

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
COLEGIADO DE ENGENHARIA CIVIL
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

GUSTAVO SCHINEIDER

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL ACADÊMICO PARA
DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS DE COROAMENTO**

VITÓRIA – ES
FEVEREIRO / 2023

GUSTAVO SCHINEIDER

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL ACADÊMICO PARA
DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS DE COROAMENTO**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como quesito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Dr. Marcos Antonio Campos Rodrigues

VITÓRIA – ES
FEVEREIRO / 2023

GUSTAVO SCHINEIDER

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL ACADÊMICO PARA
DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS DE COROAMENTO**

BANCA EXAMINADORA:

Professor Dr. Marcos Antonio Campos Rodrigues
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Professor M.Sc. Fernando Musso Junior
Universidade Federal do Espírito Santo

Professor M.Sc. Acley Gabriel da Silva Tomaz
Instituto Federal do Espírito Santo

Resumo

Blocos de coroamento são estruturas de fundação que possuem como principal função transferir as cargas dos pilares para as fundações profundas, sejam elas estacas ou tubulões. Pode-se afirmar que essas estruturas são fundamentais para o funcionamento e estabilidade das construções. Diante disso, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo desenvolver um aplicativo em *Visual Basic* que dimensiona blocos sobre duas, três, quatro, cinco e seis estacas. O software, que recebeu o nome de “D-Block”, segue o método das bielas, proposto por Blévoit em 1967. Além disso, o projeto teve como principal referência a apostila de blocos de fundação de Bastos (2020). O aplicativo possibilita entrada de dados do usuário para verificações de altura, tensões nas bielas e dimensionamento e detalhamento de armaduras principais e complementares. Vale mencionar que o aplicativo serve como auxílio durante o dimensionamento de blocos e visou expandir o conhecimento acerca do desenvolvimento de aplicativos, que é uma área fundamental atualmente e deve ser mais acessível aos estudantes.

Palavras-chave: Dimensionamento. Blocos de coroamento. Concreto armado.

Abstract

Pile caps are foundation structures that have as their main function to transfer the loads from the columns to the deep foundations, whether they are piles or caissons. It can be said that these structures are fundamental for the performance and stability of the constructions. Therefore, this final course project aims to develop an Visual Basic application that designs blocks on two, three, four, five, and six piles. The software, which was named "D-Block", follows the strut and tie method, proposed by Blévoit in 1967. In addition, the project had as main reference the Bastos (2020) foundation pile caps textbook. The application allows the user to enter data and make verifications as height, strut stresses, designing and detailing the main and supplementary reinforcements. It is worth mentioning that the application serves as an aid during the design of blocks and aimed to expand the knowledge about the development of applications, which is a fundamental area nowadays and should be more accessible to students.

Keywords: Design. Pile caps. Reinforced concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Bloco de fundação apoiado em estacas.....	11
Figura 2 – Esquema de forças no bloco sobre duas estacas.....	14
Figura 3 – Esquema de forças no bloco sobre duas estacas.....	16
Figura 4 – Esquema de forças em bloco sobre três estacas.....	19
Figura 5 – Armação de bloco sobre três estacas.	21
Figura 6 – Decomposição das forças de tração na base do bloco.	21
Figura 7 – Esquema de forças em bloco sobre quatro estacas.....	23
Figura 8 – Armação de bloco sobre quatro estacas.	25
Figura 9 – Esquema do bloco sobre cinco estacas.	27
Figura 10 – Esquema do bloco sobre seis estacas.	30
Figura 11 – Armação de bloco sobre seis estacas.....	31
Figura 12 – Momentos fletores atuantes no bloco.....	33
Figura 13 – Tela inicial do programa	34
Figura 14 – Tela de entrada de dados para blocos sobre duas estacas	36
Figura 15 – Tela de resultados para blocos sobre duas estacas	36
Figura 16 – Tela de entrada de dados para blocos sobre três estacas.....	37
Figura 17 – Tela de resultados para blocos sobre três estacas	38
Figura 18 – Tela de entrada de dados para blocos sobre quatro estacas.....	39
Figura 19 – Tela de resultados para blocos sobre quatro estacas.....	39
Figura 20 – Tela de entrada de dados para blocos sobre cinco estacas	40
Figura 21 – Tela de resultados para blocos sobre cinco estacas.....	41
Figura 22 – Tela de entrada de dados de blocos sobre seis estacas.....	42
Figura 23 – Tela de resultados para blocos sobre seis estacas.....	42
Figura 24– Tela de verificação de altura	43
Figura 25 – Corte do bloco sobre duas estacas do exemplo 4.1.1.....	44
Figura 26 – Tela de entrada de dados do exemplo 4.1.1	45
Figura 27 – Tela de resultados do exemplo 4.1.1	45
Figura 28 – Planta baixa do bloco do exemplo 4.1.2.....	47
Figura 29 – Tela de entrada de dados do exemplo 4.1.2	48
Figura 30 – Tela de resultados do exemplo 4.1.2	48
Figura 31 – Tela de detalhamento TQS do exemplo 4.1.2.....	50
Figura 32 - Tela de entrada de dados do exemplo 4.2.1	51
Figura 33 - Tela de entrada de dados do exemplo 4.2.1	51
Figura 34 - Tela de resultados do exemplo 4.2.1	52
Figura 35 – Bloco sobre quatro estacas do exemplo 4.3.1	53
Figura 36 - Tela de entrada de dados do exemplo 4.3.1	54

Figura 37 - Tela de resultados do exemplo 4.3.1	54
Figura 38 - Tela de entrada de dados do exemplo 4.4.1	56
Figura 39 - Tela de resultados do exemplo 4.4.1	56
Figura 40- Tela de entrada de dados do exemplo 4.4.2	57
Figura 41 - Tela de resultados do exemplo 4.4.2	58
Figura 42 - Tela de entrada de dados do exemplo 4.5.1	59
Figura 43 - Tela de resultados do exemplo 4.5.1	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação exemplo 4.1.1	46
Tabela 2 – Comparação exemplo 4.1.2.	49
Tabela 3 – Comparação exemplo 4.2.1.	52
Tabela 4 – Comparação exemplo 4.3.1	55
Tabela 5 – Comparação exemplo 4.4.1.	57
Tabela 6 – Comparação exemplo 4.4.2.	58
Tabela 7 – Comparação exemplo 4.5.1.	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVO.....	12
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	12
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.2. ESTRUTURA DO PROJETO DE GRADUAÇÃO	13
2. DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE ESTACAS.....	14
2.1. BLOCOS SOBRE DUAS ESTACAS:	14
2.1.1. ALTURA ÚTIL.....	15
2.1.2. VERIFICAÇÃO DAS BIELAS:.....	16
2.1.3. ARMADURA PRINCIPAL:	17
2.1.4. ARMADURAS COMPLEMENTARES:	17
2.2. BLOCOS SOBRE TRÊS ESTACAS:.....	18
2.2.1. ALTURA ÚTIL.....	19
2.2.2. VERIFICAÇÃO DAS BIELAS:.....	20
2.2.3. ARMADURA PRINCIPAL:	21
2.2.4. ARMADURAS COMPLEMENTARES:	22
2.3. BLOCOS SOBRE QUATRO ESTACAS:.....	23
2.3.1. ALTURA ÚTIL.....	24
2.3.2. VERIFICAÇÃO DAS BIELAS.....	24
2.3.3. ARMADURA PRINCIPAL	25
2.3.4. ARMADURAS COMPLEMENTARES	26
2.4. BLOCOS SOBRE CINCO ESTACAS:.....	26
2.4.1. ALTURA ÚTIL.....	27
2.4.2. VERIFICAÇÃO DAS BIELAS.....	28
2.4.3. ARMADURA PRINCIPAL	28
2.4.4. ARMADURAS COMPLEMENTARES	29
2.5. BLOCO SOBRE SEIS ESTACAS:	30
2.5.1. ALTURA ÚTIL.....	30
2.5.2. VERIFICAÇÃO DAS BIELAS.....	31
2.5.3. ARMADURA PRINCIPAL	31
2.5.4. ARMADURAS COMPLEMENTARES	32
2.6. CÁLCULOS DOS ESFORÇOS:	32
3. PROGRAMA DESENVOLVIDO	33
3.1. BLOCOS SOBRE DUAS ESTACAS:	35

3.2. BLOCOS SOBRE TRÊS ESTACAS:.....	37
3.3. BLOCOS SOBRE QUATRO ESTACAS:.....	38
3.4. BLOCOS SOBRE CINCO ESTACAS:.....	40
3.5. BLOCOS SOBRE SEIS ESTACAS:.....	41
3.6. VERIFICAÇÕES ADICIONAIS:.....	43
4. VALIDAÇÃO.....	43
4.1. BLOCOS SOBRE DUAS ESTACAS:.....	44
4.1.1. Bloco sobre duas estacas Bastos (2020):.....	44
4.1.2. Exemplo TQS:.....	46
4.2. BLOCOS SOBRE TRÊS ESTACAS:.....	50
4.2.1. EXEMPLO TOMAZ (2016):.....	50
4.3. BLOCOS SOBRE QUATRO ESTACAS:.....	52
4.3.1. Bloco sobre quatro estacas Bastos (2020).....	52
4.4. BLOCOS SOBRE CINCO ESTACAS:.....	55
4.4.1. EXEMPLO MUSSO (2022):.....	55
4.4.2. EXEMPLO 2 MUSSO (2022):.....	57
4.5. BLOCOS SOBRE SEIS ESTACAS:.....	58
4.5.1. EXEMPLO TQS:.....	58
5. CONCLUSÃO.....	60
6. BIBLIOGRAFIA.....	61

1. INTRODUÇÃO

As fundações das edificações podem ser classificadas como rasas (diretas ou superficiais) e profundas (indiretas). A escolha entre os dois tipos se dá pelas condições do solo, geralmente verificadas por sondagens, das condições do local de obra, que podem inviabilizar a execução de determinadas fundações, e das intensidades das ações provindas do edifício.

Quando são adotadas as fundações profundas, são utilizadas estacas ou tubulões para a transferência das forças para o solo. Nesse caso, também é necessário o elemento estrutural bloco de coroamento (ou bloco sobre estacas), que possui a função de transferir as cargas dos pilares da estrutura para os elementos de fundações. Esses blocos de coroamento podem se apoiar em uma ou mais estacas para resistir os esforços solicitantes, como mostrado na figura 1.

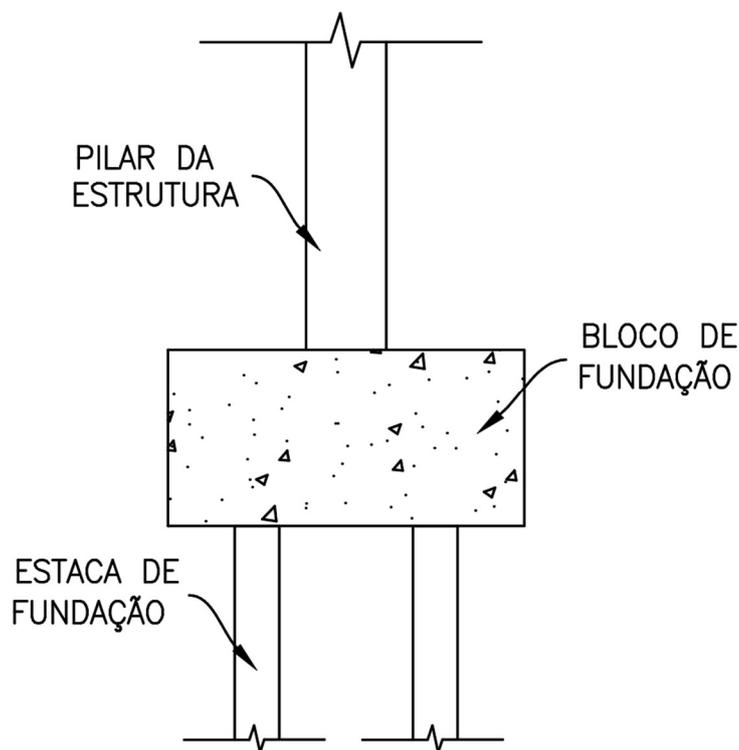


Figura 1– Bloco de fundação apoiado em estacas.

Fonte: Autor

Os blocos de coroamento são elementos estruturais de volume e, de acordo com Munhoz (2014), necessitam de atenção especial, pois não podem ser inspecionadas em serviço e possuem um funcionamento complexo. Pode-se

adicionar também a importância na execução dos blocos, que deve ter um encaixe de tal forma que os esforços sejam transferidos corretamente.

Segundo a NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, são aceitos modelos tridimensionais lineares ou não lineares e modelos biela-tirante tridimensionais para o cálculo e dimensionamento dos blocos sobre estacas. Na região de contato entre o pilar e o bloco, os efeitos de fendilhamento devem ser considerados, permitindo-se a adoção de um modelo de bielas e tirantes para a determinação das armaduras.

Hoje o uso de ferramentas computacionais durante esse processo é fundamental para economizar tempo e aumentar a produtividade. Além disso, essas ferramentas devem ser usadas não apenas para o desenvolvimento de projetos estruturais, mas também para aprendizado. É de grande ajuda ter uma ferramenta de cálculo para conferir e ter certeza nos resultados encontrados.

Diante disso, pode-se concluir que é de suma importância o dimensionamento correto dos blocos e das armaduras para o comportamento estrutural completo de um edifício. Muitos autores trabalham com esse dimensionamento, entre eles estão: Delalibera (2006), Carvalho (2009), Araújo (2014), Bastos (2020), Tomaz (2016), Munhoz (2014), Neto (2017) e Piffer (2014). Outro ponto mencionado é o uso de ferramentas computacionais, que hoje estão presentes em quase todas as atividades e gera um grande aumento de produtividade em todas as áreas em que está presente. Portanto, neste trabalho é desenvolvido um software em *Visual Basic* que realiza o dimensionamento de blocos de coroamento.

1.1. OBJETIVO

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um programa computacional em *Visual Basic* que realiza o dimensionamento de blocos de coroamento de duas até seis estacas.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o desenvolvimento do programa, foram estabelecidos os seguintes

objetivos específicos:

- Estudar o método de bielas e tirantes de dimensionamento de blocos de coroamento;
- Desenvolver planilhas *Microsoft Excel* que realizam as etapas do dimensionamento de blocos sobre estacas;
- Estudar a linguagem computacional *Visual Basic*;
- Desenvolver o programa em *Visual Basic*;
- Validar os resultados obtidos do programa desenvolvido com outras fontes, utilizando a literatura e programas como o TQS.

1.2. ESTRUTURA DO PROJETO DE GRADUAÇÃO

O trabalho organiza-se nos seguintes capítulos:

CAPÍTULO 1: apresenta-se uma contextualização sobre a temática, a justificativa, os objetivos e a estruturação da pesquisa.

CAPÍTULO 2: apresenta-se o método de dimensionamento utilizado, descrevendo as etapas do dimensionamento e os itens verificados de cada bloco.

CAPÍTULO 3: apresenta-se o programa desenvolvido.

CAPÍTULO 4: apresenta-se a validação do programa, ou seja, uma comparação entre os resultados obtidos no programa e os resultados da bibliografia utilizada e outros programas de mesma função.

CAPÍTULO 5: apresenta-se as conclusões do trabalho

2. DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE ESTACAS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o Método das Bielas de Blévoit, pois é um dos métodos mais utilizados, devido à sua similaridade ao modelo de treliça e ao grande suporte experimental existente na literatura. Porém, é válido mencionar outros métodos também utilizados, como o de elementos finitos utilizado em programas computacionais e o método do CEB-70, que utiliza o método da flexão para calcular as forças internas da estrutura.

2.1. BLOCOS SOBRE DUAS ESTACAS:

Seguindo o método das Bielas – Blévoit, o dimensionamento de blocos sobre 2 estacas pode ser realizado seguindo o modelo estrutural demonstrado na figura 2.

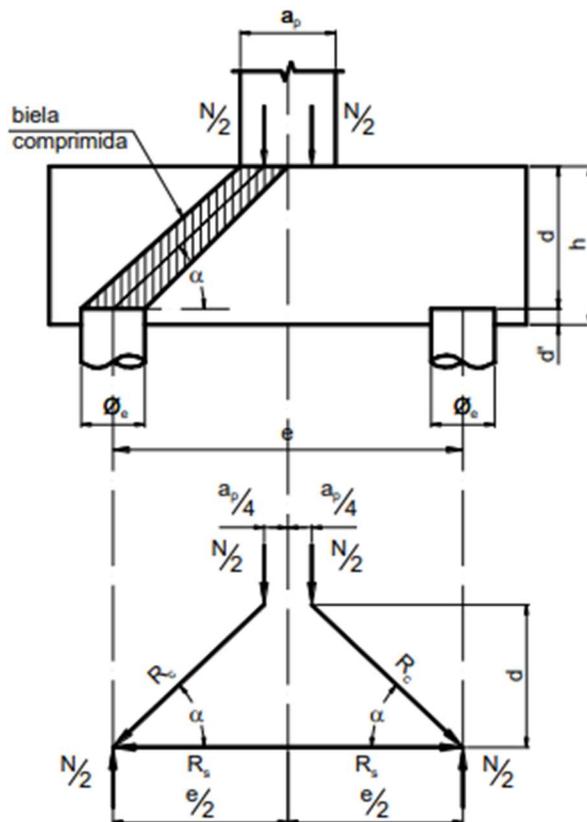


Figura 2 – Esquema de forças no bloco sobre duas estacas.

Fonte: adaptado de Bastos(2020).

Onde,

a_p = lado do pilar;

N = força normal atuante no bloco;

d = altura útil do bloco;

h = altura do bloco

d' = altura que a estaca entra no bloco;

\varnothing_e = Diâmetro das estacas;

e = espaçamento entre estacas;

R_s = força de tração na base do bloco;

R_c = força de compressão nas bielas de concreto;

α = ângulo entre a biela comprimida e a base do bloco tracionada.

De acordo com a geometria da figura é possível obter as fórmulas de (2.1) a (2.4) para o cálculo do ângulo e força de tração na base do bloco e de compressão nas bielas de concreto.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{N}{R_s} \quad (2.1)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{\frac{e}{2} - \frac{ap}{4}} \quad (2.2)$$

$$R_s = \frac{N(2e - ap)}{8d} \quad (2.3)$$

$$R_c = \frac{N}{2\operatorname{sen}\alpha} \quad (2.4)$$

2.1.1. ALTURA ÚTIL

Segundo Bastos, o ângulo α deve estar entre 40° e 55° , para que não haja risco de ruptura por punção nas bielas comprimidas de concreto. E segundo Machado (1985), o ângulo α deve estar entre 45° e 55° .

Com isso, é possível se obter uma altura mínima e máxima para que o ângulo α fique nesse intervalo, de acordo com as equações (2.5) e (2.6).

$$d_{\min} = 0,5 \left(e - \frac{ap}{2} \right) \quad (2.5)$$

$$d_{\max} = 0,71 \left(e - \frac{ap}{2} \right) \quad (2.6)$$

Por fim, a altura do bloco é calculada pela equação 2.7, levando em conta a altura útil e a altura de entrada da estaca no bloco de coroamento ($d' > 10cm$).

$$h = d + d' \quad (2.7)$$

2.1.2. VERIFICAÇÃO DAS BIELAS:

Deve-se verificar também a área das bielas de compressão (Ab) ao longo da altura do bloco, verificando-se as seções no pilar e nas estacas, Figura 3. Com a equação básica de tensão ($\sigma = F/A$), em que a força nas bielas de concreto é dada pela equação (2.4).

