

TAYSSA CORDEIRO DE OLIVEIRA

**EFICIÊNCIA DE GRUPO EM ESTACAS: APLICAÇÃO E
COMPARAÇÃO DE CRITÉRIOS DE ANÁLISE.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: SANDOVAL JUNQUEIRA

ANÁPOLIS / GO: 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, TAYSSA CORDEIRO.

Eficiência de Grupo em Estacas: Aplicação e comparação de critérios de análise [Goiás] 2015

99P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Estaca

2. Eficiência

3. Solo

4. Dimensionamento

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, T. C. Eficiência de Grupo em Estacas: Aplicação e comparação de critérios de análise. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 99p. 2015.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Tayssa Cordeiro de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Eficiência de Grupo em Estacas: Aplicação e comparação de critérios de análise.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2015

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Tayssa Cordeiro de Oliveira

E-mail: tayssacoliveira@hotmail.com

TAYSSA CORDEIRO DE OLIVEIRA

EFICIÊNCIA DE GRUPO EM ESTACAS: APLICAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CRITÉRIOS DE ANÁLISE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

APROVADO POR:

**SANDOVAL JUNQUEIRA, MSc (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**

**ROBSON OLIVEIRA FÉLIX, Esp. (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**NAIANE MACHADO FONSECA GARCIA, Esp. (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 23 de NOVEMBRO de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que iluminou meu caminho durante esta etapa, me concedendo força e coragem para concluí-la.

À minha família por acreditar e me apoiar durante estes e todos os anos da minha vida. Em especial a minha mãe Helena pelo seu cuidado, dedicação e os conselhos que tanto me ajudaram, ao meu pai Vicente que me deu a segurança e o incentivo dos quais tanto precisei. A minha irmã Renata e ao meu namorado Gustavo pela paciência, incentivo e pelo carinho que me dedicaram.

Aos meus amigos de faculdade, em especial a Daniella, Diego, Jonathas Dantas, Jhonathas Xavier, Junior e Rogério com quem partilhei as experiências, alegrias e tristezas ao longo de cada semestre.

Ao professor Sandoval Junqueira pela excelente orientação e disponibilidade em esclarecer minhas dúvidas. A todos os professores do curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA pelos conhecimentos transmitidos que foram tão importantes ao longo da minha vida acadêmica.

Enfim, agradeço todos àqueles que de alguma maneira colaboraram com esta vitória. A todos meu muito obrigado!

RESUMO

A presente monografia demonstrou algumas metodologias para verificação da eficiência de grupo em estacas e realizou a aplicação: em um edifício residencial na cidade de Goiânia-Go, com fundação em estacas tipo hélice contínua monitorada e no Campo Experimental de Fundações da Escola de Engenharia de São Carlos (Universidade de São Paulo – USP) a partir de dados de Cintra e Silva (1996). Para este estudo foi utilizado o projeto de fundações e os parâmetros do solo obtidos através dos dados do relatório de sondagem SPT. Na revisão bibliográfica realizou-se uma pesquisa sobre o tema através de livros, artigos, revistas e em sites da internet. As análises, que levaram em consideração as características específicas de cada local, mostraram que os critérios de análise precisam ainda de lapidação, pois não levam em consideração características importantes das estacas e do solo, porém seus resultados aproximaram-se dos resultados obtidos com o ensaio de prova de carga estática em grupos de estacas, o que faz destes critérios uma alternativa para o dimensionamento das eficiências. Através da aplicação dos critérios de análise no projeto do edifício residencial destacou-se a importância de incluir o tema deste trabalho no desenvolvimento de projetos de fundações, pois se trata de um parâmetro de grande importância para a estabilidade das estruturas.

Palavras-chave: Estaca, eficiência, solo, dimensionamento.

ABSTRACT

This monograph has shown some methodologies for group efficiency check on stakes and made the application: in a residential building in the city of Goiânia-Go, with foundation in stakes type continuous flight auger monitored and in Experimental Station Foundation School of Engineering of São Carlos (University of São Paulo - USP) from Cintra and Silva (1996). For this study we used the project of foundations and soil parameters obtained through the survey report data SPT. In the bibliographic review carried out a research on the subject through books, articles, magazines and on Internet websites. The analysis, which took into account the specific characteristics of each site, they showed that the analysis criteria still need Stonecutting, because they do not take into account important characteristics of the stakes and soil, but its results were close to the results obtained from the static load test run in stake groups, which makes these criteria an alternative to sizing of efficiencies. By using the analytical criteria in residential building project, it highlights the importance of including the topic of this work in developing foundations projects, because it is a very important parameter for the stability of structures.

Keywords: Stake, efficiency, soil, sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais tipos de fundações superficiais.....	16
Figura 2 – Tipos de fundações profundas (estaca e tubulão).....	17
Figura 3 – Estimativa da profundidade.....	19
Figura 4 – Execução SPT.....	20
Figura 5 – Esquema de uma fundação profunda.....	22
Figura 6 – Escavação manual.....	24
Figura 7 – Foto de uma perfuratriz.....	24
Figura 8 – Hélice contínua monitorada.....	26
Figura 9 – Execução estaca hélice contínua.....	27
Figura 10 – Bloco sobre estacas e bloco sobre tubulões.....	28
Figura 11 – Bloco sobre estacas.....	28
Figura 12 – Coeficiente de capacidade de carga.....	31
Figura 13 – Cargas em estacas isoladas e em grupos.....	34
Figura 14 – Critério de Feld.....	36
Figura 15 – Ensaio de prova de carga.....	38
Figura 16 – Equipamentos para prova de carga estática.....	39
Figura 17 – Configuração dos grupos de estacas.....	41
Figura 18 – Tipos de solos.....	42
Figura 19 – Critério de Feld para bloco com duas estacas (1x2).....	44
Figura 20 – Critério de Feld para bloco com três estacas (1x3).....	45
Figura 21 – Critério de Feld para bloco com três estacas (Δ).....	45
Figura 22 – Critério de Feld para bloco com quatro estacas (2x2).....	46
Figura 23 – Gráfico Feld x Cintra & Silva.....	47
Figura 24 – Critério de Terzaghi & Peck para bloco com duas estacas (1x2).....	48
Figura 25 – Critério de Terzaghi & Peck para bloco com três estacas (1x3).....	48
Figura 26 – Critério de Terzaghi & Peck para bloco com tres estacas (Δ).....	49
Figura 27 – Critério de Terzaghi & Peck para bloco com quatro estacas (1x2).....	50
Figura 28 – Gráfico Terzaghi & Peck x Cintra e Silva.....	51
Figura 29 – Critério de Converse-Labarre para bloco com duas estacas (1x2).....	52
Figura 30 – Critério de Converse-Labarre para bloco com três estacas (1x3).....	52
Figura 31 – Critério de Converse-Labarre para bloco com três estacas (Δ).....	53

