



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS, TECNOLÓGICAS E HUMANAS
CURSO DE INTERDICPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

AMANDA TAVARES RIBEIRO DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS
RÍGIDOS SOBRE ESTACAS UTILIZANDO O MÉTODO DAS BIELAS E
TIRANTES.**

CARAÚBAS
2018

AMANDA TAVARES RIBEIRO DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS
RÍGIDOS SOBRE ESTACAS UTILIZANDO O MÉTODO DAS BIELAS E
TIRANTES.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Manoel Denis Costa Ferreira,
Prof. Dr.

CARAÚBAS
2018

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial Campus Caraúbas (BSCC)
Setor de Informação e Referência

S725d Souza, Amanda Tavares Ribeiro de.

Desenvolvimento de Software para dimensionamento de blocos rígidos sobre estacas utilizando o Método das Bielas e Tirantes. / Amanda Tavares Ribeiro de Souza. – Caraúbas, 2018.

77 f. : il.

Orientador: Manoel Denis Costa Ferreira.

Monografia (Graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2018.

1. Armadura. 2. Detalhamento de Armadura. 3. Treliça.
4. Python. 5. Matplotlib. I. Título.

AMANDA TAVARES RIBEIRO DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS
RÍGIDOS SOBRE ESTACAS UTILIZANDO O MÉTODO DAS BIELAS E
TIRANTES.**

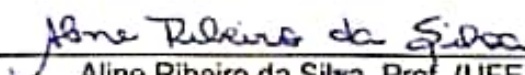
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 12 / 09 / 2018.

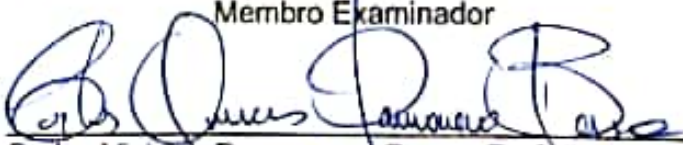
BANCA EXAMINADORA



Manoel Denis Costa Ferreira, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Aline Ribeiro da Silva, Prof. (UFERSA)
Membro Examinador



Carlos Vinicius Damasceno Bessa, Prof. (UFERSA)
Membro Examinador

*Dedico este trabalho à Deus e
À minha família*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente à Deus, razão de todas os méritos em minha vida, de cada passo, de cada decisão e de cada escolha.

Agradeço aos meus pais, Joana Alves e Rivaldo Tavares, que com um amor incondicional me mantiveram nessa jornada, e ao meu irmão, Felipe Tavares que me apoiou e me auxiliou na caminhada universitária.

Agradeço ao meu amado noivo, Ewerton Dantas, que tanto me apoiou, me acalentou, me acalmou e em mim acreditou durante cada árdua etapa de minha formação.

Agradeço a toda a minha família, na pessoa de minha avó materna, Arlinda Maria, que com um amor tão puro e encantador sempre teve palavras de conforto nas horas mais difíceis.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Manoel Denis Costa Ferreira por ter aceitado a proposta de me orientar nesta reta final, e se mostrar sempre disposto a me transmitir seus conhecimentos.

Agradeço a Banca Examinadora pelas contribuições feitas a este trabalho, e de forma mais ampla, à minha vida acadêmica.

Agradeço a todos os Mestres e Doutores com quem tive a honra de aprender durante esse percurso.

Agradeço aos meus Amigos que sempre foram apoio nos estudos e nos momentos de lazer, em especial a Luana Ferreira, Antônia Naiane, Aline Gomes, Beatriz Medeiros, Sayonara Alves, Johab de Galiza, e a galera do 'GRUPO É GRUPO': Pedro Henrique, Willian Fagner, Leandro Bezerra, Jardel Figueiredo, Nilton Menezes e Ailton. E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que esse sonho se concretizasse.

“Não existe triunfo sem perda,
Não há vitória sem sofrimento,
Não há liberdade sem sacrifício. “

John Ronald Revel Tolkien

RESUMO

Na engenharia estrutural, utiliza-se modelos de cálculos para efetivação dos cálculos estruturais, e com isso, o projetista pode realizar a análise da estrutura, geralmente, o projetista tem que realizar este cálculo sucessivas vezes, e fazer isto manualmente aumenta a probabilidade de erros estruturais e dificulta a simulação em um mesmo projeto com diversas situações possíveis, o que limita o conhecimento mais realista a respeito do comportamento da estrutura nessas situações específicas. Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um software, em linguagem de programação Python, capaz de realizar a análise, o dimensionamento e o detalhamento de blocos sobre estacas segundo o modelo proposto. Este software entra no mercado como um programa computacional capaz de auxiliar os engenheiros projetistas nas propostas de projetos estruturais, e como alternativa de diminuição de erros, sendo esta uma ferramenta de fácil e prática aplicação, para, por exemplo, realizar simulações de projetos estruturais, sem precisar fazer os cálculos manualmente sucessivas vezes. O software foi avaliado por meio de testes de comparação entre os resultados teóricos e os resultados por ele apresentados para um mesmo exemplo de aplicação do método na prática, e obteve-se resultados excelentes e um ótimo desempenho tanto nos cálculos quanto no detalhamento.

Palavras-chave: Armadura. Detalhamento de armadura. Trelça. Python. Matplotlib.

ABSTRACT

In structural engineering, we use calculation models to perform structural calculations, and with this, the designer can perform the analysis of the structure, usually the designer has to perform this calculation successively, and doing so manually increases the probability of errors it is difficult to simulate the same project with several possible situations, which limits the more realistic knowledge about the behavior of the structure in these specific situations. This work aims to present the development of software, in Python programming language, capable of performing the analysis, dimensioning and detailing of blocks on piles according to the proposed model. This software enters the market as a computational program capable of assisting the design engineers in the proposals of structural projects, and as an alternative of error reduction, being this a tool of easy and practical application, for example, to carry out simulations of structural, without having to do the calculations manually successively times. The software was evaluated by means of comparative tests between the theoretical results and the results it presented for the same example of application of the method in practice, and obtained excellent results and excellent performance in both calculations and detailing.

Keywords: Armor. Detail of armor. Trellis. Python. Matplotlib.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplificação da aplicação do bloco rígido	18
Figura 2 - Bloco com estacas tracionadas	19
Figura 3 - Possível fissuração que exige armadura de suspensão no bloco sobre três estacas	20
Figura 4 - Representação do conjunto estrutural pilar/bloco/estacas	25
Figura 5 - Esquema do Método em perspectiva, com bielas (barras vermelhas) e tirantes (barras verdes)	27
Figura 6 - Representação das dimensões utilizadas nas expressões dadas	29
Figura 7 - Funcionamento estrutural básico dos blocos.....	30
Figura 8 - Corte e planta baixa para blocos sobre duas estacas	32
Figura 9 - Representação do triângulo retângulo formado entre a face inferior do pilar, a biela e o topo da estaca.	33
Figura 10 - Corte e planta baixa para blocos sobre três estacas	34
Figura 11 - Representação do triângulo retângulo formado entre a face inferior do pilar, a biela e o topo da estaca.	35
Figura 12 - Corte e planta baixa para blocos sobre quatro estacas.....	36
Figura 13 - Representação do triângulo retângulo formado entre a face inferior do pilar, a biela e o topo da estaca.	37
Figura 14 - Corte e planta baixa para blocos sobre cinco estacas	38
Figura 15 - Representação do triângulo retângulo formado entre a face inferior do pilar, a biela e o topo da estaca.	39
Figura 16 - Corte e planta baixa para blocos sobre seis estacas	40
Figura 17 - Representação do triângulo retângulo formado entre a face inferior do pilar, a biela e o topo da estaca.	41
Figura 18 - Diagrama de corpo livre do nó junto à estaca	45
Figura 19 - Código com desenvolvimento da 'CLASSE_ESFORCOS'	51
Figura 20 - Código com desenvolvimento da 'CLASSE_BLOCOS'	52
Figura 21 - Comandos utilizados para promover a interação com o usuário.....	53
Figura 22 - Inicialização de cálculos na biblioteca "math"	54
Figura 23 - Representação dos "estrutura de tomada de decisão" quanto ao número de estacas	55
Figura 24 - Verificação da condição exigida pela norma para blocos rígidos	56
Figura 25 - Representação do comando utilizado para a finalização do "laço de teste"	56
Figura 26 - Código para detalhamento/ Biblioteca Matplotlib.....	57
Figura 27 - Comandos utilizados no detalhamento das armaduras	58
Figura 28 - Representação do bloco sobre 3 estacas e suas dimensões.....	59
Figura 29 - Interação do Software com usuário na inserção dos parâmetros.....	64
Figura 30 - Resultados dos cálculos de dimensionamento	65
Figura 31 - Sugestões das possíveis barras e bitolas para a execução da fundação	65
Figura 32 - Detalhamento do bloco gerado pelo programa.....	66
Figura 33 - Representação do bloco sobre 4 estacas e suas dimensões.....	67
Figura 34 - Interação do Software com usuário na inserção dos parâmetros.....	72
Figura 35 - Resultados do dimensionamento do bloco sobre 4 estacas.....	73
Figura 36 - Sugestões de barras e bitolas segundo as áreas de aço	73
Figura 37 - Opções de escolha para o usuário determinar as barras desejadas.....	74
Figura 38 - Detalhamento gerado pelo programa para bloco sobre 4 estacas	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivos específicos:.....	16
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	BLOCOS.....	17
2.1.1	Blocos rígidos.....	17
2.1.1.1	Detalhamento de Blocos Rígidos	18
2.1.1.1.1	Armadura de Flexão	18
2.1.1.1.2	Armadura de Distribuição	19
2.1.1.1.3	Armadura de suspensão.....	19
2.1.1.1.4	Armadura de arranque dos pilares	20
2.1.1.1.5	Armadura lateral e superior	20
2.1.2	Blocos Flexíveis.....	21
2.1.2.1	Detalhamento de Blocos Flexíveis	21
2.2	ESTACAS	21
2.3	BLOCOS SOBRE ESTACAS	25
2.4	MÉTODO DE BIELAS E TIRANTES	26
2.4.1	Modelo de cálculo	28
2.4.1.1	Aplicação do Método das Bielas e Tirantes em blocos rígidos.....	29
2.4.1.1.1	Blocos sobre duas estacas.....	32
2.4.1.1.2	Blocos sobre três estacas	34
2.4.1.1.3	Blocos sobre quatro estacas.....	36
2.4.1.1.4	Blocos sobre cinco estacas.....	38
2.4.1.1.5	Blocos sobre seis estacas	40
2.4.1.2	Cálculo das Armaduras.....	45
2.4.1.2.1	Armadura principal de tração	46
2.4.1.2.2	Verificação do cisalhamento por força cortante.....	47
2.4.1.2.3	Armadura de pele.....	47
2.4.1.2.4	Armadura de suspensão.....	48
3	MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1	MÉTODOS.....	49
3.1.1	Escolha da linguagem de programação.....	49
3.1.2	Desenvolvimento das classes em <i>Python</i>	50
3.1.3	Processamento matemático de dados e determinações da norma técnica.	52
3.1.4	Detalhamento do bloco – Desenvolvimento gráfico em <i>Python</i>	57
4	RESULTADOS	59
4.1	DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE 3 ESTACAS.....	59
4.1.1	Dimensionamento seguindo o modelo de cálculo manualmente.....	60
4.1.2	Dimensionamento segundo o Software	63
4.2	DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE 4 ESTACAS.....	67
4.2.1	Dimensionamento seguindo o modelo de cálculo manualmente.....	67
4.2.2	Dimensionamento segundo o Software	71
5	CONCLUSÃO	76
	REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

Desde a Pré-história, quando o homem se tornou um ser sedentário, já se tem registros das primeiras edificações, estas foram acompanhando a evolução do homem, como também a evolução do conhecimento humano quanto à geotécnica. Na Era Paleolítica, em busca de conforto térmico e abrigo para se proteger dos animais, os homens habitavam as cavernas e quando não as tinha, faziam-se escavações no solo para se abrigar em túneis subterrâneos.

Com a evolução, na Era Neolítica, também conhecida como Era da 'Pedra Lascada', quando o homem passa a desenvolver habilidades com pedras, ele se torna apto para construir suas próprias habitações, adquirindo com isso, uma noção preliminar da necessidade de se ter estabilidade na obra estrutural, como também de conhecer as características de resistência do material sobre o qual aquela estrutura se apoia, o solo.

Nesta época, eram feitos apoios de madeira e estes eram responsáveis por dissipar as tensões geradas pela estrutura no solo, entretanto, ainda não se tinha todo o conhecimento a respeito das características de cada solo e seu comportamento diante da exposição a certas tensões. E com a busca constante por melhor resultado no comportamento estrutural da construção, surgiam as primeiras fundações, onde, proporcionalmente, ao aumento da estrutura, aumentava-se também a resistência dos seus apoios, e com isso inicia-se o uso de pedras sobrepostas, muitas vezes em sua forma natural, e com auxílio de cascalho eram preenchidos seus vazios, estes apoios são comparados com as fundações, hoje feitas de tijolos e usadas em pequenas obras.

Em locais em que havia maior fragilidade no solo, colocava-se uma camada de um outro tipo de material que considerassem mais resistente ou misturava-se o solo já existente com cascalhos ou cinzas, em algumas situações que lhes pareciam mais delicadas, quanto ao solo, usava-se estacas de madeira, como fundação mais profunda e cravada. E com o passar do tempo, até os dias de hoje, a evolução quanto a construção civil continua, e hoje temos diversos tipos de fundações e técnicas possíveis para executá-las.

Surgiram então, na contemporaneidade, normas que redigem a execução dessas fundações e dão especificações essenciais para sua aplicação. Com estas, e o avanço geotécnico, surgem inúmeros tipos de fundações, para diversas situações estruturais. Dentre eles temos os blocos apoiados em estacas.

E para melhor compreensão desse tipo de fundação, a NBR 6118 define os blocos como estruturas volumétricas usadas para transmitir às estacas e aos tubulões as cargas de fundação, podendo ser considerados rígidos ou flexíveis por critério análogo ao definido para sapatas.

A análise de blocos sobre estacas pode ser realizada para um número de n estacas, e esta configuração depende, principalmente, da capacidade da estaca em relação à estrutura trabalhada e as características do solo em que estas estão alocadas. Blocos sobre uma ou duas estacas são mais comuns em estruturas de pequeno porte, como residências, por exemplo, no entanto para estruturas maiores utiliza-se um número maior de estacas, tendo em vista que a força vertical a ser suportada aumenta com o tamanho da estrutura, exigindo assim uma resistência maior de sustentação.

O modelo de cálculo mais utilizado para dimensionamento de blocos no Brasil é o “Método das Bielas” (Blévyot, de 1967), e como em todos os métodos de análise e dimensionamento de estrutura, tem-se como principal objetivo garantir a segurança da estrutura, e respeitar as condições aceitáveis de utilização da mesma, sendo que, as premissas para se atingir tais objetivos estão presentes nas normas técnicas. A segurança em relação aos estados limites últimos é garantida mantendo as solicitações atuantes inferiores às resistentes, e, para isso, ao aplicar-se o método de Bielas e Tirantes ao dimensionamento de blocos sobre estacas deve-se obedecer às diretrizes presentes na norma NBR 6118, e, com isso, manter as variáveis e grandezas, que foram utilizadas no dimensionamento, dentro das limitações de segurança.

Na engenharia estrutural, utiliza-se modelos de cálculos para efetivação dos cálculos estruturais, e com isso, o projetista pode realizar a análise da estrutura, entretanto, na atualidade, a busca por menores custos e mais qualidade no projeto faz com que o engenheiro projetista tenha, geralmente, que realizar este cálculo sucessivas vezes, e realizar esses cálculos manualmente aumenta a probabilidade de erros estruturais e dificulta a simulação em um mesmo projeto com diversas situações possíveis, o que limita o conhecimento mais realista a respeito do comportamento da estrutura nessas situações específicas.

Diante desta problemática, de que forma o desenvolvimento de um software, capaz de realizar a análise e o dimensionamento de blocos sobre estacas de fundação,

utilizando o modelo de bielas e tirantes, pode resolver este problema de forma mais rápida, eficiente e apresentar resultados interativos e realista para os usuários?

Na construção civil, tem-se cada vez mais buscado aperfeiçoamentos técnicos que sejam capazes de minimizar os erros e falhas ocorridas desde a criação do projeto estrutural, até a sua execução. E para alcançar o objetivo almejado tem-se o auxílio dos programas computacionais, que entram no mercado como alternativa de diminuição de percentuais de erros, como também de facilitação e praticidade na aplicação, para, por exemplo, realizar simulações de projetos estruturais, sem precisar fazer os cálculos manualmente sucessivas vezes.

Além disso, a aplicação do modelo a partir do software permite ao engenheiro projetista estrutural uma clara percepção do comportamento estrutural do elemento em análise quando aplicados a ele determinados carregamentos, que neste podem ser alterados e verificados de forma realista e prática.

Diante disso, o presente trabalho retrata o desenvolvimento de um software capaz de realizar análises e dimensionamento de blocos por meio do modelo de bielas e tirantes. Para construção do software utilizou-se a linguagem *Python*, e aplicando princípios e noções básicas do conhecimento computacional realizou-se a transcrição do modelo de cálculo do dimensionamento, segundo o método abordado, prescrito por norma, na linguagem escolhida.

O software foi concebido de forma a facilitar a inserção ou retirada de esforços sobre a estrutura e a escolha dos diâmetros das barras de aço, que são mais viáveis economicamente e que não irão interferir de forma alguma na eficiência da estrutura, tendo em vista que o programa sugere os números de barras e bitolas que estão adequadas normativamente para aquele projeto específico.

O programa também apresenta para cada situação, ilustrações gráficas que apresentam o detalhamento das armaduras dos blocos, permitindo assim, a adequação de forma segura e responsável do projeto a um plano orçamentário mais acessível, diminuindo o custo da obra, sem diminuir, portanto, a eficiência estrutural do projeto.

