

DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS DE AÇO DA ARMADURA DE BLOCOS SOBRE ESTACAS

B. C. S. Lopes¹, R. K. Q. Souza², T. R. Ferreira³, R. G. Delalibera⁴

Engenharia Civil – Campus Catalão

¹bc_s_90@hotmail.com; ²rhuankarlo_@hotmail.com; ³tobias.trf@hotmail.com;
⁴delalibera@pq.cnpq.br

1. Introdução

Toda edificação resulta em um conjunto de esforços que deverá ser obrigatoriamente suportado pelo terreno sobre o qual a mesma se apóia. Quando as camadas superficiais do solo não resistem aos esforços solicitantes é necessário buscar camadas mais resistentes, para isso é necessário a utilização de fundações profundas.

As estacas são elementos estruturais esbeltos que, colocados no solo seja por cravação ou perfuração, têm como finalidade transmitir cargas ao mesmo, seja pela resistência de ponta, seja pela resistência ao longo do fuste (atrito lateral) ou pela combinação de ambos.

Quando se utiliza fundações em estacas é necessário utilizar outro elemento estrutural, o bloco de coroamento, também denominado bloco sobre estacas. A finalidade destes blocos é transferir as ações da superestrutura para um grupo de estacas ou uma estaca isolada.

A norma brasileira NBR 6118:2007 considera os blocos como elementos estruturais especiais, que não respeitam a hipótese de seções planas, por não serem suficientemente longos para que se dissipem as perturbações localizadas.

A NBR6118: 2007 distinguem os blocos entre rígidos ou flexíveis. Essa classificação se dá com relação ao comportamento estrutural do bloco. Os blocos rígidos têm comportamento estrutural caracterizado por trabalho à flexão nas duas direções com trações nas linhas sobre estacas.

Um dos métodos mais usuais empregados para projetos de blocos sobre estacas, utilizado no Brasil é o Método das Bielas e Tirantes. Esse método foi desenvolvido

Revisado pelo orientador.

¹ Orientanda: Bárbara Crysthine Sousa Lopes
Graduanda do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão.
Rhuan Karlo de Queiroz Souza

² Graduando do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão
Tobias Ribeiro Ferreira

³ Graduando do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão

⁴ Orientador: Rodrigo Gustavo Delalibera
Professor do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão

considerando a análise de resultados experimentais de modelos ensaiados por Blévo (1967), considera no interior do bloco uma treliça composta por barras tracionadas e barras comprimidas. As forças de tração que atuam nas barras horizontais da treliça são resistidas pela armadura, as de compressão nas bielas são resistidas pelo concreto. O método consiste no cálculo da força de tração e na verificação da tensão de compressão nas bielas.

O correto dimensionamento de tal elemento, utilizando métodos desenvolvidos por pesquisadores da área, torna-se indispensável para o bom desempenho deste elemento na estrutura.

2. Objetivo

Desenvolver uma rotina de computador, com o objetivo de calcular a quantidade adequada de barras de aço que irá compor a armadura do bloco sobre estacas. Pretende-se também verificar a ancoragens das mesmas junto às estacas.

Este trabalho é o terceiro de uma série de três trabalhos, que estão sendo desenvolvidos por outras pesquisas de iniciação científica. Além do cálculo da quantidade adequada de barras de aço que irá compor a armadura dos blocos rígidos (desenvolvido neste trabalho), também serão elaborados rotinas computacionais para a verificação das tensões junto às zonas nodais superior (interface pilar-bloco) e inferior (interface bloco-estaca), como também a verificação do fendilhamento (provocado por tensões de tração perpendiculares a biela) e o cálculo das reações das estacas nos blocos de coroamento.

A planilha eletrônica será disponibilizada para o meio técnico e científico, por meio do sítio eletrônico do curso de engenharia civil do campus Catalão, da Universidade Federal de Goiás.

3. Metodologia

Após o cálculo das reações nas estacas e depois de verificadas as tensões nas regiões nodais superiores e inferiores, podem-se prosseguir com os cálculos das quantidades necessárias de barras de aço para a armadura do bloco de coroamento. Para isso, utilizar-se-á o modelo de bielas e tirantes. Após a determinação do número de barras necessárias para o bloco, será verificada a ancoragem destas junto às estacas.