Figura 32 – Critério de Converse-Labarre para bloco com quatro estacas (2x2).....	53
Figura 33 – Converse-Labarre x Cintra & Silva.....	54
Figura 34 – Feld, bloco sobre duas estacas.....	56
Figura 35 – Feld, bloco sobre quatro estacas.....	56
Figura 36 – Feld, bloco sobre cinco estacas.....	57
Figura 37 – Feld, bloco sobre seis estacas.....	58
Figura 38 – Feld, bloco sobre doze estacas.....	58
Figura 39 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B3.....	59
Figura 40 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B4.....	60
Figura 41 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B5.....	60
Figura 42 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B6.....	61
Figura 43 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B7.....	61
Figura 44 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B8.....	62
Figura 45 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B9.....	63
Figura 46 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B10.....	63
Figura 47 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B11.....	64
Figura 48 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B12.....	65
Figura 49 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B13.....	65
Figura 50 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B14.....	66
Figura 51 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B15.....	67
Figura 52 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B3.....	68
Figura 53 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B4.....	68
Figura 54 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B5.....	69
Figura 55 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B6.....	69
Figura 56 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B7.....	70
Figura 57 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B8.....	70
Figura 58 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B9.....	71
Figura 59 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B10.....	71
Figura 60 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B11.....	72
Figura 61 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B12.....	72
Figura 62 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B13.....	73
Figura 63 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B14.....	73
Figura 64 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B15.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela dos estados de compacidade e de consistência.....	21
Tabela 2 – Cargas usuais máximas para estacas do tipo broca.....	25
Tabela 3 – Cargas usuais máximas para estacas tipo hélice contínua monitorada.....	27
Tabela 4 – Valor do coeficiente α	32
Tabela 5 – Valor do coeficiente K.....	32
Tabela 6 – Valor do coeficiente β	32
Tabela 7 – Parâmetros Geotécnicos.....	42
Tabela 8 – Valores de carga última obtidos na prova de carga.....	43
Tabela 9 – Fator de eficiência.....	43
Tabela 10 – Feld x Cintra & Silva.....	46
Tabela 11 – Terzaghi & Peck x Cintra e Silva.....	50
Tabela 12 – Converse-Labarre x Cintra e Silva.....	54
Tabela 13 – Tabela de cargas.....	75
Tabela 14 – Aplicação da eficiência de Feld FS=1,6.....	75
Tabela 15 – Aplicação da eficiência de Feld FS=2,0.....	76
Tabela 16 – Aplicação da eficiência de Terzaghi & Peck FS=1,6.....	76
Tabela 17 – Aplicação da eficiência de Terzaghi & Peck FS=2,0.....	77
Tabela 18 – Aplicação da eficiência de Converse-Labarre FS=1,6.....	77
Tabela 19 – Aplicação da eficiência de Converse-Labarre FS=2,0.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos principais tipos de fundações.....	17
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR	Norma Brasileira
USP	Universidade de São Paulo
Go	Goiás
SPT	Standart Penetration Test
CPT	Ensaio de Penetração de Cone
m ²	Metros quadrados
M	Metro
Kg	Quilograma
Cm	Centímetros
ABPv	Associação Brasileira de Pavimentação
N	Índice de Resistência a Penetração
UNAMA	Universidade da Amazônia
CEHOP	Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas de Sergipe
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
MPa	Mega Pascal
KN	Quilonewton
Kpa	Quilopascal
tf	Tonelada Força
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PUC	Pontifícia Universidade Católica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	15
2 FUNDAÇÃO DE EDIFÍCIOS	16
2.1 FUNDAÇÕES.....	16
2.2 DADOS GEOTÉCNICOS.....	18
2.3 FUNDAÇÕES PROFUNDAS.....	21
2.3.1 Estacas Tipo Broca	23
2.3.2 Estacas Tipo Hélice Contínua Monitorada	25
2.3.3 Bloco sobre Estacas	27
2.4 CAPACIDADES DE CARGA EM ESTACAS ISOLADAS.....	29
3 EFICIÊNCIA DE GRUPO EM ESTACAS	34
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	34
3.1.1 Critério de Feld (1943)	36
3.1.2 Critério de Terzaghi & Peck (1948)	37
3.1.3 Critério de Converse-Labarre (1961)	37
3.2 PROVAS DE CARGA ESTÁTICA EM ESTACAS.....	38
4 CASO DE CINTRA E SILVA (1996)	41
4.1 APLICAÇÕES DOS CRITÉRIOS DE ANÁLISE.....	44
4.1.1 Aplicação do critério de Feld	44
4.1.1.1 Comparação dos Resultados de Feld.....	46
4.1.2 Aplicação do critério de Terzaghi & Peck	47
4.1.2.1 Comparação dos Resultados de Terzaghi & Peck.....	50
4.1.3 Aplicação do critério de Converse-Labarre	51
4.1.3.1 Comparação dos Resultados de Converse-Labarre.....	54

5 ESTUDO DE CASO DO EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM GOIÂNIA-GO.....	55
5.1 APLICAÇÕES DOS CRITÉRIOS DE ANÁLISE.....	55
5.1.1 Critério de Feld	55
5.1.2 Critério de Terzaghi & Peck.....	59
5.1.3 Critério de Converse-Labarre.....	67
5.2 APLICAÇÕES DAS EFICIÊNCIAS NO PROJETO DE FUNDAÇÕES.....	74
5.2.1 Aplicação do Critério de Feld	75
5.2.2 Aplicação do Critério de Terzaghi & Peck.....	76
5.2.3 Aplicação Critério de Converse-Labarre.....	77
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
REFERÊNCIAS.....	81
ANEXOS.....	85

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo Azeredo (1988 *apud* BEILFUSS, 2012), fundação é o elemento que deve transmitir ao solo as cargas da estrutura. Desta forma uma fundação bem dimensionada é aquela que realiza a transmissão de carga sem gerar ao solo deformações ou recalques que poderiam danificar a estrutura.

Ao longo do tempo, a engenharia desenvolveu inúmeras técnicas e equipamentos, possibilitando assim a execução de vários tipos de fundação. A escolha do tipo de fundação depende do tipo da estrutura que deve ser suportada, a quantidade de carga que deve ser transmitida e também o solo em que a fundação deverá se apoiar (MELHADO *et al.*, 2002).

As fundações são divididas em dois grupos principais: fundações superficiais e fundações profundas. São aplicadas fundações superficiais quando os solos pouco profundos têm a capacidade de suportar as cargas da estrutura, caso isto não seja possível são utilizadas as fundações profundas. Os principais elementos de fundações profundas são as estacas e os tubulões.

Geralmente nas fundações profundas as cargas da estrutura não são recebidas apenas por um elemento da fundação e sim por um grupo. “Esse fenômeno é devido à interação entre as estacas através do solo que as circunda, recebendo o nome de efeito de grupo” (SANTANA, 2008, p.1).

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), efeito de grupo é o processo de interação dos elementos que constituem uma fundação ao transmitirem ao solo as cargas que lhe são aplicadas. O grupo de estacas e o solo que está contido entre elas passam a agir como um bloco, desta forma não se pode calcular a carga resistida por um grupo de estacas como o produto da carga resistida por uma estaca isolada (CINTRA; SILVA, 1996).

Infelizmente ainda são poucas as referências na literatura sobre o comportamento das estacas em grupo, isso se deve principalmente porque ensaios como o de Prova de Carga Estática em Grupo de Estacas são mais onerosos e exigem maior instrumentação do que em estacas individuais. Por isso a maior parte das empresas opta por confiar nos coeficientes de segurança e ignorar os efeitos de grupo.

Entretanto existem alguns métodos que propõem calcular a eficiência desses grupos de estacas considerando a interação com o solo e estimando os recalques e a divisão das cargas.

Este trabalho reuniu os mais conhecidos métodos de análise da eficiência de grupo de estacas e os aplicou em dois locais: um edifício residencial em Goiânia-Go, com fundação em estacas hélice contínua e no Campo Experimental de Fundações da Escola de Engenharia de São Carlos (Universidade de São Paulo – USP) a partir de dados de Cintra e Silva (1996), visando estudar a eficiência dos métodos de análise e comprovar a necessidade de considerar o fenômeno da eficiência dos grupos de estacas nos projetos de fundação.