Diante dos testes realizados no programa, com a resolução de problemas práticos e a comparação dos resultados obtidos pelo software com os resultados teóricos apresentados, torna-se possível observar a eficiência do programa, tanto na

execução dos cálculos de dimensionamento quanto na interação com o usuário e no detalhamento apresentado.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de um software, em linguagem de programação Python, capaz de realizar a análise e o dimensionamento de blocos rígidos sobre estacas utilizando o método das bielas e tirantes.

1.1.1 Objetivos específicos:

- Compreender o dimensionamento de Blocos pelo Método de Bielas e Tirantes.
- Desenvolver um software para dimensionamento para análise e dimensionamento de blocos de fundação utilizando o Método de Bielas e Tirantes.
- Realizar testes e verificar os resultados obtidos com a ferramenta computacional desenvolvida.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 2, trata a fundamentação teórica a respeito de blocos rígidos e o uso do método de bielas e tirantes no dimensionamento dos blocos.

No capítulo 3, é apresentado os procedimentos utilizados para o desenvolvimento do software, como comandos e detalhamento da organização do código.

O capítulo 4, reúne os resultados obtidos no software, seu desempenho e uma comparação real com exemplos de geometria distintas no dimensionamento feito manualmente e com auxílio do software.

No capítulo 5, descreve-se a conclusão do trabalho e proposta para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BLOCOS

Segundo Oliveira (2009), blocos sobre estacas ou blocos de coroamento são elementos estruturais usados para transferir as ações da superestrutura para um conjunto de estacas. São encontrados em infra-estruturas de pontes e edifícios. O conhecimento de seu real comportamento estrutural é de fundamental importância, pois são elementos estruturais que garantem a segurança de toda a estrutura. Os blocos podem ainda ser classificados, segundo seu comportamento estrutural, em dois tipos, blocos rígidos ou blocos flexíveis. Veja a seguir.

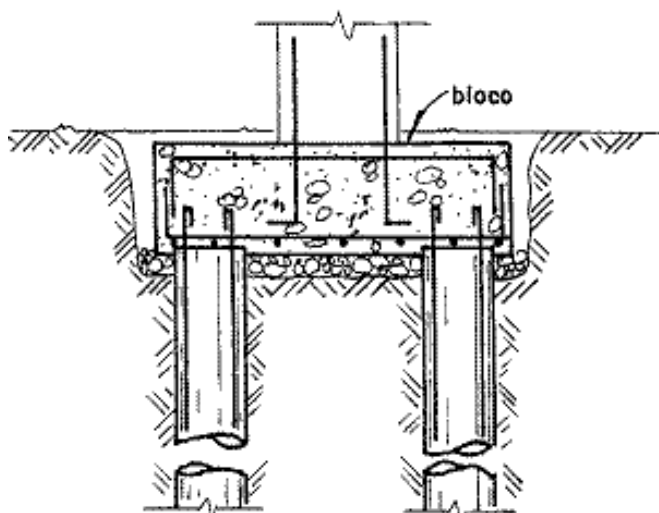
2.1.1 Blocos rígidos

Como dito anteriormente, o tipo de bloco é diferenciado a partir de seu comportamento estrutural, a NBR 6118 estabelece que Blocos rígidos são denotados desta forma pela caracterização de seu comportamento estrutural, dado por apresentar:

- a) trabalho à flexão nas duas direções, mas com trações essencialmente concentradas nas linhas sobre as estacas (reticulado definido pelo eixo das estacas, com faixas de largura igual a 1,2 vezes seu diâmetro);
- b) forças transmitidas do pilar para as estacas essencialmente por bielas de compressão, de forma e dimensões complexas;
- c) trabalho ao cisalhamento também em duas direções, não apresentando ruínas por tração diagonal, e sim por compressão das bielas, analogamente às sapatas.

A norma afirma ainda que, para cálculo e dimensionamento dos blocos, são aceitos modelos tridimensionais lineares ou não lineares e modelos biela-tirante tridimensionais. E regido pela norma o presente trabalho tratará do dimensionamento de blocos sobre estacas segundo este último modelo. Na Figura 1 tem-se a exemplificação da utilização desse bloco.

Figura 1 - Exemplificação da aplicação do bloco rígido



Fonte: Bastos (2017)

2.1.1.1 Detalhamento de Blocos Rígidos

O detalhamento de blocos rígidos prescritos pela NBR 6118:2014 que trata de 'Projetos de estruturas de concreto-Procedimento', descreve as atribuições dadas às armaduras necessárias na execução do mesmo. De forma geral, a norma estabelece que todas as armaduras devem ser ancoradas de forma que as forças a que estejam submetidas sejam transmitidas ao concreto integralmente, seja por aderência, por dispositivos mecânicos ou pela combinação de ambos.

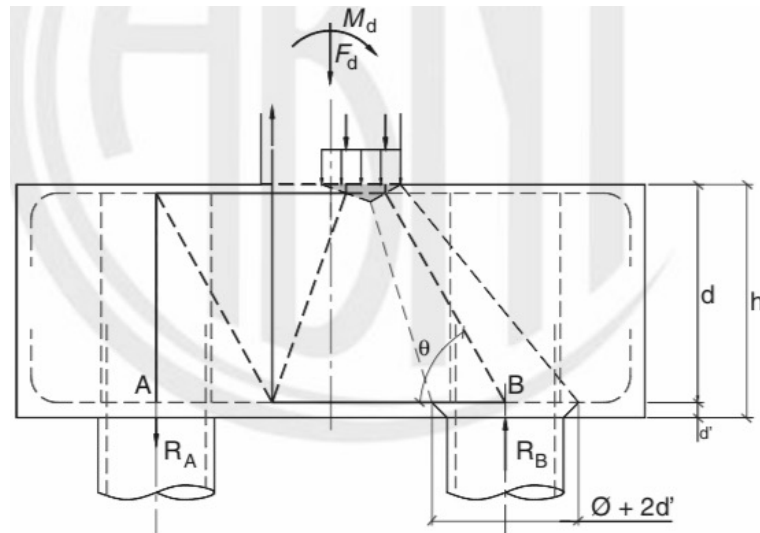
2.1.1.1.1 Armadura de Flexão

A armadura de flexão deve ser disposta essencialmente nas faixas definidas pelas estacas, considerando o equilíbrio com as respectivas bielas. A norma estabelece ainda um mínimo de 85 % nessa distribuição, e define que as barras devem se estender face a face do bloco e terminar com gancho nas duas extremidades.

Deve-se garantir a ancoragem das armaduras de cada uma dessas faixas, sobre as estacas, medida a partir das faces interna das estacas. Pode ser considerado o efeito favorável de compressão transversal às barras, conseguinte da compressão das bielas. No caso de estacas tracionadas, a armadura deve ser ancorada no topo do

bloco, conforme ilustra a Figura 2. E alternativamente, podem ser usados estribos que garantam a transferência da força de tração até o topo do bloco.

Figura 2 - Bloco com estacas tracionadas



Fonte: NBR 6118 (2014)

2.1.1.1.2 Armadura de Distribuição

Para controlar a fissuração, a norma determina que deve ser prevista armadura positiva adicional, independente da armadura principal de flexão, em malha uniformemente distribuída em duas direções para 20 % dos esforços totais.

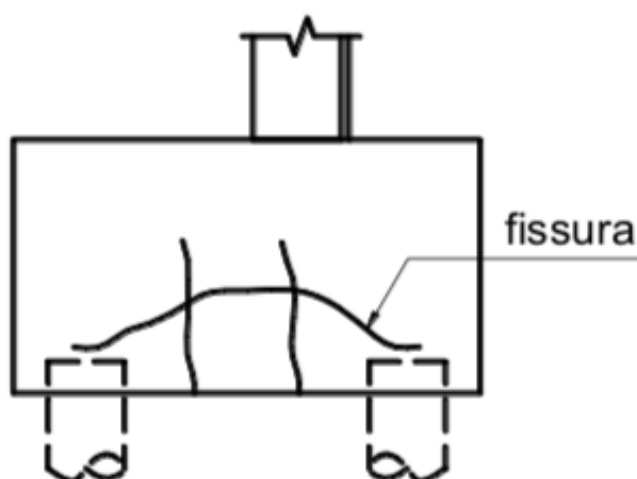
2.1.1.1.3 Armadura de suspensão

A NBR 6118 especifica que se for prevista armadura de distribuição para mais de 25 % dos esforços totais ou se o espaçamento entre estacas for maior que 3 vezes o diâmetro da estaca, deve ser prevista armadura de suspensão para a parcela de carga a ser equilibrada.

A função da armadura de suspensão é evitar o surgimento de fissuras nas regiões entre as estacas, como exemplificado na Figura 3, que podem ocorrer como consequência da formação de bielas de concreto comprimido que transferem partes

da carga do pilar para as regiões inferiores do bloco, entre as estacas, e que se apoiam nas armaduras paralelas aos lados. Disso surgem tensões de tração que devem ser resistidas pela armadura de suspensão, a qual suspende as forças de tração para a região superior do bloco, e que daí caminham para as estacas.

Figura 3 - Possível fissuração que exige armadura de suspensão no bloco sobre três estacas



Fonte: Bastos (2017)

2.1.1.1.4 Armadura de arranque dos pilares

A norma determina que o bloco deve ter altura suficiente para permitir a ancoragem da armadura de arranque dos pilares. Nessa ancoragem pode-se considerar favorável o efeito de compressão transversal às barras decorrente da flexão do bloco.

2.1.1.1.5 Armadura lateral e superior

Quanto a armadura lateral e superior, esta só se torna indispensável quando no bloco existirem duas ou mais estacas em uma única linha. Entretanto, sabe-se que se excetuando blocos sobre duas estacas, blocos sobre uma linha única de estacas são raros, desta forma, esta prescrição da norma não pode ser atribuída a blocos com três ou mais estacas que não estejam sobre a mesma linha.

Consequente, a norma mostra que em blocos de fundação de grandes volumes, é conveniente que se analise a necessidade de armaduras complementares, entretanto, não especifica o que são considerados blocos de grandes volumes, portanto, denota-se, segundo Bastos (2017), que estes são blocos sujeitos a uma maior possibilidade de ocorrência de fissuras, principalmente por efeito da retração e do calor do concreto gerado na hidratação do cimento.

2.1.2 Blocos Flexíveis

Segundo Miguel (2000), se o espaçamento entre estacas for aumentado e se a altura do bloco não for compatível resultará em blocos flexíveis, ou seja, distâncias maiores entre estacas e alturas pequenas resultam blocos flexíveis, que têm comportamento semelhante às vigas de concreto armado.

2.1.2.1 Detalhamento de Blocos Flexíveis

A NBR 6118/2014 apresenta que para o bloco flexível: “Deve ser realizada uma análise mais completa, desde a distribuição dos esforços nas estacas, dos tirantes de tração, até a necessidade da verificação da punção”. E afirma ainda, que para detalhar esse bloco deve-se atender os requisitos relativos a lajes e punção.

Entretanto, estas definições estão apenas a título de conhecimento, tendo em vista que o presente trabalho não tratará deste tipo de bloco, apenas dos blocos rígidos.

2.2 ESTACAS

Segundo a NBR 6122/1996, estacas são elementos de fundação profundas e executadas inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de operário. Os materiais empregados na construção de estacas são: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in situ ou mistos. E o material com o qual ela é fabricada e sua forma de aplicação a classifica como um tipo distinto de estaca.

As estacas são elementos de fundação responsáveis por transmitir os esforços estruturais ao solo. E a transmissão das cargas para o solo é feita de duas formas,

pelo atrito lateral entre a estaca e o solo e pela resistência de ponta da estaca, sendo esta de menor atuação. Indispensavelmente, ao se escolher a estaca deve-se estar atento à carga admitida pela mesma, de acordo com o tipo escolhido. Para que desta forma, não haja prejuízos futuros quanto a capacidade estrutural do projeto.

Para escolha do tipo de estaca a ser utilizada, deve-se, indispensavelmente, realizar sondagens do solo sobre o qual será construída a edificação. Rabello (2008) afirma que apesar de não ser o processo mais perfeito de sondagem, o Ensaio de Penetração Normal – ou SPT, iniciais do termo em inglês “Standard Penetration Test”, é o mais utilizado, a partir deste ensaio, encontra-se o valor SPT de cada solo específico – número de golpes necessários nos últimos 30 cm de cada metro perfurado – a partir deste valor determina-se a resistência do solo naquela profundidade específica, e justamente para esta resistência que é feita a escolha da estaca adequada.

Os tipos de estacas são classificados de acordo com o material que é utilizado para sua fabricação, a forma de fabricação e ainda a forma com que é executada na obra. Na tabela abaixo estão descritos os principais tipos de estacas e sua caracterização

Tabela 1 - Principais tipos de estacas e suas atribuições

Tipo de Estaca	Processo de execução	Diâmetro da estaca	Profundidade máxima	Especificações
Estaca escavada ou Trado	Muito simples, tem como etapas principais a escavação, o posicionamento de armaduras e a concretagem. A escavação é realizada com trado helicoidal.	30 - 180 cm	70 metros	Pode ser utilizada em diferentes tipos de solo. Entretanto, em solos com presença de nível de água ou que apresentam camadas susceptíveis à desmoronamento devem ser tomados alguns cuidados especiais.

Fonte: Autoria Própria

Tabela 1 - Principais tipos de estacas e suas atribuições

Tipo de Estaca	Processo de execução	Diâmetro da estaca	Profundidade máxima	Especificações
Estaca Franki	Executado mecanicamente, utilizando um equipamento denominado bate-estaca, este é usado para cravação do tubo metálico. Para que o tubo seja cravado no solo, é colocado na sua ponta um volume de concreto seco, chamado de bucha, para que a cravação não danifique a estaca.	30 – 60 cm	35 metros	Pode ser construída em diferentes tipos de solo, com presença ou não de água. Entretanto, seu uso em locais próximos a edificações existentes deve ser avaliado criteriosamente, visto que a execução da estaca gera muita vibração do solo, o que pode comprometer edificações vizinhas.
Estaca Raiz	A escavação da estaca é feita por meio de perfuração rotativa ou roto-percussiva. Durante toda a escavação é utilizado revestimento metálico.	10 – 50 cm	60 metros	Possui ótima resistência à tração e seu equipamento é relativamente pequeno, o que possibilita seu uso em diversos tipos de situações. Entretanto, possui um maior custo orçamentário.
Estaca Hélice contínua	A escavação é feita por meio de um trado helicoidal que possui um tubo acoplado ao longo do seu eixo. Após a conclusão da escavação é feita a concretagem através do tubo acoplado com simultânea retirada do trado helicoidal.	27,5 – 100 cm	30 metros	Esta estaca possui inúmeras vantagens como alta capacidade de carga, baixa vibração do solo, alta produtividade, grande variação do diâmetro e monitoramento eletrônico durante a execução. Não podem ser utilizadas em solos com presença de matacões ou rocha sã.

Fonte: Autoria Própria

Tabela 1 - Principais tipos de estacas e suas atribuições

Tipo de Estaca	Processo de execução	Diâmetro da estaca	Profundidade máxima	Especificações
Estaca Pré-moldada de concreto	A cravação das estacas pode ser feita de três maneiras distintas, por meio vibração, percussão ou prensagem.	>40 cm	Fornecidas com 12 metros, mas permite-se que haja emendas, quando necessário.	Possuem um grande diferencial, que é o controle de qualidade, por serem elementos industrializados. Pode ser utilizado em diferentes tipos de solo. Mas, é inviabilizado nos grandes centros urbanos pela vibração causada.
Estaca de Metálica	Consiste na cravação dos elementos por meio de um bate-estaca. É importante estar atento ao tipo de solo onde estas estacas serão executadas, pois são inviáveis em solos muito duros ou com presença de muitos matacões.	-	-	Este tipo de estaca possui ótimo comportamento tanto à tração como compressão, além disso durante a execução produzem pouca vibração.
Estaca de Madeira	Elas fazem parte das estacas de deslocamento, pois são executadas sem a necessidade de escavar o solo. Os troncos de madeira são cravados no solo como uma estaca pré-moldada de concreto.	-	-	Este tipo de estaca funciona bem em situações submersas. Em locais onde há grande variação do nível da água é indicado evita-la, pois, a estaca poderá apodrecer nestas condições.

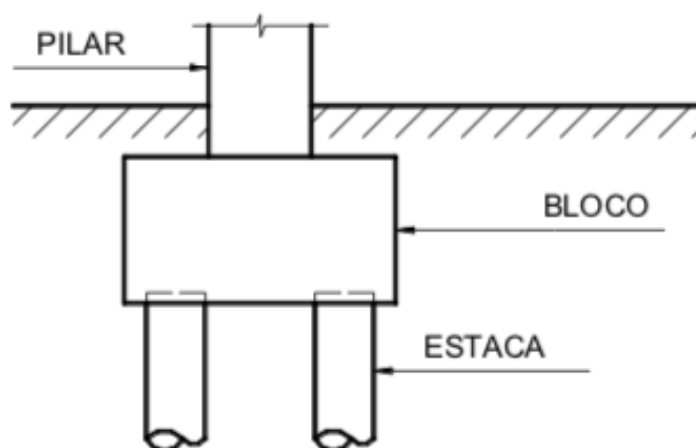
Fonte: Autoria Própria

*As estacas que não possuem diâmetro ou profundidade máxima, são dispostas de vários perfis e seus comprimentos variam de acordo com estes.

2.3 BLOCOS SOBRE ESTACAS

Para fundações diretas, a transmissão dos esforços da estrutura para o solo é feita diretamente pelo seu elemento de fundação: a sapata ou radier, por exemplo. Entretanto, para fundações profundas, geralmente, os esforços não podem ser transmitidos de forma direta, por exemplo, para transferir os esforços estruturais (cargas) exercidas no pilar para as estacas, necessita-se de um elemento ligante, que seja colocado entre eles, e este elemento será um bloco rígido de concreto armado, denominado de bloco de fundação ou bloco de estaca, sobre o qual trata-se neste trabalho. Veja a representação deste conjunto na Figura 4.

Figura 4 - Representação do conjunto estrutural pilar/bloco/estacas



Fonte: Palha (2016)

O conjunto estrutural bloco-estaca possui métodos de cálculo e dimensionamento específicos. Os blocos sobre estacas podem ser para n estacas e para cada situação específica, tem-se uma discrepância no comportamento estrutural, tendo em vista que, apesar de, o procedimento de dimensionamento ser o mesmo independente do número de estacas, a geometria do bloco e a posição das estacas diferem no cálculo de dimensionamento para cada situação.