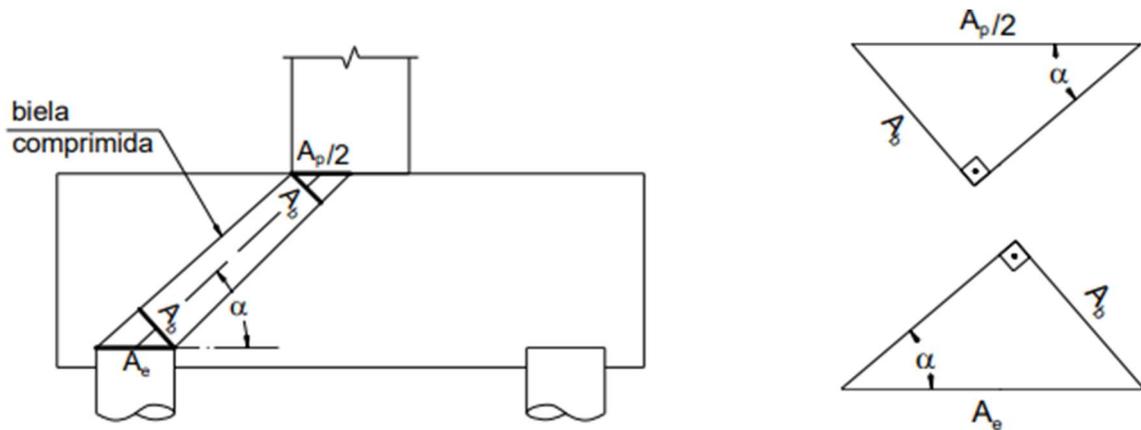


Figura 3 – Esquema de forças no bloco sobre duas estacas.

Fonte: adaptado de Bastos(2020).

A Verificação da tensão na biela de compressão no pilar ($\sigma_{cd,b,pil}$) é dada conforme as expressões (2.8) e (2.9) ao se aplicar a equação básica de tensão.

$$Ab = \frac{Ap}{2} \text{sen } \alpha \quad (2.8)$$

$$\sigma_{cd,b,pil} = \frac{Nd}{Ap \text{sen}^2 \alpha} \quad (2.9)$$

De maneira similar, a verificação da tensão na biela de compressão na estaca ($\sigma_{cd,b,est}$) é feita utilizando-se as equações (2.10) e (2.11).

$$Ab = Ae \operatorname{sen} \alpha \quad (2.10)$$

$$\sigma_{cd,b,est} = \frac{Nd}{2 Ae \operatorname{sen}^2 \alpha} \quad (2.11)$$

Para as tensões resistentes de compressão ($\sigma_{cd,b,lim}$), de acordo com Bastos (2020), Blévet considerou a expressão (2.12).

$$\sigma_{cd,b,lim} = 1,4 Kr fcd \quad (2.12)$$

Em que fcd corresponde a resistência de cálculo à compressão do concreto e Kr ao coeficiente de efeito Rusch.

2.1.3. ARMADURA PRINCIPAL:

Segundo Bastos (2020), Blévet verificou experimentalmente que a força medida na armadura principal foi 15% superior à indicada pelo cálculo teórico, logo, acrescenta-se 15% à R_s (eq. 2.13).

$$R_s = \frac{1,15N}{8} \frac{(2e - ap)}{d} \quad (2.13)$$

Assim, a área da armadura principal (A_s) é calculada conforme a equação (2.14).

$$A_s = \frac{Rsd}{\sigma_{sd}} = \frac{1,15Nd}{8d f_{yd}} (2e - ap) \quad (2.14)$$

Em que Rsd é a força de cálculo da tração na base do bloco, σ_{sd} a tensão de cálculo do escoamento do aço, Nd a força de cálculo, e f_{yd} a resistência de cálculo do escoamento do aço.

2.1.4. ARMADURAS COMPLEMENTARES:

A NBR 6118:2014 indica a necessidade de armaduras laterais e superior para blocos com duas ou mais estacas em uma única linha.

De acordo com Bastos (2020), para armadura superior ($A_{s,sup}$) pode-se adotar 20% da armadura principal, conforme a equação (2.15) :

$$A_{s,sup} = 0,2 A_s \quad (2.15)$$

Ainda, segundo Bastos (2020), para armadura de pele (A_{sp}) e estribos verticais (A_{sw}) em cada face lateral pode-se adotar a expressão (2.16)

$$\frac{A_{sp}}{s} = \frac{A_{sw}}{s} = 0,075B \text{ (cm}^2\text{/m)} \quad (2.16)$$

Onde s é o espaçamento, e B é o menor lado do bloco em cm , conforme a equação (2.17)

$$B = \emptyset_{est} + 30cm \quad (2.17)$$

2.2. BLOCOS SOBRE TRÊS ESTACAS:

Para o bloco sobre três estacas, utiliza-se a mesma metodologia, conforme pode ser visualizado na figura 4.

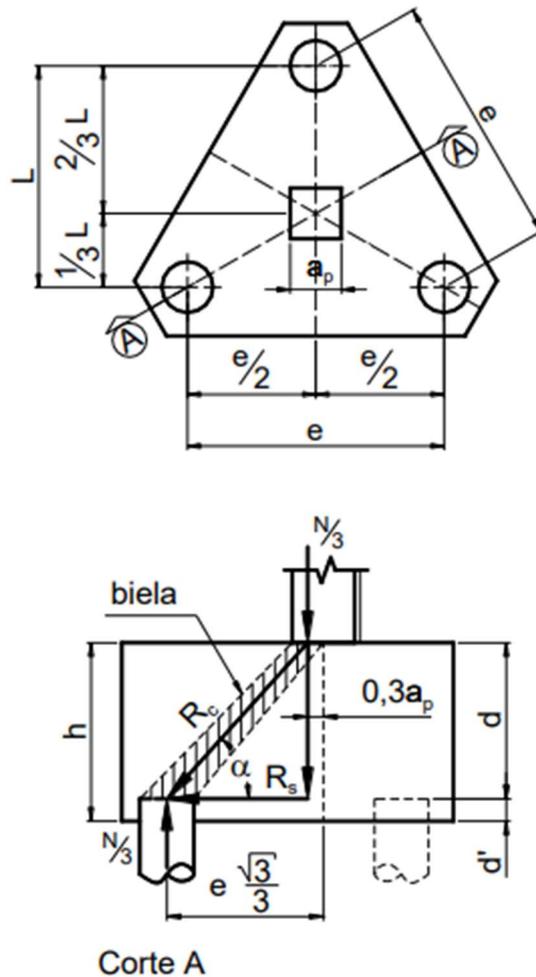


Figura 4 – Esquema de forças em bloco sobre três estacas.

Fonte: adaptado de Bastos(2020).

De acordo com a geometria da figura 4, de modo similar ao bloco sobre duas estacas, é possível obter as forças de tração na base do bloco, equação (2.18), e a compressão na biela, conforme a equação (2.19).

$$R_s = \frac{N (e\sqrt{3} - 0,9ap)}{9d} \quad (2.18)$$

$$R_c = \frac{N}{3\text{sen}\alpha} \quad (2.19)$$

2.2.1. ALTURA ÚTIL

Para o bloco de três estacas, segundo Machado (1985), mantém-se o ângulo de 45° a 55°, adotando-se a altura útil mínima e máxima conforme as equações

(2.20) e (2.21), respectivamente.

$$dmín = 0,58 \left(e - \frac{ap}{2} \right) \quad (2.20)$$

$$dmáx = 0,825 \left(e - \frac{ap}{2} \right) \quad (2.21)$$

De maneira similar ao bloco de duas estacas, a altura total do bloco será dada pela soma da altura útil com a entrada da estaca no bloco.

2.2.2. VERIFICAÇÃO DAS BIELAS:

Deve-se verificar também a área das bielas, verificando-se as seções no pilar e nas estacas, de maneira análoga ao que foi realizado no bloco sobre duas estacas, seguindo a equação básica de tensão ($\sigma = F/A$), em que a força nas bielas de concreto é dada pela equação (2.19).

A verificação no pilar é feita conforme as equações (2.22) e (2.23) ao se aplicar a equação básica de tensão.

$$Ab = \frac{Ap}{3} \text{sen } \alpha \quad (2.22)$$

$$\sigma_{cd,b,pil} = \frac{Nd}{Ap \text{sen}^2 \alpha} \quad (2.23)$$

De maneira similar, a verificação na estaca é feita utilizando-se as equações (2.24) e (2.25).

$$Ab = Ae \text{sen } \alpha \quad (2.24)$$

$$\sigma_{cd,b,est} = \frac{Nd}{3 Ae \text{sen}^2 \alpha} \quad (2.25)$$

E para as tensões resistentes em blocos sobre três estacas, segundo Bastos (2020), Bléivot considerou a equação (2.26).

$$\sigma_{cd,b,lim} = 1,75 Kr fcd \quad (2.26)$$

2.2.3. ARMADURA PRINCIPAL:

A armadura principal utilizada no programa foi conforme a figura 5. Para dimensionar essa armadura, é necessário calcular a tração atuante na base do bloco. Considerando que as estacas formam um triângulo equilátero, as forças podem ser decompostas conforme a figura 6.

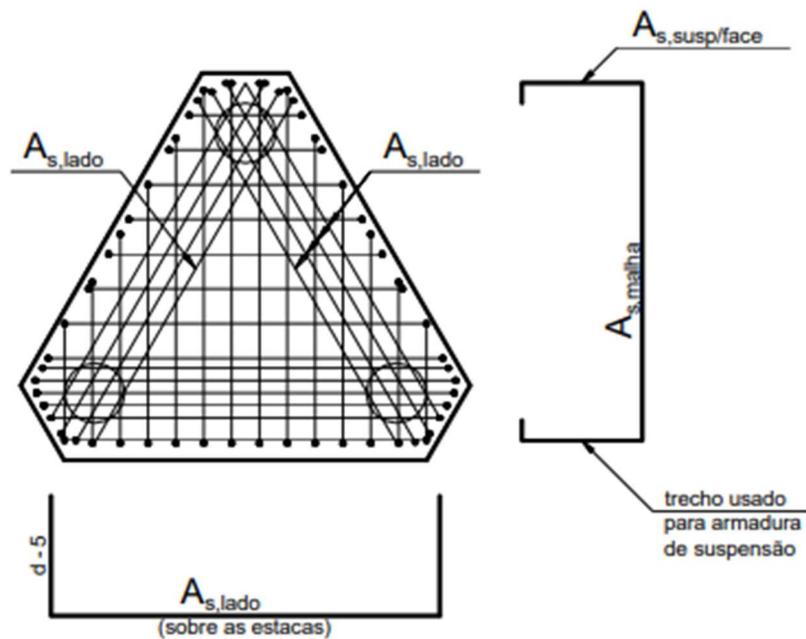


Figura 5 – Armação de bloco sobre três estacas.

Fonte:adaptado de Bastos(2020).

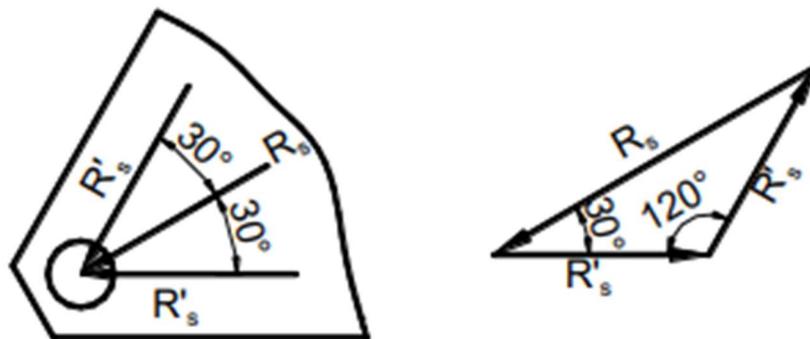


Figura 6 – Decomposição das forças de tração na base do bloco.

Fonte:adaptado de Bastos(2020).

Utilizando lei dos senos (equação 2.27), tem-se a tração na direção das

estacas, equação (2.28).

$$\frac{R_s}{\text{sen } 120} = \frac{R'_s}{\text{sen } 30} \quad (2.27)$$

$$R'_s = R_s \frac{\sqrt{3}}{3} \quad (2.28)$$

Assim, utilizando a equação (2.18), a área da armadura principal (A_s, lado) é calculada utilizando-se (2.29).

$$A_s, \text{lado} = \frac{\sqrt{3} Nd}{27d f_{yd}} (e\sqrt{3} - 0,9ap) \quad (2.29)$$

$$A_s, \text{total} = 3 A_s, \text{lado} \quad (2.30)$$

2.2.4. ARMADURAS COMPLEMENTARES:

A NBR 6118:2014 indica a necessidade de armaduras de distribuição em malha uniformemente distribuída em duas direções para 20% dos esforços totais e para controlar a fissuração. Também serão previstas armaduras de suspensão, superior e de pele.

Para armadura de distribuição (A_s, malha), será considerado 20% da armadura principal, equação (2.31).

$$A_s, \text{malha} = 0,2 A_s, \text{lado} \quad (2.31)$$

Para o bloco sobre três estacas ou mais, é necessário dimensionar armadura de suspensão, para evitar fissuras entre as estacas. Isso pode ocorrer por conta das bielas de compressão que podem transferir cargas para as regiões entre as estacas, gerando tensões de tração que podem gerar fissuras.

Por isso, para armadura de suspensão ($A_s, \text{susp}, \text{tot}$), segundo Bastos (2020), pode-se empregar a equação (2.32).

$$A_s, \text{susp}, \text{tot} = \frac{Nd}{4,5 f_{yd}} \quad (2.32)$$

Para armadura superior (A_s, sup) adota-se 20% da armadura total, conforme equação (2.33).

$$A_s, sup = 0,2 A_s, total \quad (2.33)$$

A equação (2.34) fornece a armadura de pele em cada face lateral ($A_{sp, face}$).

$$A_{sp, face} = \frac{1}{8} A_s, tota \quad (2.34)$$

2.3. BLOCOS SOBRE QUATRO ESTACAS:

Para o bloco sobre quatro estacas, utiliza-se a mesma metodologia, de acordo com a figura 7.

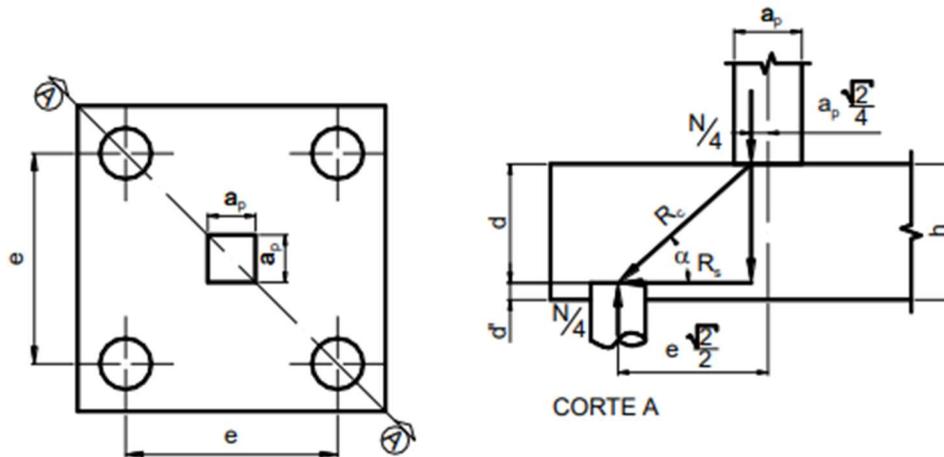


Figura 7 – Esquema de forças em bloco sobre quatro estacas.

Fonte: adaptado de Bastos (2020).

De acordo com a geometria da figura 7, de modo similar aos blocos sobre duas e três estacas, é possível obter as forças de tração na base do bloco equação (2.35) e a compressão na biela, equação (2.36).

$$R_s = \frac{N\sqrt{2} (2e - a_p)}{16 d} \quad (2.35)$$

$$Rc = \frac{N}{4\text{sen}\alpha} \quad (2.36)$$

2.3.1. ALTURA ÚTIL

Mantendo o ângulo de 45° a 55°, adota-se a altura útil mínima e máxima conforme as equações (2.37) e (2.38), respectivamente.

$$dmín = 0,71 \left(e - \frac{ap}{2} \right) \quad (2.37)$$

$$dmáx = \left(e - \frac{ap}{2} \right) \quad (2.38)$$

De modo similar aos outros blocos a altura é dada pela soma da altura útil com a entrada da estaca no bloco.

2.3.2. VERIFICAÇÃO DAS BIELAS

Deve-se verificar também a área das biela, verificando-se as seções no pilar e nas estacas, de maneira análoga ao que foi realizado no bloco sobre duas estacas. Com a equação básica de tensão ($\sigma = F/A$), em que a força nas bielas de concreto é dada pela equação (2.36).

A verificação no pilar é feita conforme as equações (2.39) e (2.40) ao se aplicar a equação básica de tensão.

$$Ab = \frac{Ap}{4} \text{sen } \alpha \quad (2.39)$$

$$\sigma_{d,b,pil} = \frac{Nd}{Ap \text{sen}^2 \alpha} \quad (2.40)$$

De maneira similar, a verificação na estaca é feita utilizando-se as equações (2.41) e (2.42).

$$Ab = Ae \text{sen } \alpha \quad (2.41)$$

$$\sigma_{cd,b,est} = \frac{Nd}{4 Ae \text{sen}^2 \alpha} \quad (2.42)$$

E para as tensões resistentes em blocos sobre quatro estacas, segundo Bastos (2020), Blévoit considerou a equação (2.43).

$$\sigma_{cd,b,lim} = 2,1 Kr fcd \quad (2.43)$$

2.3.3. ARMADURA PRINCIPAL

A armadura principal utilizada para o desenvolvimento do programa foi conforme a figura 8. Para dimensionar essa armadura, é necessário calcular a tração atuante na base do bloco. Para isso, é necessário transpor os esforços de tração nas direções da armadura principal, de modo semelhante ao que foi feito para o bloco sobre três estacas.

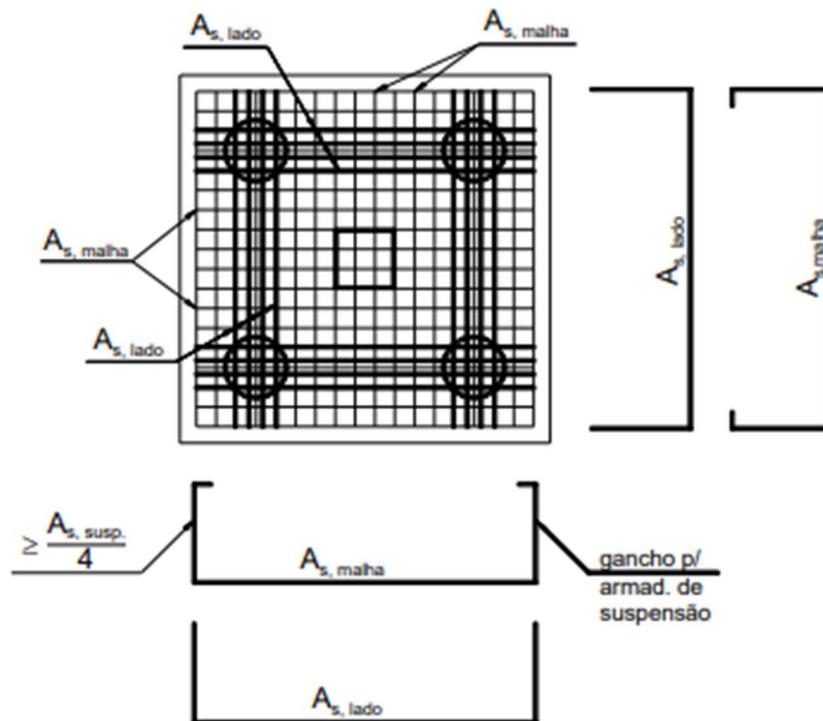


Figura 8 – Armação de bloco sobre quatro estacas.

