barras no trecho de comprimento $20\phi_t$ ou barras fora dele, deve haver estribos suplementares. Se o estribo suplementar for constituído por uma barra reta, terminada em ganchos, ele deve atravessar a seção do pilar e os seus ganchos devem envolver a barra longitudinal. Se houver mais de uma barra longitudinal a ser protegida junto à extremidade do estribo suplementar, seu gancho deve envolver um estribo principal em um ponto junto a uma das barras, o que deve ser indicado no projeto de modo bem destacado. Essa amarra garantirá contra a flambagem essa barra encostada e mais duas no máximo para cada lado, não distantes dela mais de $20\phi_t$. No caso da utilização dessas amarras, para que o cobrimento seja respeitado, é necessário prever uma distância maior entre a superfície do estribo e a face do pilar.

METODOLOGIA

Para a elaboração do presente trabalho desenvolveu-se um programa simples, nomeado FLUXXOS, a fim de realizar o dimensionamento de pilares internos de concreto armado e seção retangular pelo método do pilar padrão com curvatura aproximada, utilizando o *software* Microsoft Excel. A linguagem computacional do Microsoft Excel se baseia no *Visual Basic for Applications* (VBA) que permite inserir e organizar dados e fórmulas matemáticas para a realização de uma série de cálculos seja para gerar gráficos tanto para a criação de *dashboards* (MICROSOFT, 2020). As prescrições da NBR 6118 da ABNT (2014) abordadas nos itens 11.3.3.4.3, 13.2.3, 15.6, 15.8.2, 15.8.3, 15.8.3.3.2, 15.8.3.3.5, 17.3.5.3, 18.2.1, 18.2.4, 18.4.1 e 18.4.3 foram utilizadas para a elaboração do programa. A organização da interface gráfica para interação com usuário foi elaborada de maneira didática utilizando-se de um painel simples e intuitivo onde o indivíduo entra com os seguintes dados: menor dimensão (b) e maior dimensão (h) da seção transversal do pilar, classe do concreto, categoria da barra de aço, cobrimento nominal (C_{nom}), diâmetro do agregado (d_{ag}), comprimento livre (l) do pilar, força normal característica (N_k), bitola da armadura longitudinal (ϕ_l) e da armadura transversal (ϕ_t), altura das vigas que descarregam no pilar (h_{viga}) considerando o corte nos eixos x e y , taxa de armadura de aço (ω), área de aço efetiva ($A_{s,tabela}$), número de barras da armadura longitudinal (n_l) e os coeficientes adimensionais α_1 , η_1 e η_2 . A partir desses dados, o programa retornará como resultado a área de aço (A_s) e as informações necessárias para o detalhamento das armaduras longitudinais, transversais e estribos suplementares. Tais informações são: espaçamento, número de barras e comprimento total.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elaboração do programa FLUXXOS (Figura 3) foi realizada tomando-se como base as referências bibliográficas citadas no item da Metodologia. Para validação do programa foi elaborado um estudo comparativo didático de um mesmo caso dimensionado pelo FLUXXOS e manualmente.

DADOS		Seção	
b	cm		
h	cm		
Concreto		Insira o menor valor da seção transversal.	
Aço			
f_{ck}	MPa		
f_{yk}	MPa		
c_{nom}	cm		
d_{ag}	mm		
γ_n	-		
γ_f	1,4		
α_b	-		
e_1	0	cm	
l	cm		
$M_{1d,A}$	0	KNcm	
N_k	KN		
N_d	KN		
ϕ_t	mm		
ϕ_l	mm		

ATENÇÃO

Para a utilização deste método, o pilar deve atender às seguintes condições:

- » Seção constante
- » Armadura simétrica e constante ao longo de seu eixo
- » $\lambda \leq 90$
- » $A_c \geq 360 \text{ cm}^2$
- » $h \leq 5b$