O número de estacas será determinado a partir das cargas e momentos que são atribuídos a estrutura, da carga admitida pela estaca, e das características do solo. Estruturas de pequeno porte, com esforços nominais inferiores, exigem um número

menor de estacas, como, por exemplo, residências térreas de poucos pavimentos ou galpões, já estruturas de maior porte, solicitam um número maior de estacas, considerando que os esforços aumentam consideravelmente em relação a carga admissível da estaca.

2.4 MÉTODO DE BIELAS E TIRANTES

A ideia do uso do modelo de treliça para o projeto das estruturas de concreto remota das propostas feitas por Ritter (1899) e Mörsch (1909), no início do século XX, para o dimensionamento a cisalhamento de vigas fletidas. Os estudos de estruturas de concreto submetidas a cisalhamento e torção realizadas por Leonhardt (1965) e Lampert e Thurliman (1971) promoveram outras contribuições ao estudo desta ideia.

O trabalho apresentado em Schlaich et al (1987) propõe um modelo generalizado de treliças, estendendo a utilização deste modelo a uma gama bastante variada de elementos estruturais. Na análise proposta, o comportamento dos elementos seria considerado nos seus estados limites, tanto no estado elástico, como plástico, através da modelagem. E esse modelo generalizado foi denominado de Modelo de bielas e Tirantes, é também conhecido com o nome Escoras e Tirantes.

No modelo abordado, tem-se uma representação dos campos de tensão, resultantes dos carregamentos aplicados a determinada estrutura, dada pelas bielas e os tirantes. Os campos tensionais de compressão serão representados e idealizados pelas bielas, já os campos de tensão denominados de tração, serão representados pelos tirantes. Existem ainda algumas exceções, em casos específicos, que podem ser relatadas onde as bielas recebem os esforços de tração.

Como dito anteriormente, o modelo surge quando é proposto um método generalizado, e temos que uma das vantagens do modelo de Bielas e Tirantes é exatamente sua generalização, ele pode ter uma representação, apesar de aproximada pelo método de cálculo, realista e sistemática de grande parte dos elementos estruturais de concreto armado e protendido, o que facilita e possibilita ao engenheiro estrutural prever o comportamento da estrutura que esta sendo analisada.

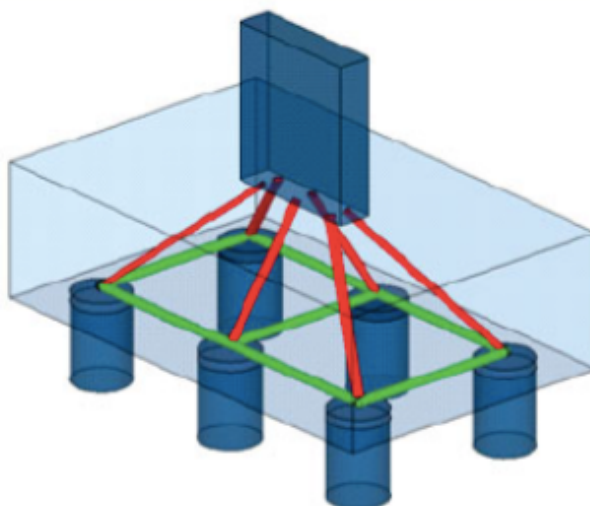
O modelo de bielas e tirantes ganhou maior aplicabilidade, principalmente, em elementos que possuam algum tipo de descontinuidade, como por exemplo, consolos, vigas parede, apoios em dentes, aberturas em vigas, nós de pórtico e alguns elementos de fundação estrutural, como é o caso dos blocos rígidos sobre estacas.

Com isso, o modelo propõe uma sistematização no dimensionamento de elementos estruturais, dando ao engenheiro estrutural uma clara especificação do funcionamento da estrutura.

Tem-se ainda as contribuições feitas por Blévyot (1967), que com seus ensaios criou o Método das Bielas, conhecido também como método de Blévyot, o ensaio de Blévyot apesar de não definir as regiões nodais e as tensões que nelas devem ser verificadas, verifica as tensões de compressão nas bielas.

De forma geral, o Modelo de Bielas e Tirantes, é uma estrutura de barras e concentra todas as suas tensões em barras comprimidas (bielas) e tracionadas (tirantes) ligando-as por meio de nós, sendo as regiões nodais os pontos de introdução de carga. Veja a Figura 5.

Figura 5 - Esquema do Método em perspectiva, com bielas (barras vermelhas) e tirantes (barras verdes)



Fonte: Google Imagens (2018)

Entretanto, assim como todo método de cálculo, existem dificuldades a serem consideradas na aplicação do método de bielas e tirantes, dentre elas pode-se citar:

- Exigência de que o engenheiro estrutural responsável pelo projeto tenha experiência na concepção do modelo a ser lançado dentro da estrutura de concreto;
- Em geometrias mais complexas a definição de um modelo satisfatório pode não ser uma tarefa muito trivial;

- O lançamento do modelo estrutural pode levar à uma vasta série de modelos.
- Ainda não há um consenso entre as normas e diversos autores sobre valores de resistência a serem utilizados em bielas e regiões nodais;
- Impossibilidade de geração de modelos automáticos via otimização que levem em conta a experiência do projetista.

2.4.1 Modelo de cálculo

O método mais utilizado no dimensionamento de blocos sobre estacas é o método das bielas, oriundo de pesquisas experimentais feitas por Blévyot e Frémy (1967), este método consiste em admitir que no interior do bloco rígido existe uma treliça espacial composta por bielas (barras comprimidas) e tirantes (barras tracionadas) e estas estão ligadas por nós, como mostra a Figura 5.

As bielas possuem inclinação determinadas por cálculo, e são definidas a partir da interseção do eixo das estacas com o plano médio das armaduras, já os tirantes ficam situados no plano médio das armaduras, que é um plano horizontal e está localizado acima do plano de arrastamento das estacas.

Sabe-se que em um modelo de treliça isostática existe um equilíbrio entre as forças internas e as forças externas, e como as bielas e tirantes juntos formam uma treliça, teremos que os esforços internos existentes nas bielas e nos tirantes serão resistidos pelo concreto e pela armadura, respectivamente, tendo que tanto as bielas quanto o concreto resistem aos esforços de compressão, e tanto os tirantes quanto as armaduras resistem aos esforços de tração.

Segundo Barros (2017), o Método das Bielas deve ser recomendado quando:

- a) o carregamento é quase centrado, comum em edifícios. O método pode ser empregado para carregamento não centrado, admitindo-se que todas as estacas estão com a maior carga, o que tende a tornar o dimensionamento antieconômico;
- b) todas as estacas devem estar igualmente espaçadas do centro do pilar.

O Método das Bielas é o método simplificado mais empregado, porque:

- a) tem amplo suporte experimental (116 ensaios de Blévyot, entre outros);
- b) ampla tradição no Brasil e Europa;
- c) modelo de treliça é intuitivo.

O roteiro de cálculo, apresentado por Blévyot, e mais usualmente aplicado no dimensionamento de blocos sobre estacas é apresentado a seguir.

2.4.1.1 Aplicação do Método das Bielas e Tirantes em blocos rígidos

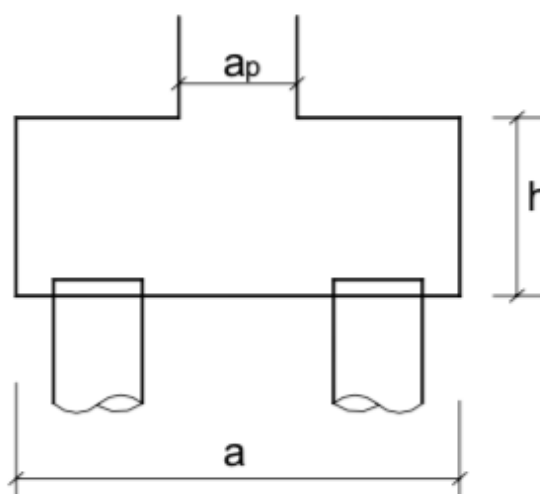
Um bloco somente será considerado rígido se obedecer às seguintes inequações:

$$h > \left(\frac{a-a_p}{3} \right) \quad (\text{na direção } a) \quad (2.1)$$

$$h > \left(\frac{b-b_p}{3} \right) \quad (\text{na outra direção}) \quad (2.2)$$

Onde, a_p e b_p são as dimensões do pilar. Veja as dimensões representadas na Figura 2.6.

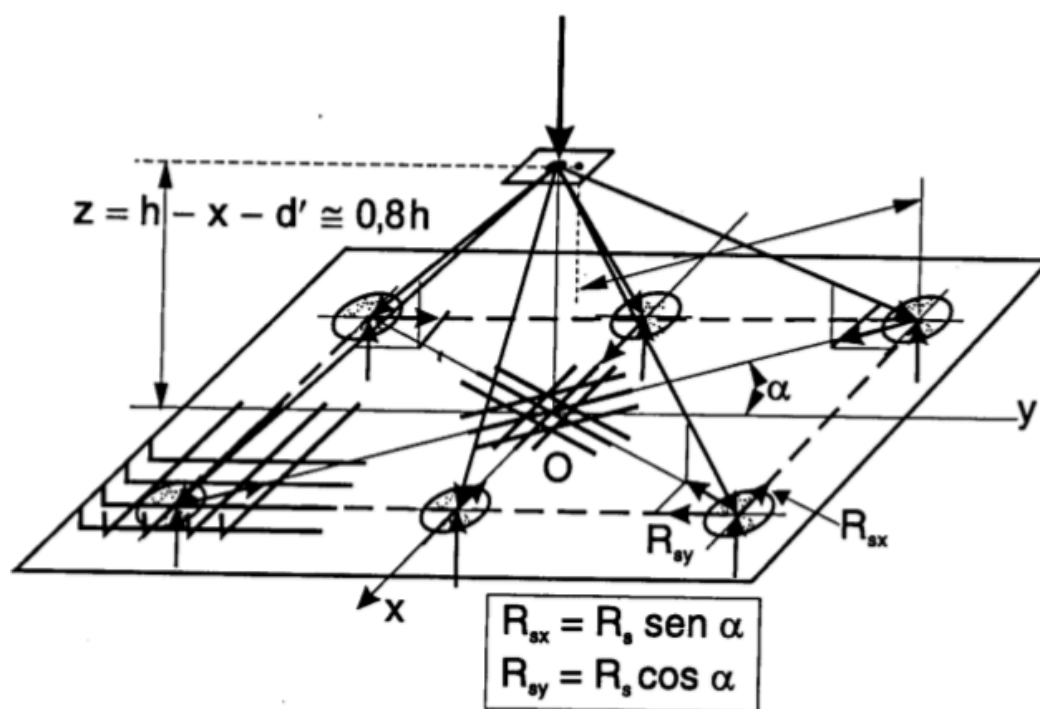
Figura 6 - Representação das dimensões utilizadas nas expressões dadas



Fonte: Alva (2017)

Para melhor compreensão da aplicação do Método das Bielas e tirantes, é importante compreender o funcionamento do bloco quanto as cargas que lhes são aplicadas. E este está esquematizado na Figura 7.

Figura 7 - Funcionamento estrutural básico dos blocos



Fonte: Fusco (1995)

Na figura acima, nota-se que a força normal do pilar está sendo transmitida às estacas pelas bielas de compressão, e o equilíbrio no todo das estacas é garantido pela armadura principal de tração.

Para a aplicação do método de bielas e tirantes existe ainda uma restrição quanto à inclinação das bielas, tendo em vista que o bloco não somente deve permitir a ancoragem das barras longitudinais dos pilares, mas também deve ter uma altura suficiente para realizar sua função de transferir, diretamente, as cargas do pilar até as estacas, e como essa transmissão é feita através das bielas de compressão, para que isso ocorra de fato, a biela mais inclinada, deve ter uma inclinação superior a 45°, entretanto, pesquisas afirmam que por questão de segurança, a inclinação das bielas devem estar limitadas entre 45° e 55°. E vale-se ressaltar ainda, que este ângulo de inclinação depende, exclusivamente, da geometria do bloco.

As distribuições das estacas no bloco dependem, exclusivamente do número de estacas com o qual se faz a análise de dimensionamento, tendo em vista que o espaçamento entre estas será dependente do número total de estacas. Portanto, para

melhor compreensão dos cálculos, aborda-se inicialmente, as características específicas para determinado número de estacas.

Para iniciar a aplicação do método abordado no dimensionamento de blocos sobre estacas precisa-se conhecer alguns parâmetros indispensáveis. São eles:

- a) A carga admissível da estaca (c_{adm}), esta que se torna conhecida após a escolha do tipo de estaca, que por sua vez é consequente das características do solo determinadas em ensaio de sondagem, como também da sua forma de execução na obra.
- b) O diâmetro da estaca (d_{est}) que também é característico do tipo de estaca escolhido.
- c) A distância do eixo da armadura principal à face inferior do bloco (d_{ap-fi}), valor determinado pelo projetista obedecendo as normas de segurança da estrutura.
- d) As dimensões do pilar (a_p e b_p) – considerando que o pilar possui seção retangular – com as quais deseja-se seguir com o dimensionamento.
- e) As constantes de limites de escoamento do aço (f_{yd}) e de valor de resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}).
- f) Todos os esforços a que estarão sujeitos a estrutura, esforços normais (N), momentos na direção x (M_x) e na direção y (M_y).

Após conhecidos os parâmetros anteriormente detalhados, inicia-se o procedimento de cálculo.

Para levar em consideração que o peso do bloco também influenciará como esforço na estrutura, majora-se o esforço normal em 5%, para assim encontrar o esforço normal total (N_{total}).

$$N_{total} = 1,05 \cdot N \quad (2.3)$$

Sendo conhecido o esforço normal total a que a estrutura está submetida e a carga admissível das estacas, pode-se estimar o número de estacas (n_{est}) necessárias para determinada estrutura, tendo em vista que os esforços são divididos igualmente por todas as estacas. Veja a equação 2.4.

$$n_{est} = \frac{N_{total}}{c_{adm}} \quad (2.4)$$

É necessário que o valor encontrado na expressão (2.4) seja aproximado para o número inteiro superior mais próximo.

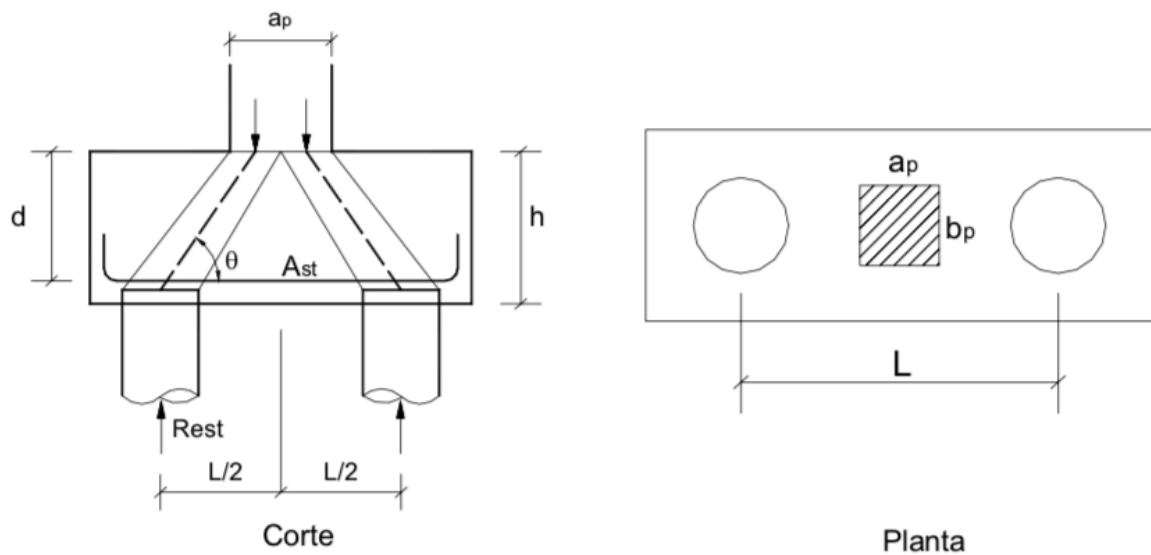
Segundo a NBR 6118, a distância mínima entre as estacas (L) deve ser de três vezes o seu diâmetro. Portanto, adota-se:

$$L = 3. d_{est} \quad (2.5)$$

Para cada número de estacas sobre o qual será feito o dimensionamento, segue-se uma sequencia inicial de resolução e uma limitação distinta de tensão. Veja a seguir.

2.4.1.1.1 Blocos sobre duas estacas

Figura 8 - Corte e planta baixa para blocos sobre duas estacas



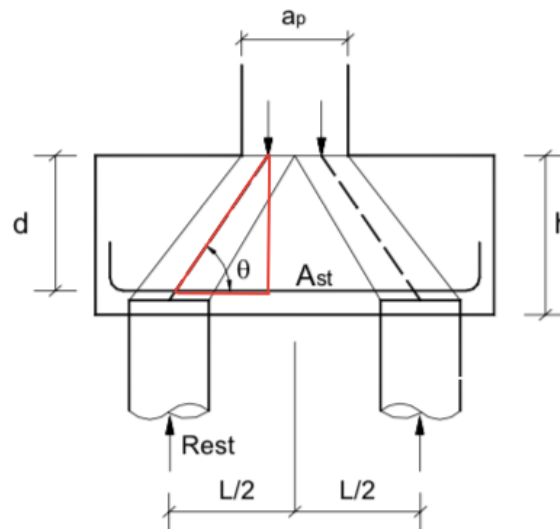
Fonte: Alva (2017)

Observando o corte na Figura 9, percebe-se que a inclinação da biela sugere um triângulo retângulo de altura d e cateto adjacente (base) dado por:

$$c_{adj} = \frac{L}{2} - \frac{a_p}{4} \quad (2.6)$$

Vejam que as regiões de tensão das bielas dividem o pilar em quatro partes, e a região não desejada para a base do triângulo equivale a $\frac{1}{4}a_p$.