1.1 JUSTIFICATIVA

No correto dimensionamento de uma fundação profunda é necessário levar em consideração o efeito de grupo, já que o desempenho em um grupo de estacas é diferente do desempenho de uma estaca isolada. “A eficiência de um grupo de estacas é um parâmetro importante para avaliação do desempenho de uma fundação profunda” (CERQUEIRA, 2009, p.18).

Isso acontece porque devido à superposição dos bulbos de pressão, as estacas que antes trabalhavam de forma isolada passam a trabalhar em grupo como se fizessem parte de um bloco, alterando desta maneira a capacidade de carga e conseqüentemente a forma de ruptura e recalque (CINTRA; SILVA, 1996).

A escolha do tema Eficiência de Grupo em Estacas deve-se principalmente pela oportunidade de aprofundamento em um tema que apesar dos notáveis avanços da engenharia foi tão pouco estudado e aplicado. O desenvolver de novas técnicas de cálculos e ensaios podem alterar o dimensionamento de fundações profundas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Reunir os mais conhecidos métodos de análise e cálculo do comportamento das estacas em grupo e aplicá-los, para posteriormente avaliar o dimensionamento do projeto de fundações de um edifício residencial em Goiânia-Go e também realizar uma comparação com os resultados obtidos no ensaio de Prova de Carga Estática em Grupos de Estacas realizados por Cintra e Silva (1996) no Campo Experimental de Fundações da Escola de Engenharia de São Carlos (USP).

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) conhecer os principais tipos de fundações superficiais e profundas, aprofundando-se nas estacas tipo hélice contínua monitorada e do tipo broca, perfurada com trado mecânico helicoidal.
- b) conhecer os principais critérios de análise do efeito de grupo em estacas existentes na literatura brasileira;
- c) conhecer o Ensaio de Prova de Carga Estática;
- d) apresentar os resultados de um ensaio de Prova de Carga Estática em estacas perfuradas com trado mecânico helicoidal realizado no Campo Experimental de Fundações da Escola de Engenharia de São Carlos (USP);
- e) aplicar os métodos de análise de eficiência de grupo em estacas através dos dados de Cintra e Silva (1996) e realizar a comparação dos resultados obtidos com o ensaio de Prova de Carga Estática para grupo de estacas;
- f) aplicar os critérios de análise do efeito de grupo em estacas no projeto de fundações do edifício residencial em Goiânia-Go;
- g) avaliar os resultados obtidos com aplicação dos métodos de análise de eficiência do edifício residencial e avaliar a importância deste fenômeno em projetos de fundação.

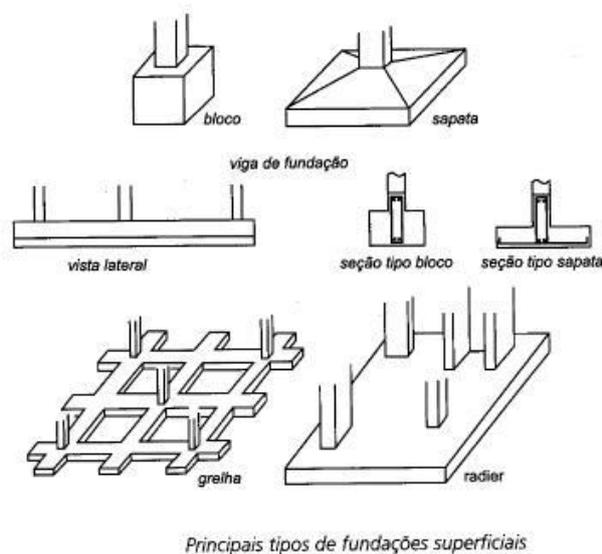
2 FUNDAÇÃO DE EDIFÍCIOS

2.1 FUNDAÇÕES

Define-se fundações como o conjunto de elementos estruturais que realizam a transferências de cargas da estrutura para a camada resistente do solo (MEDEIROS, 2013). Existem vários tipos de fundações que podem ser classificadas de acordo com a sua profundidade (superficiais ou profundas) ou de acordo com a forma de transferência de carga ao solo (diretas ou indiretas).

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010, p.2) nas fundações superficiais “a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação”. As fundações superficiais são utilizadas quando o solo de camadas pouco profundas podem suportar as cargas da estrutura. Na figura 1 são representados os principais tipos de fundações superficiais.

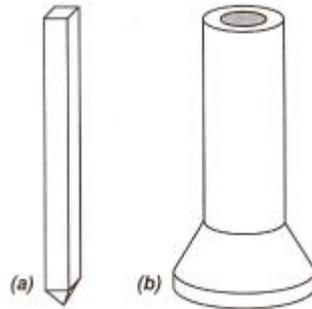
Figura 1 – Principais tipos de fundações superficiais



Fonte: TULIO, 2012

Quando as camadas pouco profundas não são capazes de suportar as cargas da estrutura é necessário que a base da fundação seja implantada em uma superfície de solo mais resistente e profunda. De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010, p.3) defini-se fundação profunda (Figura 2) como “elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base ou por sua superfície lateral ou por uma combinação das duas”.

Figura 2 - Tipos de fundações profundas (estaca e tubulão)



Fonte: TULIO, 2012

Nas fundações diretas as cargas são transmitidas ao solo através da base do elemento estrutural da fundação (BRITO, 1987 *apud* MEDEIROS, 2013). Considera-se apenas a transmissão de carga realizada pela base do elemento, desprezando qualquer outra forma de transmissão. As fundações diretas podem ser superficiais ou profundas.

Nas fundações indiretas as cargas são transmitidas ao solo através da base do elemento e por efeito de atrito lateral (FABINI, s.d. *apud* MELHADO *et al.*, 2002). As fundações indiretas são sempre profundas, pois para que as cargas sejam transmitidas através de atrito lateral é necessário ter elementos de fundação com grandes dimensões. O quadro 1 apresenta os principais tipos de fundação e sua classificação.

Quadro 1- Quadro resumo dos tipos de fundação

Fundações diretas rasas	Sapatas	Corrida
		Isolada
		Associada
		Alavancada
	Radiers	
Fundações diretas profundas	Tubulões	A céu aberto
		Com ar comprimido
Fundações indiretas	Estaca de Concreto Moldada <i>in loco</i>	Broca
		Escavada
		Hélice contínua
		Barrete/Estacão
		Strauss
		Franki
	Estacas pré-fabricadas	em concreto pré-moldado
		Estaca de aço
Estaca de madeira		

Fonte: Adaptado de MELHADO *et al.*, 2002

Para definir qual a fundação adequada e elaborar o projeto de fundações é necessário conhecer uma série de elementos, como: topografia da área, dados geotécnicos (investigação do subsolo), dados sobre a vizinhança (tipo de fundações) e dados sobre a estrutura que irá ser construída (tipo e uso da construção). Através dos dados obtidos realiza-se uma análise entre os vários tipos de fundações, em ordem crescente de complexidade e custos para determinar a mais eficaz para a estrutura (WOLLE, 1993 *apud* MELHADO *et al.*, 2002).

2.2 DADOS GEOTÉCNICOS

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), para a execução de qualquer edificação é necessário que seja realizada uma investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo por sondagem a percussão (como o Standart Penetration Test), para que se determine a posição do nível d'água, a resistência à penetração e classifique o tipo de solo.