Eixo X				Eixo Y			
h_{viga}	cm	h	cm	h_{viga}	cm	h	cm
$l_e \leq \begin{cases} l \\ l_0 + h \end{cases}$	cm	$M_{d,min} = N_d \cdot e_{1,min}$	KNcm	$l_e \leq \begin{cases} l \\ l_0 + h \end{cases}$	cm	$M_{d,min} = N_d \cdot e_{1,min}$	KNcm
$\lambda = l_e \sqrt{12}/h$	-	$35 \leq$	-	$\lambda = l_e \sqrt{12}/h$	-	$35 \leq$	-
$e_{1,min} = 0,015 + 0,03h$	cm	$\lambda_{lim} = (25 + 12,5 \cdot e_1/h)/\alpha_b$	-	$e_{1,min} = 0,015 + 0,03h$	cm	$\lambda_{lim} = (25 + 12,5 \cdot e_1/h)/\alpha_b$	-
$v = N_d/A_c f_{cd}$	-	$1/r = 0,005/h(v + 0,5)$	cm ⁻¹	$v = N_d/A_c f_{cd}$	-	$1/r = 0,005/h(v + 0,5)$	cm ⁻¹
$\mu = v e_{total}/h$	-	$e_2 = (l_e^2/10)(1/r)$	cm	$\mu = v e_{total}/h$	-	$e_2 = (l_e^2/10)(1/r)$	cm
$d'/h \cong (c + \phi_t + \phi_l/2)/h$	-	$M_{d,total} = \alpha_b M_{d,min} + N_d e_2$	KNcm	$d'/h \cong (c + \phi_t + \phi_l/2)/h$	-	$M_{d,total} = \alpha_b M_{d,min} + N_d e_2$	KNcm
ω (ábaco)	-	$e_{total} = e_{1,min} + e_2$	cm	ω (ábaco)	-	$e_{total} = e_{1,min} + e_2$	cm
$A_s = \omega(A_c f_{cd}/f_{yd})$	cm ²			$A_s = \omega(A_c f_{cd}/f_{yd})$	cm ²		

Detalhamento da Armadura Longitudinal			
n_l	cm ²	$20\phi_t$	cm
$A_{s,min} = 0,15N_d/f_{yd}$	cm ²	$s_{l,min} \leq \begin{cases} 2b \\ 40 \end{cases}$	cm
$A_{s,max} \geq 0,004A_c$	cm ²	$s_l = a + \phi_t$	cm
$A_{s,max} = 0,08A_c$	cm ²	α_1	-
$a_{min} \geq \begin{cases} 20 \\ \phi_t \\ 1,2d_{ag} \end{cases}$	mm	η_1	-
$a = h - 2c - 2\phi_t - n_l\phi_l/n - 1$	mm	η_2	-
		η_3	-
		$f_{ctk,ed} = 0,21f_{ck}^{2/3}$	MPa
		$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,ed}}{\gamma_c}$	MPa
		$f_{bd} = \eta_1\eta_2\eta_3f_{ctd}$	MPa
		$l_b = \frac{\phi_l f_{yd}}{4 f_{bd}}$	cm
		$l_{b,min} = \begin{cases} 0,3l_b \\ 10\phi_t \\ 100 \\ 0,6l_b \\ 15\phi_t \\ 200 \end{cases}$	mm
		$l_{total} = l + l_{b,nec}$	cm
		$l_{b,nec} = \frac{\alpha_1 l_b A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$	cm
		$l_{b,min} \geq \begin{cases} 0,3l_b \\ 10\phi_t \\ 100 \\ 0,6l_b \\ 15\phi_t \\ 200 \end{cases}$	mm
		$l_{total} = l + l_{b,nec}$	cm

Detalhamento da Armadura Transversal				Detalhamento da Armadura Suplementar			
$\phi_t \geq \begin{cases} 5 \\ \phi_l/4 \end{cases}$	mm	$l_b = 2(h - 2c) + 2l_{gt}$	cm	$l_{gt} \geq \begin{cases} 5\phi_t \\ 5 \end{cases}$	cm	$l_s = (b - 2c) + 2l_{gt}$	cm
$s_t \leq \begin{cases} 20 \\ b \\ 12\phi_t \end{cases}$	mm	$l_{gt} \geq \begin{cases} 5\phi_t \\ 5 \end{cases}$	cm	n_s	-	$n_{s,total} = n_s \cdot n_{l,total}$	-
		$n_{s,total} = l/s_t + 1$	-				

Figura 3 – Interface do FLUXXOS

Inicialmente, insere-se no programa os dados de entrada: menor dimensão (b) e maior dimensão (h) da seção transversal do pilar, classe do concreto (f_{ck}), categoria da barra de aço (f_{yk}), cobrimento nominal (c_{nom}), diâmetro do agregado (d_{ag}), comprimento livre (l) do pilar, força normal característica (N_k), bitola da armadura longitudinal (ϕ_l) e da armadura transversal (ϕ_t), conforme ilustra a Figura 4 que serão necessários para o pré-dimensionamento.