3.1 Analogia de Bielas e Tirantes

Introduzida no século passado por RITTER & MÖRSCH, a analogia de bielas e tirantes é uma generalização clássica da analogia de treliça. O método faz uma analogia entre a viga de concreto armado fissurada e a uma treliça de banzos paralelos. Após varias décadas de estudo foram sugeridos modificações e aperfeiçoamentos ao modelo proposto, porém, a hipótese básica continua válida. O método também é conhecido como Escoras e Tirantes; a diferença entre escoras e bielas é que as bielas são inclinadas e as escoras podem ser inclinadas ou não em relação aos tirantes. Os resultados das pesquisas sugeriram a utilização de uma treliça, Treliça de Morsch generalizada, cuja inclinação das diagonais comprimidas (bielas) com a horizontal passou a ser adotada de maneira compatível com os modelos sugeridos após análise experimental, enquanto no modelo original essa inclinação era constante e com valor igual a 45° .

Os modelos de bielas e tirantes são idealizações que substituem o elemento estrutural por uma estrutura de barras comprimidas e tracionadas, articuladas nos nós. As bielas e tirantes são representações discretas dos campos de tensão nos elementos estruturais de concreto armado. As bielas representam campos de tensão de compressão, enquanto os tirantes são campos de tração, que devem ser absorvidos por barras de aço.

SILVA & GIONGO (2000) sugerem que o modelo de bielas e tirantes pode ser definido por meio do fluxo de tensões na estrutura, usando o processo do caminho de carga. Caso se disponha de tensões elásticas e suas direções principais obtidas de uma análise elástica, o desenvolvimento do modelo é imediato. Essa análise elástica pode ser feita utilizando métodos numéricos, como por exemplo, o método dos elementos finitos. A direção das bielas pode ser adotada de acordo com a direção média das tensões de compressão, ou os elementos mais importantes (bielas e tirantes) podem ser posicionados no centro de gravidade dos diagramas de tensão correspondentes. Caso se deseje determinar a força última na estrutura, o modelo pode ser adaptado para outro estágio de carregamento, alterando a posição das bielas e dos tirantes, aumentando assim, a resistência da estrutura. Para isso, utiliza-se análise plástica para a determinação do fluxo de tensões.

A Figura 1 apresenta o modelo de bielas e tirantes aplicado para uma viga parede simplesmente apoiada submetida a uma força concentrada no meio do vão. As áreas sombreadas representam as regiões nodais.

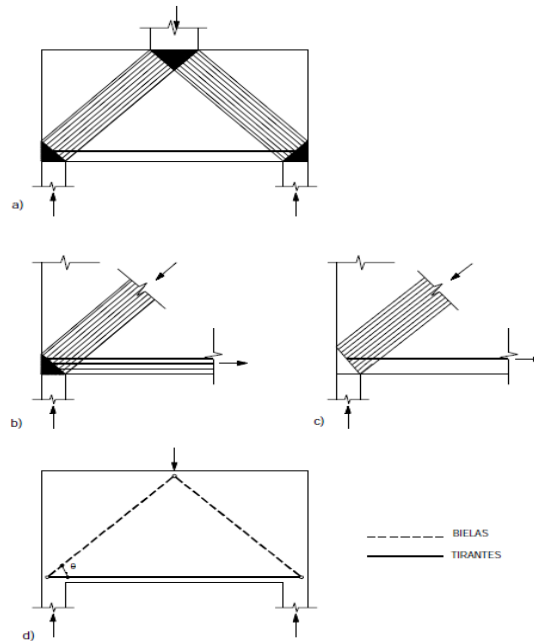


Figura 1 – Definição da geometria do modelo, SILVA & GIONGO (2000) apud DELALIBERA (2006).

Para um mesmo elemento estrutural pode-se encontrar vários modelos de bielas e tirantes que atendam as condições de equilíbrio entre forças internas e externas, por isso, a obtenção de modelos ótimos fica restrita a experiência do engenheiro. A obtenção de modelos otimizados é uma tarefa difícil que exige bastante experiência, entretanto, segundo SCHAILCH et al. (1987), percebe-se que as ações tentam utilizar o caminho de mínimas forças e deformações. Como os tirantes das armaduras são muito mais deformáveis que as bielas de concreto, o modelo com tirantes mais curtos é o melhor.