Figura 9 - Representação do triângulo retângulo formado entre a face inferior do pilar, a biela e o topo da estaca.



Fonte: Alva (2017)

Para blocos sobre duas estacas os limites determinados por norma para as tensões de compressão junto ao pilar ($\lim.t_{b-p}$) e junto à estaca ($\lim.t_{b-e}$) são:

$$\lim.t_{b-p} = 1,4.f_{cd} \quad (2.7)$$

$$\lim.t_{b-e} = 0.85.f_{cd} \quad (2.8)$$

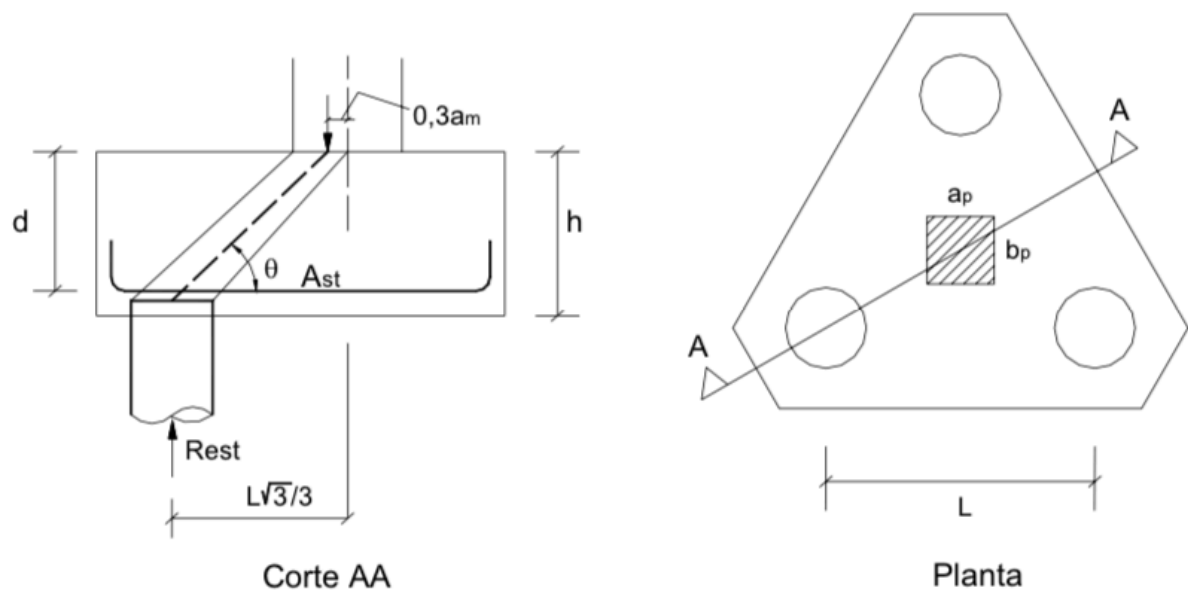
Onde, f_{cd} é o valor de resistência de cálculo do concreto, e é obtido pela razão entre o f_{ck} e o coeficiente de ponderação do concreto previsto por norma, e igual a 1,4.

Observando-se ainda a Figura 8, ao imaginar a aplicação dos momentos em ambas as direções (M_x e M_y) tem-se nesta situação apenas uma estaca que será mais solicitada, nos cálculos seguintes este valor será representado por N_{est-sx} e N_{est-sy} ,

para ambas as direções, respectivamente, x e y. E para este caso estes valores serão iguais.

2.4.1.1.2 Blocos sobre três estacas

Figura 10 - Corte e planta baixa para blocos sobre três estacas



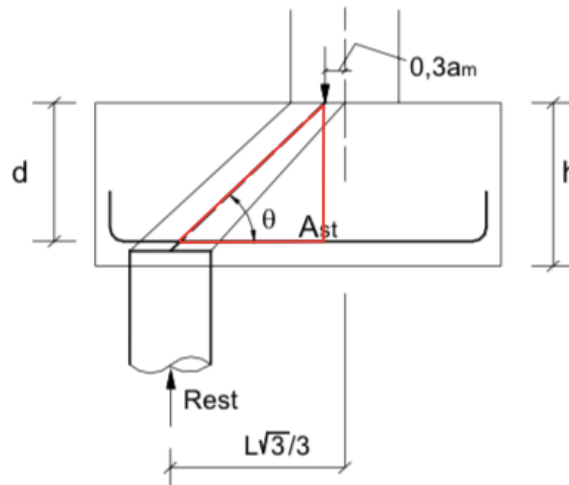
Fonte: Alva (2017)

Observando o corte na Figura 11, percebe-se que a inclinação da biela sugere um triângulo retângulo de altura **d** e cateto adjacente (base) dado por:

$$c_{adj} = \frac{\sqrt{3}L}{3} - 0,3a_m \quad (2.9)$$

Vejam que a região não desejada para a base do triângulo equivale a $0,3a_m$. Onde a_m é a menor dimensão do pilar.

Figura 11 - Representação do triângulo retângulo formado entre a face inferior do pilar, a biela e o topo da estaca.



Fonte: Alva (2017)

Para blocos sobre três estacas os limites determinados por norma para as tensões de compressão junto ao pilar ($\lim.t_{b-p}$) e junto à estaca ($\lim.t_{b-e}$) são:

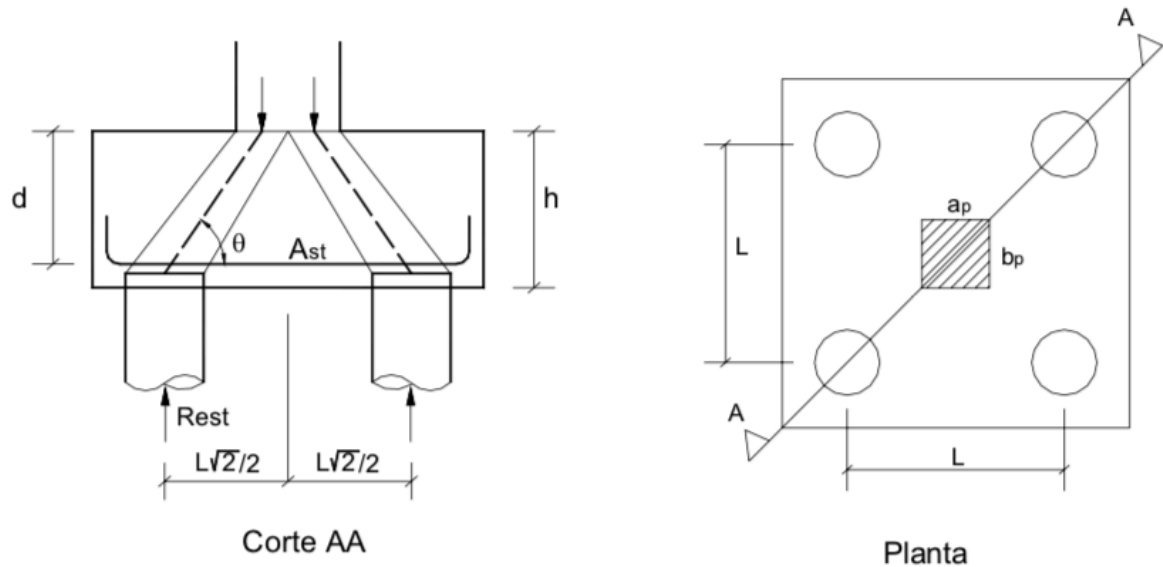
$$\lim.t_{b-p} = 1,75.f_{cd} \quad (2.7)$$

$$\lim.t_{b-e} = 0,85.f_{cd} \quad (2.8)$$

Observando-se ainda a Figura 10, ao imaginar a aplicação dos momentos em ambas as direções (M_x e M_y) tem-se nesta situação apenas uma estaca que será mais solicitada, nos cálculos seguintes este valor será representado por N_{est-sx} e N_{est-sy} , para ambas as direções, respectivamente, x e y. E para este caso com as estacas colocadas na posição determinada pela figura, estes valores serão iguais.

2.4.1.1.3 Blocos sobre quatro estacas

Figura 12 - Corte e planta baixa para blocos sobre quatro estacas



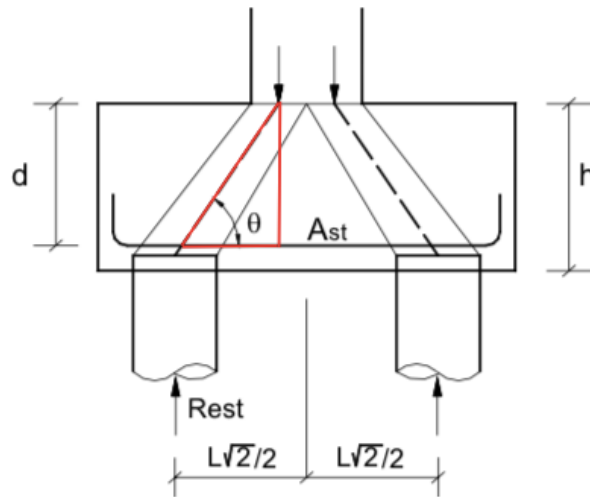
Fonte: Alva (2017)

Observando o corte na Figura 13, percebe-se que a inclinação da biela sugere um triângulo retângulo de altura **d** e cateto adjacente (base) dado por:

$$c_{adj} = \frac{\sqrt{2}L}{2} - \frac{\sqrt{2}}{4}a_m \quad (2.9)$$

Veja que a região não desejada para a base do triângulo equivale a $\frac{\sqrt{2}}{4}a_m$, esse valor é obtido tomando que o corte detalha a diagonal da seção do pilar e as regiões que representam as tensões nas bielas divide o pilar em quatro partes.

Figura 13 - Representação do triângulo retângulo formado entre a face inferior do pilar, a biela e o topo da estaca.



Fonte: Alva (2017)

Para blocos sobre quatro estacas, os limites determinados por norma para as tensões de compressão junto ao pilar ($\lim.t_{b-p}$) e junto à estaca ($\lim.t_{b-e}$) são:

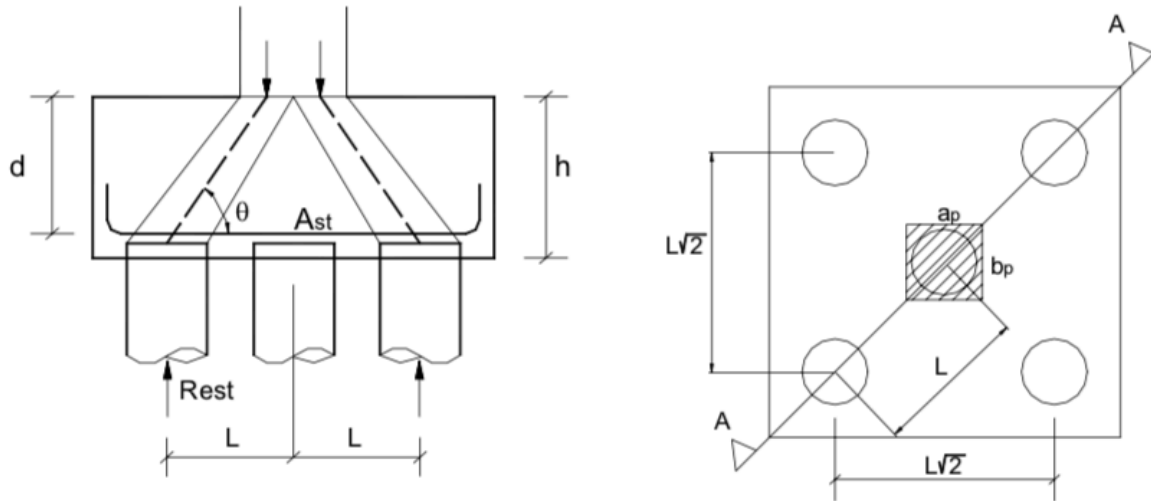
$$\lim.t_{b-p} = 2,1.f_{cd} \quad (2.10)$$

$$\lim.t_{b-e} = 0.85.f_{cd} \quad (2.11)$$

Observando-se ainda a Figura 12, ao imaginar a aplicação dos momentos em ambas as direções (M_x e M_y) tem-se para esta situação duas estacas que serão mais solicitadas, nos cálculos seguintes este valor será representado por N_{est-sx} e N_{est-sy} , para ambas as direções, respectivamente, x e y. E para este caso com as estacas colocadas na posição determinada, estes valores serão iguais.

2.4.1.1.4 Blocos sobre cinco estacas

Figura 14 - Corte e planta baixa para blocos sobre cinco estacas



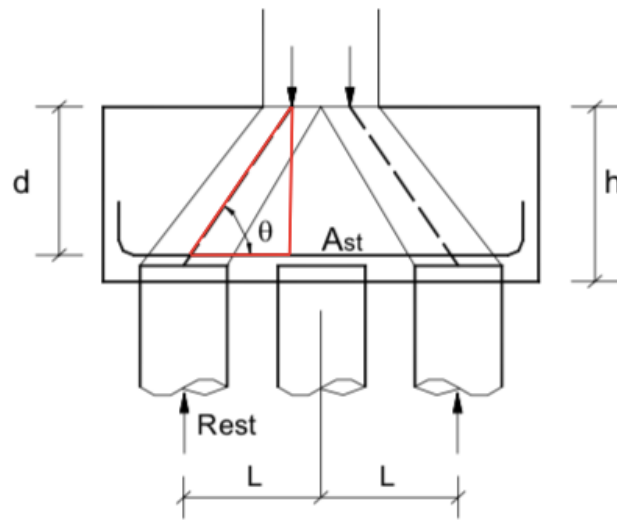
Fonte: Alva (2017)

Para as estacas distribuídas da forma determinada na figura acima, tem-se uma semelhança com blocos sobre quatro estacas, seguindo, com isso, o mesmo raciocínio. Observando o corte na Figura 15, percebe-se que a inclinação da biela sugere um triângulo retângulo de altura d e cateto adjacente (base) dado por:

$$c_{adj} = L - \frac{\sqrt{2}}{4} a_m \quad (2.12)$$

Veja que a região não desejada para a base do triângulo equivale a $\frac{\sqrt{2}}{4} a_m$, esse valor é obtido, assim como no bloco sobre quatro estacas, tomando que o corte detalha a diagonal da seção do pilar e as regiões que representam as tensões nas bielas divide o pilar em quatro partes.

Figura 15 - Representação do triângulo retângulo formado entre a face inferior do pilar, a biela e o topo da estaca.



Fonte: Alva (2017)

Para blocos sobre cinco estacas, os limites determinados por norma para as tensões de compressão junto ao pilar ($\lim.t_{b-p}$) e junto à estaca ($\lim.t_{b-e}$) são:

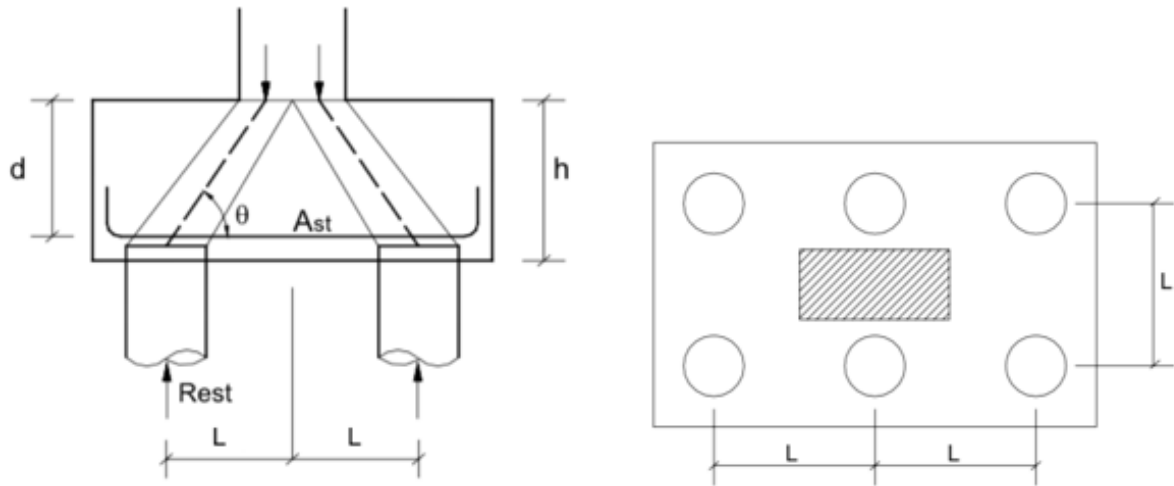
$$\lim.t_{b-p} = 2,1.f_{cd} \quad (2.13)$$

$$\lim.t_{b-e} = 0.85.f_{cd} \quad (2.14)$$

Observando-se ainda a Figura 14, ao imaginar a aplicação dos momentos em ambas as direções (M_x e M_y) tem-se para esta situação duas estacas que serão mais solicitadas, nos cálculos seguintes este valor será representado por N_{est-sx} e N_{est-sy} , para ambas as direções, respectivamente, x e y. E para este caso com as estacas colocadas na posição determinada, que a torna semelhante a situação em que se tem quatro estacas, estes valores serão iguais.

2.4.1.1.5 Blocos sobre seis estacas

Figura 16 - Corte e planta baixa para blocos sobre seis estacas



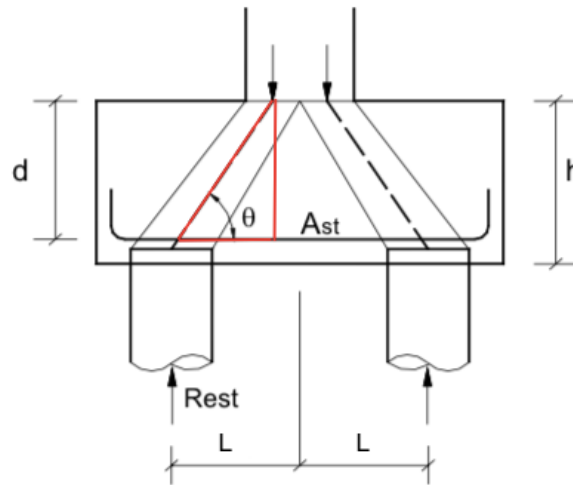
Fonte: Alva (2017)

Observando o corte na Figura 17, percebe-se que a inclinação da biela sugere um triângulo retângulo de altura **d** e cateto adjacente (base) dado por:

$$c_{adj} = \frac{\sqrt{5}}{2}L - \frac{\sqrt{2}}{4}a_m \quad (2.15)$$

Veja que a região não desejada para a base do triângulo equivale a $\frac{\sqrt{2}}{4}a_m$, esse valor é obtido, assim como no bloco sobre quatro estacas, tomando que o corte mostra o detalhamento da diagonal da seção do pilar e as regiões que representam as tensões nas bielas divide o pilar em quatro partes.