DADOS	
Seção	
b	cm
h	cm
Concreto	
Aço	
f_{ck}	MPa
f_{yk}	MPa
c_{nom}	cm
d_{ag}	mm
γ_n	-
γ_f	1,4
α_b	-
e_1	0
l	cm
$M_{1d,A}$	0
N_k	KN
N_d	KN
ϕ_t	mm
ϕ_l	mm

Figura 4 – Dados de entrada necessários para o pré-dimensionamento

O programa fará uma verificação (Figura 5) de acordo com os critérios estabelecidos pelos itens 13.2.3, 15.8.3.3.2 e 18.4.1 da norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

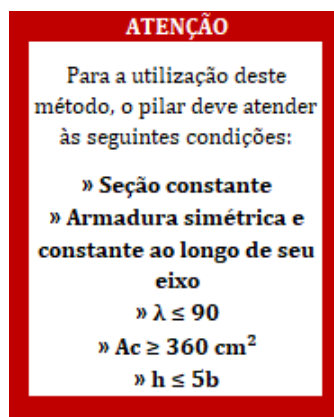


Figura 5 – Verificações da seção transversal do pilar

O FLUXXOS oferece em seu menu superior cinco botões. O primeiro botão “INÍCIO” leva à interface inicial do programa. O segundo botão “ÁBACO” fornece em uma nova janela 6 ábacos de flexão composta normal para que o usuário escolha o ábaco de sua preferência e determine a taxa de armadura (ω). Na bibliografia Montoya, Meseguer e Cabré (1981) encontram-se disponíveis os demais ábacos. No terceiro botão “TABELA” o programa fornece também em uma outra janela uma tabela de área de aço da seção conforme o número de barras da armadura longitudinal. O quarto botão “COEFICIENTES” traz em uma nova janela as informações e valores necessários para os coeficientes adimensionais α_1 (necessário para o cálculo do comprimento de ancoragem necessário), η_1 e η_2 (necessários para o cálculo do comprimento básico de ancoragem). O quinto e último botão “LIMPAR” apaga todos os dados inseridos pelo usuário e resultados gerados pelo programa.

Para a obtenção dos resultados finais que o programa oferece faz-se necessário o preenchimento de todas as células destacadas pela cor cinza. Ao selecionar estas células, o programa abrirá uma mensagem de entrada onde informará o usuário qual dado deve ser inserido. Na célula à direita de cada célula da cor cinza estará a unidade de medida correspondente a cada dado que deverá ser preenchido na célula da cor cinza. Nas abas “Eixo X” (Figura 6a) e “Eixo Y” (Figura 6b) será necessário inserir a altura da viga (h_{viga}) no corte do pilar em relação ao seu respectivo eixo em planta. Após inserir esses dados o programa classificará o pilar nos dois eixos de acordo com seu índice de esbeltez. As informações para o detalhamento das armaduras geradas pelo FLUXXOS só serão válidas se pelo menos um dos eixos do pilar for classificado como curto, pois os ábacos de flexão composta oblíqua não estão disponíveis para o usuário.

Eixo X			
h_{viga}	cm	h	cm
$I_e \leq \begin{cases} l \\ l_0 + h \end{cases}$	cm	$M_{d,min} = N_d \cdot e_{1,min}$	KNcm
$\lambda = l_e \sqrt{12}/h$	cm	$35 \leq$	-
$e_{1,min} = 0,015 + 0,03h$	cm	$\lambda_{lim} = (25 + 12,5 \cdot e_1/h)/\alpha_b$	-
		≤ 90	-
$v = N_d / A_c f_{cd}$	-	$1/r = 0,005/h(v + 0,5)$	cm ⁻¹
$\mu = v e_{total}/h$	-	$e_2 = (I_e^2/10)(1/r)$	cm
$d'/h \cong (c + \phi_t + \phi_l/2)/h$	-	$M_{d,total} = \alpha_b M_{d,min} + N_d e_2$	KNcm
ω (ábaco)	-	$e_{total} = e_{1,min} + e_2$	cm
$A_s = \omega(A_c f_{cd}/f_{yd})$		cm ²	

(a)