No modelo de bielas e tirantes, a armadura do tirante pode desenvolver forças que só são transferidas para os nós se os tirantes são ancorados corretamente nos nós. A distribuição e ancoragem da armadura do tirante influenciam a capacidade de transferir uma componente horizontal de uma biela diagonal para o tirante ao término de um elemento simplesmente apoiado.

4. Resultados

O dimensionamento da armadura principal de tração foi desenvolvido seguindo as exigências da NBR 6118:2007.

Neste trabalho utilizou-se a ancoragem com ganchos a 90 graus para diâmetro das barras inferiores a 20 mm e ganchos a 180 graus para barras de 20 mm. O comprimento de ancoragem foi considerado a partir da face interna da estaca onde a armadura se apóia.

Após o cálculo das reações nas estacas e depois de verificadas as tensões nas regiões nodais superiores e inferiores, por alunos deste mesmo projeto de iniciação científica, podem-se prosseguir com os cálculos das quantidades necessárias de barras de aço para a armadura do bloco de coroamento.

Inicialmente calculou-se a força máxima no tirante e em seguida área de aço necessária para resistir à força de tração do tirante, por meio das equações 1 e 2.

$$R_{st,d} = F_{biela} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_n \cdot \cos \theta \text{ (KN)} \quad \text{Equação 1}$$

$$A_{st} = \frac{R_{st,d}}{f_{yd}} \text{ (cm}^2\text{)} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

$R_{st,d}$: Força máxima no tirante de cálculo;

F_{biela} : Força de compressão na biela;

γ_f e γ_n : Coeficientes de majoração da força F_{biela} ;

f_{yd} : Resistência ao escoamento do aço;

θ : ângulo de inclinação da biela.

Em seguida determina-se o número de barras de aço e o espaçamento mínimo entre as mesmas.

$$N_{barras} = \frac{A_{st}}{A_{barra}} \quad \text{Equação 3}$$

O espaçamento mínimo entre as barras deve ser o maior dentre as condições:

20mm

$$1,2 \cdot \Phi_{m\acute{a}x.agreg.}$$

$$\Phi_{barra}$$

O comprimento de ancoragem disponível varia de acordo com a geometria de cada bloco, a seguir apresenta-se a formulação genérica para um bloco sobre duas estacas:

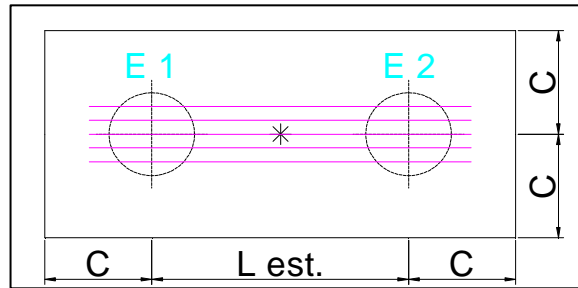


Figura 2 – Armadura de bloco sobre duas estacas.

$$L_{b,disp.} = c - c_{nom.} + \frac{\Phi_{estaca}}{2} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

c_{nom} : Cobrimento nominal, pré-definido em 4 cm, em função da classe de agressividade ambiental (NBR 6118:2007).

$$c = \frac{\Phi_{estaca}}{2} + 15cm$$

O comprimento de ancoragem disponível deve ser maior que o comprimento de ancoragem necessário, o qual pode ser encontrado pela equação 6:

$$L_{b,necess.} = \alpha \cdot L_b \cdot \frac{A_{st,calculada}}{A_{st,efetiva}} \geq L_{b_{min}} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo:

- α : Coeficiente para cálculo de comprimento de ancoragem igual a 0,7 para barras com ganchos;
- $A_{st,efetiva} = A_{barra} \cdot N_{barras}$ (Área de aço efetiva)
- $L_b = \frac{\Phi_{barra}}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$ (Comprimento de ancoragem básico);
- $L_{b,mín} \geq 10\Phi$

100 mm

- $f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{cta}$ (Resistência de aderência de cálculo);
- η_1 : 2,25 Para barras nervuradas;
- η_2 : 1 Situações de boa aderência;
- η_3 : 1 Para barras de aço com diâmetros inferiores a 32 mm;
- $f_{cta} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$ (Resistência de cálculo do concreto a tração);
- γ_c : Coeficiente de ponderação da resistência do concreto;
- $f_{ctk,inf} = 0,3 \cdot 0,7 \cdot f_{ck}^{2/3}$ (Resistência característica do concreto a tração característica inferior);
- f_{ck} : Resistência característica do concreto à compressão.