Fonte: adaptado de Bastos(2020).

Diante disso, é possível calcular a área da armadura principal pelas equações (2.44) e (2.45).

$$A_{s, lado} = \frac{Nd}{16d f_{yd}} (2e - ap) \quad (2.44)$$

$$A_{s, total} = 4 A_{s, lado} \quad (2.45)$$

2.3.4. ARMADURAS COMPLEMENTARES

Seguindo a mesma lógica dos outros blocos, dimensiona-se as seguintes armaduras complementares:

Para armadura de distribuição em malha, segundo Bastos (2020), adota-se 25% da armadura principal, equação (2.46).

$$A_{s, malha} = 0,25 A_{s, lado} \quad (2.46)$$

Para armadura de suspensão, segundo Bastos (2020), pode-se empregar a equação (2.47).

$$A_{s, susp, tot} = \frac{Nd}{6 f_{yd}} \quad (2.47)$$

Para armadura superior adota-se 20% da armadura total, conforme a equação (2.48).

$$A_{s, sup} = 0,2 A_{s, total} \quad (2.48)$$

A equação (2.49) fornece a armadura de pele em cada face lateral.

$$A_{sp, face} = \frac{1}{8} A_{s, total} \quad (2.49)$$

2.4. BLOCOS SOBRE CINCO ESTACAS:

Para o bloco sobre cinco estacas, utiliza-se a mesma metodologia, conforme a figura 9.

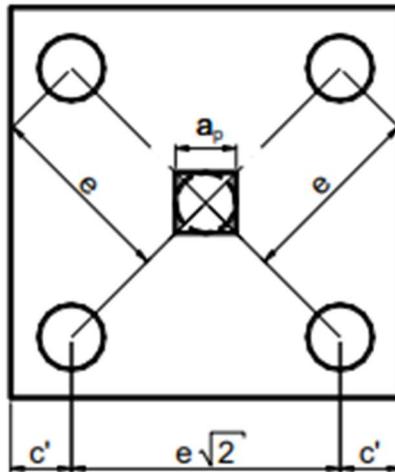


Figura 9 – Esquema do bloco sobre cinco estacas.

Fonte: adaptado de Bastos(2020).

De acordo com a geometria da figura, de modo similar aos blocos sobre estacas desenvolvidos anteriormente, é possível obter as forças de tração na base do bloco pela equação (2.50) e a compressão na biela, equação (2.51).

$$R_s = \frac{4 N \sqrt{2}}{5} \frac{(2e - ap)}{16 d} \quad (2.50)$$

$$R_c = \frac{N}{5 \operatorname{sen} \alpha} \quad (2.51)$$

2.4.1. ALTURA ÚTIL

Mantendo a mesma altura útil utilizada nos outros blocos, utiliza-se um ângulo α entre 40° e 55° . Com isso, a altura útil mínima e máxima são dadas pelas equações (2.52) e (2.53), respectivamente.

$$d_{\text{mín}} = \left(e - \frac{ap\sqrt{2}}{4} \right) \quad (2.52)$$

$$d_{\text{máx}} = 1,43 \left(e - \frac{ap}{4} \right) \quad (2.53)$$

De modo similar aos outros blocos, a altura do bloco é dada pela soma da

altura útil com a entrada da estaca no bloco.

2.4.2. VERIFICAÇÃO DAS BIELAS

Deve-se verificar também a área das bielas ao longo da altura do bloco, verificando-se as seções no pilar e nas estacas, de maneira análoga ao que foi realizado no bloco sobre duas estacas. Com a equação básica de tensão ($\sigma = F/A$), em que a força nas bielas de concreto é dada pela equação (2.51).

A verificação no pilar é feita conforme as equações (2.54) e (2.55) ao se aplicar a equação básica de tensão.

$$Ab = \frac{Ap}{4} \text{sen } \alpha \quad (2.54)$$

$$\sigma_{cd,b,pil} = \frac{Nd}{Ap \text{sen}^2 \alpha} \quad (2.55)$$

De maneira similar, a verificação na estaca é feita utilizando-se as equações (2.56) e (2.57).

$$Ab = Ae \text{sen } \alpha \quad (2.56)$$

$$\sigma_{cd,b,est} = \frac{Nd}{5 Ae \text{sen}^2 \alpha} \quad (2.57)$$

E para as tensões resistentes em blocos sobre cinco estacas, segundo Bastos (2020), Blévit considerou as equações (2.58) e (2.59).

$$\sigma_{cd,b,lim,pil} = 2,6 Kr fcd \quad (2.58)$$

$$\sigma_{cd,b,lim,est} = 2,1 Kr fcd \quad (2.59)$$

2.4.3. ARMADURA PRINCIPAL

A armadura principal utilizada para o desenvolvimento do programa foi similar à armadura principal do bloco sobre quatro estacas, com o bloco quadrado e a armadura principal nas quatro estacas dos cantos, com as mesmas armaduras

complementares. Para dimensionar essa armadura, é necessário calcular a tração atuante na base do bloco. Para isso, é necessário transpor os esforços de tração nas direções da armadura principal, de modo semelhante ao que foi feito para o bloco sobre três e quatro estacas.

Assim, é possível obter as equações (2.60) e (2.61) da área da armadura principal.

$$As, lado = \frac{Nd}{20d f_{yd}} (2e - ap) \quad (2.60)$$

$$As, total = 4 As, lado \quad (2.61)$$

2.4.4. ARMADURAS COMPLEMENTARES

Como já foi mencionado, as armaduras complementares do bloco sobre cinco estacas segue a mesma lógica das armaduras do bloco sobre quatro estacas.

Para armadura de distribuição em malha, foi considerado 25% da armadura principal, equação (2.62).

$$As, malha = 0,25 As, lado \quad (2.62)$$

Para armadura de suspensão, de acordo com Bastos (2020), utiliza-se a equação (2.63).

$$As, susp, tot = \frac{Nd}{7,5 f_{yd}} \quad (2.63)$$

Para armadura superior adota-se 20% da armadura total, conforme a equação (2.64).

$$As, sup = 0,2 As, total \quad (2.64)$$

Para armadura de pele em cada face lateral utilizou-se a equação (2.65).

$$A_{sp, face} = \frac{1}{8} A_{s, total} \quad (2.65)$$

2.5. BLOCO SOBRE SEIS ESTACAS:

Para o bloco sobre seis estacas, utiliza-se a mesma metodologia anterior, conforme a figura 10.

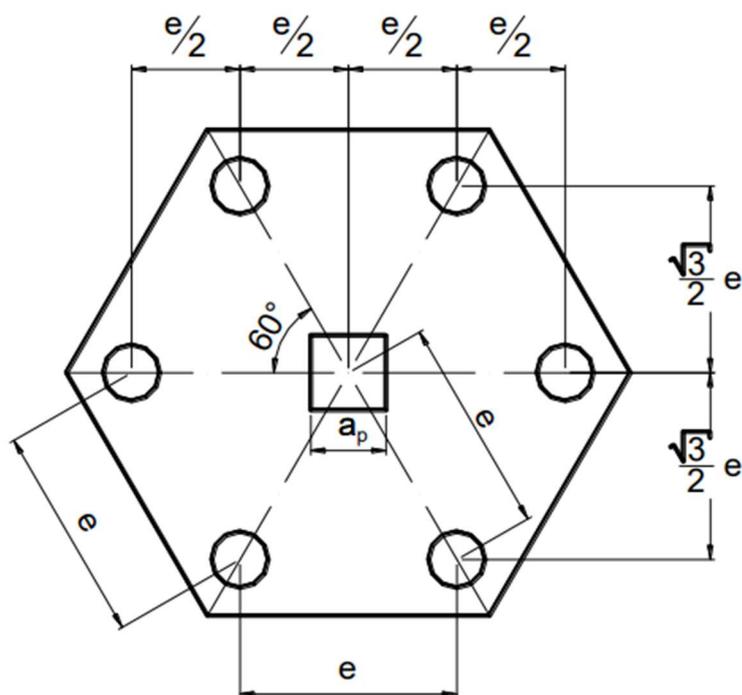


Figura 10 – Esquema do bloco sobre seis estacas.

Fonte: adaptado de Bastos(2020).

De acordo com a geometria da figura 10, de modo similar ao bloco sobre três estacas, é possível obter fórmula (2.66) para o cálculo da força de tração na direção das estacas.

$$R'_s = \frac{N (e - a_p)}{6d} \quad (2.66)$$

2.5.1. ALTURA ÚTIL

Mantendo o ângulo de 45° a 55°, adota-se a altura útil mínima e máxima conforme as equações (2.67) e (2.68), respectivamente.

$$dmín = \left(e - \frac{ap}{4} \right) \quad (2.67)$$

$$dmáx = 1,43 \left(e - \frac{ap}{4} \right) \quad (2.68)$$

Assim como os outros blocos, a altura total é dada pela soma da altura útil com a entrada da estaca no bloco.

2.5.2. VERIFICAÇÃO DAS BIELAS

De acordo com Bastos (2020) e Machado (1985), não é necessário verificar as tensões nas bielas caso sejam cumpridas as alturas mínimas e máximas.

2.5.3. ARMADURA PRINCIPAL

A armadura principal utilizada para o desenvolvimento do programa foi conforme a figura 11. Para dimensionar essa armadura, é necessário calcular a tração atuante na base do bloco. Assim, é necessário transpor os esforços de tração nas direções da armadura principal, de modo semelhante ao que foi feito para o bloco sobre três estacas.

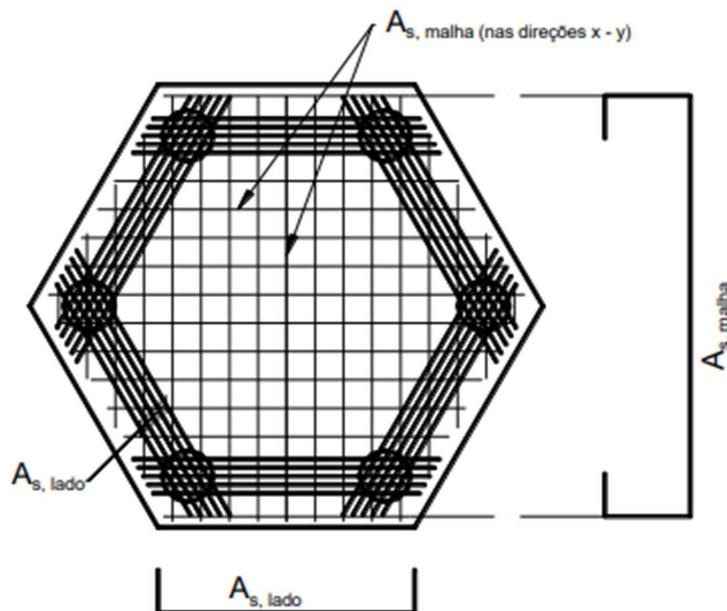


Figura 11 – Armação de bloco sobre seis estacas.

Fonte: adaptado de Bastos(2020).

Diante disso, encontra-se as equações (2.69) e (2.70) para o cálculo da área da armadura principal.

$$As, lado = \frac{Nd}{66d f_{yd}} \left(e - \frac{ap}{4} \right) \quad (2.69)$$

$$As, total = 6 As, lado \quad (2.70)$$

2.5.4. ARMADURAS COMPLEMENTARES

As armaduras complementares adotadas para o bloco de seis estacas segue o mesmo modelo dos outros blocos. De acordo com Bastos (2020), utiliza-se 25% da armadura principal para armadura de distribuição em malha, conforme a equação (2.71).

$$As, malha = 0,25 As, lado \quad (2.71)$$

Para armadura de suspensão, segundo Bastos (2020), utiliza-se a equação (2.72).

$$As, susp, tot = \frac{Nd}{9 f_{yd}} \quad (2.72)$$

Para armadura superior, adotou-se 20% da armadura principal total, conforme a equação (2.73).

$$As, sup = 0,2 As, total \quad (2.73)$$

A equação (2.74) fornece a armadura de pele em cada face lateral.

$$Asp, face = \frac{1}{8} As, total \quad (2.74)$$

2.6. CÁLCULOS DOS ESFORÇOS:

Os esforços nas estacas são realizados de acordo com o indicado por Bastos (2020), de acordo com a equação (2.75) e a pode ser visualizado na figura 12.

$$N_i = \frac{K_{maj} \cdot N}{n_e} + \frac{Mx \cdot y_i}{\Sigma y_i^2} + \frac{My \cdot x_i}{\Sigma x_i^2} \quad (2.75)$$

Em que,

K_{maj} = fator majorador de peso próprio;

N_i = carga vertical na estaca i ;

N = carga vertical no pilar;

n_e = número de estacas;

x_i = distância entre a estaca i e o centro de carga do bloco;

y_i = distância entre a estaca i e o centro de carga do bloco;

M_x = Momento fletor que atua em torno do eixo x ;

M_y = Momento fletor que atua em torno do eixo y .

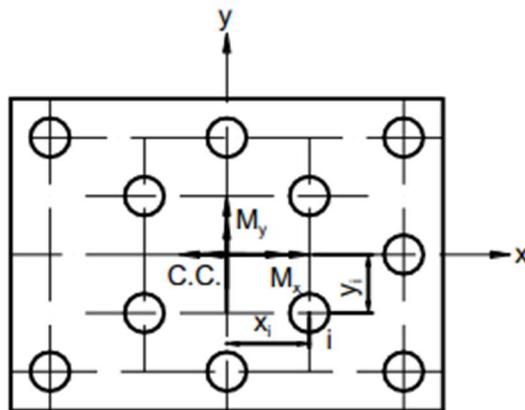


Figura 12 – Momentos fletores atuantes no bloco.

Fonte: adaptado de Bastos(2020).

Diante disso, encontra-se a estaca mais comprimida do bloco e multiplica-se o valor do carregamento pelo número de estacas do bloco. Por fim, majora-se o resultado utilizando γ_d para encontrar o valor da força normal de cálculo N_d .

3. PROGRAMA DESENVOLVIDO

Este capítulo apresenta o programa elaborado. O programa foi desenvolvido utilizando o software *Visual Studio*, na linguagem *Visual Basic.NET* e calcula blocos sobre 2, 3, 4, 5 e 6 estacas automaticamente. O programa se chama D-Block e sua tela inicial está mostrada na figura 13:

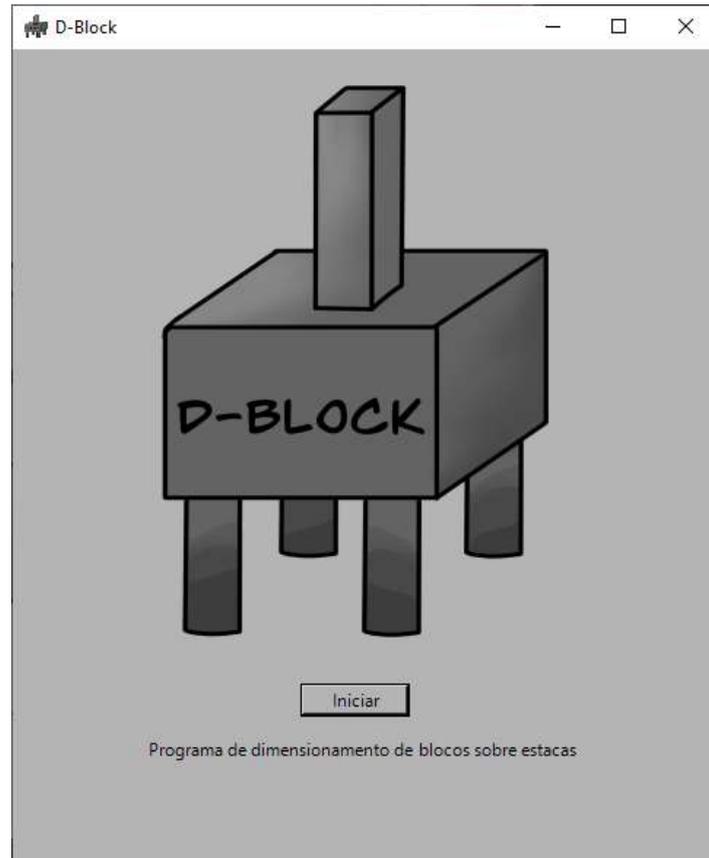


Figura 13 – Tela inicial do programa

Fonte: Autor

O programa recebe os dados de dimensionamento dos blocos, onde é possível escolher os seguintes parâmetros:

- Quantidade de estacas;
- F_{ck} = resistência característica do concreto à compressão;
- F_{yk} = valor característico da resistência de escoamento do aço;
- \emptyset = Diâmetro da estaca;
- e = Espaçamento entre estacas;
- d = Altura útil do bloco;
- d' = Comprimento que a estaca entra no bloco;
- K_r = Coeficiente de efeito Rusch;
- Cobrimento;
- N , M_x e M_y = Força normal e momentos fletores;
- γ_d = Fator majorador das forças atuantes;
- K_{maj} = Fator majorador de peso próprio;

- P_x e P_y = Dimensões do pilar;
- Cálculo do lado equivalente = Modo de consideração do pilar, essa opção permite que o usuário escolha utilizar as próprias dimensões do pilar ou transformar um pilar retangular em pilar quadrado equivalente.

Diante dos dados fornecidos, o programa realiza o dimensionamento das armaduras principal e complementares, faz a verificação da altura do bloco e das tensões atuantes nas bielas, e faz o detalhamento do bloco, com a quantidade e dimensões das barras de aço necessárias. É possível alterar a bitola da armação e as dimensões.

A seguir serão mostradas as telas de entrada e saída de dados de cada caso de bloco sobre estacas desenvolvido.

3.1. BLOCOS SOBRE DUAS ESTACAS:

A figura 14 apresenta a tela para entrada de dados para blocos de duas estacas. A saída dos resultados é apresentado na janela seguinte, conforme a figura 15, em que são apresentadas a altura do bloco, as tensões nas bielas, as dimensões do bloco, a reação na armadura principal, a área de armadura principal, as áreas das armaduras complementares e o detalhamento do bloco.