Eixo Y			
h_{viga}	cm	h	cm
$I_e \leq \begin{cases} l \\ l_0 + h \end{cases}$	cm	$M_{d,min} = N_d \cdot e_{1,min}$	KNcm
$\lambda = l_e \sqrt{12}/h$	cm	$35 \leq$	-
$e_{1,min} = 0,015 + 0,03h$	cm	$\lambda_{lim} = (25 + 12,5 \cdot e_1/h)/\alpha_b$	-
		≤ 90	-
$v = N_d / A_c f_{cd}$	-	$1/r = 0,005/h(v + 0,5)$	cm ⁻¹
$\mu = v e_{total}/h$	-	$e_2 = (I_e^2/10)(1/r)$	cm
$d'/h \cong (c + \phi_t + \phi_l/2)/h$	-	$M_{d,total} = \alpha_b M_{d,min} + N_d e_2$	KNcm
ω (ábaco)	-	$e_{total} = e_{1,min} + e_2$	cm
$A_s = \omega(A_c f_{cd}/f_{yd})$		cm ²	

(b)

Figura 6 – Resultados do momento total e área de aço considerando o corte do pilar no (a) eixo x e (b) eixo y em planta

Posteriormente à esta classificação, o usuário entrará com o valor da taxa de armadura (ω) de acordo com os ábacos oferecidos pelo programa à escolha do usuário. O FLUXXOS irá calcular o valor da área de aço (A_s) e o usuário terá que verificar na tabela (Figura 7) a área de aço efetiva ($A_{s,tabela}$) e o número de barras da armadura longitudinal (n_l).

ÁREA DE AÇO DA SEÇÃO CONFORME NÚMERO DE BARRAS - A_s [cm ²]										Valor nominal para cálculo	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ϕ diâmetro (mm)	massa linear (kg/m)
0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	5,0	0,16
0,32	0,63	0,95	1,26	1,58	1,89	2,21	2,52	2,84	3,15	6,3	0,25
0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	8,0	0,40
0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,80	10,0	0,63
1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50	12,5	1,00
2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	16,6	1,60
3,15	6,30	9,45	12,60	15,75	18,90	22,05	25,20	28,35	31,50	20,0	2,50
5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	25,0	4,00
8,00	16,00	24,00	32,00	40,00	48,00	56,00	64,00	72,00	80,00	32,0	6,30
12,50	25,00	37,50	50,00	62,50	75,00	87,50	100,0	113	125,0	40,0	10,00

Figura 7 – Tabela de área de aço da armadura longitudinal

Mediante a esses dados, o usuário entrará com esses valores na aba “Detalhamento da Armadura Longitudinal”. Faz-se também necessário a inserção dos coeficientes adimensionais α_1 que depende se as barras precisarão de gancho ou não, η_1 que depende se a barra for lisa, entalhada ou nervurada e η_2 que depende da situação de aderência das barras. Alimentando o programa com todos esses dados, ele fornecerá as informações necessárias para o detalhamento das armaduras longitudinais (Figura 8a e Figura 8b), transversais (Figura 8c) e estribos suplementares (Figura 8d) destacadas pelas células da cor ouro.

Detalhamento da Armadura Longitudinal					
n_l	$A_{s,tabela}$	cm ²	$20\phi_t$	cm	
$A_{s,min} = 0,15N_d/f_{yd}$		cm ²	$s_{l,max} \leq \begin{cases} 2b \\ 40 \end{cases}$	cm	
$A_{s,min} \geq 0,004A_c$		cm ²	$s_l = a + \phi_l$	cm	
$A_{s,max} = 0,08A_c$		cm ²	mm	α_1	-
$\alpha_{min} \geq \begin{cases} 20 \\ \phi_l \\ 1,2d_{ag} \end{cases}$			mm	η_1	-
$\alpha = h - 2c - 2\phi_t - n_l\phi_l/n - 1$			mm	η_2	-
			mm	η_3	-
N1		ϕ	-		

(a)

Detalhamento da Armadura Longitudinal					
$f_{ctk_{inf}} = 0,21f_{ck}^{2/3}$	MPa	$l_{b,nec} = \frac{\alpha_1 l_b A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$	cm		
$f_{ctd} = \frac{f_{ctk_{inf}}}{\gamma_c}$	MPa	$l_{b,min} \geq \begin{cases} 0,3l_b \\ 10\phi_l \\ 100 \end{cases}$	mm		
$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd}$	MPa		mm		
$l_b = \frac{\phi_l f_{yd}}{4 f_{bd}}$	cm	$l_{oc,min} \geq \begin{cases} 0,6l_b \\ 15\phi_l \\ 200 \end{cases}$	mm		
		$l_{total} = l + l_{b,nec}$	cm		
N1		ϕ	-		