Figura 17 - Representação do triângulo retângulo formado entre a face inferior do pilar, a biela e o topo da estaca.



Fonte: Alva (2017)

Para blocos sobre seis estacas, os limites determinados por norma para as tensões de compressão junto ao pilar ($\lim.t_{b-p}$) e junto à estaca ($\lim.t_{b-e}$) são:

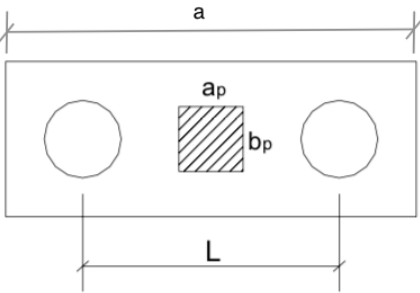
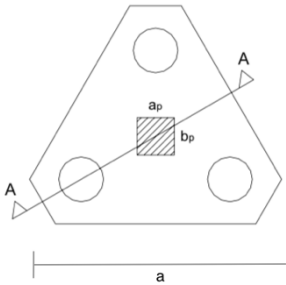
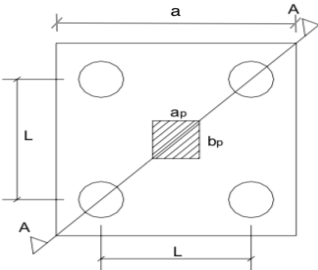
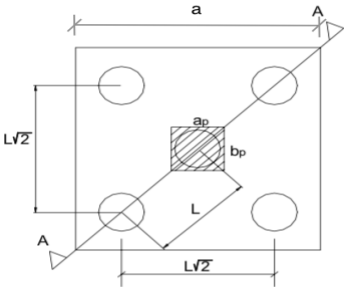
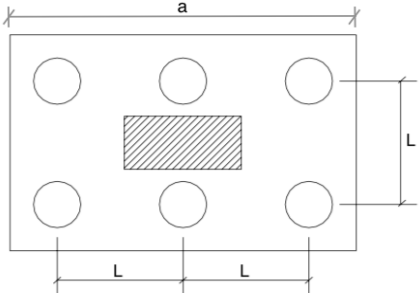
$$\lim.t_{b-p} = 2,6.f_{cd} \quad (2.16)$$

$$\lim.t_{b-e} = 0.85.f_{cd} \quad (2.17)$$

Observando ainda a Figura 16, ao imaginar a aplicação dos momentos em ambas as direções (M_x e M_y) tem-se que para esta situação, três estacas serão mais solicitadas, quando o momento for aplicado na direção x, e duas estacas serão mais solicitadas quando o momento for aplicado na direção y.

Após exemplificado as características específicas para cada número de estacas em estudo, continua-se a aplicação do método, para com isso, obter-se os resultados almejados. E para o dimensionamento do bloco, precisa-se conhecer sua dimensão (a) esta será determinada a partir da distância entre as estacas (L), o número de estacas que será utilizado (N_{est}) e o espaçamento mínimo entre a face do bloco e a superfície lateral de cada estaca, este ultimo é prescrito pela norma e deve ser superior a 15 cm. De acordo com a geometria e cortes dos blocos representados anteriormente para cada número de estacas, tem-se uma dimensão (a) do bloco dada na Tabela 2.

Tabela 2 - Representação da dimensão (a) para cada número de estacas

Representação do corte	Dimensão a do bloco
	$a = L + d_{est} + 2. (15)$
	$a = L + d_{est} + 3. (15)$
	$a = L + d_{est} + 2. (15)$
	$a = \sqrt{2}L + d_{est} + 2. (15)$
	$a = 2L + d_{est} + 2. (15)$

Fonte: Autoria Própria

É extremamente importante verificar a ação dos momentos na estrutura, o quanto esses momentos, por exemplo, são capazes de acrescentar nas reações das estacas. E tendo em vista que existem duas direções possíveis para a aplicação dos momentos, existirão acréscimo referentes a ambas as direções, e estes serão dados por:

$$a_{rest-x} = \frac{M_x}{L} \quad (2.18)$$

$$a_{rest-y} = \frac{M_y}{L} \quad (2.19)$$

Entretanto, estes valores referem-se ao acréscimo na reação total das estacas, provocado pelos momentos nas direções dadas, mas como o cálculo de dimensionamento é feito para as estacas mais solicitadas, precisa-se saber qual será o acréscimo individual (a_{rest-i}) em cada uma dessas estacas. E este será obtido por:

$$a_{rest-i} = \frac{a_{rest-x}}{n_{est-sx}} + \frac{a_{rest-y}}{n_{est-sy}} \quad (2.20)$$

Tendo isso, pode-se obter a reação da estaca, para a estaca mais solicitada da estrutura. Esta será dada por:

$$R_{est} = 1,4 \frac{esf_{n-t}}{n_{est}} + a_{rest-i} \quad (2.21)$$

Segundo os ensaios de Blévoit e Frémy (1967), o ângulo de inclinação das bielas deveria ser sempre superior a 40°. Entretanto, algumas limitações foram identificadas nos ensaios d Blévoit, e percebeu-se que, em tese, o ângulo das bielas deveria está limitado entre 45° e 55° (graus), por questões de segurança da estrutura. E partindo desta determinação pode-se determinar a altura útil do bloco, esta que chamaremos de **d**.

$$d = \tan \theta \cdot c_{adj} \quad (2.22)$$

Tomando que $45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$, calcula-se o valor de **d** para as duas soluções extremas:

Para $\theta = 45^\circ = \frac{\pi}{4}$ rad, tem-se:

$$d_1 = \tan\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot c_{adj} \quad (2.23)$$

Para $\theta = 55^\circ = \frac{11\pi}{36}$ rad, tem-se:

$$d_2 = \tan\left(\frac{11\pi}{36}\right) \cdot c_{adj} \quad (2.24)$$

Com isso, tem-se que: $d_1 \leq d \leq d_2$, e para efeito de calculo será adotado que **d** é igual ao termo intermediário deste intervalo. Após a obtenção do valor da altura útil do bloco, determinado anteriormente, e sendo conhecida a distância entre a armadura principal e a face inferior do bloco (d_{ap-fi}), pode-se determinar a altura total do bloco (h). Veja a Expressão (2.25).

$$h = d + d_{p-fi} \quad (2.25)$$

Para tornar o dimensionamento mais realista é conveniente que para esses valores de medida sejam sempre adotados valores inteiros. Para garantir viabilidade na execução do projeto estrutural.

Tendo obtido o valor real da altura útil do bloco (d) pode-se recalculer o ângulo de inclinação da biela, este será considerado no projeto estrutural, e para calcula-lo usa-se a seguinte expressão:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{d}{c_{adj}}\right) \quad (2.26)$$

Com todos os dados obtidos pode-se, finalmente, verificar as tensões de compressão da biela junto ao pilar (t_{comp-p}) ou junto à estaca (t_{comp-e}) e verificar se estes estão dentro dos limites estabelecidos.

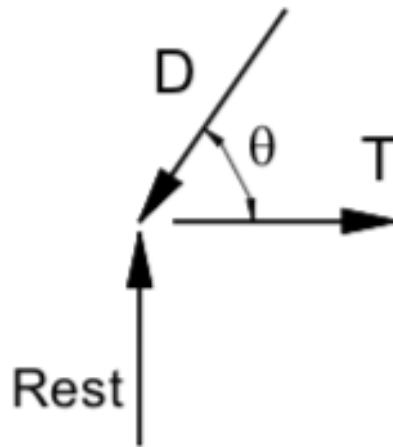
$$t_{comp-p} = \frac{N_{est} \cdot R_{est}}{A_p \cdot (\sin \theta)^2} \leq \lim. t_{b-p} \quad (A_p \text{ é a área da seção transversal do pilar}) \quad (2.27)$$

$$t_{comp-e} = \frac{R_{est}}{A_{est} \cdot (\sin \theta)^2} \leq \lim. t_{b-e} \quad (A_{est} \text{ é a área da seção transversal da estaca}) \quad (2.28)$$

2.4.1.2 Cálculo das Armaduras

O cálculo das armaduras será feito baseando-se nas forças resultantes de compressão (D) e tração (T) na biela, e ambas podem ser representadas na Figura 2.16, onde observa-se o diagrama de corpo livre para o ponto de interseção entre a biela, o tirante e a estaca. Veja que aplicando as equações de equilíbrio para este ponto, tem-se que:

Figura 18 - Diagrama de corpo livre do nó junto à estaca



Fonte: Alva (2017)

$$D \sin \theta = R_{est} \quad \text{ou seja,} \quad D = \frac{R_{est}}{\sin \theta} \quad (2.29)$$

$$T = D \cos \theta = \frac{R_{est}}{\sin \theta} \cos \theta = \frac{R_{est}}{\tan \theta} \quad (2.30)$$

Onde:

D é a resultante de compressão na biela junto à estaca

T é a resultante de tração no tirante

R_{est} é a reação na estaca mais carregada

2.4.1.2.1 Armadura principal de tração

A área de aço ($A_{aço}$) será sempre o maior valor entre a área de aço segundo os lados ($A_{aço-l}$), ou segundo a direção das bielas ($A_{aço-b}$), e a área de aço mínima prescrita por norma ($A_{aço-mín}$).

$$A_{aço-b} = \frac{T}{f_{yd}} \quad (2.31)$$

$$A_{aço-l} = \frac{C.T}{f_{yd}} \quad (2.32)$$

Onde, **C** é uma constante característica, obtida a partir dos lados da seção transversal do bloco, para cada número de estacas. Veja a Tabela 3.

Para a área de aço mínima ($A_{aço-mín}$), a norma prescreve que esta deve equivaler a 0,15% da área bruta da seção, o que resulta na Expressão 2.33.

$$A_{aço-mín} = 0,15\%(0,85d_{est})h \quad (2.33)$$

Tabela 3 - Representação da constante de cálculo para cada número de estacas

Número de Estacas	“ C ” (Constante de cálculo)
2	$\frac{1}{2}$
3	$\frac{\sqrt{3}}{3}$
4	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
5	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
6	$\frac{\sqrt{5}}{2}$

Fonte: Autoria Própria

2.4.1.2.2 Verificação do cisalhamento por força cortante

Sabe-se que para a estrutura resistir aos esforços aplicados a ela, os esforços solicitantes devem ser menores que os esforços resistentes. E é partindo deste princípio que será feita a verificação do cisalhamento por força cortante, onde tem-se a condição de que o esforço cortante solicitante (V_{sd}) deve ser menor que o esforço cortante resistente (V_{rd}), onde:

$$V_{sd} = N_{est} \cdot R_{est} \quad (2.34)$$

$$V_{rd} = \tau_{rd} \cdot K \cdot (1,2 + 40\rho) \cdot a \cdot d \quad (2.35)$$

Onde,

$$\tau_{rd} = 0,00375 (f_{yd})^{2/3} \quad (2.36)$$

$$K = |1 - d| \quad (2.37)$$

$$\rho = \frac{2A_{aço} + A_{aço}}{a \cdot d} \quad (2.38)$$

Se a condição estabelecida for atendida pelos cálculos, ou seja, se $V_{sd} \leq V_{rd}$, o projeto atende ao limite estabelecido pela norma.

2.4.1.2.3 Armadura de pele

A norma estabelece que, para calcular a área de aço individual das barras, que compõe a armadura de pele, deve ser considerado que esta será igual a 0,10% da área de cada face. Veja abaixo.

$$A_{aço-i} = 0,10\%(d_{est} + 0,2a)h \quad (2.39)$$

2.4.1.2.4 Armadura de suspensão

A armadura de suspensão será calculada para um número de estacas superior a três, este parâmetro é determinado pela norma.

$$A_{susp} = \frac{1,4 \cdot e \cdot s \cdot f_{n-t}}{1,5 N_{est} \cdot f_{yd}} \quad (2.40)$$

Após a obtenção das áreas de aço das armaduras é necessário determinar-se as barras que serão utilizadas na execução do projeto, e para isso, o engenheiro projetista, munido dos valores anteriormente calculados, consulta a tabela de número de barras de aço e bitolas usuais para a área de aço calculada. Tabela 2.4.

Tabela 4 - Número de barras de aço e bitolas usuais para a área de aço calculada

Valor nominal para cálculo		Área de aço da seção conforme número de barras – A _s [cm²]									
φ diâmetro (mm)	massa linear (kg/m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5,0	0,16	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
6,3	0,25	0,315	0,63	0,945	1,26	1,575	1,89	2,205	2,52	2,835	3,15
8,0	0,40	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
10,0	0,63	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,80
12,5	1,00	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50
16,0	1,60	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00
20,0	2,50	3,15	6,30	9,45	12,60	15,75	18,90	22,05	25,20	28,35	31,50
25,0	4,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00
32,0	6,30	8,00	16,00	24,00	32,00	40,00	48,00	56,00	64,00	72,00	80,00
40,0	10,00	12,50	25,00	37,50	50,00	65,50	75,00	87,50	100,00	112,50	125,00

Fonte: Junior (2010)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, será apresentado o desenvolvimento do software para o dimensionamento de blocos sobre estacas e também, os procedimentos de testes desta ferramenta.

Para a inicialização do desenvolvimento do software, após consultas bibliográficas, e a partir dos modelos de cálculo já previstos por norma e também por ensaios experimentais, criou-se um memorial de calculo mais intuitivo e direto para a aplicação na linguagem computacional. Em seguida, escolheu-se a linguagem em que iria se programar, para assim adequar todos os códigos que lhes seriam inseridos. E esta será detalhada adiante.

3.1 MÉTODOS

3.1.1 Escolha da linguagem de programação

Para desenvolver um software, independente da plataforma ou ferramenta de programação que será utilizada, necessita-se previamente da predefinição do modelo que será proposto no programa em questão, neste trabalho, refere-se ao modelo de cálculo que será seguido no dimensionamento e detalhamento dos blocos sobre estacas, esta predefinição deve tornar o modelo mais direto, mais simplificado, e possibilitar a interação com o usuário, obtendo informações que sejam indispensáveis para a execução do programa. Todas estas adaptações e melhoramento no modelo de cálculo devem ser feitas de forma que não interfira na funcionalidade e eficiência do método.

Definiu-se um método de interação direta com o usuário, onde o programa é capaz de solicitar os parâmetros que serão indispensáveis para o dimensionamento, estes parâmetros são guardados no código como variáveis e o mesmo é capaz de a partir destas, sugerir o número de estacas que deve ser utilizada no projeto, e ainda a área de aço necessária para a execução das armaduras, posteriormente, o programa gera a planta baixa e o corte transversal desta, para assim efetuar o detalhamento do dimensionamento do bloco sobre as condições apresentadas. Sendo capaz, portanto, de permitir ao usuário realizar testes sucessivos para que, de forma eficiente, seja possível alcançar o detalhamento do comportamento estrutural almejado no projeto.

Após a definição dos parâmetros e resultados almejados, escolheu-se a linguagem de programação *Python* como ferramenta, tendo em vista que além de ser uma linguagem prática e de rápida aprendizagem, é considerada uma linguagem prática e de alto nível, tornando com isso, possível, a execução de atividades mais complexas, de forma mais objetiva.

Inicialmente, para a construção do código, fez-se necessário a criação de classes de objetos onde seriam arquivados os parâmetros determinados pelo usuário. E seu desenvolvimento está detalhado a seguir.

3.1.2 Desenvolvimento das classes em *Python*

Dentro de um código, uma classe tem a função de associar dados (atributos) e operações (métodos) em uma só estrutura. Para a linguagem *Python*, um objeto é uma instância de uma classe, ou seja, este é uma representação da classe.

Com isso, criou-se uma classe com todos os atributos referentes aos esforços sobre os quais a estrutura estaria submetida, como esforço nominal, momentos na direção **x** (M_x) e momentos na direção **y** (M_y). Veja a representação desta classe na Figura 19.

Figura 19 - Código com desenvolvimento da 'CLASSE_ESFORCOS'

```

1  #-*- encoding: ISO-8859-1 -*-
2  """
3  Created on 29 de mai de 2018
4
5  @author: Tavares
6  """
7  class Esforcos(object):
8      """
9      Classe com a estrutura de dados dos esforços sofridos pelo objeto do tipo Bloco.
10     """
11     def __init__(self, esf_n, m_x, m_y):
12         """
13         Inicializar um objeto do tipo Esforços
14         """
15         self._esf_n = esf_n
16         self._m_x = m_x
17         self._m_y = m_y
18
19     def __repr__(self):
20         """
21         Representação em forma de texto do objeto do tipo Esforços
22         """
23         return "Esforcos(esf_n=%f, m_x=%f, m_y=%f)" % (self._esf_n, self._m_x, self._m_y)
24
25     def __str__(self):
26         """
27         Representação em forma de texto do objeto do tipo Esforços.
28         """
29         return "Esforcos(esf_n=%f, m_x=%f, m_y=%f)" % (self._esf_n, self._m_x, self._m_y)
30
31     def obter_esf_n(self):
32         """
33         Obter o valor do atributo esf_n da classe Esforços
34         """
35         return self._esf_n
36
37     def atribuir_esf_n(self, esf_n):
38         """
39         Atribuir valor do atributo esf_n da classe Esforços
40         """
41         self._esf_n = esf_n
42
43     # Propriedade esf_n
44     esf_n = property(obter_esf_n, atribuir_esf_n)

```

Fonte: Própria (2018)

Assim como pode ser observado na Figura 19, da mesma forma que foi definida a variável *esf_n* (esforços nominais), definiu-se também as variáveis seguintes da classe, *m_x* (momento na direção x) e *m_y* (momento na direção y).