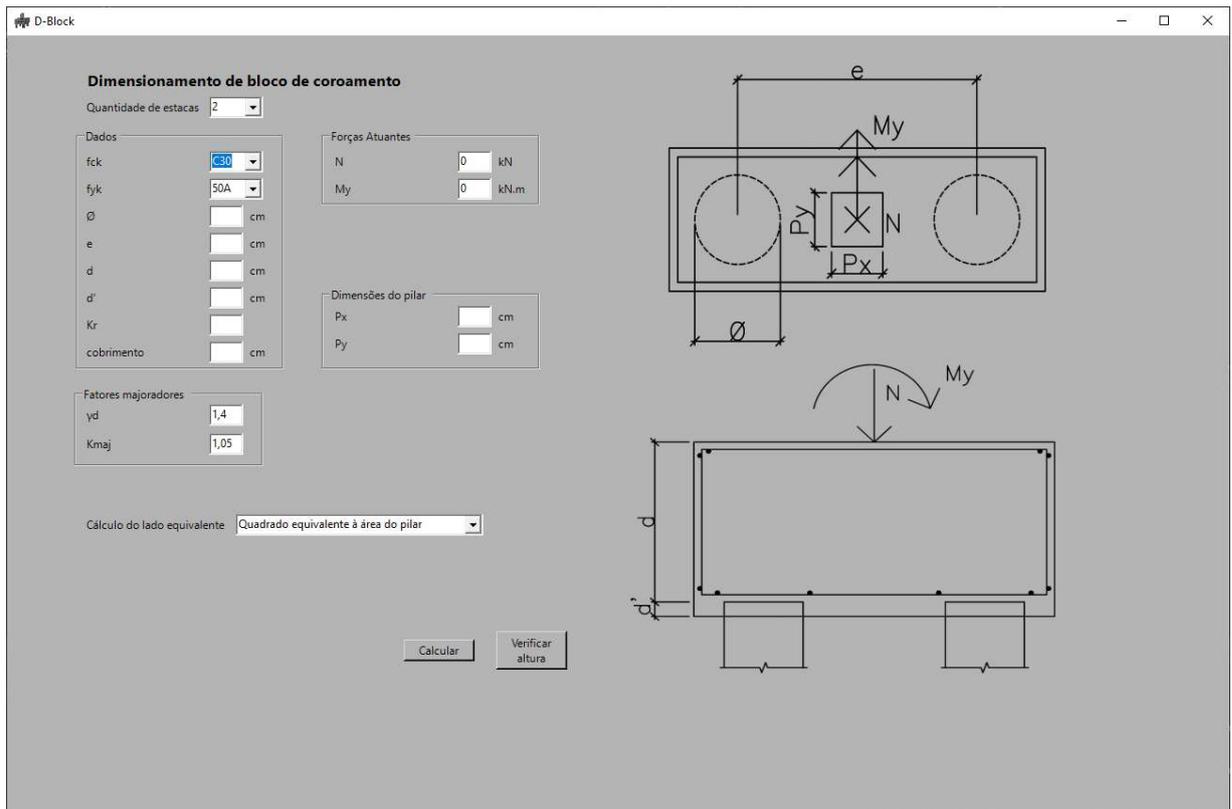


Figura 14 – Tela de entrada de dados para blocos sobre duas estacas

Fonte: Autor

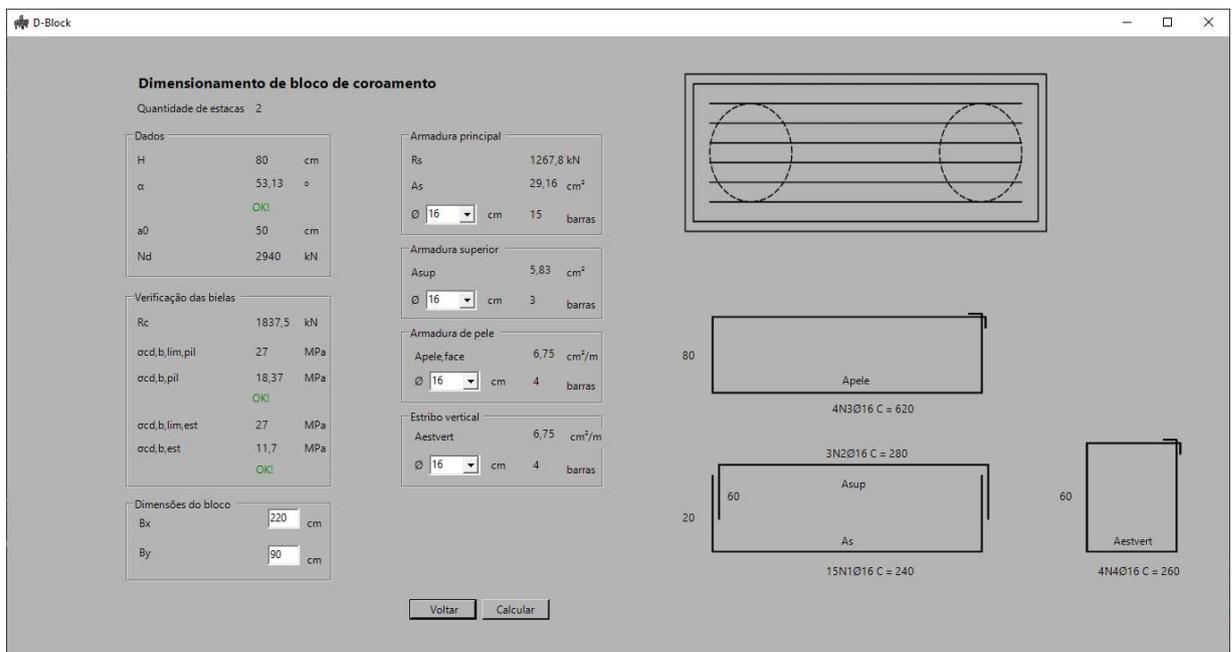


Figura 15 – Tela de resultados para blocos sobre duas estacas

Fonte: Autor

3.2. BLOCOS SOBRE TRÊS ESTACAS:

Para o bloco de três estacas, a entrada de dados é similar, mas o desenho é atualizado, conforme pode-se visualizar na figura 16. Os resultados que são apresentados para blocos de 3 estacas são dados pela figura 17. Pode-se observar que os resultados são similares a bloco de duas estacas, omitindo-se as dimensões do bloco, retirando o estribo vertical e adicionando a armaduras de malha e de suspensão.

The screenshot shows the 'D-Block' software interface for designing a pile cap. The title bar reads 'D-Block'. The main window is titled 'Dimensionamento de bloco de coroamento'. It contains several input sections:

- Quantidade de estacas:** A dropdown menu set to '3'.
- Dados:** Fields for concrete strength (f_{ck} set to 'C30'), steel strength (f_{yk} set to '50A'), and various dimensions (\varnothing , e , d , d' , K_r , cobrimento) in cm.
- Forças Atuantes:** Fields for axial force (N), bending moments (M_x , M_y), all set to '0'.
- Dimensões do pilar:** Fields for pillar dimensions (P_x , P_y) in cm.
- Fatores majoradores:** Fields for safety factors (γ_d set to '1,4', K_{maj} set to '1,05').
- Cálculo do lado equivalente:** A dropdown menu set to 'Quadrado equivalente à área do pilar'.

At the bottom, there are 'Calcular' and 'Verificar altura' buttons. On the right side, there are two diagrams: a top view of a triangular pile cap with three piles and a side view of a rectangular pile cap on two piles. The top view shows forces N , M_x , M_y and dimensions P_x , P_y , \varnothing , and e . The side view shows forces N , M_y and dimensions b , h , and a .

Figura 16 – Tela de entrada de dados para blocos sobre três estacas

Fonte: Autor

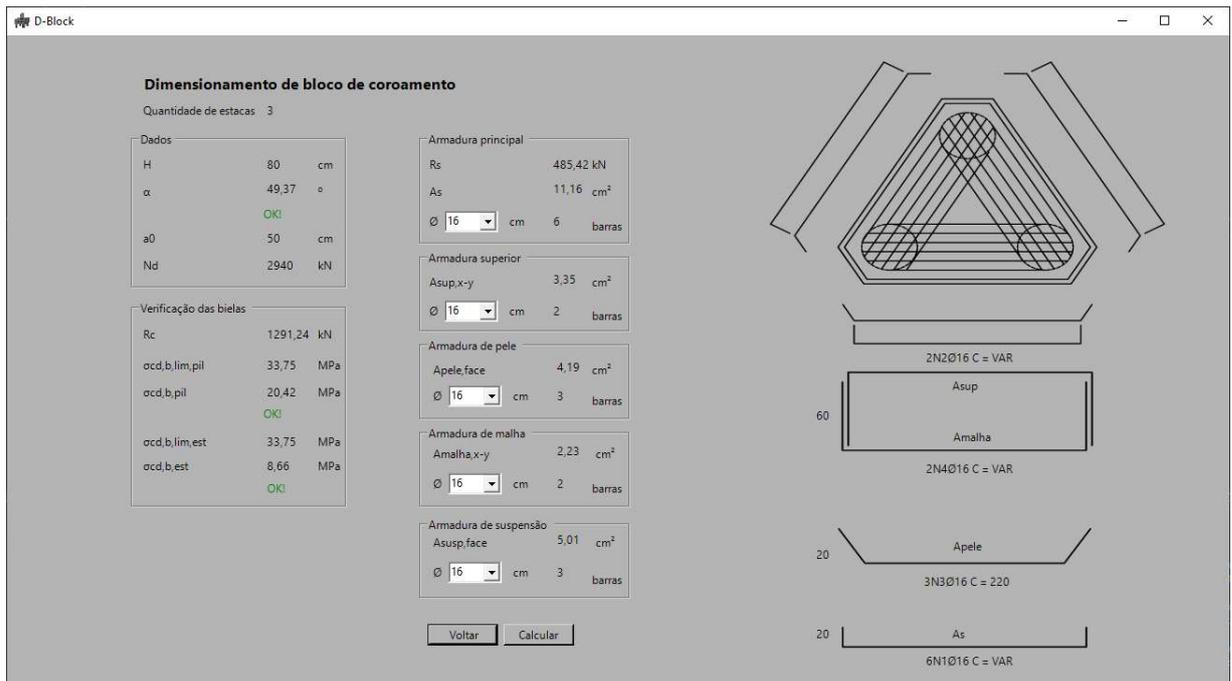


Figura 17 – Tela de resultados para blocos sobre três estacas

Fonte: Autor

3.3. BLOCOS SOBRE QUATRO ESTACAS:

Para o bloco de quatro estacas, a entrada de dados é similar aos outros blocos e o desenho é atualizado, conforme pode-se visualizar na figura 18. Os resultados que são apresentados para blocos de 4 estacas são dados pela figura 19. Pode-se observar que os resultados são similares a bloco de três estacas, com o retorno das dimensões do bloco.

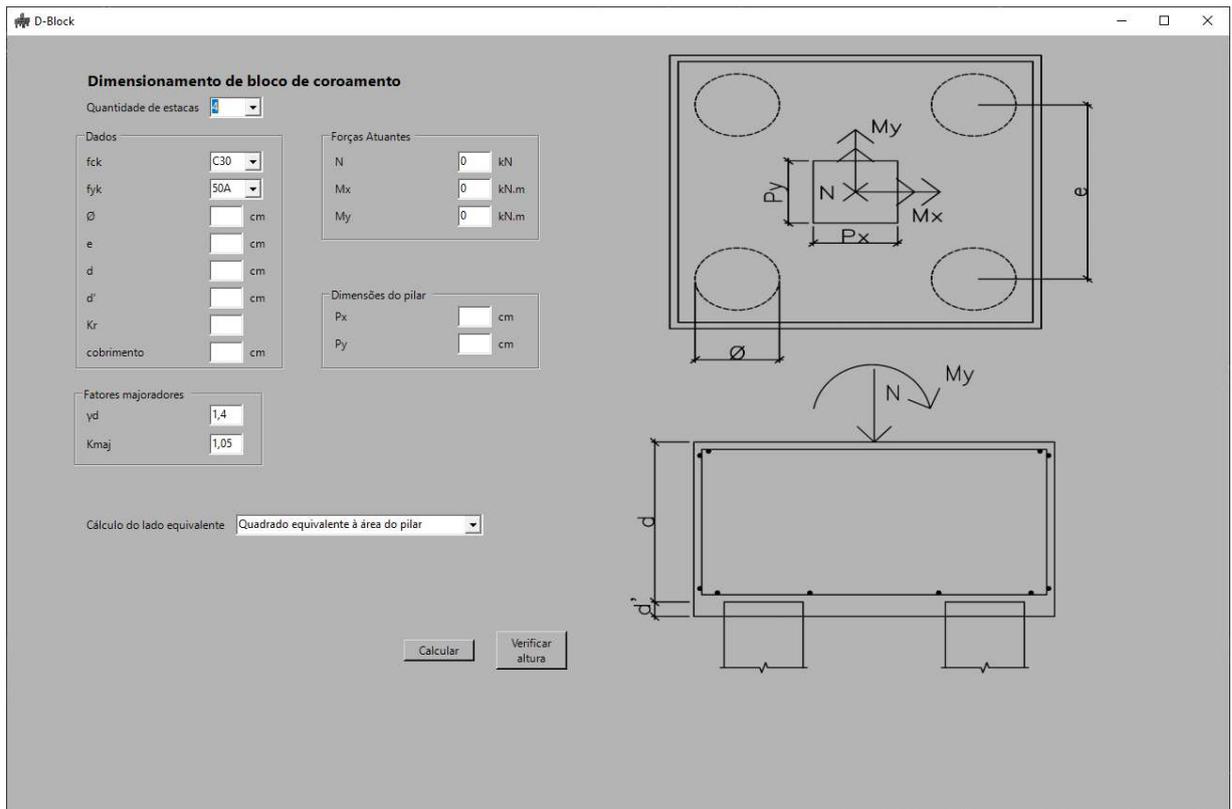


Figura 18 – Tela de entrada de dados para blocos sobre quatro estacas

Fonte: Autor

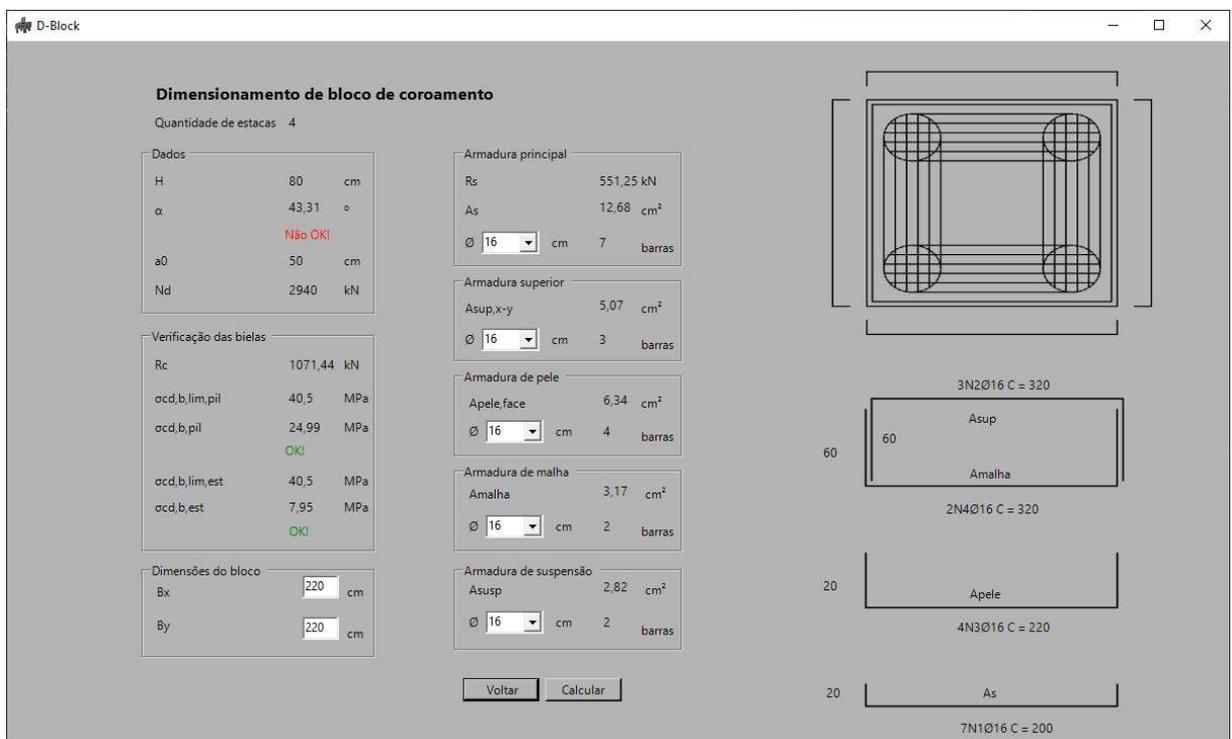


Figura 19 – Tela de resultados para blocos sobre quatro estacas

Fonte: Autor

3.4. BLOCOS SOBRE CINCO ESTACAS:

Para o bloco de cinco estacas, a entrada de dados é similar aos outros blocos e o desenho é atualizado, conforme pode-se visualizar na figura 20. Os resultados que são apresentados para blocos de 5 estacas são dados pela figura 21. Pode-se observar que os resultados são muito similares a bloco de quatro estacas.

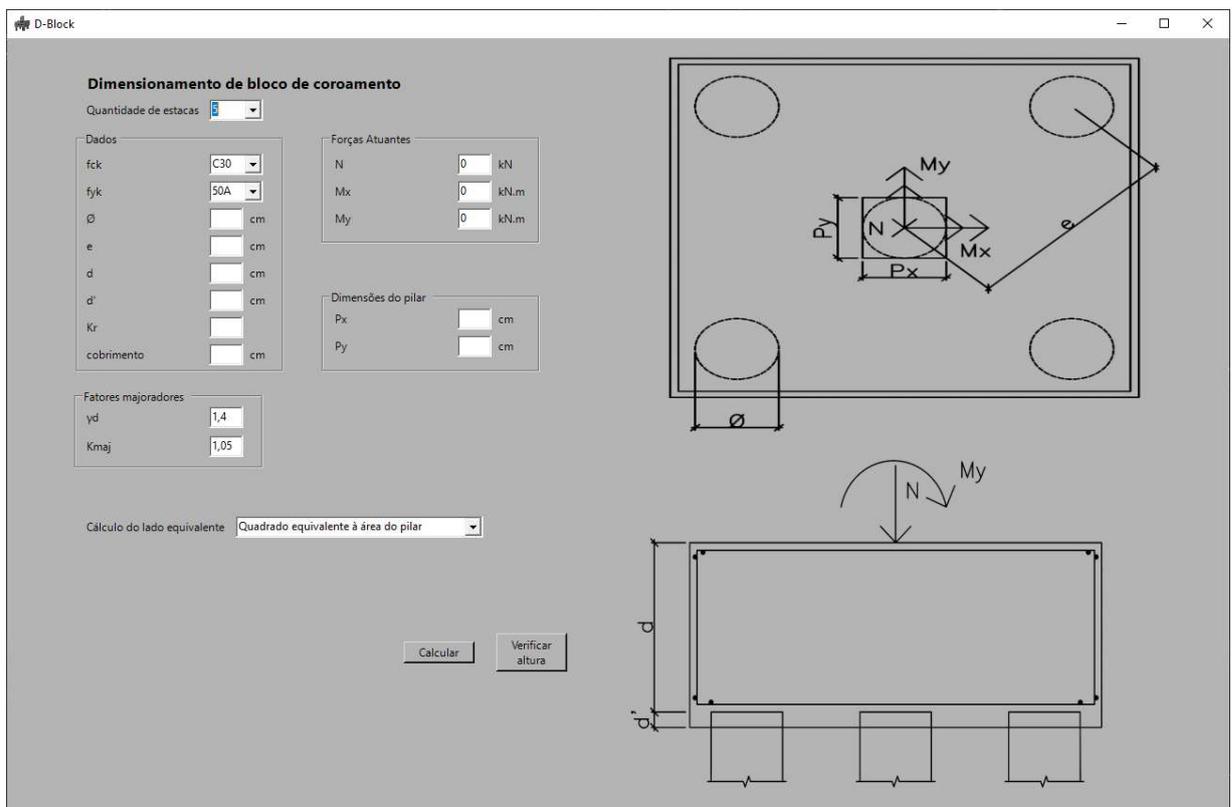


Figura 20 – Tela de entrada de dados para blocos sobre cinco estacas

Fonte: Autor

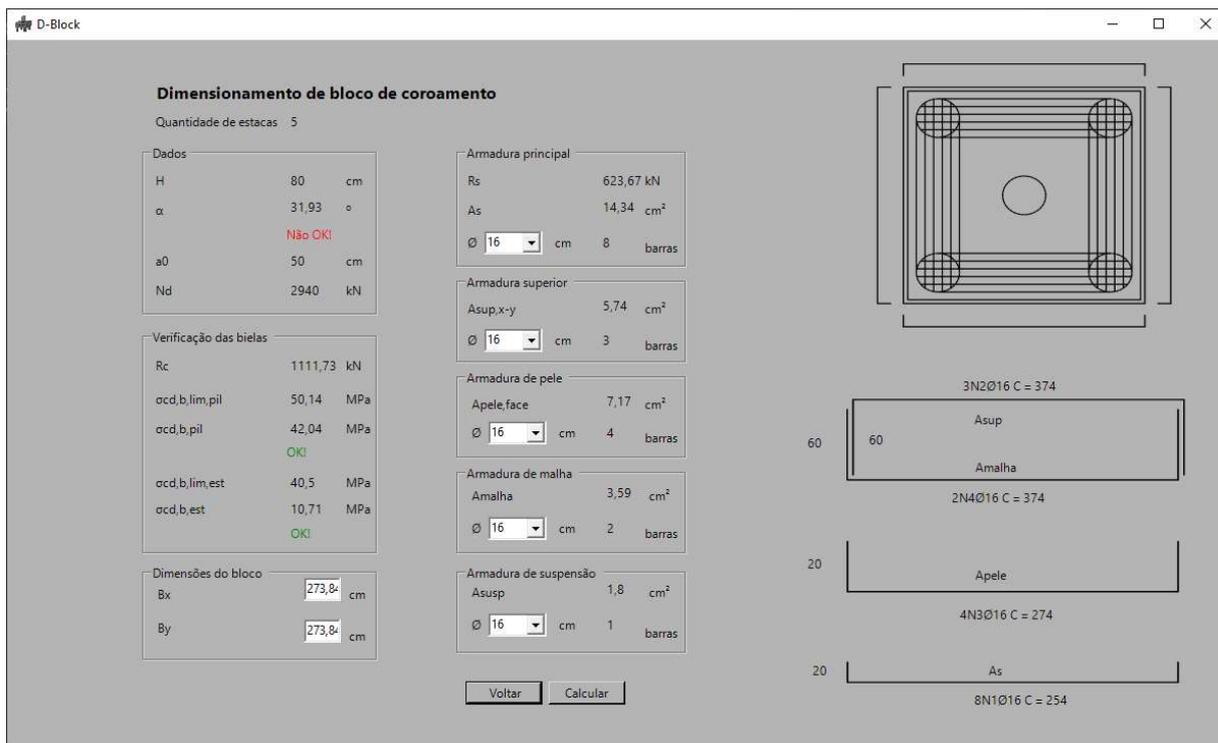


Figura 21 – Tela de resultados para blocos sobre cinco estacas

Fonte: Autor

3.5. BLOCOS SOBRE SEIS ESTACAS:

Para o bloco de seis estacas, a entrada de dados é similar aos outros blocos e o desenho é atualizado, conforme pode-se visualizar na figura 22. Os resultados que são apresentados para blocos de 6 estacas são dados pela figura 23. Pode-se observar que os resultados são semelhantes ao bloco de três estacas, mas sem a verificação das bielas, por conta da metodologia aplicada que considera apenas a verificação de altura suficiente para garantir a segurança das bielas de concreto.