(b)

Detalhamento da Armadura Suplementar					
$l_{gt} \geq \begin{cases} 5\phi_t \\ 5 \end{cases}$	cm	$l_s = (b - 2c) + 2l_{gt}$	cm		
n_s	-	$n_{s,total} = n_s \cdot n_{t,total}$	-		
N3		X	ϕ	c/	-

(c)

Detalhamento da Armadura Transversal				
$\phi_t \geq \begin{cases} 5 \\ \phi_l/4 \end{cases}$	mm	$l_t = 2(h - 2c) +$		
	mm	$2(b - 2c) + 2l_{gt}$	cm	
$s_t \leq \begin{cases} 20 \\ b \\ 12\phi_l \end{cases}$	cm	$l_{gt} \geq \begin{cases} 5\phi_t \\ 5 \end{cases}$	cm	
	cm	$n_{t,total} = l/s_t + 1$	cm	
	cm		-	
N2	ϕ	c/	-	

(d)

Figura 8 – Critérios adotados para o detalhamento. (a) Espaçamento máximo e mínimo e (b) comprimento total da armadura longitudinal, (c) espaçamento, comprimento e número de estribos da armadura transversal e (d) espaçamento e quantidade de ganchos dos estribos suplementares

Para a realização do estudo comparativo adotou-se os seguintes valores (Figura 9) 40 cm e 60 cm para a menor (b) e maior (h) dimensão da seção transversal do pilar, respectivamente. A classe do concreto utilizado foi o C30 com brita 1 ($d_{ag} = 19$ mm) e aço CA-50. O cobrimento nominal (c_{nom}) adotado foi de 2,5 cm, comprimento livre (l) do pilar de 570 cm e força normal característica (N_k) de 3000 KN. Para a bitola da armadura longitudinal (ϕ_l) adotou-se 20.0 mm e para a armadura transversal (ϕ_t) adotou-se 5.0 mm.

DADOS		
Seção		
b	40	cm
h	60	cm
Concreto	C30	
Aço	CA-50	
f_{ck}	30	MPa
f_{yk}	500	MPa
c_{nom}	2,5	cm
d_{ag}	19	mm
γ_n	1	-
γ_f	1,4	-
α_b	1	-
e_1	0	cm
l	570	cm
$M_{1d,A}$	0	KNcm
N_k	3000	KN
N_d	4200	KN
ϕ_t	5	mm
ϕ_l	20	mm

Figura 9 – Dados de entrada adotados para o estudo comparativo

A altura da viga (h_{viga}) considerando o corte do pilar no eixo x (Figura 10a) em planta possui 65 cm enquanto que no eixo y (Figura 10b) a altura é de 55 cm. Entrando com todos esses dados, o FLUXXOS apresentou a devolutiva que somente o eixo x do pilar haverá excentricidade de 2ª ordem e o classificou como “Pilar Médio”. De acordo com o ábaco de Montoya de flexão composta normal e armadura paralela ao eixo y, a taxa de armadura (ω) apresenta o valor de 0,35 resultando em uma área de aço de 41,40 cm² sendo exatamente o mesmo valor do resultado obtido manualmente.

Eixo X					
h_{viga}	65	cm	h	40	cm
$l_e \leq \begin{cases} l \\ l_0 + h \end{cases}$	570	cm	$M_{d,min} = N_d \cdot e_{1,min}$	11340	KNcm
	545	cm	$35 \leq$	35	
$\lambda = l_e \sqrt{12}/h$	47,20	-	$\lambda_{lim} = (25 + 12,5 \cdot e_1/h)/\alpha_b$	25	-
$e_{1,min} = 0,015 + 0,03h$	2,7	cm	≤ 90	90	-
Pilar Médio			HAVERÁ EFEITO DE 2ª ORDEM		
$\nu = N_d/A_c f_{cd}$	0,817	-	$1/r = 0,005/h(\nu + 0,5)$	9,49E-05	cm ⁻¹
$\mu = \nu e_{total}/h$	0,113	-	$e_2 = (l_e^2/10)(1/r)$	2,82	cm
$d'/h \cong (c + \phi_t + \phi_l/2)/h$	0,100	-	$M_{d,total} = \alpha_b M_{d,min} + N_d e_2$	23183,4	KNcm
ω (ábaco)	0,35	-	$e_{total} = e_{1,min} + e_2$	5,52	cm
$A_s = \omega(A_c f_{cd}/f_{yd})$			41,40	cm ²	