Em seguida para associar ao programa os dados referentes ao bloco, ao pilar e as estacas, como dimensão do pilar, diâmetro da estaca, carga admissível, entre outros, criou-se a CLASSE_BLOCO, onde definiu-se todos os atributos necessários, como mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Código com desenvolvimento da ‘CLASSE_BLOCOS’

```

76 class Bloco(object):
77     """
78     Classe com a estrutura de dados do objeto do tipo Bloco.
79     """
80     def __init__(self, c_adm, d_est, d_ap_fi, ap, bp, fyd, fck):
81         """
82         Inicializar um objeto do tipo Bloco.
83         """
84         self._c_adm = c_adm
85         self._d_est = d_est
86         self._d_ap_fi = d_ap_fi
87         self._ap = ap
88         self._bp = bp
89         self._fyd = fyd
90         self._fck = fck
91         self._esforcos = None
92
93     def __repr__(self):
94         """
95         Representação em forma de texto do objeto do tipo Bloco.
96         """
97         return "Bloco(c_adm=%f, d_est=%f, d_ap_fi=%f, ap=%f, bp=%f, fyd=%f, fck=%f, esforcos=%s)" % (self._c_adm,
98
99
100     def __str__(self):
101         """
102         Representação em forma de texto do objeto do tipo Bloco.
103         """
104         return "Bloco(c_adm=%f, d_est=%f, d_ap_fi=%f, ap=%f, bp=%f, fyd=%f, fck=%f, esforcos=%s)" % (self._c_adm,
105
106     def obter_c_adm(self):
107         """
108         Obter o valor do atributo c_adm do objeto Bloco.
109         """
110         return self._c_adm
111
112     def atribuir_c_adm(self, c_adm):
113         """
114         Atribuir valor do atributo c_adm do objeto Bloco.
115         """
116         self._c_adm = c_adm
117
118 # Propriedade c_adm
119 c_adm = property(obter_c_adm, atribuir_c_adm)

```

Fonte: Própria (2018)

Da mesma forma que a variável *c_adm* (carga admissível) foi definida na CLASSE_BLOCOS, as demais variáveis também foram definidas para a correta associação dos dados desta classe.

3.1.3 Processamento matemático de dados e determinações da norma técnica.

Para o processamento do dimensionamento, o usuário precisa informar alguns parâmetros, com os quais deseja prosseguir os cálculos e o detalhamento, desta forma, criou-se uma interação com o usuário durante a execução do programa. Veja na Figura 21 os comandos utilizados para promover esta interação.

Figura 21 - Comandos utilizados para promover a interação com o usuário

```

1  # -*- encoding: ISO-8859-1 -*-
2  '''
3  Created on 21 de ago de 2018
4
5  @author: Tavares
6  '''
7  from CLASSE_BLOCO import *
8
9
10 c_adm = float(input('Entre com o valor da carga admissivel das estacas (KN):'))
11 d_est = float(input('Entre com o diâmetro das estacas (cm):'))
12 d_ap_fi = float(input('Entre com a distância entre a armadura principal e a face inferior do bloco (cm):'))
13 ap = float(input('Entre com uma dimensao do pilar (cm):'))
14 bp = float(input('Entre com a segunda dimensao do pilar (cm):'))
15 fyd = float(input('Entre com o valor de limite de escoamento (MPa):'))
16 fck = float(input('Entre com o o valor de resistencia caracteristica a compressao do concreto (MPa):'))
17 esf_n = float(input('Entre com o esforco nominal da estrutura (KN):'))
18 m_x = float(input('Entre com o momento na direcao x (cm):'))
19 m_y = float(input('Entre com o momento na direcao y (cm):'))
20
21
22
23
24 bloco = Bloco(c_adm, d_est, d_ap_fi, ap, bp, fyd, fck)
25 bloco.esforcos = Esforcos(esf_n, m_x, m_y)
26 bloco.calcular()
27 bloco.detalhar()

```

Fonte: Própria (2018)

Tendo sido feita todas as atribuições devidas das variáveis necessárias em cálculo iniciou-se a introdução do modelo de cálculo já apresentado anteriormente, e com a utilização de laços de comando o programa é capaz de interromper o cálculo quando os resultados fugirem dos limites previstos pela norma.

Na programação existem bibliotecas capazes de processar funções matemáticas mais complexas, e para o melhor funcionamento do código, foi importada a biblioteca “math”, esta é uma biblioteca do *Python* capaz de executar funções matemáticas mais elaboradas. Após a importação desta, segue-se o roteiro de cálculo detalhado no item 2.4.1, estimando, inicialmente, o número de estacas que será possível o dimensionamento do bloco, associando às fórmulas, os atributos que foram determinados pelo usuário e definidos nas classes.

Figura 22 - Inicialização de cálculos na biblioteca “math”

```

249 import math
250
251 '''
252 Para levar em conta o peso próprio do bloco, majora-se a carga vertical em 5 % .
253 '''
254 esf_n_t = 1.05*esf_n
255 print('O esforço nominal total é:')
256 print(esf_n_t)
257
258 '''
259 Estima-se o número de estacas.
260 '''
261 estm_n_est = (esf_n_t/c_odm)
262 n_est = round(estm_n_est,0)
263 print('Número de estacas=')
264 print(n_est)
265
266 '''
267 Distância mínima entre as estacas (L)
268 '''
269 l = 3*d_est
270 print ('A distância entre as estacas (L)=')
271 print (l)
272

```

Fonte: Própria (2018)

Após determinado o número de estacas o programa redireciona o cálculo a seguir uma sequência de execução intrínseca para aquele dado número de estacas, isto é possível com auxílio dos comandos *if*, *elif* e *else*, estes criam dentro do código uma “estrutura de tomada de decisão”. Que é capaz de direcionar o caminho que deve ser percorrido dentro do código baseando-se nas condições dadas. Veja a Figura 23.

Figura 23 - Representação dos “estrutura de tomada de decisão” quanto ao número de estacas

```

279 '''
280 Para cada n_est dado, segue-se uma sequência de resolução e uma limitação distinta de tensão.
281 '''
282
283 if (n_est == 2):
284
285     cadj = ((1/2)-(ap/4))
286     lim_tcomp_p = 1.4*fcd
287     lim_tcomp_e = 0.85*fcd
288     n_est_sx = 1
289     n_est_sy = 1
290     c = 1/2
291
292 elif (n_est == 3):
293
294     cadj = (1*((3**(0.5))/3)-(0.3*am))
295     lim_tcomp_p = 1.75*fcd
296     lim_tcomp_e = 0.85*fcd
297     n_est_sx = 1
298     n_est_sy = 1
299     c = (math.sqrt(3)/3)
300
301 elif (n_est == 4):
302
303     cadj = (1*((2**(0.5))/2)-((2**(0.5))/4)*am)
304     lim_tcomp_p = 2.10*fcd
305     lim_tcomp_e = 0.85*fcd
306     n_est_sx = 2
307     n_est_sy = 2
308     c = (math.sqrt(2)/2)
309
310
311 elif (n_est == 5):
312
313     cadj = (1-((2**(0.5))/4)*am)
314     lim_tcomp_p = 2.10*fcd
315     lim_tcomp_e = 0.85*fcd
316     n_est_sx = 2
317     n_est_sy = 2
318     c = (math.sqrt(2)/2)
319
320 elif (n_est == 6):
321
322     cadj = (((5**(0.5))/2)*1-((2**(0.5))/4)*am)
323     lim_tcomp_p = 2.6*fcd
324     lim_tcomp_e = 0.85*fcd
325     n_est_sx = 3
326     n_est_sy = 2
327     c = (math.sqrt(5)/2)
328

```

Fonte: Própria (2018)

Como relatado anteriormente, o código é capaz de aplicar matematicamente os atributos recebidos e diante disso também se torna capaz de respeitar as recomendações determinadas na NBR 6118, tendo em vista que durante o procedimento de cálculo foram inseridas condições de verificações pré-determinadas pela norma. Veja um exemplo na Figura 24.

Figura 24 - Verificação da condição exigida pela norma para blocos rígidos

```

364-    '''
365    Determinação da altura do bloco, para se ter um bloco rígido:
366    '''
367    h1 = (a - ap)/3
368    h2 = (a - bp)/3
369
370
371    d1 = math.tan(math.radians(45))*cadj
372    d2 = math.tan(math.radians(55))*cadj
373    d = round (((d1+d2)/2)/5,0)*5
374    print('d=')
375    print(d)
376-    '''
377    A CONDIÇÃO ACIMA FOI INSERIDA ARBITRARIAMENTE
378    '''
379
380    h1_1 = d1 + d_ap_fi
381    h2_2 = d2 + d_ap_fi
382    h = round (((h1_1+h2_2)/2)/5,0)*5
383    print('h=')
384    print(h)
385-    '''
386    A CONDIÇÃO ACIMA FOI INSERIDA ARBITRARIAMENTE
387    '''
388
389    if (h >= (min((h1,h2)))):
390        print ('Estamos trabalhando com um bloco rígido!')
391

```

Fonte: Própria (2018)

Como exemplo, observando a Figura 24, tem-se a condição estabelecida pela norma para verificar se o bloco tratado sob as dimensões encontradas equivale a um bloco rígido, e assim continuar a aplicação do roteiro de calculo previsto, já que este só servirá sob essas condições, o programa realiza a verificação da condição, com o comando *if*, e informa ao usuário se a condição for verdadeira, já continuando automaticamente os cálculos do dimensionamento, entretanto, se a condição não for obedecida, o programa informa ao usuário e para o processamento de cálculo, exibido a mensagem representada na Figura 25, com o comando *else*.

Figura 25 - Representação do comando utilizado para a finalização do “laço de teste”

```

582
583
584    else:
585        print ('Não estamos trabalhando com um bloco rígido!')
586

```

Fonte: Própria (2018)

É importante salientar que não necessariamente o programa deverá ser interrompido após a verificação de um *if*, tendo em vista que este pode ser usado para qualquer condição estabelecida pela norma, e esta pode ou não interferir na continuação do cálculo de dimensionamento.

3.1.4 Detalhamento do bloco – Desenvolvimento gráfico em *Python*

Para o detalhamento do bloco, utilizou-se a biblioteca *matplotlib*, uma biblioteca de plotagem de gráficos 2D e 3D em *Python* que gera números de qualidade de publicação em uma variedade de formatos impressos e ambientes interativos entre plataformas.

A biblioteca foi utilizada para gerar a planta baixa e o corte do bloco sobre o número de estacas esperado, apresentando consigo a representação das armaduras, assim como as cotas e legendas das barras. Para melhor compreender como foi gerado este detalhamento veja na Figura 26 parte do código e comandos utilizados para a execução deste.

Figura 26 - Código para detalhamento/ Biblioteca Matplotlib

```

700 def detalhar(self):
701
702     import matplotlib
703     import matplotlib.pyplot as plt
704     import numpy as np
705
706     a = self.a
707     bp = self.bp
708     ap = self.ap
709     cob = self.d_ap-fi          # cobrimento
710     d_est = self.d_est
711     l = self.l
712     d = self.d
713     h = self.h
714     n_est = self.n_est
715
716
717
718     if (n_est == 4):
719         fig, axs = plt.subplots(1, 1)
720
721         '''
722         *****
723         Planta baixa
724         *****
725         '''
726
727         # desenhando o contorno do bloco
728         x = [0,a,a,0,0]
729         y = [0,0,a,a,0]
730         axs.plot(x,y, 'black')
731
732         # desenhando a linha de corte
733         x = [0-15,a+15]
734         y = [0+(a/3),0+(a/3)]
735         axs.plot(x,y, '--', color= 'black')
736

```

Fonte: Própria (2018)

Foram utilizados comandos para a inserção dos parâmetros encontrados, como coordenadas gráficas, para desta forma, gerar o detalhamento esperado, outros aspectos, meramente estéticos, também foram inseridos no código, como cores distintas para diferenciação das armaduras, tipo de linhas e espessuras de linhas, para com isso gerar resultados mais intuitivos e autoexplicativos. Veja uma exemplificação na Figura 27.

Figura 27 – Comandos utilizados no detalhamento das armaduras

```

747 # Detalhamento da Armadura principal
748
749 print('Armaduras principais possíveis:')
750 i = 0
751 for num, diam, esp in self._armadura_principal:
752     print('%d) - %d barras de %.2fcm' % (i, num, diam))
753     i+=1
754
755 esc = int(input('Entre com a opção da armadura principal:'))
756
757 n_barras = int(self._armadura_principal[esc][0])
758 esp = self._armadura_principal[esc][2]
759
760 for i in range(n_barras):
761     axs.plot([0+cob,a-cob],[15+0.075*d_est+esp*i,15+0.075*d_est+esp*i], 'g')
762
763 for i in range(n_barras):
764     axs.plot([0+cob,a-cob],[a-(15+0.075*d_est+ esp*i),a-(15+0.075*d_est+ esp*i)], 'g')
765
766 x =[0+cob,0+cob,a-cob,a-cob]
767 y = [-50,-50-round(0.1*a),-50-round(0.1*a),-50]
768
769 axs.text(a*0.3-2*cob,-50-round(0.1*a)*0.5 , "4b 12.5 mm", fontsize = 7)
770 axs.text(-2*cob, -50-round(0.1*a)*0.5 , "18", fontsize = 7)
771 axs.text(a, -50-round(0.1*a)*0.5 , "18", fontsize = 7)
772
773 axs.plot(x,y, 'g')

```

Fonte: Própria (2018)

4 RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados resultados de simulações obtidas com a utilização do software, e a partir desta simulação será traçada uma comparação com os resultados obtidos manualmente na aplicação do modelo de cálculo. No software desenvolvido conseguiu-se fazer o dimensionamento de blocos sobre 2,3,4,5 e 6 estacas, e consequentemente apresentar o detalhamento destes.

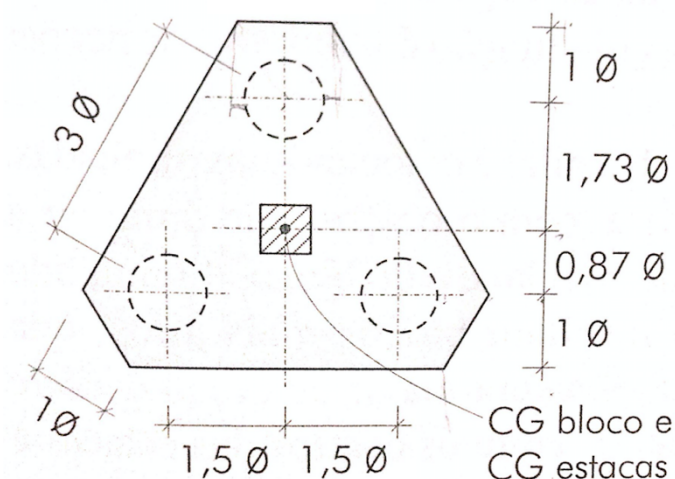
Como apresentado na metodologia deste trabalho, após a escolha da linguagem de programação em que foi desenvolvido o software, com auxílios de comandos próprios desta linguagem, inseriu-se o modelo de cálculo proposto pelo Método das Bielas e Tirantes, com algumas adequações propostas pela norma e conseguiu-se, assim, obter o dimensionamento de bloco sobre n estacas, para $2 \leq n \leq 6$.

Para melhor comparação dos resultados foram utilizados o dimensionamento de blocos sobre 3 e 4 estacas, tendo em vista que estes possuem geometria diferentes em seu detalhamento, sendo capazes de classificar a eficiência do software.

4.1 DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE 3 ESTACAS

Todas as considerações feitas quanto ao Método das bielas e tirantes, que será aplicado no dimensionamento deste bloco, são válidas para um número diferente de estacas. O que difere este dimensionamento é a geometria do bloco. Veja a Figura 28.

Figura 28 - Representação do bloco sobre 3 estacas e suas dimensões



Fonte: Rabello (2008)

Para blocos sobre 3 estacas, deve-se apenas ressaltar a necessidade de que o centro de gravidade do conjunto de estacas coincida com o centro de gravidade do bloco.

4.1.1 Dimensionamento seguindo o modelo de cálculo manualmente

Para conseguir verificar o programa de forma eficiente, tomou-se um exemplo numérico de dimensionamento. Abaixo estão apresentados os dados utilizados no dimensionamento do bloco sobre estacas, destinado à uma edificação comercial.

- Dados:

- Carga admissível das estacas (c_{adm}) = 215 KN
- Diâmetro das estacas (d_{est}) = 30 cm
- Distância do eixo da armadura principal à face inferior do bloco (d_{ap-fi}) = 6 cm.
- Dimensões do pilar ($a_p \times b_p$) = 19 x 75 cm
- Limite de escoamento (f_{yd}) = 43,5 Mpa
- Concreto C25; $f_{ck} = 25$ Mpa
- Esforço Nominal na estrutura (N) = 607 KN
- Momento na direção x (M_x) = 0 KN.m
- Momento na direção y (M_y) = 0 KN.m

Tomando o modelo de cálculo já apresentado, tem-se que para levar em consideração que o peso do bloco que também influenciará como esforço na estrutura, majora-se o esforço nominal em 5%, para assim encontrar o esforço nominal total (N_{total}), de acordo com a Equação 2.3.

$$N_{total} = 1,05 \cdot 607 = 637,35 \text{ KN}$$

Tomando a Equação 2.4, estima-se o número de estacas que será utilizado no dimensionamento.

$$n_{est} = \frac{637,35}{215} \cong 3 \text{ estacas}$$

Segundo a NBR 6118, a distância mínima entre as estacas (L) deve ser de três vezes o seu diâmetro. Tomando a Equação 2.5, tem-se:

$$L = 3.30 = 90 \text{ cm}$$

Para um bloco sobre três estacas, segundo a Equação 2.9, o c_{adj} é dado por:

$$c_{adj} = \frac{\sqrt{3}.90}{3} - 0,3.19 = 46,26 \text{ cm}$$

Tomando que $45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$, calcula-se o valor de d para as duas soluções extremas, aplicando-os na Equação 2.22.