No correto dimensionamento e elaboração de projetos de fundação é de extrema importância conhecer o solo onde será executado o edifício e suas propriedades de engenharia. O devido conhecimento do subsolo constitui um pré-requisito para a elaboração de projetos de fundações seguros e econômicos (SPOHR, 2012 *apud* BEILFUSS, 2012).

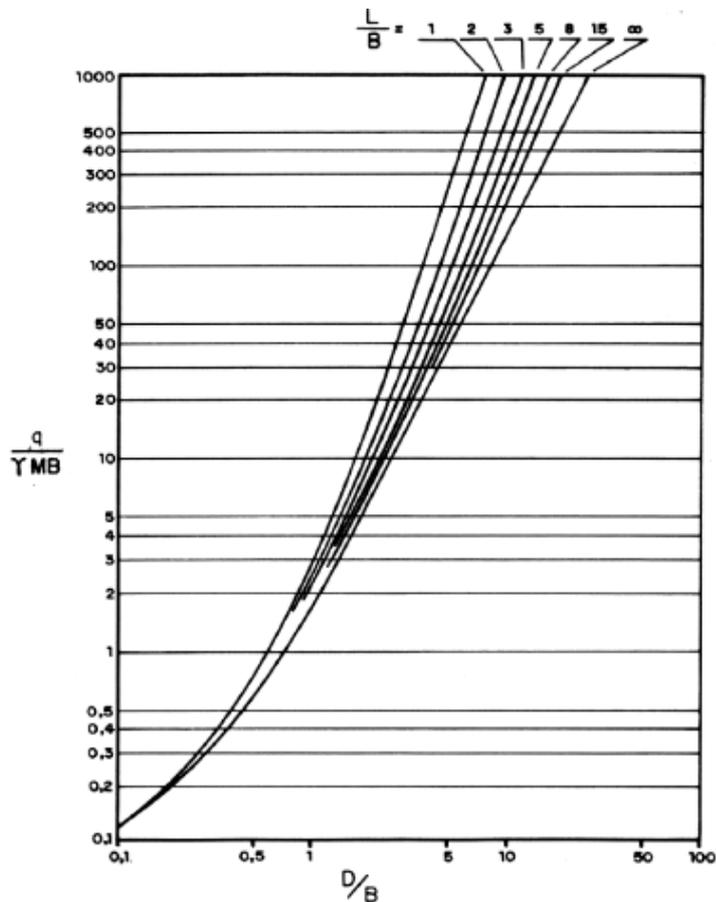
As sondagens são investigações do subsolo, que podem ser executadas através de diversos processos, como: o SPT (Standart Penetration Test), CPT (Ensaio de Penetração de Cone), Vane Test (Ensaio de Palheta) e outros.

Devido à facilidade e o baixo custo de sua execução, o SPT é o ensaio mais executado no Brasil e na maior parte do mundo. O SPT compreende uma sondagem de simples reconhecimento além da medida da resistência dinâmica do solo.

Segundo a NBR 8036 (ABNT, 1983) o número de sondagens e a sua localização devem fornecer um quadro que demonstre a variação das camadas do subsolo, sendo o número mínimo de sondagens: dois para até 200 metros quadrados (m²) de projeção em planta do edifício, e três no caso de área entre 200m² e 400m².

Ainda de acordo com a NBR 8036 (ABNT, 1983, p.2) “as sondagens devem ser levadas até a profundidade onde o solo não seja mais significativamente solicitado pelas cargas estruturais”. A figura 3 apresenta a estimativa de profundidade para a sondagem SPT.

Figura 3 – Estimativa da profundidade



Onde:

- q = pressão média sobre o terreno (peso do edifício dividido pela área em planta)
- γ = peso específico médio estimado para os solos ao longo da profundidade em questão
- M = 0,1 = coeficiente decorrente do critério definido em 4.1.2.2
- B = menor dimensão do retângulo circunscrito à planta da edificação
- L = maior dimensão do retângulo circunscrito à planta da edificação
- D = profundidade da sondagem

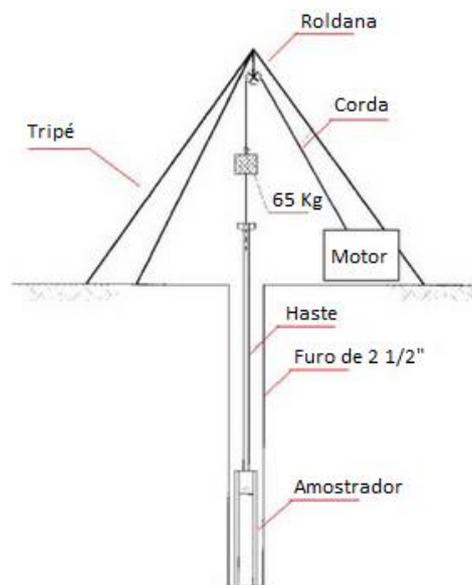
Fonte: NBR 8036,1983

A NBR 6484 (ABNT, 2001) normatiza o método de ensaio SPT. O ensaio é iniciado com a escavação de 1,00 metro (m) com auxílio de um trato ou cavadeira, neste momento é retirada a primeira amostra de solo. Em sequência monta-se um cavalete de quatro pernas, vulgarmente conhecido como “tripé”. Este equipamento tem a função de auxiliar no manuseio da composição de hastes e no levantamento do peso de massa igual a 65 quilogramas (kg) (DANZIGER, F. *et al.*, 1998).

Desta forma é realizada a cravação do amostrador através da queda livre do peso de massa igual a 65 Kg a uma altura de 75 centímetros (cm), anotando separadamente o número de golpes necessários para a cravação de cada seguimento de 15 cm (Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv, 2012).

De acordo com NBR 6484 (ABNT, 2001, p.13), “Quando a cravação atingir 45 cm, o índice de resistência à penetração (N) é expresso como a soma do número de golpes requeridos para a segunda e a terceira etapas de penetração de 15 cm”. A figura 4 representa o equipamento de execução do SPT.

Figura 4 - Execução SPT



Fonte: Adaptado de CAMPOS, 2012.

A paralisação da sondagem acontece como um acordo entre o cliente e o executor, respeitando os critérios estabelecidos pela NBR 6484 (ABNT, 2001):

- a) índice de penetração inicial de 30/15, em 3 metros sucessivos;
- b) índice de penetração inicial de 50/30, em 4 metros sucessivos;
- c) índice de penetração de 50/45, em 5 metros sucessivos.

A anotação do nível d'água deve ocorrer desde o início da sua evidência, quando o apresentar mais úmido. Através do valor da resistência à penetração (N) é feita a classificação dos solos (Tabela 1).

Tabela 1 - Tabela dos estados de compactidade e de consistência

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação ¹
	≤ 4	Fofa (o)
Areias e siltes	5 a 8	Pouco compacta (o)
Arenosos	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)
	≤ 2	Muito mole
Argilas e siltes	3 a 5	Mole
Argilosos	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	> 19	Dura (o)

¹ As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

Fonte: Adaptado de NBR 6484, 2001.

A NBR 6484 (ABNT, 2001) define que o resultado das sondagens deve ser apresentado através de um relatório de campo e um relatório definitivo. No relatório definitivo deverá constar a planta do local da obra destacando o lugar onde foi executada cada sondagem, além do perfil de cada sondagem realizada apresentando a resistência do solo a cada metro, o tipo de solo e nível d'água.