Para blocos não alinhados, para controlar a fissuração há necessidade de uma armadura adicional em malha uniformemente distribuída em duas direções para no máximo 20% dos esforços totais, completando a armadura principal, calculada com uma resistência de cálculo de 80% de f_{yd} . A armadura de distribuição deve ser ancorada assim como a armadura principal, critério estabelecido na NBR 6118:2007.

Por fim calcula-se o comprimento total de cada barra de acordo com a geometria do bloco e o seu comprimento de ancoragem.

5. Discussão

Neste item será apresentado um exemplo de aplicação relativo ao projeto de um bloco sobre duas estacas.

Os demais blocos desenvolvidos na rotina computacional são análogos ao bloco sobre duas estacas.

A rotina computacional calcula a quantidade de estacas necessárias no bloco, informando para o usuário e pedindo que o mesmo selecionasse o bloco desejado de acordo com a quantidade de estacas. Após isso, o dimensionamento das barras de aço é automático.

- Quantidade de Estacas Calculadas: 2 Estacas.
- Estaca moldada in-loco;
- F_{biela} : 190,77 KN (Reação máxima na estaca);
- $\theta = 45^\circ$ (Ângulo de inclinação da biela);
- Φ_{estaca} : 32 cm (Diâmetro da estaca);
- f_{ck} : 30 MP_a
- γ_c :1,4
- γ_s :1,15
- γ_n :1,2
- γ_f : 1,4
- Φ_{barras} : 20 mm

A força máxima no tirante pode ser calculada pela expressão 1:

$$R_{st,d} = F_{biela} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_n \cdot \cos \theta \text{ (KN)} \quad \text{Equação 1}$$

$$R_{st,d} = 190,77 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot \cos 45 = 226,62 \text{ (KN)}$$

O aço escolhido para o dimensionamento foi o CA-50 que apresenta uma resistência característica ao escoamento de 500 MPa. Para obter o valor resistente de cálculo do aço CA-50 é preciso dividir o valor de resistência característica ao escoamento do aço por um coeficiente de minoração γ_s . Por meio da equação 02 determina-se área de aço necessária para a armadura principal de tração – tirante.

$$A_{st} = \frac{R_{st,d}}{f_{yd}} (cm^2) \quad \text{Equação 2}$$

$$A_{st} = \frac{226,62}{43,48} = 5,21(cm^2)$$

O usuário pode escolher entre cinco diâmetros de barras comerciais, sendo eles:

- 6,3mm (Área da barra: 0,31 cm²)
- 8,0 mm (Área da barra: 0,63 cm²)
- 10,0 mm (Área da barra: 0,79 cm²)
- 12,5 mm (Área da barra: 0,98 cm²)
- 16,0 mm (Área da barra: 2,01 cm²)
- 20,0 mm (Área da barra: 3,14 cm²)

Supondo que o usuário escolha um diâmetro de 20 mm, em seguida determina-se o número de barras de aço a serem utilizadas (equação 03):

$$N_{barras} = \frac{A_{st}}{A_{barra}} \quad \text{Equação 3}$$

$$N_{barras} = \frac{5,2}{3,14} = 1,66 = 2 \text{ barras}$$

As barras serão distribuídas entre as faixas que delimitam os diâmetros das estacas, podem ultrapassar até 10 cm para cada lado.

$$d = \frac{\Phi_{estaca} - N \cdot \Phi_{barra}}{\text{Número de espaços entre as barras}} \quad \text{Equação 6}$$

$$d = \frac{32 - 2 \cdot 2}{1} = 28cm$$

Lembrando que o espaçamento obtido deve ser maior que o definido pela NBR 6118:2007, o qual é o maior dos três valores dados pelas condições abaixo:

$$20mm$$

$$1,2 \times \Phi_{m\acute{a}x.agreg.} = 1,2 \cdot 19 = 22,8mm = 2,28 \text{ cm}$$