Para $\theta = 45^\circ = \frac{\pi}{4}$ rad, tem-se:

$$d_1 = \tan\left(\frac{\pi}{4}\right).46,26 = 46,26 \text{ cm}$$

Para $\theta = 55^\circ = \frac{11\pi}{36}$ rad, tem-se:

$$d_2 = \tan\left(\frac{11\pi}{36}\right).46,26 = 66 \text{ cm}$$

Com isso, tem-se que: $46,26 \leq d \leq 66$, e para efeito de calculo será adotado que d é igual ao termo intermediário deste intervalo. Logo, **$d = 54 \text{ cm}$** . Após a obtenção do valor da altura útil do bloco, determinado anteriormente, e sendo conhecida a distância entre a armadura principal e a face inferior do bloco (d_{ap-fi}), pode-se determinar a altura total do bloco (h). De acordo com a Equação 2.25.

$$h = 54 + 6 = 60 \text{ cm}$$

Tendo os valores de d e c_{adj} pode-se determinar o ângulo de inclinação da biela. Dado pela Equação 2.26.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{54}{46,26}\right) \cong 50^\circ$$

É extremamente importante verificar a ação dos momentos na estrutura, mas tendo em vista que para este exemplo, os momentos são nulos, estes não provocaram acréscimos na reação da estaca, e esta reação será dada conforme a Equação 2.21.

$$R_{est} = 1,4 \frac{637,35}{3} + 0 = 297,43 \text{ KN}$$

Com o valor da reação da estaca, pode-se verificar as tensões de compressão das bielas, junto ao pilar (pela Equação 2.27) e junto à estaca (pela Equação 2.28), e verificar ainda se estas estão dentro dos limites estabelecidos pela norma para blocos sobre três estacas, dados na Equação 2.7 e 2.8, para as tensões junto ao pilar e junto à estaca, respectivamente.

$$t_{comp-p} = \frac{3 \cdot 297,43}{(19 \cdot 75) \cdot (\sin 50)^2} = 1,07 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \leq 1,75 \cdot \frac{2,5}{1,4} = 3,125 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \text{ (OK!)}$$

$$t_{comp-e} = \frac{297,43}{\pi \frac{30^2}{4} \cdot (\sin 50)^2} = 0,72 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \leq 0,85 \cdot \frac{2,5}{1,4} = 1,52 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \text{ (OK!)}$$

Para o cálculo da armadura principal, precisa-se da resultante de tração, que será dada segundo a Equação 2.30.

$$T = \frac{297,43}{\tan 50} = 249,6 \text{ KN}$$

A área de aço segundo os lados, é dada pela Equação 2.32, e comparada com a área de aço mínima dada pela Equação 2.33.

$$A_{aço-l} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{3} \cdot 249,6}{43,5} = 3,3 \text{ cm}^2$$

$$A_{aço-min} = 0,15\% (0,85 \cdot 30) 60 = 2,3 \text{ cm}^2$$

Para o detalhamento da armadura principal, considera-se sempre o maior valor entre área de aço segundo os lados e a área de aço mínima prescrita por norma, portanto: $A_{aço} = 3,3 \text{ cm}^2$ e esta área equivale, segundo a Tabela 2.4, a 5 ϕ 1cm.

A armadura de pele será calculada como previsto na Equação 2.39.

$$A_{aço-i} = 0,10\%(30 + 0,2.165)60 = 3,78 \text{ cm}^2 \quad (\text{Segundo a Tabela 2.4, esta área de aço equivale a } 5\phi 1\text{cm.})$$

Para a armadura de suspensão tem-se, segundo a Equação 2.40, que:

$$A_{susp} = \frac{1,4 \cdot 637,35}{1,5 \cdot 3 \cdot 43,5} = 4,56 \text{ cm}^2 \quad (\text{Segundo a Tabela 2.4, esta área de aço equivale a } 6\phi 1\text{cm.})$$

Antes de detalhar o bloco, com as armaduras encontradas, verifica-se que as tensão solicitada será menor que a tensão resistente ($V_{sd} \leq V_{rd}$), condição determinada pela norma para garantir a segurança da estrutura.

A tensão solicitante é dada pela Equação 2.34.

$$V_{sd} = 1 \cdot 297,43 = 297,43 \text{ KN}$$

E a tensão resistente é dada pela Equação 2.35.

$$V_{rd} = 0,032 \cdot 1 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,0011) \cdot 165 \cdot 54 = 354,68 \text{ KN}$$

Com isso, a condição estabelecida foi atendida pelos cálculos, ou seja, $V_{sd} \leq V_{rd}$, e o projeto atende ao limite estabelecido pela norma.

4.1.2 Dimensionamento segundo o Software

Em seguida, para o mesmo exemplo dado acima, obteve-se o dimensionamento e detalhamento, a partir do software desenvolvido na linguagem *Python*. Abaixo estão apresentados, novamente, os dados utilizados no dimensionamento do bloco sobre estacas, destinado à uma edificação comercial.

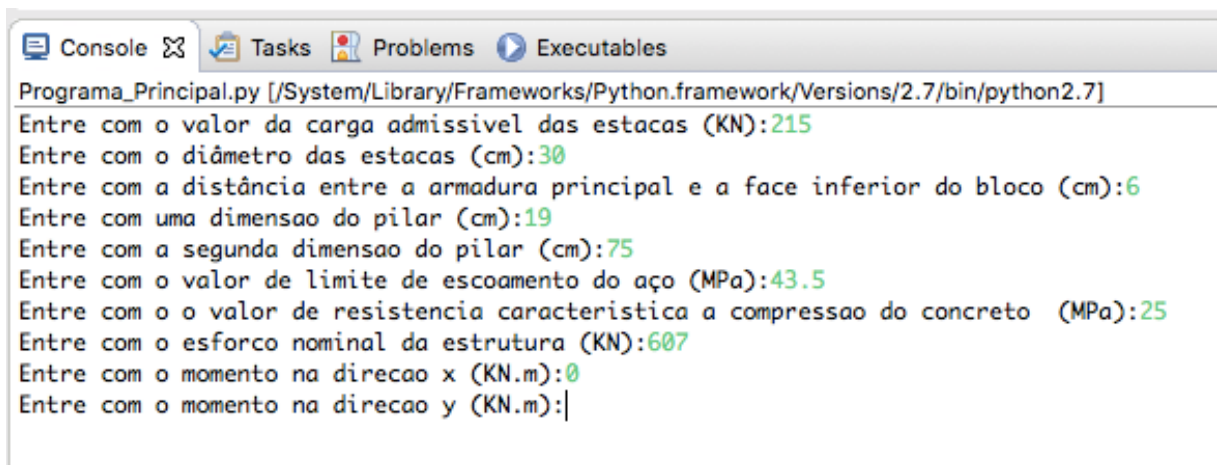
- Dados:

- Carga admissível das estacas (c_{adm}) = 215 KN

- Diâmetro das estacas (d_{est}) = 30 cm
- Distância do eixo da armadura principal à face inferior do bloco (d_{ap-fi}) = 6 cm.
- Dimensões do pilar ($a_p \times b_p$) = 19 x 75 cm
- Limite de escoamento (f_{yd}) = 43,5 Mpa
- Concreto C25; $f_{ck} = 25$ Mpa
- Esforço Nominal na estrutura (N) = 607 KN
- Momento na direção x (M_x) = 0 KN.m
- Momento na direção y (M_y) = 0 KN.m

Para que estes parâmetros sejam inseridos no programa, o software interage com o usuário de forma intuitiva, perguntando os dados necessários no dimensionamento, sequencialmente. Veja a Figura 29.

Figura 29 - Interação do Software com usuário na inserção dos parâmetros



```

Programa_Principal.py [/System/Library/Frameworks/Python.framework/Versions/2.7/bin/python2.7]
Entre com o valor da carga admissivel das estacas (KN):215
Entre com o diâmetro das estacas (cm):30
Entre com a distância entre a armadura principal e a face inferior do bloco (cm):6
Entre com uma dimensao do pilar (cm):19
Entre com a segunda dimensao do pilar (cm):75
Entre com o valor de limite de escoamento do aço (MPa):43.5
Entre com o o valor de resistencia caracteristica a compressao do concreto (MPa):25
Entre com o esforco nominal da estrutura (KN):607
Entre com o momento na direcao x (KN.m):0
Entre com o momento na direcao y (KN.m):|
  
```

Fonte: Própria (2018)

Após inseridos todos os parâmetros, o software continua sua execução, e realiza o processamento dos dados, gerando assim, os resultados do dimensionamento. Descritos parcialmente na Figura 30 e 31.

Figura 30 - Resultados dos cálculos de dimensionamento

```

O esforço nominal total é:
637.35
Número de estacas=
3.0
A distância entre as estacas (L)=
110.0
a=
185.0
a_rest_i=
0.0
rest =
297.43
d=
70.0
h=
75.0
Estamos trabalhando com um bloco rígido!
O ângulo de inclinação da biela é:
50.449
A tensão de compressão junto ao pilar é:
1.053
A Tensão de compressão junto ao pilar estão dentro dos limites estabelecidos!
A tensão de compressão junto à estaca é:
0.708
A Tensão de compressão junto à estaca está dentro dos limites estabelecidos!
A resultante de compressão na biela e:
385.743
A resultante de tração na armadura principal é:
245.628
A área de aço na direção das bielas é:
5.647
A área de aço segundo os lados é:
3.26
A área mínima de aço, prescrita por norma, é:
2.869
area_aco =
3.26

```

Fonte: Própria (2018)

Figura 31 - Sugestões das possíveis barras e bitolas para a execução da fundação

```

As seguintes barras e bitolas poderão ser utilizadas para a Armadura Principal: (nb,d_barra,espaçamento)=
[(10.0, 0.63, 2.833), (6.0, 0.8, 5.1), (4.0, 1, 8.5), (3.0, 1.25, 12.75)]
v_sd =
297.43
v_rdl =
464.667
A tensão solicitante é menor que a tensão resistente de cálculo!
A área de aço individual é:
5.025
As seguintes barras e bitolas poderão ser utilizadas para a Armadura de Pele: (nb,d_barra,espaçamento)=
[(10.0, 0.8, 7.0), (6.0, 1, 12.6), (4.0, 1.25, 21.0)]
A área da armadura de suspensão é:
4.558
As seguintes barras e bitolas poderão ser utilizadas para a Armadura de Suspensão: (nb,d_barra,espaçamento)=
[(9.0, 0.8, 8.0), (6.0, 1, 11.429), (4.0, 1.25, 16.0)]

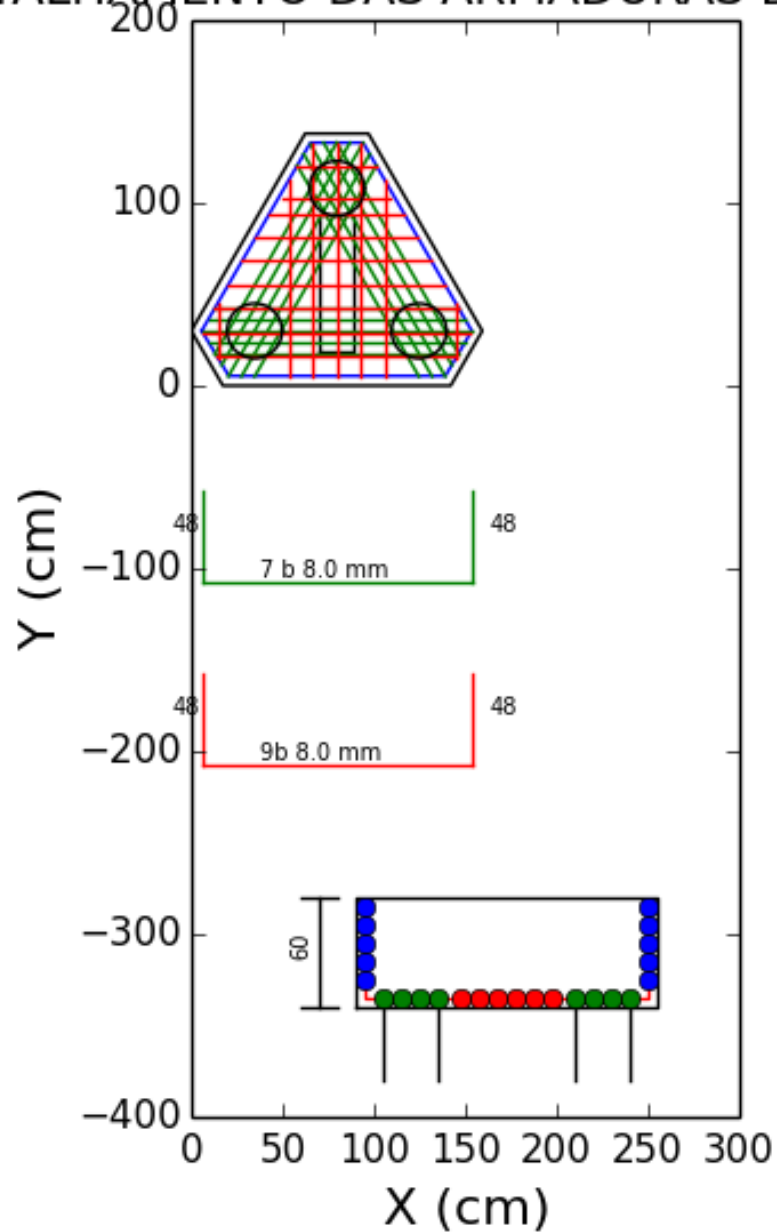
```

Fonte: Própria (2018)

E conseqüentemente aos resultados dos cálculos apresentados pelo programa, este realiza o detalhamento das armaduras, representando a planta baixa com as barras detalhadas e o corte transversal do bloco, como mostra a Figura 4.5.

Figura 32 - Detalhamento do bloco gerado pelo programa

DETALHAMENTO DAS ARMADURAS DO BLOCO

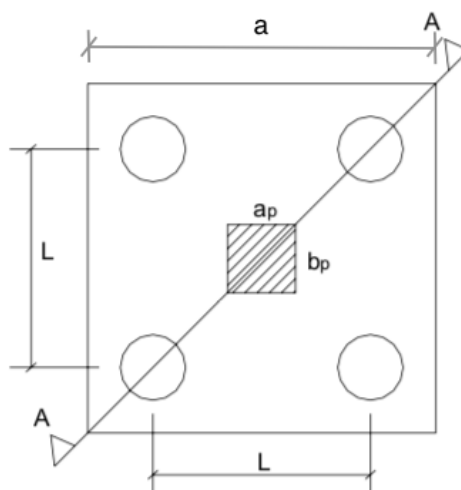


Fonte: Própria (2018)

4.2 DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE 4 ESTACAS

Todas as considerações feitas quanto ao Método das bielas e tirantes, que será aplicado no dimensionamento deste bloco, são válidas para um número diferente de estacas, como feito anteriormente. O que difere este dimensionamento do feito anteriormente é a geometria do bloco. Veja a Figura 33.

Figura 33 - Representação do bloco sobre 4 estacas e suas dimensões



Fonte: Alva (2017)

4.2.1 Dimensionamento seguindo o modelo de cálculo manualmente

Para conseguir verificar o programa de forma eficiente, tomou-se um exemplo numérico de dimensionamento. Abaixo estão apresentados os dados utilizados no dimensionamento do bloco sobre estacas, destinado à uma edificação comercial.

- Dados:

- Carga admissível das estacas (c_{adm}) = 250 kN
- Diâmetro das estacas (d_{est}) = 32 cm
- Distância do eixo da armadura principal à face inferior do bloco (d_{ap-fi}) = 7 cm.
- Dimensões do pilar ($a_p \times b_p$) = 25 x 40 cm
- Limite de escoamento (f_{yd}) = 43,5 Mpa
- Concreto C20; f_{ck} = 20 Mpa

- Esforço Nominal na estrutura (N) = 875 KN
- Momento na direção x (M_x) = 0 KN.m
- Momento na direção y (M_y) = 40 KN.m

Tomando o modelo de cálculo já apresentado, tem-se que para levar em consideração que o peso do bloco que também influenciará como esforço na estrutura, majora-se o esforço nominal em 5%, para assim encontrar o esforço nominal total (N_{total}), de acordo com a Equação 2.3.

$$N_{total} = 1,05 \cdot 875 = 918,75 \text{ KN}$$

Tomando a Equação 2.4, estima-se o número de estacas que será utilizado no dimensionamento.

$$n_{est} = \frac{918,75}{250} \cong 4 \text{ estacas}$$

Segundo a NBR 6118, a distância mínima entre as estacas (L) deve ser de três vezes o seu diâmetro. Tomando a Equação 2.5, tem-se:

$$L = 3 \cdot 32 = 96 \text{ cm} \cong 100 \text{ cm}$$

Para um bloco sobre quatro estacas, segundo a Equação 2.9, o c_{adj} é dado por:

$$c_{adj} = \frac{\sqrt{2} \cdot 100}{2} - \frac{\sqrt{2}}{4} 25 = 61,87 \text{ cm}$$

Tomando que $45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$, calcula-se o valor de **d** para as duas soluções extremas, aplicando-os na Equação 2.22.