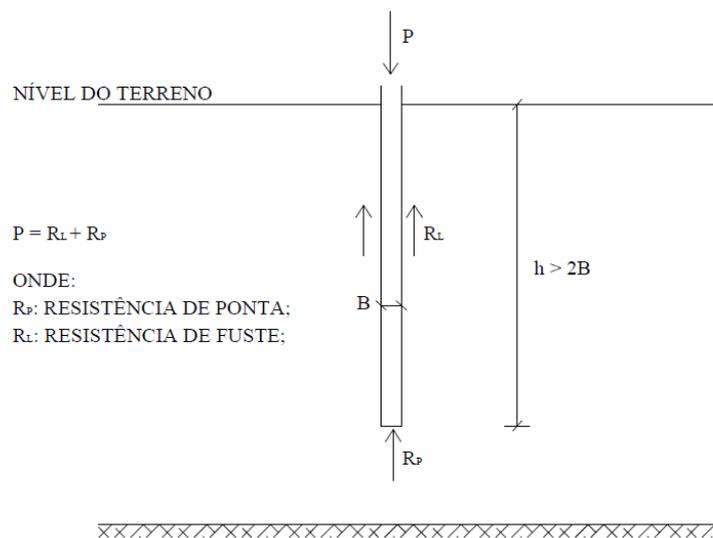
2.3 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Geralmente os terrenos apresentam horizontes de solos resistentes, não na sua superfície, mas a certa profundidade (OLIVEIRA FILHO, 1985 *apud* BEILFUSS, 2012). As fundações profundas são normalmente empregadas quando os solos superficiais são pouco resistentes ou a carga da estrutura é muito elevada, em locais abaixo do nível do lençol freático, em solos sujeitos a erosão ou onde haja possibilidade de escavações próximas ao local.

A NBR 6122 (ABNT, 2010) define como fundação profunda aquela que realiza a transmissão de carga da estrutura ao solo pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas.

São definidas fundações profundas aquelas que possuem o comprimento preponderante sobre a seção (AZEREDO, 1997). Ainda de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010) a profundidade do elemento de fundação dever ser no mínimo o dobro da sua menor dimensão, e no mínimo 3,0 metros (Figura 5).

Figura 5 – Esquema de uma fundação profunda



Fonte: NBR 6122, 1996 *apud* DANTAS NETO, 2006.

As fundações profundas podem ser classificadas como estacas ou tubulões.

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010, p.3) defini-se estaca como “elemento de fundação profunda executada inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de pessoas”. As estacas têm a função de transmitir as cargas da estrutura para camadas profundas do terreno.

As estacas são elementos esbeltos que são implantados por meio de percussão ou perfuração do solo com posterior concretagem (JOPPERT JR., 2007 *apud* BEILFUSS, 2012). Vários critérios podem ser utilizados para classificação dos tipos de estacas, como: efeito produzido no solo, processo de execução, forma de funcionamento e forma de carregamento.

Os tubulões são elementos de fundação profunda que através da escavação de um fuste cilíndrico e uma base alargada tronco-cônica, transmitem as cargas da estrutura ao solo por compressão (BRITO, 1987 apud MELHADO *et al.*,2002). A transmissão da carga de um tubulão acontece através do contato da base do elemento com o solo, muito semelhante com o que o ocorre com os elementos de fundação direta.

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), na escavação do tubulão, pelo menos em sua etapa final, há descida de pessoas, seja para executar o alargamento da base ou a limpeza do fundo da escavação. De acordo com a forma de escavação, os tubulões podem ser classificados como: tubulões a céu aberto ou tubulões a ar comprimido.

Segundo a Universidade da Amazônia (UNAMA, 2013) a escolha na modalidade de tubulão é feita em função do tipo de terreno a ser penetrado, da posição do nível d'água, do custo e do prazo disponível para a execução das fundações.

2.3.1 Estacas Tipo Broca

De acordo com a Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas de Sergipe (CEHOP, 2013) estaca tipo broca é um tipo de estaca em concreto armado moldada “in loco”. Trata-se de um tipo de fundação profunda onde a perfuração é realizada com o auxílio de um trado.

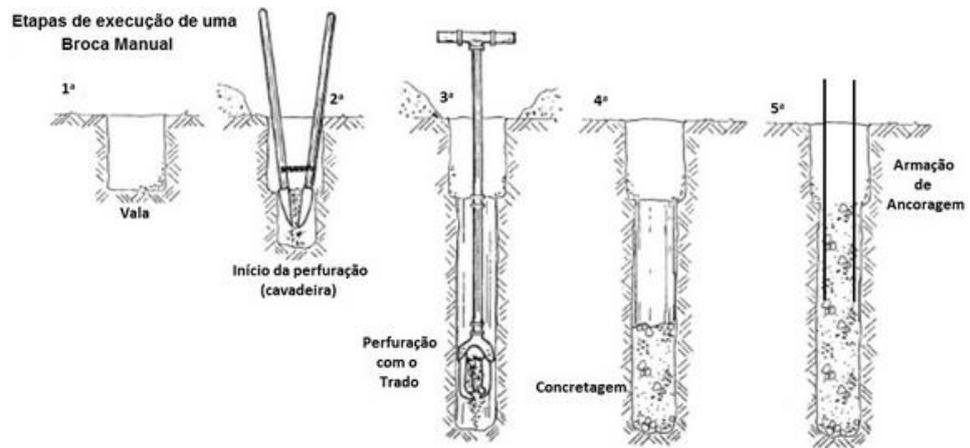
O projeto e o dimensionamento de uma fundação com estacas tipo broca são feitos por um engenheiro calculista e normatizado pela NBR 6122 (ABNT, 2010) “Projeto e Execução de Fundações” e pela NBR 6118 (ABNT, 2014) “Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento”.

A execução desse tipo de estaca é simples e compreendendo somente duas fases: abertura de um furo no terreno e lançamento de concreto nesse furo (AZEREDO, 1997). A escavação do terreno é feita com auxílio de um trado, podendo este ser manual ou mecânico.

Quando a escavação é manual, normalmente é executada pelos próprios funcionários da obra. Em geral, o trado utilizado na escavação é composto por quatro facas que formam um recipiente que por sua vez é acoplado a um tubo de aço galvanizado. A perfuração é realizada através da rotação e compressão deste tubo no solo, em sequência é retirada a terra acoplada ao trado.

As estacas escavadas manualmente (Figura 6) geralmente possuem diâmetros variando de 15 a 25 centímetros e comprimento de até 6,0 metros (DANTAS NETO, 2006).

Figura 6 – Escavação manual



Fonte: SIMÃO, 2014

A escavação mecânica é realizada com auxílio de um trado helicoidal, trata-se de uma evolução do trado manual. Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) a perfuração é realizada com trado curto acoplado a uma haste até a profundidade especificada em projeto.

O equipamento mais comum para escavação mecânica é a perfuratriz (Figura 7). Em geral esse equipamento executa estacas broca com profundidade variando de 6,0 a 10,0 metros e diâmetros que variam de 0,2 a 1,7 metros.

Figura 7 – Foto de uma perfuratriz



Fonte: RODOMUNK, 2012

De acordo com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 2012) como durante a execução das estacas não é feita nenhuma contenção nas paredes da perfuração, o uso das brocas fica restrito aos terrenos coesivos acima do nível da água.

Após a escavação e antes do início da concretagem é necessário fazer a limpeza do fundo da estaca, retirando a lama ou a água que possam ter ficado acumuladas no local. Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), a concretagem deve ser realizada no mesmo dia da escavação e com o auxílio de um funil para orientar o fluxo do concreto.