$$\Phi_{barra} = 20mm = 2cm$$

$$28cm \geq 2,28 \text{ cm OK!} \quad (\text{condi\c{c}\~{a}o satisfeita})$$

Prosegue-se o c\~{a}lculo com o valor do comprimento de ancoragem dispon\~{i}vel, tendo o valor do cobrimento nominal pr\~{e}-estabelecido de 4 cm:

$$L_{b,disp.} = c - c_{nom.} + \frac{\Phi_{estaca}}{2} \quad \text{Equa\c{c}\~{a}o 4}$$

$$c = \frac{\Phi_{estaca}}{2} + 15cm$$

$$L_{b,disp.} = 31 - 4 + \frac{32}{2} = 43 \text{ cm}$$

O comprimento de ancoragem dispon\~{i}vel deve ser maior que o comprimento de ancoragem necess\~{a}rio e, este por sua vez ser maior que o comprimento de ancoragem m\~{i}nimo. A \~{a}rea de a\c{c}\~{o} efetiva no tirante, \~{e} determinada por meio da equa\c{c}\~{a}o 07.

$$L_{b,necess.} = \alpha \cdot L_b \cdot \frac{A_{st,calculada}}{A_{st,efetiva}} \geq L_{b,m\acute{i}n} \quad \text{Equa\c{c}\~{a}o 5}$$

$$A_{st,efetiva} = A_{barra} \cdot N_{barras} \quad \text{Equa\c{c}\~{a}o 7}$$

$$A_{st,efetiva} = 6,28 \text{ cm}^2$$

$$L_b = \frac{\Phi_{barra}}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,3 \cdot 0,7 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

A partir das expressões anteriores é possível calcular o comprimento de ancoragem necessário

$$f_{ctk,inf} = 0,3 \cdot 0,7 \cdot 30^{2/3} = 2,027 \text{ Mpa} = 0,2027 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{ctd} = \frac{0,2027}{1,4} = 0,145 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,145 = 0,326 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$L_b = \frac{2}{4} \cdot \frac{43,48}{0,326} = 66,63 \text{ cm}$$

$$L_{b,necess.} = 0,7 \cdot 66,63 \cdot \frac{5,20}{6,28} = 38,62 \text{ cm}$$

$$L_{b,mín} \geq 10\Phi$$

$$L_{b,mín} \geq 200 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm}$$

$$L_{b,necess.} \geq L_{b,mín} \text{ OK!}$$

Os diâmetros dos pinos de dobramento definidos pela NBR 6118:2007 são:

$$\text{Para } \Phi_{\text{barra}} \geq 20\text{mm} \quad \Phi_{\text{pino}} = 8 \cdot \Phi$$

$$\text{Para } \Phi_{\text{barra}} \leq 20\text{mm} \quad \Phi_{\text{pino}} = 5 \cdot \Phi$$

$$\text{Portanto: } \Phi_{\text{barra}} \geq 20\text{mm} \quad \Phi_{\text{pino}} = 8 \cdot \Phi \quad \Phi_{\text{pino}} = 8 \cdot 2\text{cm} = 16\text{ cm}$$

Para o caso de um bloco sobre duas estacas, considerando barras de aço com diâmetro menor que 20 mm, o comprimento de ancoragem pode ser calculado pela equação 8:

$$\text{Comp} = L_{\text{est}} + 2 \cdot \left(c - c_{\text{nom}} - \frac{\Phi_{\text{pino}}}{2} + \frac{\pi \cdot \Phi_{\text{pino}}}{2} + \frac{\Phi_{\text{estaca}}}{2} + 2 \cdot \Phi \right) \quad \text{Equação 8}$$

$$L_{\text{est}} = 3,0 \cdot \Phi_{\text{estaca}} \text{ (Estacas moldada in - loco)} \quad \text{Equação 9}$$

$$L_{\text{est}} = 3 \cdot 32 = 96\text{ cm}$$

$$\text{Comp} = 96 + 2 \cdot \left(31 - 4 - \frac{16}{2} + \frac{\pi \cdot 16}{2} + \frac{32}{2} + 2 \cdot 2 \right) = 224,27\text{cm}$$

A expressão 9, determina a distância entre os eixo das estacas.

A planilha disponibiliza ao usuário um relatório final no qual constam todos os dados fornecidos pelo mesmo, além do volume de concreto a ser utilizado no bloco e, um resumo de armaduras.