(a)

Eixo Y					
h_{viga}	55	cm	h	60	cm
$l_e \leq \begin{cases} l \\ l_0 + h \end{cases}$	570	cm	$M_{d,min} = N_d \cdot e_{1,min}$	13860	KNcm
$\lambda = l_e \sqrt{12}/h$	32,91	-	$35 \leq$	35	-
$e_{1,min} = 0,015 + 0,03h$	3,3	cm	$\lambda_{lim} = (25 + 12,5 \cdot e_1/h)/\alpha_b$	25	-
			≤ 90	90	-
Pilar Curto					
$\nu = N_d/A_c f_{cd}$	0,817	-	NÃO HAVERÁ EFEITO DE 2ª ORDEM		
$\mu = \nu e_{total}/h$	0,045	-	$1/r = 0,005/h(\nu + 0,5)$	6,33E-05	cm ⁻¹
$d'/h \cong (c + \phi_t + \phi_l/2)/h$	0,067	-	$e_2 = (l_e^2/10)(1/r)$	0,00	cm
ω (âbaco)		-	$M_{d,total} = \alpha_b M_{d,min} + N_d e_2$	13860	KNcm
		-	$e_{total} = e_{1,min} + e_2$	3,30	cm
$A_s = \omega(A_c f_{cd}/f_{yd})$		cm ²			

(b)

Figura 10 – Cálculo do momento total e área de aço do (a) eixo x do pilar e (b) eixo y

Consultando a tabela de área de aço da seção conforme número de barras, temos que o número de barras da armadura longitudinal (n_l) é de 14 unidades. Com isso, a área efetiva de aço de acordo com a tabela ($A_{s,tabela}$) será de 44,1 cm². Para os valores dos coeficientes α_1 , η_1 e η_2 adotou-se: barras sem gancho ($\alpha_1 = 1$); barras nervuradas CA-50 ($\eta_1 = 2,25$); e situação de boa aderência ($\eta_2 = 1$). Com todos esses dados, o programa gera as informações necessárias para o detalhamento de toda armadura longitudinal (Figura 11a e Figura 11b), transversal (Figura 11c) e estribos suplementares (Figura 11d).

Detalhamento da Armadura Longitudinal							
n_l	7	$A_{s,tabela}$	44,1	cm ²	$20\phi_t$	10	cm
$A_{s,min} = 0,15N_d/f_{yd}$			14,49	cm ²	$s_{l,max} \leq \begin{cases} 2b \\ 40 \end{cases}$	80	cm
$A_{s,min} \geq 0,004A_c$			9,6	cm ²		40	cm
$A_{s,max} = 0,08A_c$			192	cm ²	$s_l = a + \phi_l$	8,67	cm
$a_{min} \geq \begin{cases} 20 \\ \phi_l \\ 1,2d_{ag} \end{cases}$			20	mm	α_1	1	-
			20	mm	η_1	2,25	-
			22,8	mm	η_2	1	-
$a = h - 2c - 2\phi_t - n_l\phi_l/n - 1$			66,67	mm	η_3	1	-
N1 14 ϕ 20 - 633							

(a)

Detalhamento da Armadura Longitudinal							
$f_{ctk,inf} = 0,21f_{ck}^{2/3}$	2,03	MPa	$l_{b,nec} = \frac{\alpha_1 l_b A_{s,calc}}{A_{sef}}$	63,00	cm		
$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$	1,45	MPa	$l_{b,min} \geq \begin{cases} 0,3l_b \\ 10\phi_l \\ 100 \end{cases}$	200,14	mm		
$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd}$	3,26	MPa		200	mm		
$l_b = \frac{\phi_l f_{yd}}{4 f_{bd}}$	66,71	cm	$l_{oc,min} \geq \begin{cases} 0,6l_b \\ 15\phi_l \\ 200 \end{cases}$	400,29	mm		
				300	mm		
				200	mm		
			$l_{total} = l + l_{b,nec}$	633,00	cm		
N1 14 ϕ 20 - 633							

(b)