Quanto à armação, se as estacas estiverem submetidas somente a esforços de compressão a armadura é utilizada para fazer a ligação com outros elementos da fundação como os blocos de coroamento. Caso haja esforços de flexão a armadura é colocada no furo antes da concretagem e deve respeitar a cota de arrasamento definida em projeto.

A utilização de estacas tipo broca possui algumas desvantagens, como: baixa profundidade, risco de que solo se misture com o concreto no momento da concretagem, à estaca só pode ser executada acima do lençol freático além da baixa capacidade de carga. A tabela 2 apresenta as cargas usuais para estacas broca.

Tabela 2- Cargas usuais máximas para estacas do tipo broca

Diâmetro (cm)	Tensão (MPa)	Carga usual (KN)	Carga máxima (KN)
15	3,0 a 4,0	50	70
20		100	150
25		150	200

Fonte: Adaptado de DANTAS NETO, 2006.

A grande vantagem da utilização das estacas tipo broca é o fato de que sua execução não provoca vibrações, evitando danos às estruturas vizinhas. Além de que se forem executadas de forma justaposta, as estacas podem servir de cortina de contenção para construção de subsolos (DANTAS NETO, 2006). Outro fator preponderante na escolha de uma fundação com estacas tipo broca é o baixo valor de execução comparado com outros tipos de fundações.

2.3.2 Estacas Tipo Hélice Contínua Monitorada

A NBR 6122 (ABNT, 2010) define estaca hélice contínua monitorada como um tipo de fundação profunda, moldada “in loco”, executada mediante a introdução, por rotação, de um trado helicoidal contínuo no terreno, a injeção do concreto é realizada pela própria haste

central do trado simultaneamente com sua retirada (Figura 8), desta forma a introdução da armadura é realizada após a concretagem da estaca.

Figura 8- Hélice Contínua Monitorada

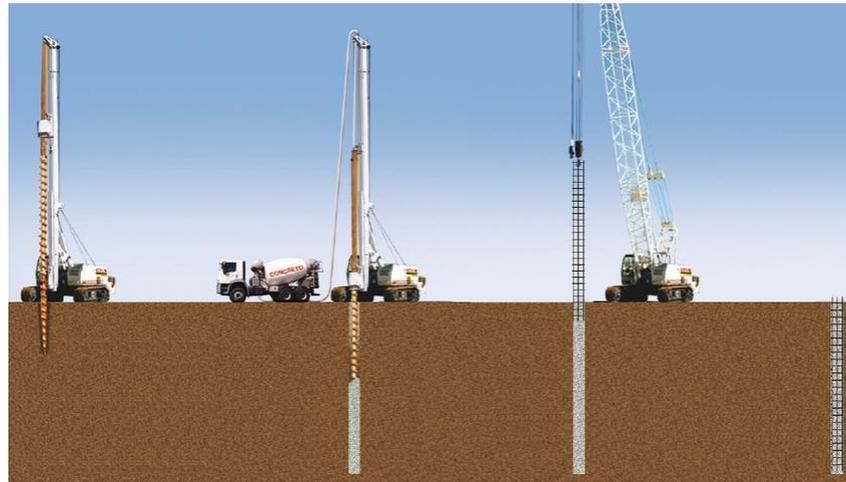


Fonte: Próprio Autor, 2014

As estacas executadas com trado hélice contínua surgiram nos Estados Unidos na década de 1950. No Brasil as primeiras estacas hélice contínua foram executadas por volta de 1987, porém só a partir dos anos de 1990 que a estaca começou a ser utilizada em maior escala (GEOCOMPANY, 2003).

A execução da estaca hélice contínua monitorada é realizada em três etapas: perfuração, concretagem e colocação da armadura (Figura 9). A perfuração é realizada através da cravação do trado hélice no solo até atingir a cota indicada no projeto, em sequência inicia-se a concretagem simultaneamente com a retirada da hélice. O concreto é bombeado pelo interior da haste que é lentamente retirada do solo. Depois de concretada a armadura é colocada na estaca, podendo ser instalada por gravidade, por compressão de pilão ou por vibração (GEOCOMPANY, 2003).

Figura 9 – Execução Estaca Hélice Contínua



Fonte: GEOFUND, 2014

As estacas hélice contínua monitorada possuem vantagens características como: elevada produtividade, ser executada na maior parte dos maciços de solo, não produzir distúrbios ou vibrações, controle de qualidade sobre o serviço executado, não causar descompressão do terreno durante a execução e boa capacidade de carga nas estacas (Tabela 3).

Tabela 3 - Cargas usuais máximas para estacas do tipo hélice contínua monitorada

Descrição	Unid	Valores							
Diâmetro Nominal	Cm	35	40	50	60	70	80	90	100
Carga Máxima	KN	600	800	1300	1800	2400	3200	4000	5000

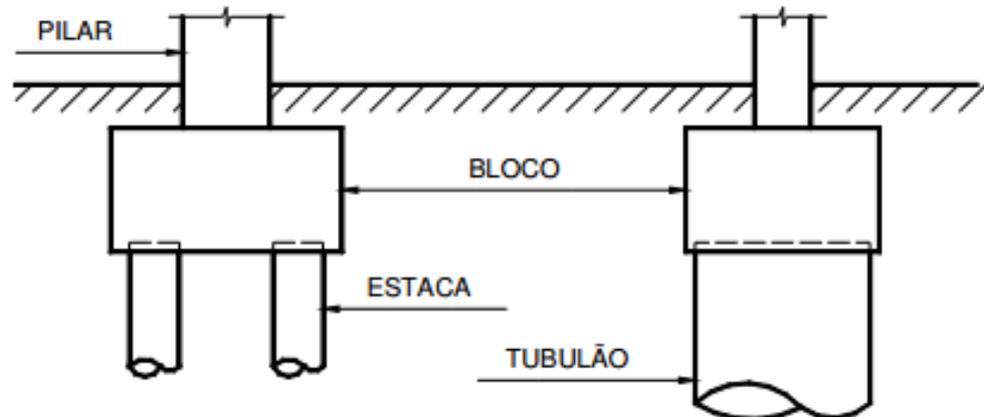
Fonte: Adaptado de DANTAS NETO, 2006.

A principal desvantagem da estaca tipo hélice contínua monitorada está relacionada ao porte do equipamento, que devido a suas grandes proporções necessita áreas planas e espaçosas, além do seu elevado custo de produção (DANTAS NETO, 2006).

2.3.3 Blocos sobre Estacas

Quando um edifício utiliza fundação em estacas é necessária à execução de outro elemento estrutural, bloco sobre estaca, também conhecido como bloco de coroamento. A NBR 6118 (ABNT, 2014) define blocos sobre estaca como estruturas de volume cuja função é transmitir às estacas e aos tubulões as cargas de fundação (Figura 10).

Figura 10 – Bloco sobre estacas e bloco sobre tubulões



Fonte: BASTOS, 2013

De acordo com seu comportamento estrutural, os blocos sobre estacas podem ser classificados como: bloco rígido ou bloco flexível. Os blocos rígidos se caracterizam pelo trabalho à flexão nas duas direções e pelo trabalho com trações nas linhas das estacas (DELALIBERA, *et al.*, 2011). Os blocos flexíveis se caracterizam pela necessidade de uma análise mais completa da distribuição de esforços nas estacas.

Dois métodos de cálculos são utilizados para o dimensionamento de blocos sobre estacas no Brasil: Método das Bielas e Tirantes. Os blocos podem ser dimensionados para uma ou para várias estacas, de acordo com a necessidade na transmissão de cargas (Figura 11).