Resumo de Armaduras (Aço CA-50)			
Φ_{barra} (mm)	Comprimento (m)	Massa (Kg/m)	Massa total +10% (Kg)
20	4,49	2,62	12,97

Os cálculos descritos acima são apenas parte complementar da rotina computacional desenvolvidas por outros alunos de iniciação científica. Nas Figura 03, 04 e 05 se encontram as interfaces da planilha desenvolvida, relativas a esta etapa do projeto. Por meio da Figura 03, determina-se a força de tração (R_{st}), a qual será utilizada para o dimensionamento das armadura principal de tração – tirante.

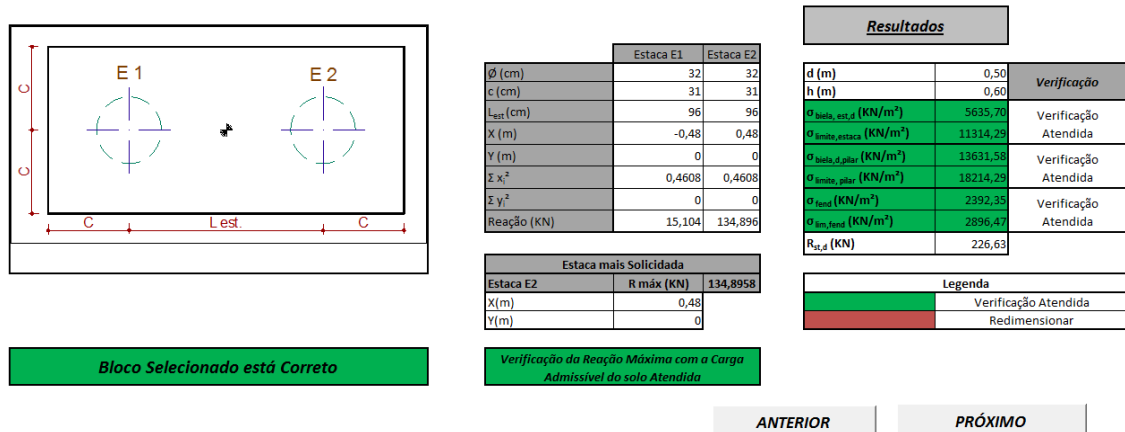


Figura 3 – Interface da rotina de computador, realizada em outra etapa do projeto de pesquisa, (verificações das tensões nodais e cálculo de σ_{sola}).

Na Figura 04 são apresentadas informações relativas às armaduras principais de tração e na Figura 05, apresenta-se um arranjo esquemático desta armadura, como também um resumo de todas as informações para o dimensionamento, verificação de detalhamento do bloco.

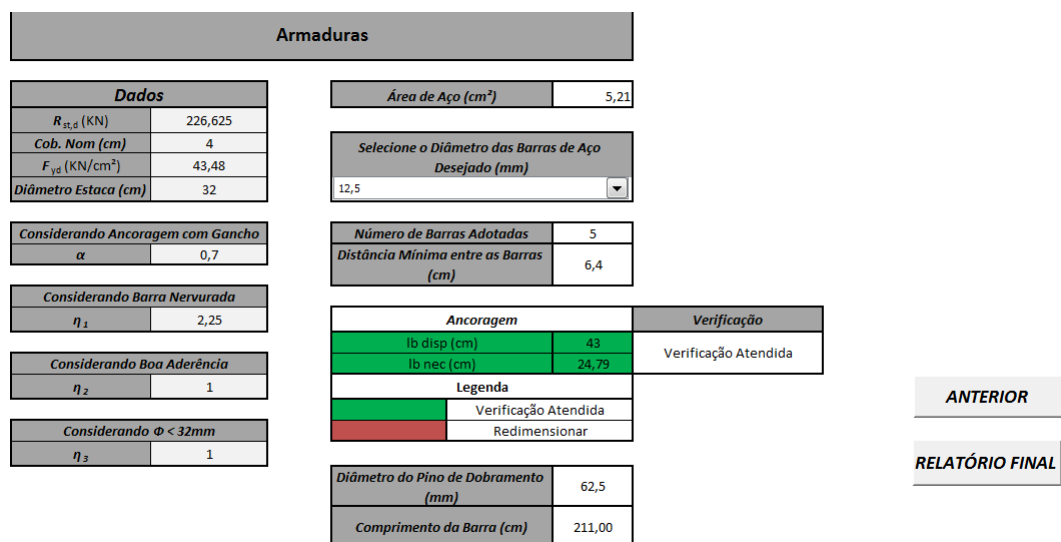


Figura 4 – Interface da rotina de computador, realizada nesta etapa do projeto de pesquisa (Cálculo das barras de aço e detalhamento).