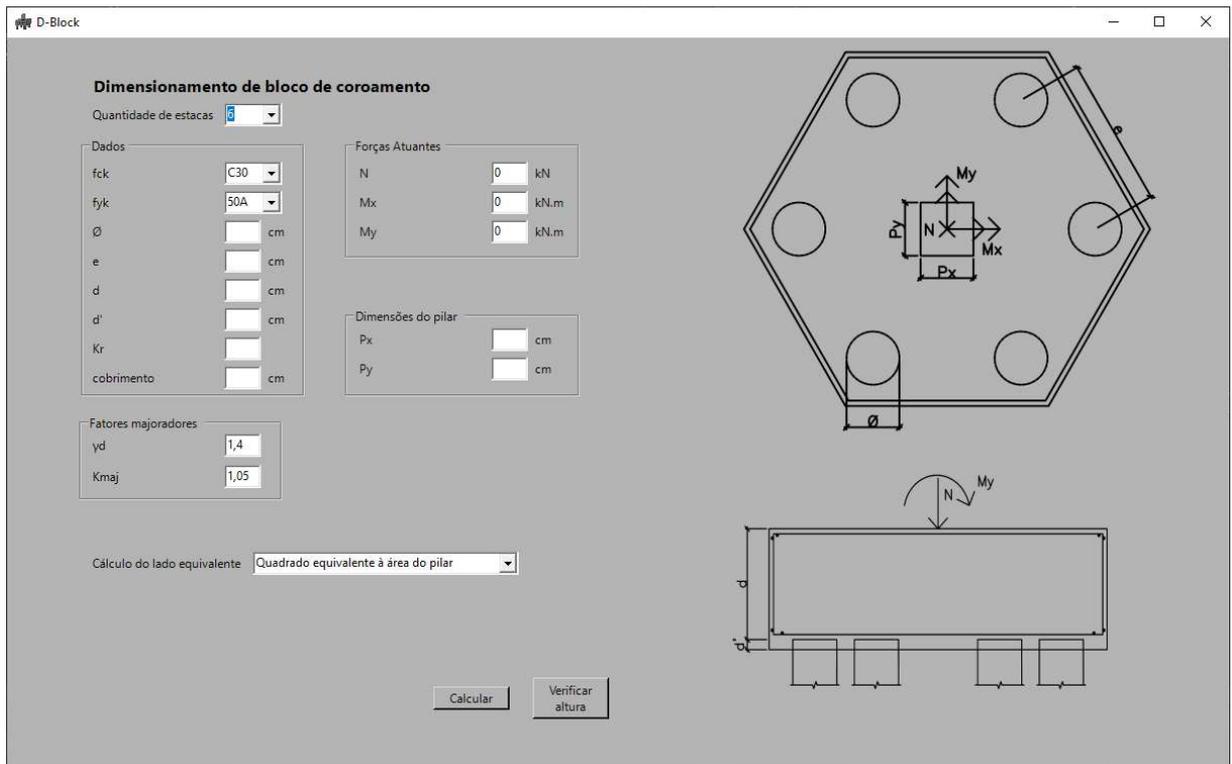


Figura 22 – Tela de entrada de dados de blocos sobre seis estacas

Fonte: Autor

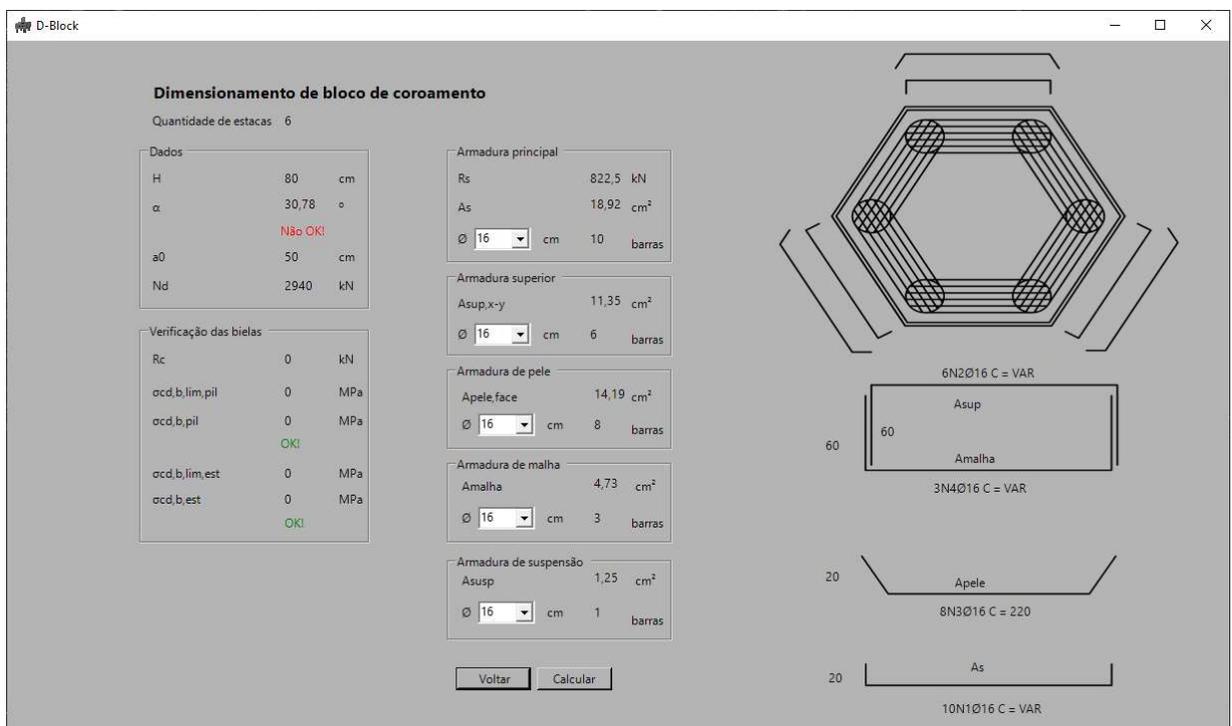


Figura 23 – Tela de resultados para blocos sobre seis estacas

Fonte: Autor

3.6. VERIFICAÇÕES ADICIONAIS:

O programa possui a opção de verificar a altura do bloco, onde é indicado a altura mínima ou máxima, dependendo do valor inserido, conforme pode ser visualizado na figura 24.

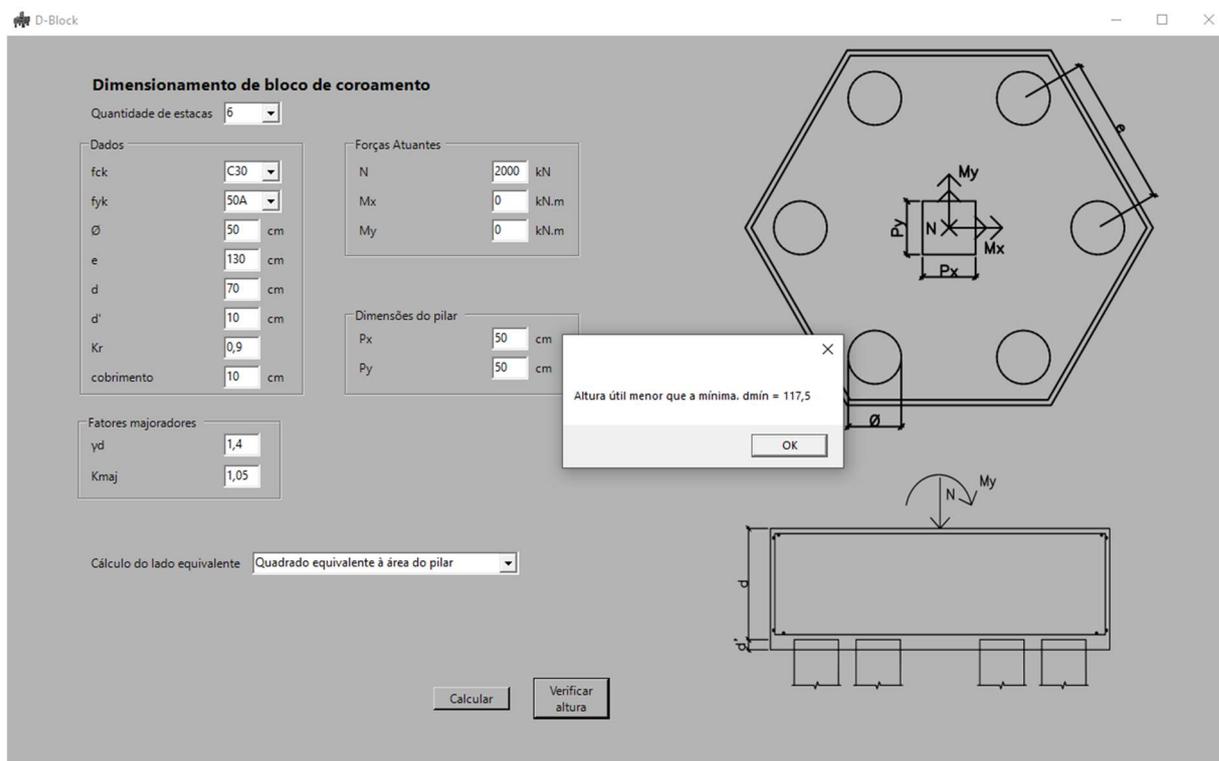


Figura 24– Tela de verificação de altura

Fonte: Autor

É válido mencionar também que a fim de reduzir o consumo de aço, a armadura de suspensão foi considerada nas armaduras de malha e superiores, ou seja, durante o cálculo é feita uma verificação para que o somatório das armaduras de malha e superiores cumpram o mínimo da armadura de suspensão exigido por norma.

4. VALIDAÇÃO

Deve-se observar que o desenvolvimento do programa focou-se no cálculo da área da armadura, com essa área é permitido ao engenheiro escolher o diâmetro que convém. Entretanto, o programa desenvolvido ainda não é capaz de

comparar possíveis armações mínimas ou indicar a melhor disposição da armação, ficando a cargo do usuário essa avaliação.

4.1. BLOCOS SOBRE DUAS ESTACAS

4.1.1. Bloco sobre duas estacas Bastos (2020)

O exemplo presente em Bastos (2020) trata de um pilar de canto com dimensões 20 x 30 cm sobre duas estacas. O diâmetro das estacas é de 30cm, o concreto utilizado é C25, o aço utilizado é CA-50 e os esforços na base do pilar são: $N_k=620\text{kN}$, $M_x=440\text{kN.cm}$ e $M_y=1.000\text{kN.cm}$. O desenho do corte do bloco está representado na figura 25.

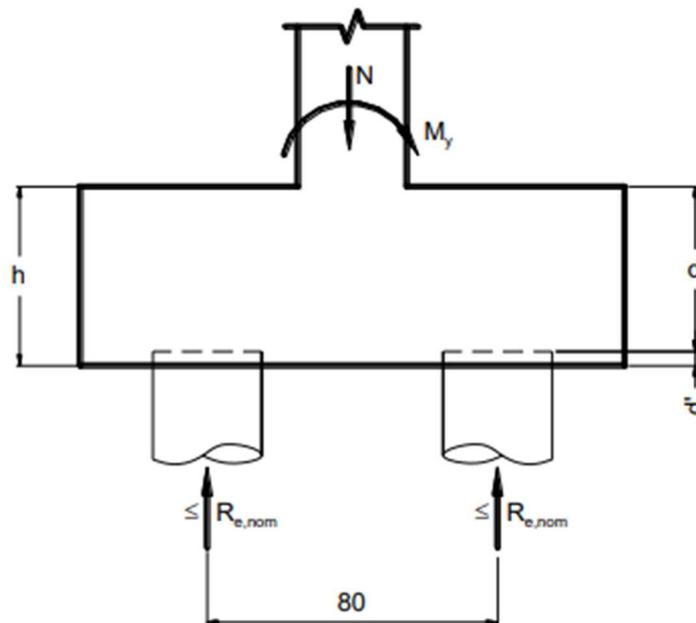


Figura 25 – Corte do bloco sobre duas estacas do exemplo 4.1.1

Fonte: adaptado de Bastos(2020).

O problema pode ser resolvido utilizando-se o *D-Block*. Aplicando os valores do exemplo no programa, figura 26, tem-se os resultados apresentados na figura 27:

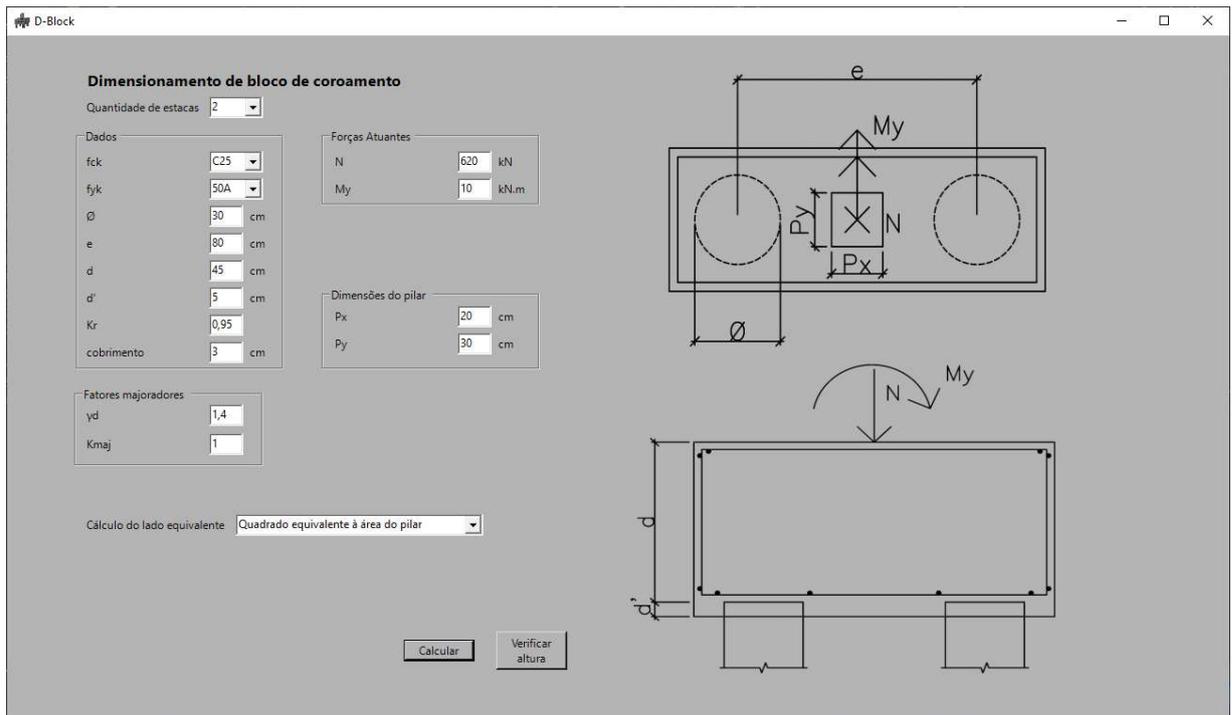


Figura 26 – Tela de entrada de dados do exemplo 4.1.1

Fonte: Autor

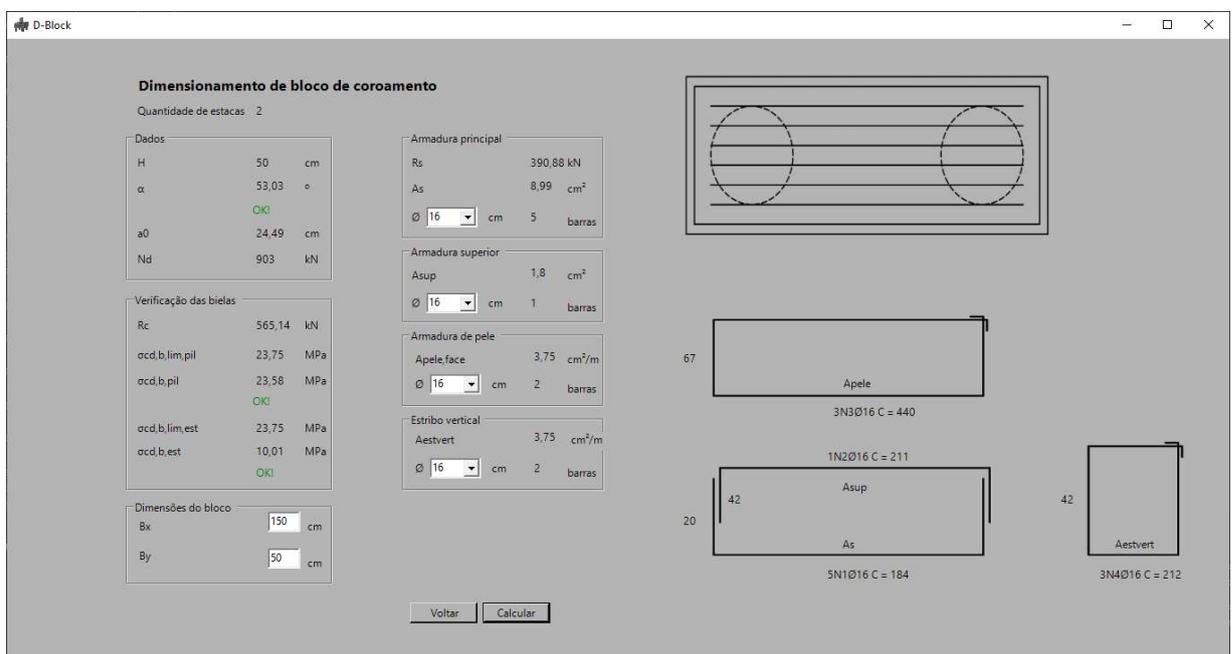


Figura 27 – Tela de resultados do exemplo 4.1.1

Fonte: Autor

A tabela 1 mostra a comparação entre os resultados obtidos com o *D-Block* e em Bastos (2020).