Figura 11 - Blocos sobre estacas



Fonte: FERREIRA, 2014

Para a execução do bloco sobre as estacas, primeiramente é realizado o preparo da cabeça das estacas que consiste na limpeza das ferragens de topo e da área de projeção do bloco. Em sequência são executadas a instalação das fôrmas do bloco e a colocação da armadura, para posterior concretagem do bloco.

2.4 CAPACIDADES DE CARGA EM ESTACAS ISOLADAS

A capacidade de carga em estacas isoladas pode ser definida como a força aplicada no elemento de fundação, que este possa suportar sem que haja ruptura do solo ou do próprio elemento de fundação. De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010) a carga admissível em projeto de estacas deve ser determinada a partir da carga de ruptura.

A capacidade de carga de uma estaca isolada pode ser determinada através de fórmulas dinâmicas, fórmulas estáticas (teóricas ou empíricas) ou provas de carga (CAPUTO, 2012).

As fórmulas dinâmicas avaliam a capacidade de carga em estacas pré-moldadas, pois utiliza de informações obtidas no momento da cravação da estaca. Essas informações são obtidas através da medida de penetração da estaca, a nega.

Segundo Caputo (2012) a dedução das fórmulas dinâmicas considera a igualdade entre a energia de queda do martelo e o trabalho gasto durante a cravação. Podendo assim ser representada pela seguinte formulação matemática:

$$Ph = Re + Z \quad (1)$$

Onde:

P= peso do martelo;

h= altura da queda;

R = resistência do terreno à penetração;

e= nega;

Z= soma das perdas de energia durante a cravação.

A aplicação desta fórmula gera a incógnita Z, desta forma para descobrir o valor das perdas de energia durante a cravação devem-se usar algumas das fórmulas dinâmicas. Na atualidade a fórmula dinâmica com o uso mais disseminado é a Fórmula de Brix, que consiste (MARCHEZINI, 2013 apud GONÇALVES *et al.*, 2007):

$$R = \frac{\left[\frac{W^2 \cdot W_{est} \cdot h}{S(W + W_{est})^2} \right]}{C_s} \quad (2)$$

Onde:

R= resistência do solo à penetração;

W= peso do martelo

West= peso da estaca quando retirada do sinal da nega;

h= altura da queda do martelo;

S= nega;

Cs = coeficiente de segurança (5 é o valor recomendado)

As fórmulas estáticas avaliam a capacidade de carga em estacas baseando-se nas características do terreno, utilizando assim métodos estudados em mecânica dos solos. As fórmulas podem ser aplicadas para estacas moldadas “in loco”. A capacidade de carga de uma estaca é calculada aplicando a seguinte fórmula matemática:

$$R = R_a + R_b \quad (3)$$

Onde:

R = capacidade de carga de uma estaca;

R_a = resistência de atrito lateral;

R_b = resistência de ponta

Os valores da resistência de atrito lateral e da resistência de ponta podem ser obtidos por expressões que visam determinar a capacidade de carga em estacas isoladas (CAPUTO, 2012). A capacidade de carga pode ser avaliada através de métodos teóricos ou empíricos.

Os métodos teóricos determinam a capacidade de carga da estaca a partir de informações do solo, como: ângulo de atrito e coesão. Diversos autores desenvolveram teorias para determinar a capacidade de carga, a principal diferença entre as teorias é o mecanismo de ruptura da base da estaca (LOBO, 2005).

Hoje se considera mais apropriada a utilização de teorias eletroplásticas, entre as quais se destaca a de Vesic. Na teoria de Vesic (1972) a resistência de ponta é calculada através da seguinte equação (CINTRA; ALBIERO; DÉCOURT, 1998):

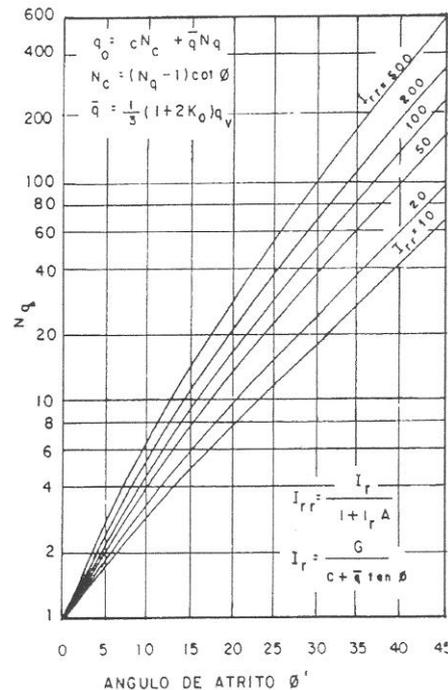
$$q_p = c.N_c + \sigma_o.N_\sigma \quad (4)$$

Onde:

c = coesão do solo;

$N_c = N_\sigma =$ fatores de capacidade de carga (Figura 12), estes valores são calculados em função do ângulo de atrito interno e pelo índice de rigidez do solo (LOBO, 2005).

Figura 12 – Coeficiente de capacidade de carga



Fonte: VESIC, 1975 *apud* CINTRA; ALBIERO; DÉCOURT, 1998.

$$\sigma_0 = \frac{1 + 2K}{3} \sigma_v \quad (5)$$

σ_v = tensão vertical na ponta da estaca;

K = coeficiente de empuxo ao repouso.

O valor da capacidade de carga também pode ser calculado através de métodos empíricos. Estes métodos utilizam correlações entre a capacidade de carga do elemento com o resultado de ensaio “in loco” como o SPT para calcular a capacidade de carga da estaca.

O método Décourt & Quaresma é um exemplo de método empírico que se baseia exclusivamente em resultados do ensaio SPT (LOBO, 2005). O método de Décourt & Quaresma inicialmente foi desenvolvido para estacas cravadas, mas foi objeto de algumas extensões com objetivo de se adequar a outros tipos de estacas, como as estacas escavadas (CINTRA; ALBIERO; DÉCOURT, 1998). Em 1982 os autores chegaram à expressão para determinar a capacidade de carga das estacas:

$$Q_u = \alpha \cdot K \cdot N_p \cdot A_p + U \cdot \beta \cdot \Sigma 10 \left(\frac{Nm}{3} + 1 \right) \quad (6)$$

Onde:

α = coeficiente determinado em função da correlação entre o tipo de estaca e o tipo de solo (Tabela 4);

Tabela 4 – Valor do coeficiente α

Tipo de estacas Tipo de solo	Escavada (em geral)	Escavada (bentonita)	Hélice Contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,85	0,85	0,30*	0,85*	1,0*
Solos intermediários	0,60	0,60	0,30*	0,60*	1,0*
Areias	0,50	0,50	0,30*	0,50*	1,0*

* Valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis.

Fonte: Adaptada de CINTRA; ALBIERO; DÉCOURT, 1998.

K = coeficiente determinado em função do tipo de solo (Tabela 5);

Tabela 5 – Valor do coeficiente K

Tipo de solo	K (KN/m ²)	K (tf/m ²)
Argila	120	12
Silte argiloso (solo residual)	200	20
Silte arenoso (solo residual)	250	25
Areia	400	40

Fonte: Adaptado de CINTRA; ALBIERO; DÉCOURT, 1998.