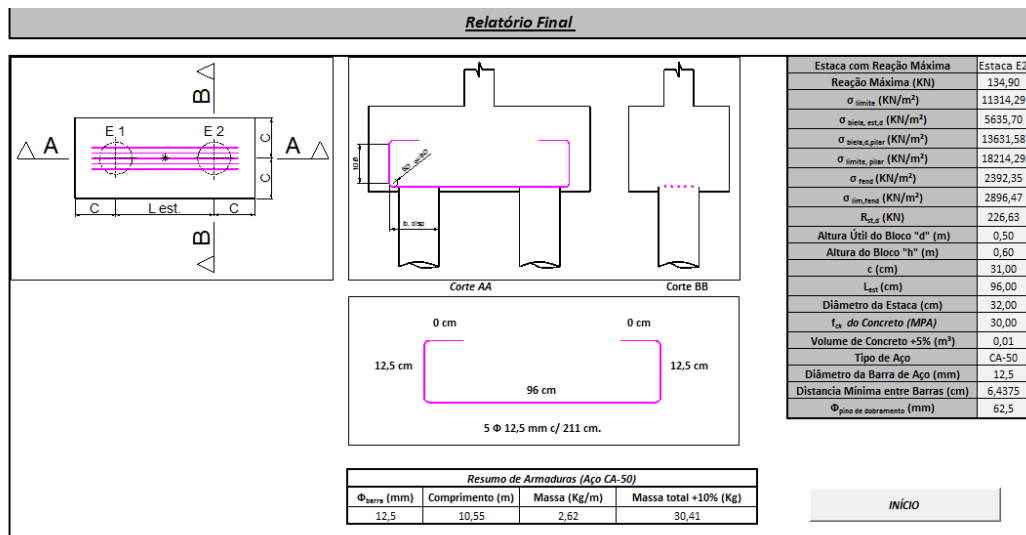


Figura 5 – Interface da rotina de computador, realizada nesta etapa do projeto de pesquisa (Relatório Final).

6. Conclusão

O bloco sobre estacas tem importância fundamental na estrutura, porém não permite uma inspeção visual quando está em serviço, portanto é fundamental conhecer seu comportamento estrutural. Este trabalho apresentou uma discussão sobre o desenvolvimento de uma rotina de computador, com o objetivo de calcular as reações nas estacas (primeira etapa da pesquisa), verificar as tensões nas regiões nodais (segunda etapa da pesquisa) e dimensionar a quantidade adequada de barras de aço que irá compor a armadura do bloco sobre estacas (terceira etapa da pesquisa – desenvolvida neste trabalho).

Com o desenvolvimento da pesquisa e posterior implementação, gerou-se uma rotina computacional que será disponibilizada a profissionais e alunos que trabalhem com projetos de estruturas, a fim de auxiliá-los nos cálculos e verificações de blocos sobre estacas, com estaqueamentos planos. A planilha será disponibilizada no sítio eletrônico do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás - Campus Catalão.

A próxima etapa deste trabalho, será o dimensionamento e detalhamento das barras da armadura, utilizando normas e código internacionais. Pretende-se, portanto, evoluir o desenvolvimento da rotina computacional na continuação do projeto de pesquisa.

7. Bibliografia

1. Alonso, U. R. (1989). Exercícios de Fundação. Editora Edgard Blucher LTDA.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118:2007 – Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122:1994 – Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro.
4. Cintra, J.C.Â. e Albiero, J.H. (1998). Projeto de Fundações. Volume I, EESC–USP;
5. Delalibera, R. G. (2006). Análise Numérica e Experimental de Blocos de Concreto Armado Sobre Duas Estacas Submetidas à Ação de Força Centrada e Excêntrica. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlo;
6. Munhoz, F. S. (2004). Análise do Comportamento de Blocos de Concreto Armado Sobre Estacas Submetidas à Ação de Força Centrada. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos;
7. Gómez, L. A. (2009). Excel para Engenheiros. Editora Visual Books.