Tabela 1 – Comparação exemplo 4.1.1

	Comparativo de resultados		
	Bastos	Programa	%
$\sigma_{cd,b,lim}$	23,8 MPa	23,8 MPa	100%
$\sigma_{cd,b,est}$	9,9 MPa	10,0 MPa	99%
$\sigma_{cd,b,pil}$	23,3 MPa	23,6 MPa	99%
As,lado	8,8 cm ²	9,0 cm ²	98%
Apele,face	3,8 cm ²	3,8 cm ²	100%
Amalha	3,8 cm ²	3,8 cm ²	100%
Asup,x-y	1,8 cm ²	1,8 cm ²	98%

Observa-se que os resultados são muito próximos. As pequenas diferenças em certos valores ocorrem por conta do programa transformar as dimensões do pilar retangular em um pilar quadrado equivalente para realizar as contas. Isso é a favor da segurança e é possível modificar para utilizar o lado com menor lado ou maior lado.

4.1.2. Exemplo TQS

Foi gerado um exemplo também no programa TQS, a situação criada foi um pilar quadrado 30 x 30 cm sobre duas estacas de diâmetro 50cm. O espaçamento entre estacas foi de 140 cm, o concreto utilizado foi C30, o aço utilizado foi CA-50 e os esforços na base do pilar são: $N_k=600\text{kN}$, $M_x=20\text{kN.m}$, $M_y=20\text{kN.m}$. Representado na figura 28.

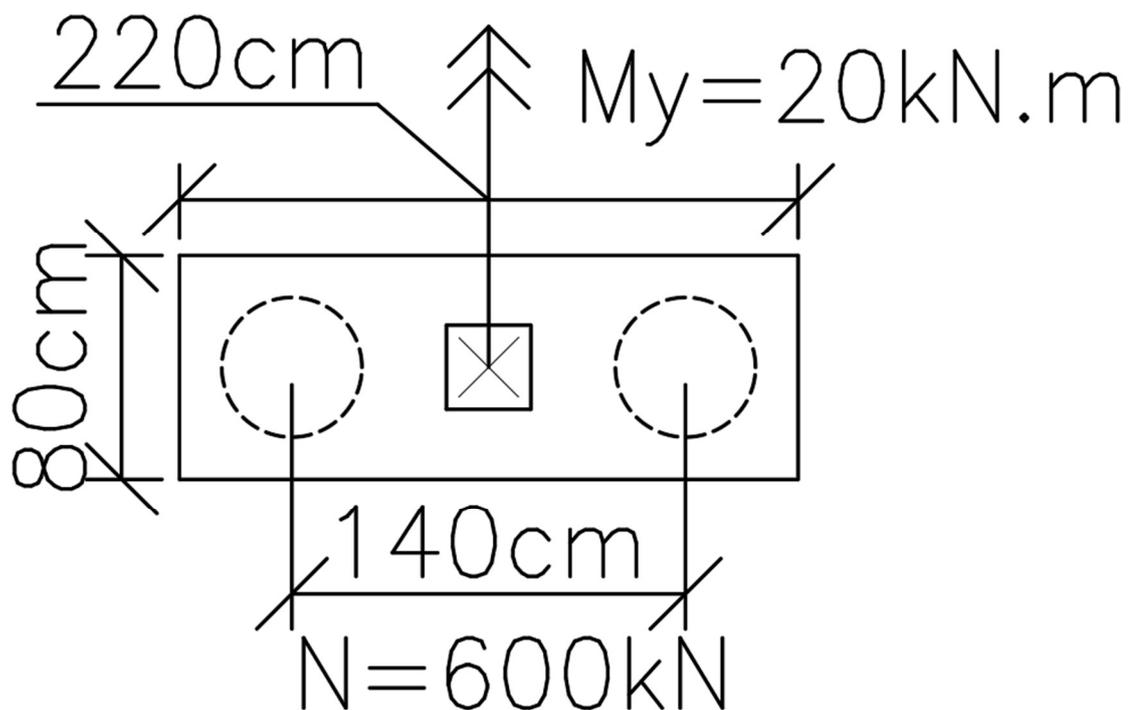


Figura 28 – Planta baixa do bloco do exemplo 4.1.2

Fonte: Autor

A entrada de dados feita no programa desenvolvido é realizada conforme a figura 29, e os resultados obtidos para o problema são conforme a figura 30.

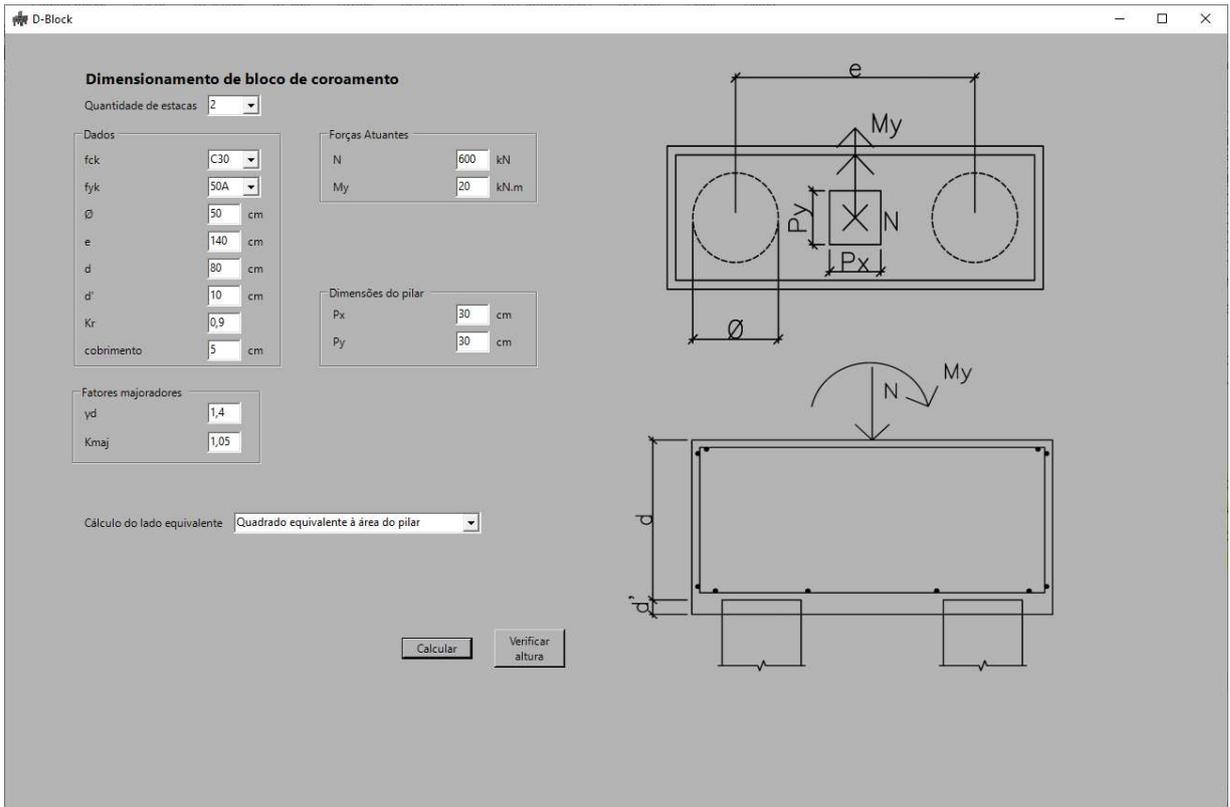


Figura 29 – Tela de entrada de dados do exemplo 4.1.2

Fonte: Autor

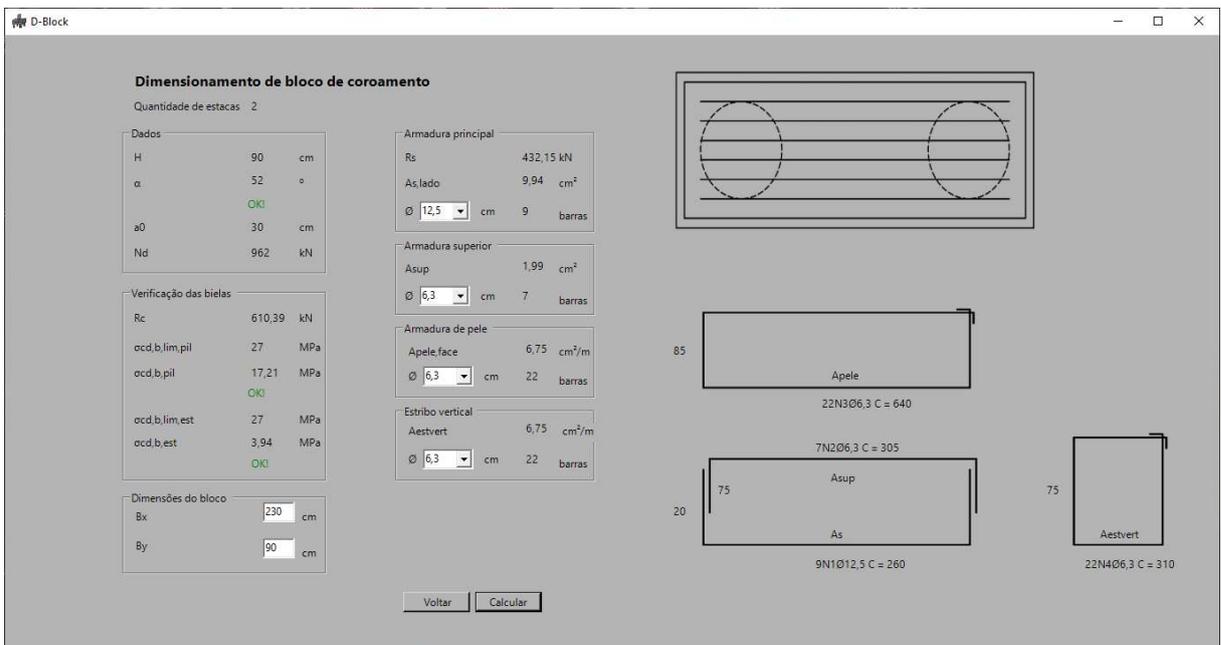


Figura 30 – Tela de resultados do exemplo 4.1.2

Fonte: Autor

A tabela 2 compara os resultados obtidos pelo programa desenvolvido com o TQS.

Tabela 2 – Comparação exemplo 4.1.2.

	Comparativo de resultados		
	TQS	Programa	%
$\sigma_{cd,b,lim}$	28,5 MPa	28,5 MPa	100%
$\sigma_{cd,b,est}$	4,1 MPa	3,9 MPa	103%
$\sigma_{cd,b,pil}$	17,0 MPa	17,2 MPa	99%
As,lado	10,7 cm ²	9,9 cm ²	108%
Apele	2,1 cm ²	6,8 cm ²	31%
Aestvert	1,6 cm ²	6,8 cm ²	24%

Constata-se que as tensões atuantes nas estacas e nos pilares são próximas.

Pode-se observar que a armadura principal também tem valores similares, contudo a diferença entre elas pode ser explicada pela consideração do peso próprio do bloco, que o programa considera como porcentagem e o TQS realiza um cálculo aproximado do peso próprio do bloco. Por conta disso houve uma pequena diferença na armadura principal.

O TQS não calcula armadura superior, apenas armadura de suspensão, e os cálculos de armaduras complementares são diferentes dos que foram programados, que consideram as dimensões do bloco, conforme indicado por Bastos (2020). Portanto, os resultados foram diferentes, mas isso não implica em riscos de segurança, visto que apenas a armadura principal é suficiente para absorver os esforços. O detalhamento do TQS é apresentado na figura 31.

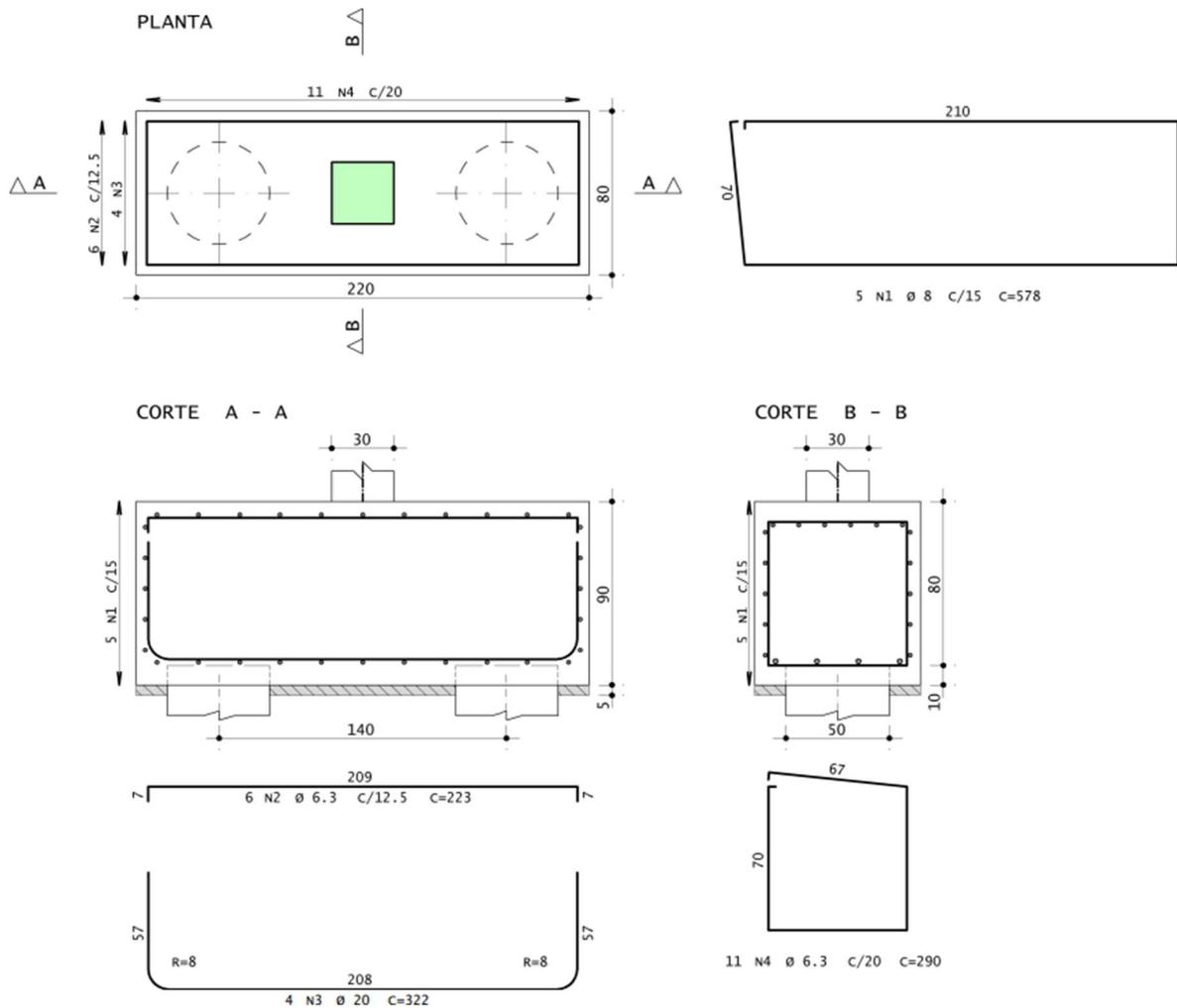


Figura 31 – Tela de detalhamento TQS do exemplo 4.1.2

Fonte: Autor

4.2. BLOCOS SOBRE TRÊS ESTACAS

4.2.1. EXEMPLO TOMAZ (2016)

O exemplo para bloco sobre três estacas possui f_{ck} de 30 MPa, diâmetro da estaca de 40 cm, espaçamento entre estacas de 100cm, altura útil de 48 cm, cobrimento de 15 cm, pilar de dimensões 50x40cm e uma carga vertical de 1400kN, como pode ser observado na figura a 32:

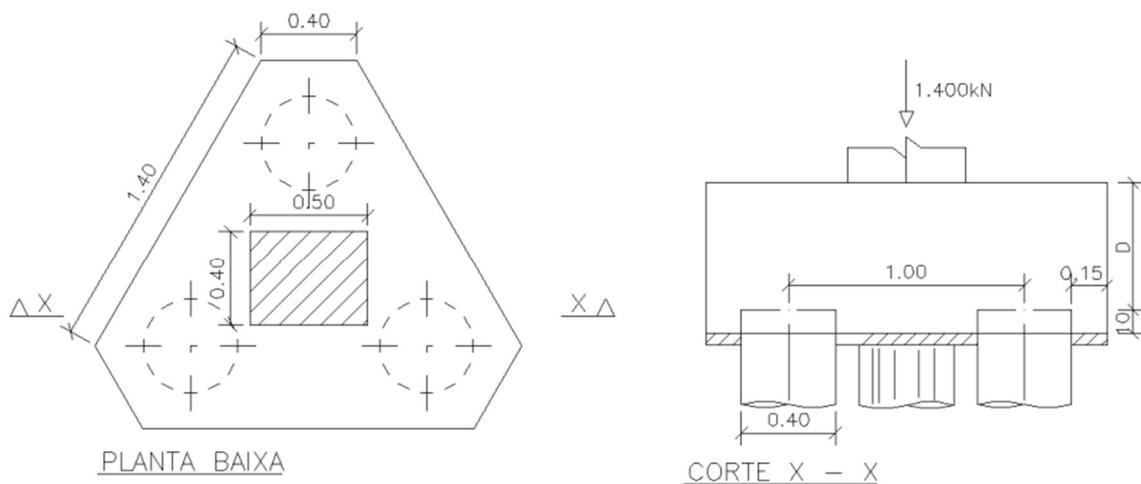


Figura 32 - Tela de entrada de dados do exemplo 4.2.1

Fonte: Tomaz (2016)

Aplicando os valores apresentados no programa, como mostrado na figura 33 tem-se os resultados obtidos na figura 34:

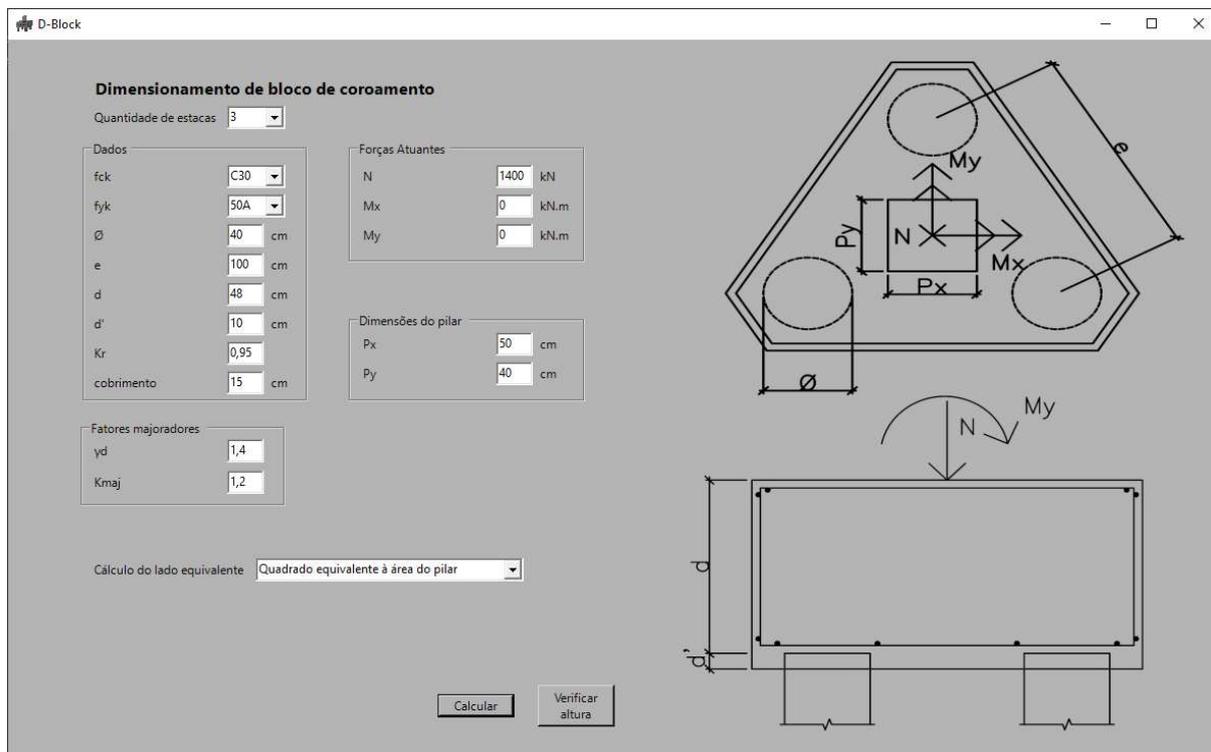


Figura 33 - Tela de entrada de dados do exemplo 4.2.1

Fonte: Autor

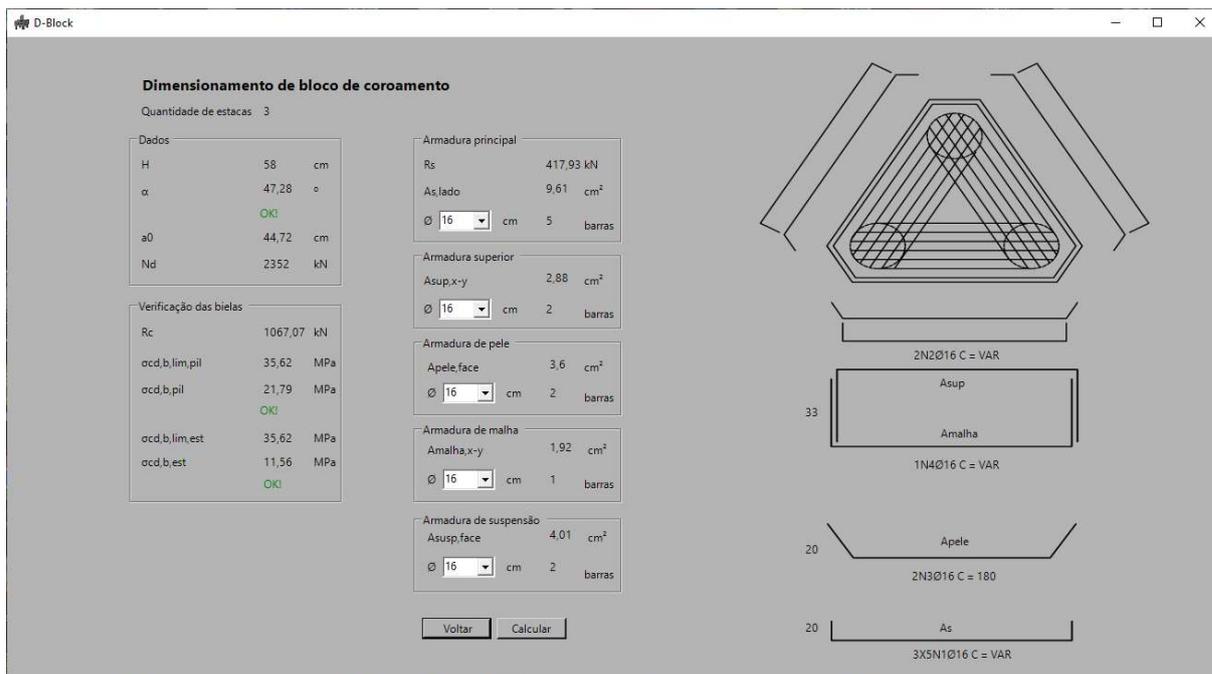


Figura 34 - Tela de resultados do exemplo 4.2.1

Fonte: Autor

Comparando os resultados obtidos utilizando a solução pelo método de Blévyot, denominado como Otimização Blévyot por Tomaz (2016), tem-se a tabela 3:

Tabela 3 – Comparação exemplo 4.2.1.

	Comparativo de resultados		
	Tomaz	Programa	%
$\sigma_{cd,b,est}$	11,9 MPa	11,6 MPa	103%
$\sigma_{cd,b,pil}$	22,3 MPa	21,8 MPa	102%
As,lado	9,9 cm ²	9,6 cm ²	103%

Os resultados encontrados estão de acordo com os resultados esperados. As diferenças mínimas se dão por conta do cálculo de lado equivalente para o pilar retangular.

4.3. BLOCOS SOBRE QUATRO ESTACAS

4.3.1. Bloco sobre quatro estacas Bastos (2020)

O exemplo a seguir possui os seguintes dados: f_{ck} de 20MPa, diâmetro de estaca de 30cm, espaçamento entre estacas de 80cm, altura útil de 60cm,

cobramento de 3cm, força vertical de 1303 kN e pilar de dimensões 75x20cm. O bloco pode ser visualizado na figura 35.

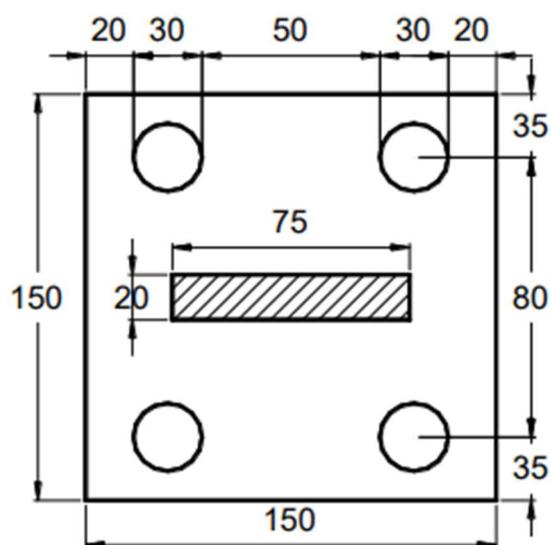


Figura 35 – Bloco sobre quatro estacas do exemplo 4.3.1

Fonte: Bastos (2020)

A entrada de dados feita no programa desenvolvido é realizada conforme a figura 36, e os resultados obtidos para o problema são conforme a figura 37.

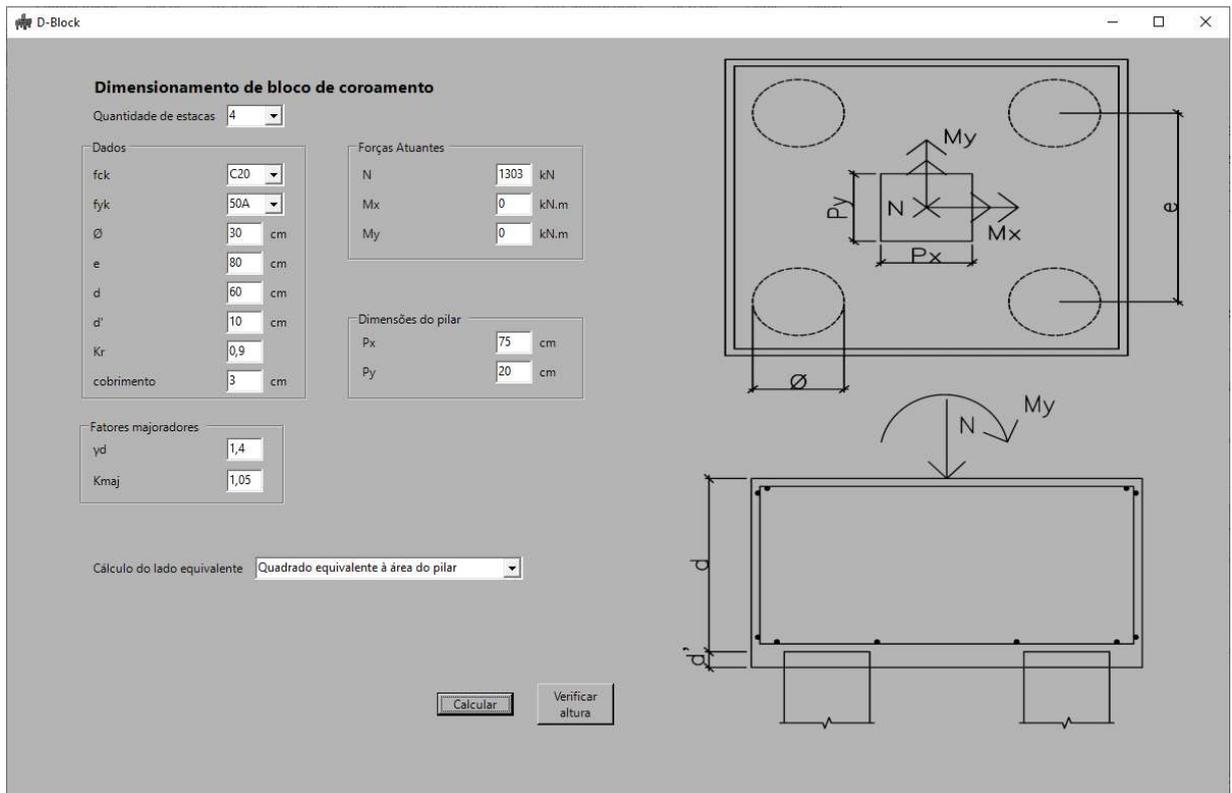


Figura 36 - Tela de entrada de dados do exemplo 4.3.1

Fonte: Autor

Aplicando esses valores no programa, tem-se os seguintes resultados:

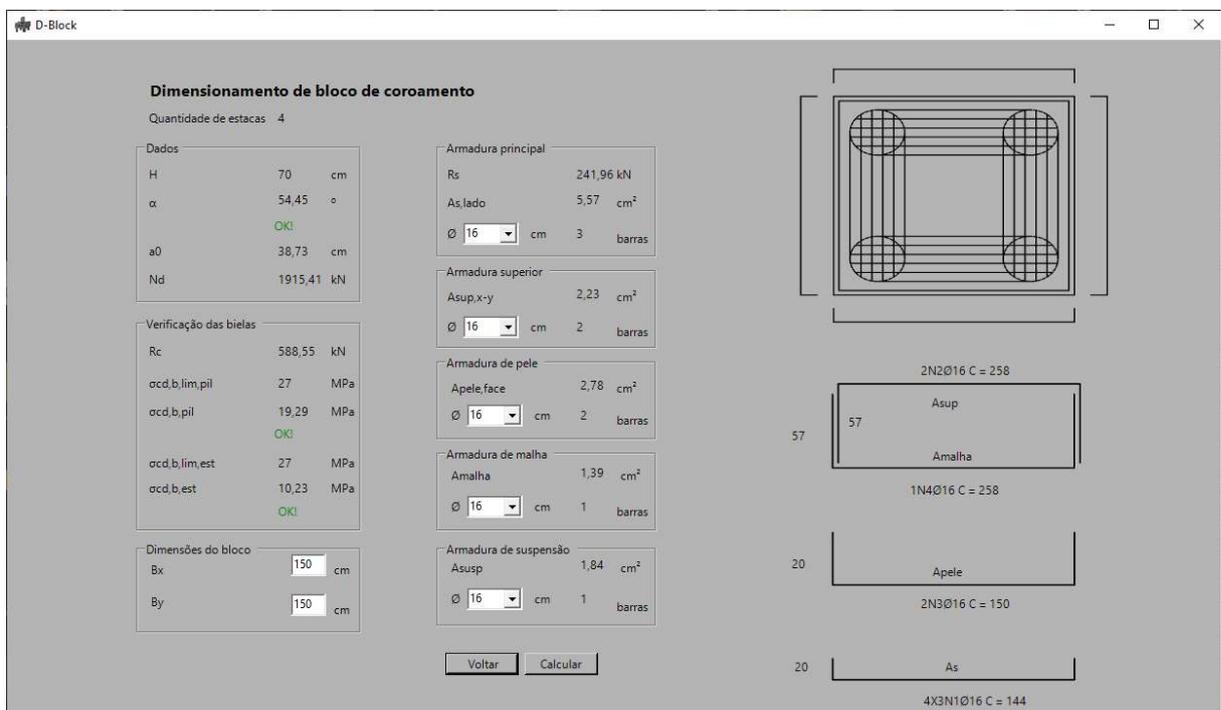


Figura 37 - Tela de resultados do exemplo 4.3.1

Fonte: Autor

A tabela 4 mostra as comparações feitas com os resultados do programa com os resultados do exemplo.

Tabela 4 – Comparação exemplo 4.3.1

	Comparativo de resultados		
	Bastos	Programa	%
$\sigma_{cd,b,lim}$	27,0 MPa	27,0 MPa	100%
$\sigma_{cd,b,est}$	9,9 MPa	10,2 MPa	97%
$\sigma_{cd,b,pil}$	18,6 MPa	19,3 MPa	96%
As,lado	5,6 cm ²	5,6 cm ²	101%
Apele,face	2,8 cm ²	2,8 cm ²	101%
Amalha	1,4 cm ²	1,4 cm ²	100%
Asup,x-y	2,3 cm ²	2,2 cm ²	101%
Asusp,	1,8 cm ²	1,8 cm ²	100%

Pode-se observar que há uma pequena diferença nas tensões da estaca e do pilar, isso se dá por conta da consideração do peso próprio do bloco, no programa foi calculado a força Nd já considerando o peso próprio, já no exemplo foi considerado apenas para o dimensionamento das armaduras. E as porcentagens diferentes nas armaduras se dão por conta das casas decimais tomadas para realizar as contas.

4.4. BLOCOS SOBRE CINCO ESTACAS:

4.4.1. EXEMPLO MUSSO (2022)

Para este exemplo foram utilizados os seguintes dados: fck de 30MPa, diâmetro das estacas de 50cm, espaçamento entre estacas de 130cm, altura útil de 160cm, pilar de dimensões 40x40cm e força vertical de 4000kN. A entrada de dados está mostrada na figura 38 e os resultados obtidos na figura 39.

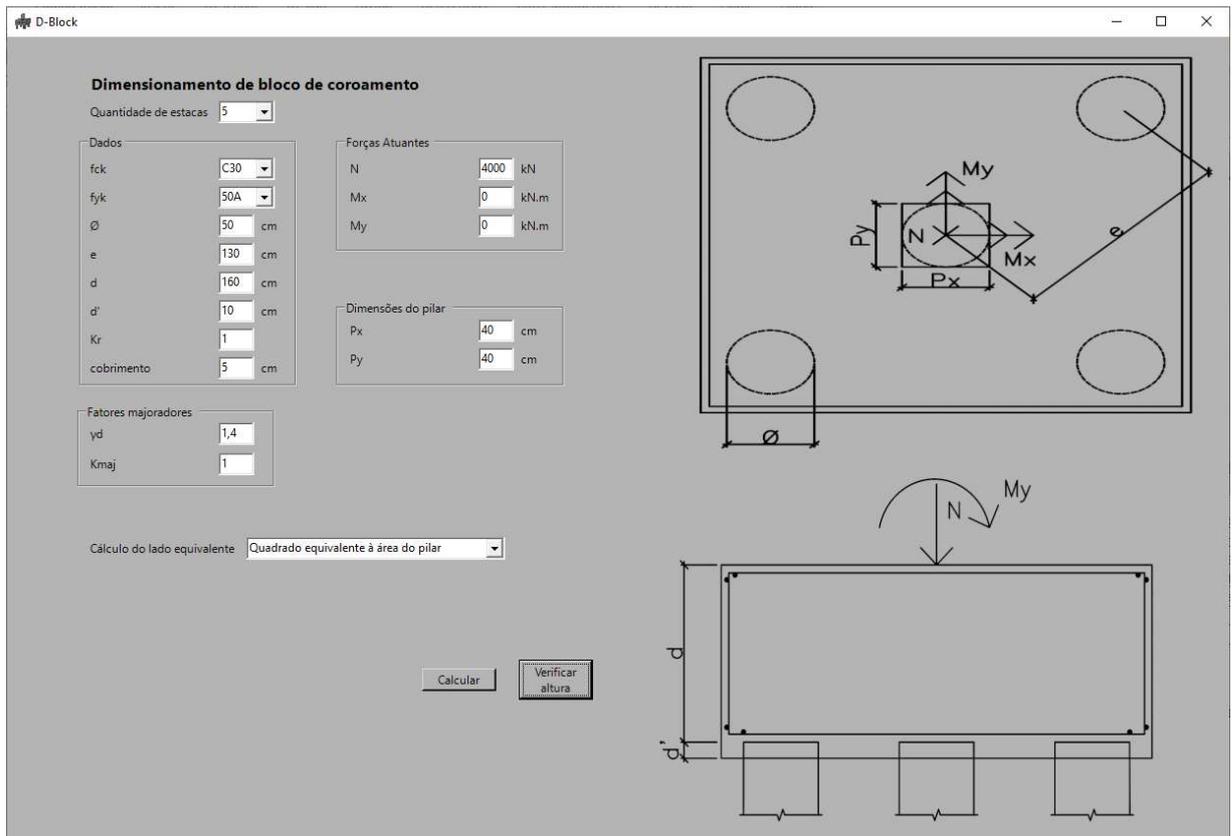


Figura 38 - Tela de entrada de dados do exemplo 4.4.1

Fonte: Autor

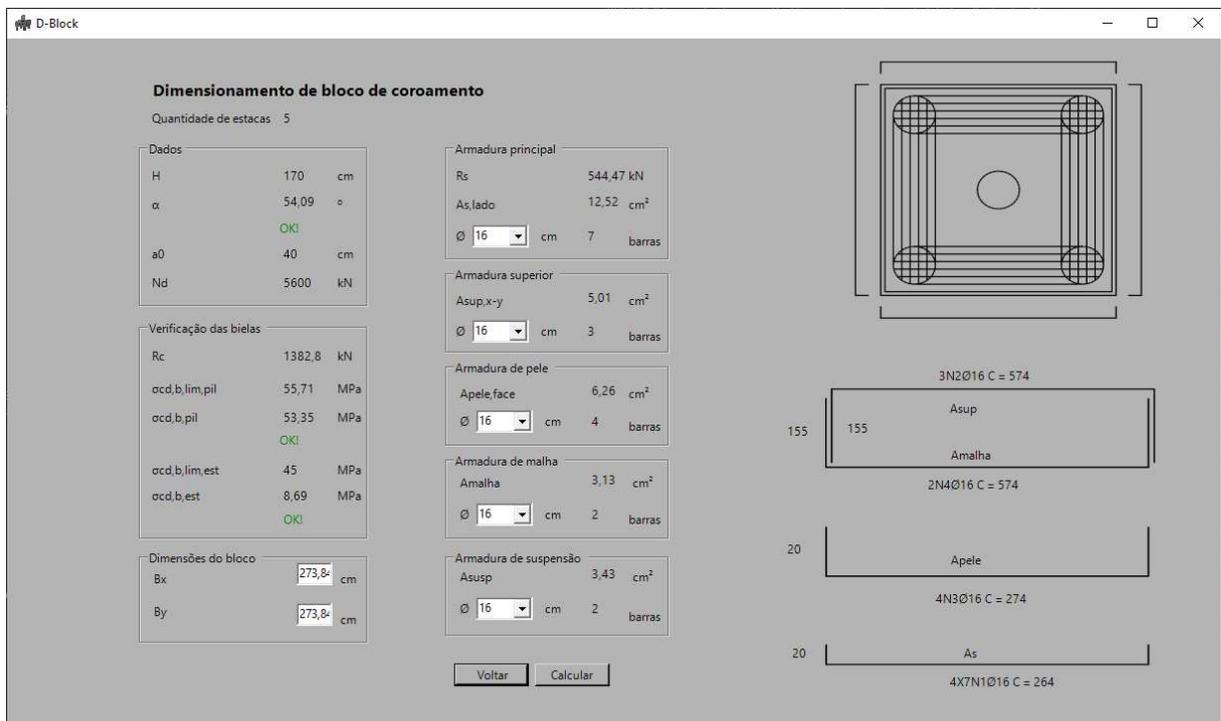


Figura 39 - Tela de resultados do exemplo 4.4.1

Fonte: Autor

A planilha de Musso (2022) realiza o cálculo de armação em malha, por isso considerou-se para comparação de resultados os valores totais da armação principal. E é possível observar que neste exemplo obteve-se um valor muito próximo entre o calculado no programa e na planilha.