Detalhamento da Armadura Transversal							
$\phi_t \geq \begin{cases} 5 \\ \phi_l/4 \end{cases}$	5	mm	$l_t = 2(h - 2c) + 2(b - 2c) + 2l_{gt}$	190	cm		
	5	mm					
$s_t \leq \begin{cases} 20 \\ b \\ 12\phi_l \end{cases}$	20	cm	$l_{gt} \geq \begin{cases} 5\phi_t \\ 5 \end{cases}$	2,5	cm		
	40	cm		5	cm		
	24	cm	$n_{t,total} = l/s_t + 1$	30	-		
N2 30 ϕ 5 c/ 20 - 190							

(c)

Detalhamento da Armadura Suplementar							
$l_{gt} \geq \begin{cases} 5\phi_t \\ 5 \end{cases}$	2,5	cm	$l_s = (b - 2c) + 2l_{gt}$	45	cm		
	5	cm	$n_{s,total} = n_s \cdot n_{t,total}$	150	-		
n_s	5	-					
N3 5 X 30 ϕ 5 c/ 20 - 45							

(d)

Figura 11 – Informações necessárias para o detalhamento. (a) Cálculo do espaçamento máximo e mínimo e (b) cálculo do comprimento total da armadura longitudinal, (c) cálculo do espaçamento, comprimento e número de estribos da armadura transversal e (d) cálculo do espaçamento e quantidade de ganchos dos estribos suplementares

A Tabela 3 ilustra os resultados obtidos manualmente e calculado pelo programa FLUXXOS de acordo com os valores iniciais adotados para este estudo comparativo.

Tabela 3 – Comparação dos resultados do dimensionamento do pilar obtidos pelo FLUXXOS e manualmente

Variáveis	Dimensionamento FLUXXOS	Dimensionamento manual	Unidades de medida
$I_{e,x}$	545	545	cm
$I_{e,y}$	570	570	cm
λ_x	47,2	47,2	-
λ_y	32,91	32,91	-
$e_{1x}, \text{mín}$	2,7	2,7	cm
$e_{1y}, \text{mín}$	3,3	3,3	cm
$M_{dx}, \text{mín}$	11340	11340	KNcm
$M_{dy}, \text{mín}$	13860	13860	KNcm
u_x	0,817	0,817	-
u_y	0,817	0,817	-
μ_x	0,113	0,113	-
μ_y	0,045	0,045	-
$1/r$	$9,5 \times 10^{-5}$	$9,5 \times 10^{-5}$	cm^{-1}
e_{2x}	2,82	2,82	cm
e_{2y}	0	0	cm
$M_{dx, \text{total}}$	23183,4	23184	KNcm
$M_{dy, \text{total}}$	13860	13860	KNcm
$A_{s,x}$	41,4	41,4	cm^2
$A_{s,y}$	11,83	11,83	cm^2
I_{total}	633	640	cm
a	6,67	6,67	cm
I_t	190	190	cm
S_t	20	20	cm
I_s	45	45	cm
n_s, total	150	150	und

O cálculo realizado manualmente validou os resultados obtidos pelo programa de forma que os valores encontrados em ambos os métodos (manual e automatizado) foram muito próximos.

CONCLUSÃO

Conclui-se que os resultados obtidos pelo programa FLUXXOS foram muito semelhantes aos resultados obtidos manualmente, porém com a vantagem de ser mais prático e ágil. Sendo assim, o usuário pode testar diferentes seções transversais proporcionando um número de verificações maior em um tempo menor.

O presente trabalho foi elaborado apenas para dimensionar pilares internos pelo método do pilar padrão com curvatura aproximada. Sugere-se que o programa FLUXXOS seja implementado com os pilares de canto e os pilares de borda pelo mesmo método, acrescentando os ábacos de flexão composta oblíqua. Para trabalhos futuros, sugere-se realizar a comparação dos resultados obtidos pelo FLUXXOS com os de programas como o Eberick e TQS para verificar se o elemento estrutural está superdimensionado ou subdimensionado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. - NBR 6118**, Rio de Janeiro, 2014.

BORGES, A. C. **Prática das Pequenas Construções**. volume I. 8ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1996.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2014**. 4ª edição. São Carlos: EdUFSCar, 2019.

MICROSOFT. **Introdução ao VBA no Office**. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/office/vba/library-reference/concepts/getting-started-with-vba-in-office>>. Acesso em: 27 mai. 2020.

MONTOYA, P. J.; MESEGUER, A. G.; CABRÉ, F. M. **Hormigón Armado: ábacos para el calculo de secciones em el estado ultimo de agotamiento**. volume II. 10ª edição. Barcelona: Gustavo Gili, 1981.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos, 2007.