Para $\theta = 45^\circ = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$, tem-se:

$$d_1 = \tan\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 61,87 = 61,87 \text{ cm}$$

Para $\theta = 55^\circ = \frac{11\pi}{36} \text{ rad}$, tem-se:

$$d_2 = \tan\left(\frac{11\pi}{36}\right) \cdot 61,87 = 88,36 \text{ cm}$$

Com isso, tem-se que: $61,87 \leq d \leq 88,36$, e para efeito de calculo será adotado que **d** é igual ao termo intermediário deste intervalo. Logo, **d = 75 cm**. Após a obtenção do valor da altura útil do bloco, determinado anteriormente, e sendo conhecida a distância entre a armadura principal e a face inferior do bloco (d_{ap-fi}), pode-se determinar a altura total do bloco (h). De acordo com a Equação 2.25.

$$h = 75 + 7 = 82 \text{ cm}$$

Tendo os valores de **d** e **c_{adj}** pode-se determinar o ângulo de inclinação da biela. Dado pela Equação 2.26.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{75}{61,87}\right) \cong 50^\circ$$

É extremamente importante verificar a ação dos momentos na estrutura, pois estes provocarão acréscimos na reação da estaca e estes acréscimos na reação da estaca serão dados pela Equação 2.20, e esta reação será dada conforme a Equação 2.21.

$$R_{est} = 1,4 \frac{918,75}{4} + 0,2 = 321,76 \text{ KN}$$

Com o valor da reação da estaca, pode-se verificar as tensões de compressão das bielas, junto ao pilar (pela Equação 2.27) e junto à estaca (pela Equação 2.28), e verificar ainda se estas estão dentro dos limites estabelecidos pela norma para blocos sobre três estacas, dados na Equação 2.10 e 2.11, para as tensões junto ao pilar e junto à estaca, respectivamente.

$$t_{comp-p} = \frac{4 \cdot 321,76}{(25 \cdot 40) \cdot (\sin 50)^2} = 2,19 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \leq 2,1 \cdot \frac{2,5}{1,4} = 3,75 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \text{ (OK!)}$$

$$t_{comp-e} = \frac{321,76}{\pi \frac{32^2}{4} \cdot (\sin 50)^2} = 0,68 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \leq 0,85 \cdot \frac{2,5}{1,4} = 1,52 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} \text{ (OK!)}$$

Para o cálculo da armadura principal, precisa-se da resultante de tração, que será dada segundo a Equação 2.30.

$$T = \frac{321,76}{\tan 50} = 270 \text{ KN}$$

A área de aço segundo os lados, é dada pela Equação 2.32, e comparada com a área de aço mínima dada pela Equação 2.33.

$$A_{aço-l} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 270}{43,5} = 4,39 \text{ cm}^2$$

$$A_{aço-mín} = 0,15\%(0,85 \cdot 32)82 = 3,34 \text{ cm}^2$$

Para o detalhamento da armadura principal, considera-se sempre o maior valor entre área de aço segundo os lados e a área de aço mínima prescrita por norma, portanto: $A_{aço} = 4,39 \text{ cm}^2$ e esta área equivale, segundo a Tabela 2.4, a $5\phi 1,25 \text{ cm}$.

A armadura de pele será calculada como previsto na Equação 2.39.

$$A_{aço-i} = 0,10\%(32 + 0,2 \cdot 162)82 = 5,28 \text{ cm}^2 \quad (\text{Segundo a Tabela 2.4, esta área de aço equivale a } 7\phi 1,25 \text{ cm.})$$

Para a armadura de suspensão tem-se, segundo a Equação 2.40, que:

$$A_{susp} = \frac{1,4 \cdot 918,75}{1,5 \cdot 4 \cdot 43,5} = 4,92 \text{ cm}^2 \quad (\text{Segundo a Tabela 2.4, esta área de aço equivale a } 4\phi 1,25 \text{ cm.})$$

Antes de detalhar o bloco, com as armaduras encontradas, verifica-se que a tensão solicitada será menor que a tensão resistente ($V_{sd} \leq V_{rd}$), condição determinada pela norma para garantir a segurança da estrutura.

A tensão solicitante é dada pela Equação 2.34.

$$V_{sd} = 2 \cdot 321,76 = 643,52 \text{ KN}$$

E a tensão resistente é dada pela Equação 2.35.

$$V_{rd} = 0,027 \cdot 1 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,0011) \cdot 180 \cdot 90 = 689,23 \text{ KN}$$

Com isso, a condição estabelecida foi atendida pelos cálculos, ou seja, $V_{sd} \leq V_{rd}$, e o projeto atende ao limite estabelecido pela norma.

4.2.2 Dimensionamento segundo o Software

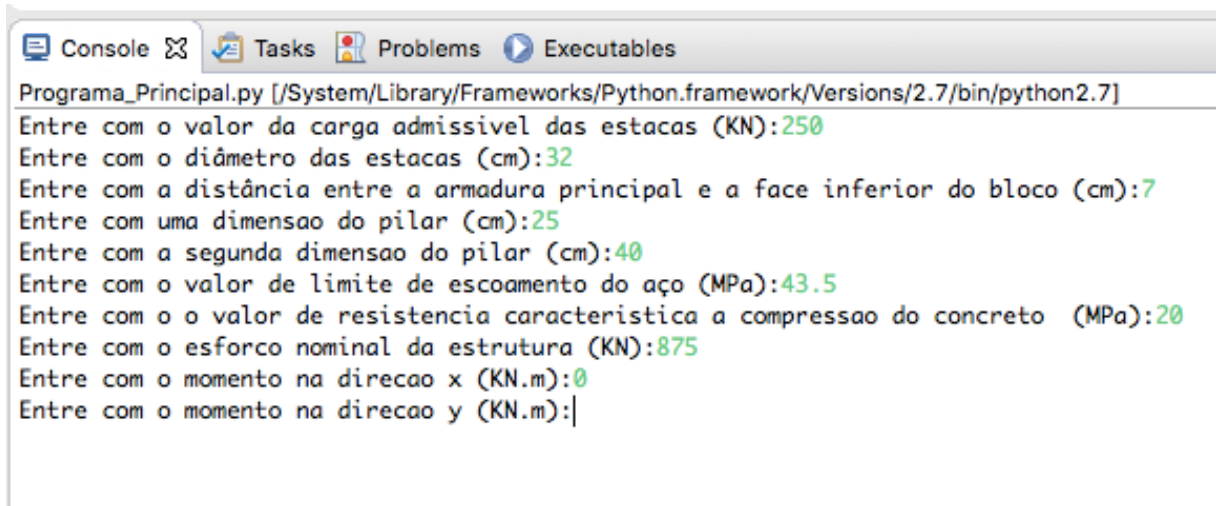
Em seguida, para o mesmo exemplo dado acima, obteve-se o dimensionamento e detalhamento, a partir do software desenvolvido na linguagem *Python*. Abaixo estão apresentados, novamente, os dados utilizados no dimensionamento do bloco sobre estacas, destinado à uma edificação comercial.

- Dados:

- Carga admissível das estacas (c_{adm}) = 250 KN
- Diâmetro das estacas (d_{est}) = 32 cm
- Distância do eixo da armadura principal à face inferior do bloco (d_{ap-fi}) = 7 cm.
- Dimensões do pilar ($a_p \times b_p$) = 25 x 40 cm
- Limite de escoamento (f_{yd}) = 43,5 Mpa
- Concreto C20; $f_{ck} = 20$ Mpa
- Esforço Nominal na estrutura (N) = 875 KN
- Momento na direção x (M_x) = 0 KN.m
- Momento na direção y (M_y) = 40 KN.m

Para que estes parâmetros sejam inseridos no programa, o software interage com o usuário de forma intuitiva, perguntando os dados necessários no dimensionamento, sequencialmente. Veja a Figura 4.3.

Figura 34 - Interação do Software com usuário na inserção dos parâmetros



```
Programa_Principal.py [/System/Library/Frameworks/Python.framework/Versions/2.7/bin/python2.7]
Entre com o valor da carga admissivel das estacas (KN):250
Entre com o diâmetro das estacas (cm):32
Entre com a distância entre a armadura principal e a face inferior do bloco (cm):7
Entre com uma dimensao do pilar (cm):25
Entre com a segunda dimensao do pilar (cm):40
Entre com o valor de limite de escoamento do aço (MPa):43.5
Entre com o o valor de resistencia caracteristica a compressao do concreto (MPa):20
Entre com o esforco nominal da estrutura (KN):875
Entre com o momento na direcao x (KN.m):0
Entre com o momento na direcao y (KN.m):|
```

Fonte: Própria (2018)

Após inseridos todos os parâmetros, o software continua sua execução, e realiza o processamento dos dados, gerando assim, os resultados do dimensionamento. Descritos na Figura 36 e diante destes, apresenta sugestões de barras e bitolas para as armaduras, segundo a área de aço calculada. Veja na Figura 37.

Figura 35 - Resultados do dimensionamento do bloco sobre 4 estacas

```

O esforço nominal total é:
918.75
Número de estacas=
4.0
A distância entre as estacas (L)=
115.0
a=
175.0
a_rest_i=
17.391
rest =
338.954
d=
90.0
h=
95.0
Estamos trabalhando com um bloco rígido!
O ângulo de inclinação da biela é:
51.155
A tensão de compressão junto ao pilar é:
2.235
A Tensão de compressão junto ao pilar estão dentro dos limites estabelecidos!
A tensão de compressão junto à estaca é:
0.695
A Tensão de compressão junto à estaca está dentro dos limites estabelecidos!
A resultante de compressão na biela é:
435.201
A resultante de tração na armadura principal é:
272.965
A área de aço na direção das bielas é:
6.275
A área de aço segundo os lados é:
4.437
A área mínima de aço, prescrita por norma, é:
3.876
area_aco =
4.437

```

Fonte: Própria (2018)

Figura 36 - Sugestões de barras e bitolas segundo as áreas de aço

```

As seguintes barras e bitolas poderão ser utilizadas para a Armadura Principal: (nb,d_barra)=
[(14.0, 0.63, 2.092), (9.0, 0.8, 3.4), (6.0, 1, 5.44), (4.0, 1.25, 9.067)]
v_sd =
677.908
v_rd1 =
379.618
A tensão solicitante não atende ao limite estabelecido!
A área de aço individual é:
6.365
As seguintes barras e bitolas poderão ser utilizadas para a Armadura de Pele: (nb,d_barra)=
[(13.0, 0.8, 7.308), (8.0, 1, 11.875), (5.0, 1.25, 19.0), (3.0, 1.6, 31.667)]
A área da armadura de suspensão é:
4.928
As seguintes barras e bitolas poderão ser utilizadas para a Armadura de Suspensão: (nb,d_barra)=
[(10.0, 0.8, 8.3), (6.0, 1, 13.833), (4.0, 1.25, 20.75)]

```

Fonte: Própria (2018)

Após realizado os cálculos o programa interage com o usuário para que o mesmo escolha a opção desejada de barras e bitolas (Figura 38), segundo as sugestões que lhes foram apresentadas.

Figura 37 - Opções de escolha para o usuário determinar as barras desejadas

```

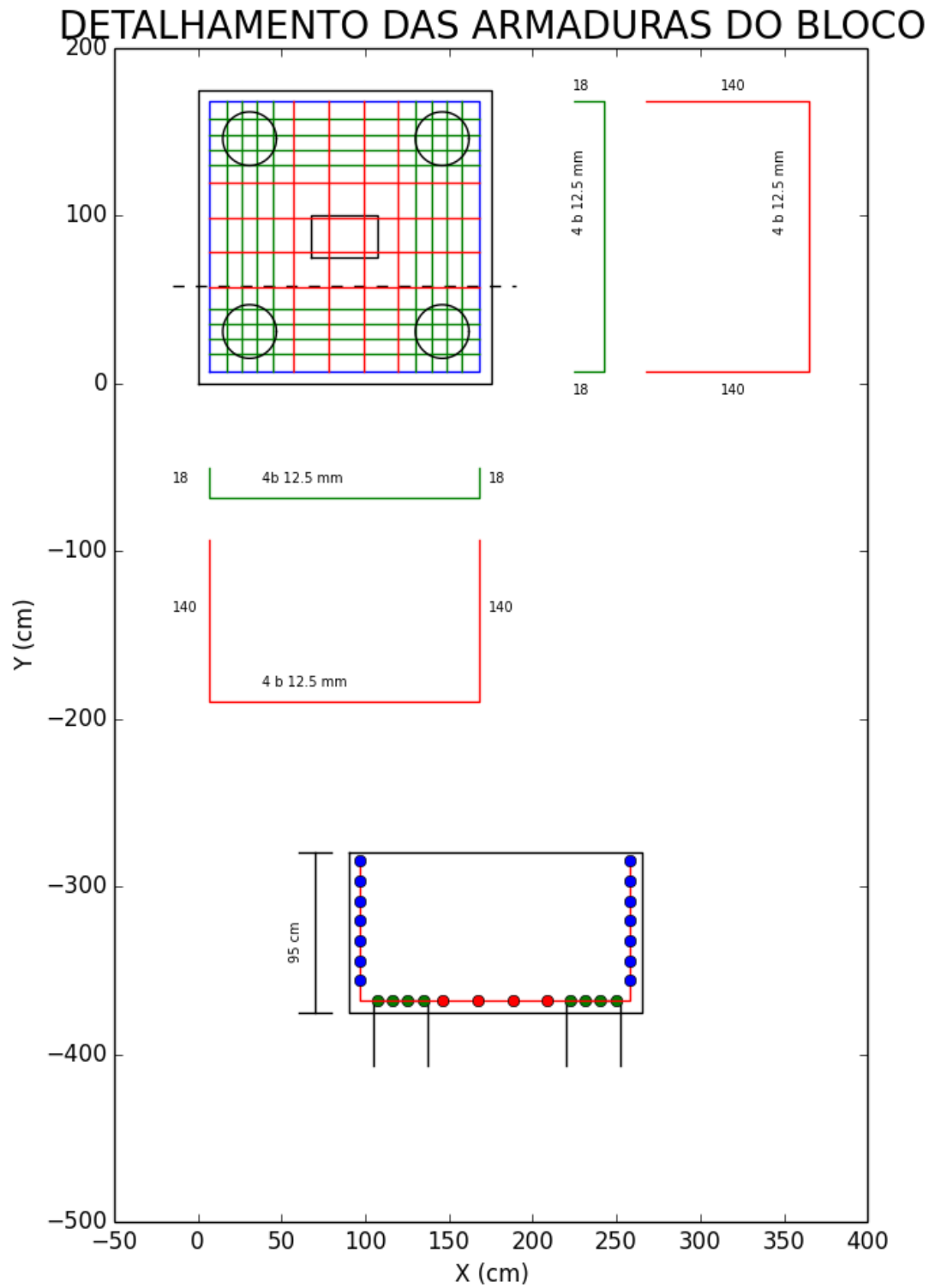
Armaduras principais possíveis:
(0) - 14 barras de 0.63cm
(1) - 9 barras de 0.80cm
(2) - 6 barras de 1.00cm
(3) - 4 barras de 1.25cm
Entre com a opção da armadura principal:3
Armaduras de suspensão possíveis:
(0) - 10 barras de 0.80cm
(1) - 6 barras de 1.00cm
(2) - 4 barras de 1.25cm
Entre com a opção da armadura de suspensão:2
Armaduras de pele possíveis:
(0) - 13 barras de 0.80cm
(1) - 8 barras de 1.00cm
(2) - 5 barras de 1.25cm
(3) - 3 barras de 1.60cm
Entre com a opção da armadura de pele:|

```

Fonte: Própria (2018)

Consequentemente aos resultados dos cálculos apresentados pelo programa, este realiza o detalhamento das armaduras, representando a planta baixa com as barras detalhadas e o corte transversal do bloco, como mostra a Figura 39.

Figura 38 - Detalhamento gerado pelo programa para bloco sobre 4 estacas



Fonte: Própria (2018)

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre o uso do Modelo de Bielas e Tirantes no dimensionamento de blocos, e desenvolvido um *software* capaz de realizar de forma mais precisa este dimensionamento seguindo o método estabelecido. O *software* é capaz de apresentar resultados mais exatos e mais realistas, além de apresentar o detalhamento das armaduras para o dimensionamento executado.

Além das técnicas utilizadas neste trabalho, existem outras que podem vir a contribuir para melhoria da eficiência do *software*, sendo assim este trabalho pode servir para diferentes aplicações futuras, sejam estas técnicas ou embasamento de testes fisiológicos. Sugere-se, como trabalhos futuros:

- Acrescentar ao *software* o efeito da sondagem do solo no dimensionamento, como sua interferência na escolha do tipo de estaca adequado para determinado solo.
- Desenvolver uma interface mais intuitiva, podendo apresentar o código como aplicativo disponível em qualquer plataforma.
- Tornar possível o dimensionamento de blocos para um número maior que 6 estacas.

REFERÊNCIAS

ALVA, G.M.S. (2007). PROJETO ESTRUTURAL DE BLOCOS SOBRE ESTACAS. Santa Maria, 2007. Universidade Federal de Santa Maria (Notas de aula). Disponível em: < http://coral.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Apostila_Blocos.pdf >. Acesso em: 06 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto e estruturas de Concreto - Procedimentos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014. 238 p. Disponível em: <<https://engcivil20142.files.wordpress.com/2017/08/nbr-6118-2014-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento-verso3a3o-corrigida.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

BASTOS, P. S. dos S. (2017). **BLOCOS DE FUNDAÇÃO**. Bauru/SP, 2017. Universidade Estadual Paulista – UNESP (Notas de aula). Disponível em: < <http://wwwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Blocos.pdf> >. Acesso em: 08 abr. 2018

BASTOS, P. S. dos S. (2017). ESTRUTURAS DE CONCRETO III. Bauru/SP, 2017. Universidade Estadual Paulista – UNESP (Notas de aula). Disponível em: < <http://wwwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Blocos.pdf> >. Acesso em: 08 abr. 2018

OLIVEIRA, D. S.; BARROS, R.; GIONGO, J. S.. Blocos de concreto armado sobre seis estacas: simulação numérica e dimensionamento pelo método de bielas e tirantes. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, [S. l.], v. 7, n. 1, p.12-23, fev. 2014. Mensal.

MODELO DE BIELAS E TIRANTES. PUC-RIO – Certificação Digital Nº 0812424/CA. Disponível em: < https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20548/20548_3.PDF >. Acesso em: 02 abr. 2018.

SILVA, Regis da. **Introdução a Classes e Métodos em Python (básico)**. 2018. Disponível em: <<http://pythonclub.com.br/introducao-classes-metodos-python-basico.html>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

PEREIRA, Caio. O que é bloco de fundação?. Escola Engenharia, 2017. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/blocos-de-fundacao/>. Acesso em: 24 de agosto de 2018.

DALDEGAN, Eduardo. Principais tipos de estacas utilizadas na construção civil. Engenharia Concreta, 2017. Disponível em: <https://www.engenhariaconcreta.com/principais-tipos-de-estacas/>. Acesso em: 25 de agosto de 2018.

LOPES, Guilherme Martins. **Dimensionamento e detalhamento de blocos de fundação para pilares de seções compostas**. 2011. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011. Disponível em: <http://www.deciv.ufscar.br/tcc/wa_files/TCC2011-Guilherme_Martins_Lopes.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2018.

REBELLO, Yopanan C. P.. **Fundações:** Guia Prático de projeto, execução e dimensionamento. 4. ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2008. 239 p.