Tabela 5 – Comparação exemplo 4.4.1.

	Comparativo de resultados		
	Musso	Programa	%
$A_{s,total}$	51,5 cm ²	50,1 cm ²	103%

4.4.2. EXEMPLO 2 MUSSO (2022)

Para este exemplo foram utilizados os seguintes dados: f_{ck} de 30MPa, diâmetro das estacas de 50cm, espaçamento entre estacas de 130cm, altura útil de 150cm, pilar de dimensões 60x60cm, força vertical de 3600kN, M_x de 300 kN.m e M_y de 200 kN.m. A entrada dos dados pode ser visualizada na figura 40 e os resultados na figura 41.

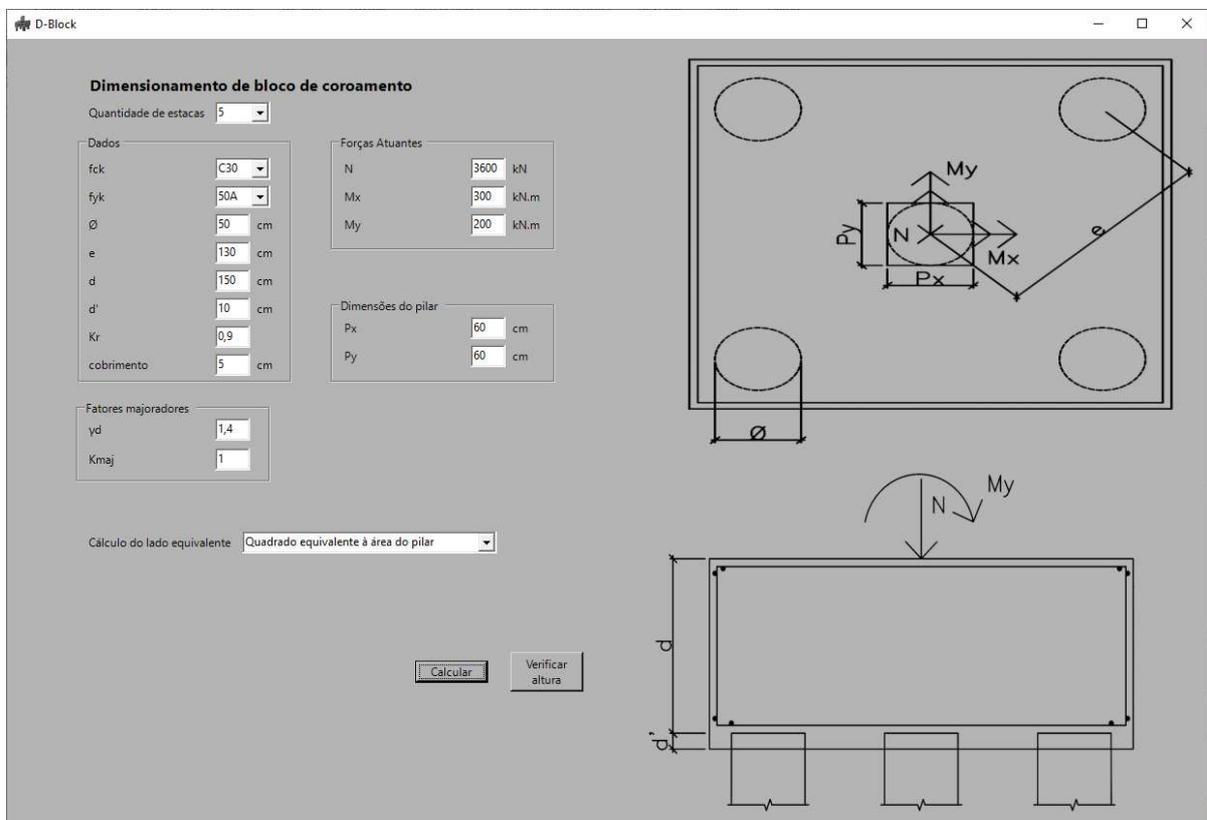


Figura 40- Tela de entrada de dados do exemplo 4.4.2

Fonte: Autor

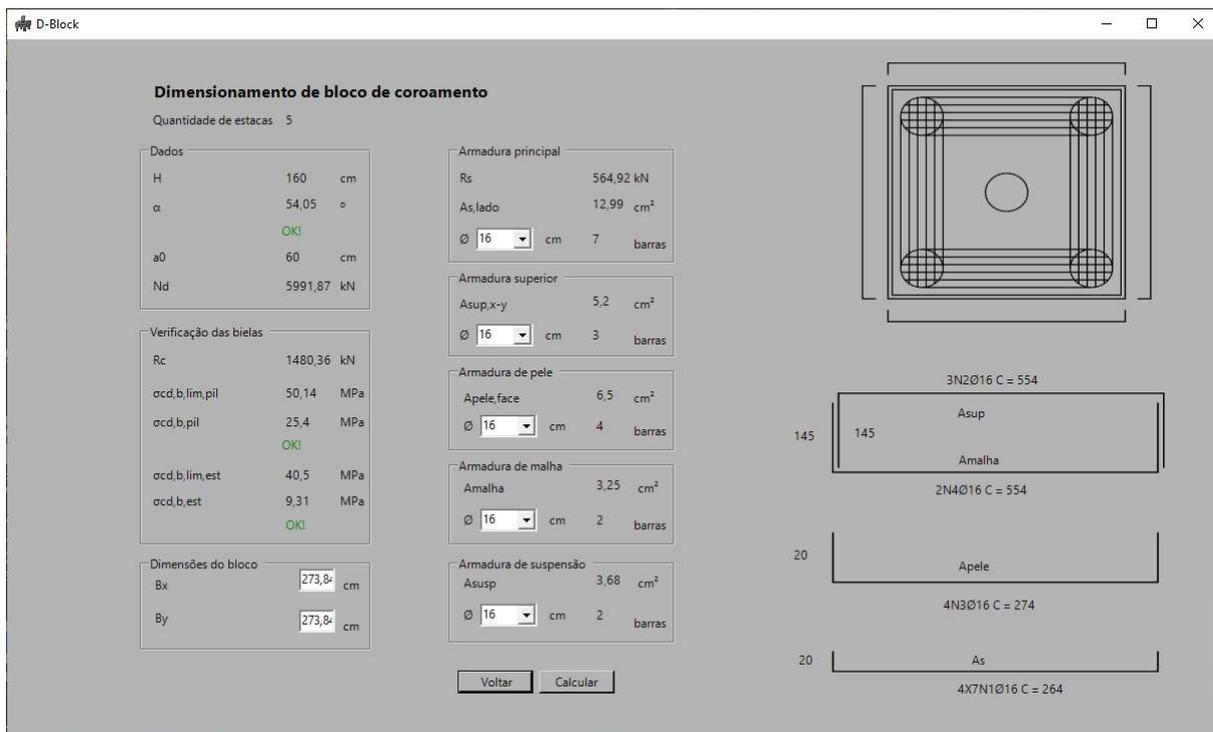


Figura 41 - Tela de resultados do exemplo 4.4.2

Fonte: Autor

Novamente, a planilha de Musso (2022) realiza os cálculos de armadura principal em malha, então, foi feito o mesmo tratamento de dados que no exemplo anterior. Novamente os valores são próximos ao esperado.

Tabela 6 – Comparação exemplo 4.4.2.

	Comparativo de resultados		
	Musso	Programa	%
As,total	54,2 cm ²	52,0 cm ²	104%

4.5. BLOCOS SOBRE SEIS ESTACAS

4.5.1. EXEMPLO TQS

Foram adotados os seguintes valores para este exemplo: fck de 30MPa, diâmetro da estaca de 50cm, espaçamento entre estacas de 130cm, altura útil de 140cm, força vertical de 4000 kN e dimensões do pilar de 70x70cm. A entrada dos dados no programa pode ser visualizada na figura 42 e a saída dos resultados na figura 43.

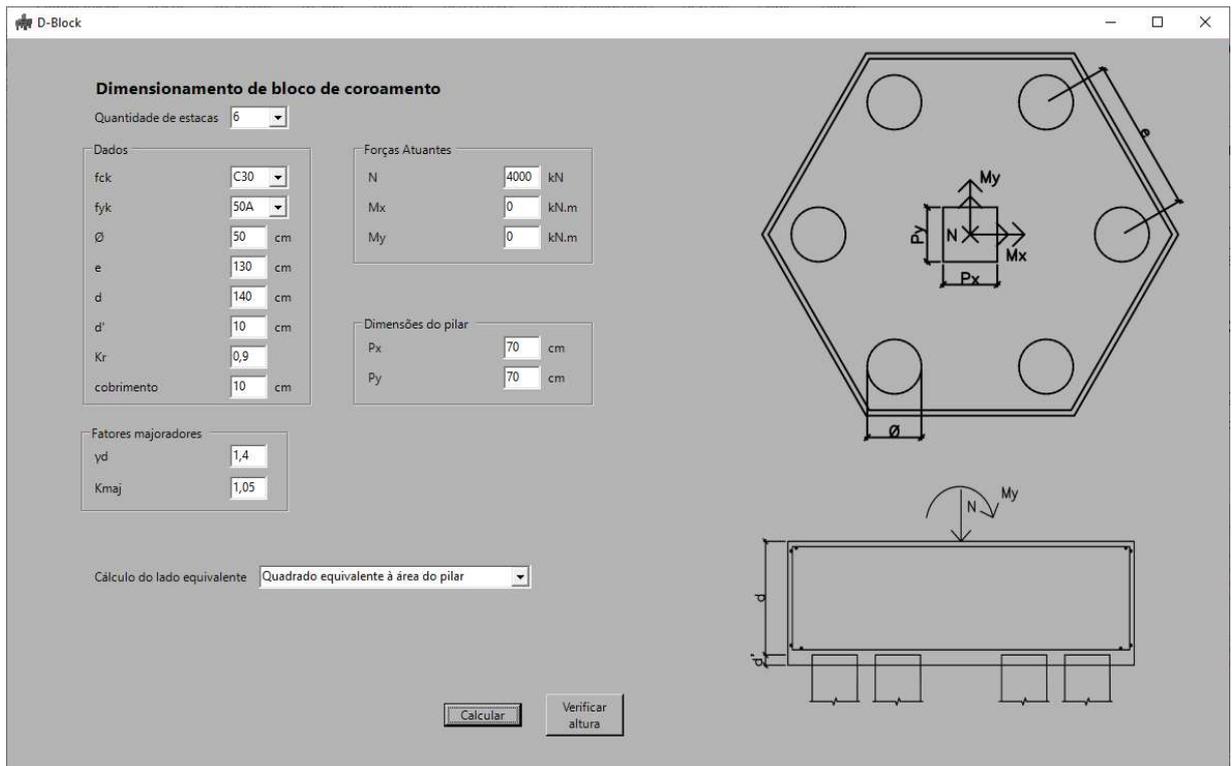


Figura 42 - Tela de entrada de dados do exemplo 4.5.1

Fonte: Autor

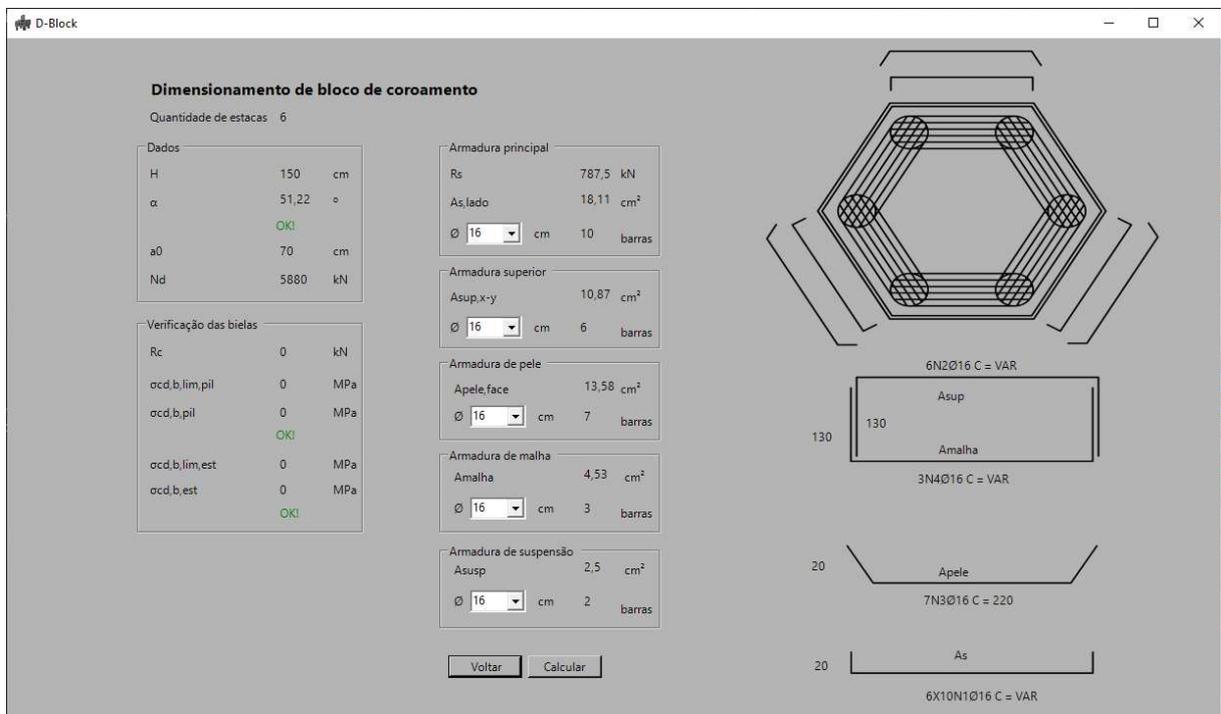


Figura 43 - Tela de resultados do exemplo 4.5.1

Fonte: Autor

Neste exemplo comparou-se apenas a armadura total, pois o programa não realiza verificações em bielas para o bloco sobre 6 estacas. Conforme indicado por Bastos (2020), apenas a verificação de altura do bloco já basta para o bloco de 6 estacas.

Tabela 7 – Comparação exemplo 4.5.1.

	Comparativo de resultados		
	TQS	Programa	%
As,total	123,0 cm ²	108,7 cm ²	113%

Como pode ser observado, o resultado fornecido pelo programa desenvolvido é consistente com o obtido pelo TQS, que é um programa comercial muito utilizado para a elaboração de projetos estruturais.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um programa computacional em *Visual Basic* que realiza o dimensionamento de blocos de coroamento de duas a seis estacas. Para isso, foi utilizado a metodologia de cálculo de do método de bielas, desenvolvido por Blévo, tendo como principal referência Bastos (2020). O software utilizado para o desenvolvimento deste aplicativo foi o *Microsoft Visual Studio 2019*.

Foram desenvolvidas também figuras para melhorar o entendimento e facilitar o uso do programa com o software *AUTOCAD* e *GIMP*. Além disso, foram realizados distintos exemplos, evidenciando o dimensionamento correto dos blocos para duas, três, quatro, cinco e seis estacas. Foram feitas comparações com o software profissional *TQS* e exemplos de trabalhos e apostilas acadêmicas.

A ferramenta computacional desenvolvida tem como utilidade ajudar alunos que buscam aprender sobre o dimensionamento de blocos de coroamento e auxiliar no dimensionamento de blocos na prática, entregando resultados rápidos para validação dos cálculos.

Constata-se a importância de fomentar a busca pelo aprendizado de desenvolvimento de softwares. Com o desenvolvimento tecnológico cada vez mais rápido e o uso de programas cada vez mais presente, é fundamental que engenheiros se posicionem como peças atuantes nesse cenário, gerando recursos computacionais e aumentando a produtividade de seus setores. O software também auxilia no processo de estudo, permitindo uma rápida verificação de resultados.

Além do fato que o desenvolvimento computacional leva ao maior entendimento do assunto abordado.

Por fim, pode-se concluir que o trabalho cumpre os objetivos propostos com o desenvolvimento do software *D-Block* e sua validação com exemplos.

Uma vantagem dos trabalhos relacionados ao desenvolvimento de ferramentas computacionais é a possibilidade de sempre adicionar recursos e funcionalidades ao programa facilmente. É possível propor trabalhos futuros que utilizam este como base para alcançar resultados ainda maiores. Como exemplo pode-se desenvolver o dimensionamento de blocos com mais estacas, o dimensionamento com outras metodologias de cálculo, desenvolver memórias de cálculo, desenvolver scripts em *lisp* para gerar o detalhamento dos blocos diretamente em um arquivo *dwg* e até mesmo desenvolver um módulo de cálculo para dimensionamento das estacas, integrando as disciplinas de engenharia estrutural e geotécnica.

6. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. 2019

BASTOS, P.S. (2020): **Blocos de fundação**. Universidade Estadual Paulista. Bauru, SP.

DELALIBERA, R.G. (2006). Análise numérica e experimental de blocos de concreto armado sobre duas estacas submetidos à ação de força centrada e excêntrica. Tese (Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos.

DELALIBERA, R.G. (2013). Introdução ao dimensionamento estrutural de elementos de fundações- Catalão, Goiás.

MUNHOZ, F.S. (2014). Análise experimental de blocos rígidos sobre duas estacas com pilares de seções quadradas e retangulares e diferentes taxas de armadura. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos/USP, Universidade de São Paulo.

TOMAZ, A.G.S. (2016). Dimensionamento ótimo de bloco sobre estacas. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES.

ARAÚJO, J.M. (2014). Curso de concreto armado. Rio Grande: Dunas, 2014. v.3, 4

ed.

CARVALHO, R.C.; PINHEIRO, L.M. (2009). Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. São Paulo: Pini, 2009. v.2.

MACHADO, C.P. Edifícios de Concreto Armado - Fundações. São Paulo, FDTE/EPUSP, 1985.

NETO, F.M.M. Desenvolvimento de programa computacional para dimensionamento de blocos de coroamento – Trabalho de conclusão de curso. João Pessoa, UFPB, 2017.

MUSSO, F.J. (2022). Dimensionamento de estruturas de concreto armado de acordo com a NBR 6118:2014. Univesidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES.

PIFFER, V.S. (2014). Algoritmo computacional para cálculo de blocos de fundação do tipo rígido. Univesidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES.

Blocos sobre Estacas. TQS Docs.