N_p = N_{spt} da ponta da estaca;

A_p = seção transversal da ponta da estaca;

U = perímetro da estaca;

β = Coeficiente em função da correlação entre a estaca e o tipo de solo (Tabela 6);

Tabela 6 – Valor do coeficiente β

Tipo de estacas Tipo de solo	Escavada (em geral)	Escavada (bentonita)	Hélice Contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,80	0,90	1,00*	1,50*	3,0*
Solos intermediários	0,65	0,75	1,00*	1,50*	3,0*
Areias	0,50	0,60	1,00*	1,50*	3,0*

Fonte: Adaptada de CINTRA; ALBIERO; DÉCOURT, 1998

$N_m = N_{spt}$ do fuste.

As fórmulas teóricas e empíricas foram soluções encontradas por estudiosos para calcular a capacidade de carga de uma estaca isolada, mas o único processo capaz de obter resultados incontestáveis é o ensaio de prova de carga (CAPUTO, 2012).

3 EFICIÊNCIA DE GRUPO EM ESTACAS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

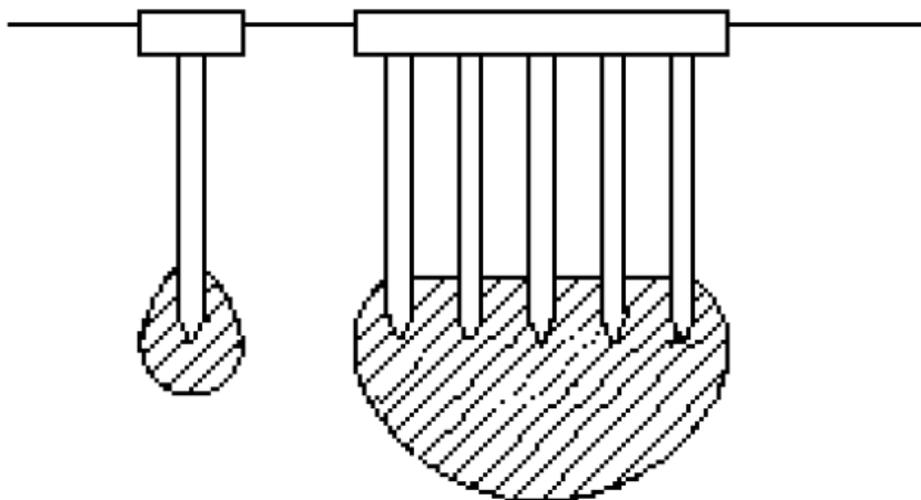
Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010, p.6), “Entende-se por efeito de grupo de estacas ou tubulões como o processo de interação dos diversos elementos que constituem uma fundação ao transmitirem ao solo as cargas que lhes são aplicadas”.

O efeito de grupo pode ser entendido de forma simplificada como a interação das estacas, através do solo, entre estacas que possuem espaçamentos tais que o estado de tensões de uma estaca influencie no comportamento de outro elemento (SANTANA, 2008).

A carga suportada por um grupo de estacas não pode ser definida como produto da carga suportada por uma estaca isolada e o número de estacas que compõem o grupo. Em geral a capacidade de um grupo de estacas em suportar cargas verticais é menor que a soma das capacidades de carga das estacas isoladas (TOMLINSON, 1994 *apud* SANTANA, 2008).

O motivo da diferença de capacidade de carga nos grupos é a interação entre as estacas e o solo, além da superposição dos bulbos de pressão (CINTRA; SILVA, 1996). Em grupos de estacas a zona de atuação das cargas é sempre maior que a estaca isolada, e devido à superposição as cargas são mais elevadas (Figura 13).

Figura 13 – Cargas em estacas isoladas e em grupos



Fonte: TOMLINSON, 1994 *apud* SANTANA, 2008.

A distribuição de cargas nos grupos de estacas pode acontecer de duas maneiras: através da interação das estacas pouco espaçadas ou pelo método da superposição. No caso da interação das estacas pouco espaçadas as cargas são transmitidas através do solo. No método da superposição as cargas são transmitidas através do bloco de coroamento sob as estacas (ABREU, 2014).

Nos grupos em que as cargas são transmitidas através do bloco de coroamento, estes podem ser rígidos ou flexíveis. Em blocos rígidos o recalque do grupo de estacas é uniforme, já que as cargas se concentram nas estacas periféricas. Em blocos flexíveis as cargas são distribuídas igualmente em todas as estacas e o recalque é maior nas estacas centrais (POULOS, 1968 *apud* SANTANA, 2008).

Segundo CRAIG (2007) a eficiência de grupo em estacas pode ser determinada através da razão entre a carga média de ruptura por estaca em grupo e a carga última para uma estaca isolada. A fórmula de eficiência de grupo é dada pela seguinte expressão:

$$\eta = \frac{(Pu)_g}{n \cdot (Pu)_i} \quad (7)$$

Onde:

η = eficiência de grupo;

$(Pu)_g$ = capacidade de carga de um grupo de estacas;

n = número de estacas do grupo;

$(Pu)_i$ = capacidade de carga de uma estaca isolada.

Os principais fatores que influenciam na eficiência de grupo de estacas são: número de estacas, esbeltez relativa, profundidade relativa, geometria do grupo e o efeito de instalação da estaca.

O efeito de grupo torna-se mais acentuado quanto maior é o número de estacas do grupo. O mesmo acontece com a esbeltez, pois quanto mais esbeltas as estacas maior ou mais acentuado se torna o efeito de grupo. A profundidade e a geometria também são fatores importantes, pois o aumento da profundidade relativa (relação entre a espessura da camada compressível e o comprimento da estaca) induz uma maior interação entre as estacas acentuando assim o efeito de grupo, já a geometria interfere na forma na qual o grupo distribui as tensões ao solo e desta forma pode haver uma variação da intensidade do efeito de grupo. A instalação de uma estaca altera as propriedades do solo, esse efeito é ainda mais

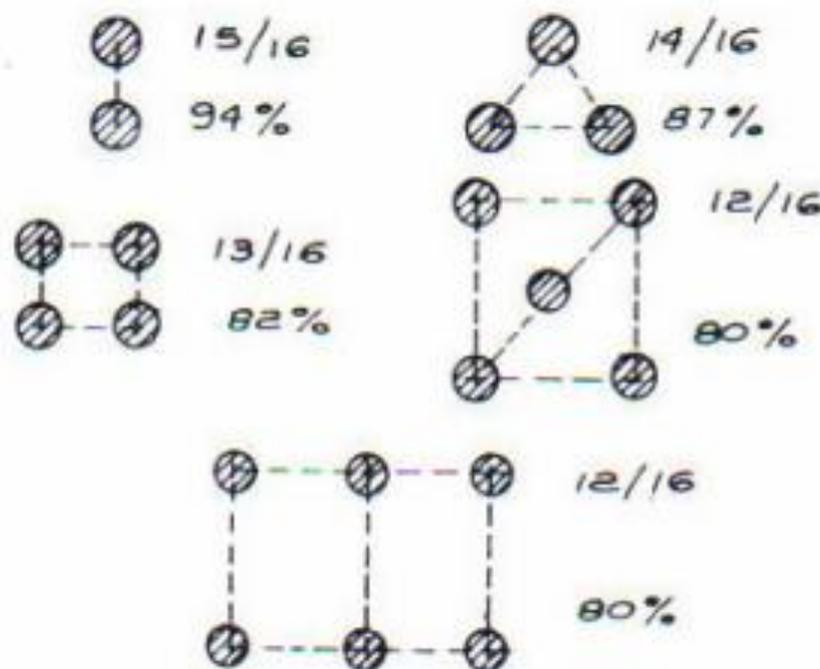
acentuado na instalação de um grupo. Assim o grupo pode ter recalques maiores, ou eventualmente menores, que à estaca isolada submetida a carregamento equivalente. (SANTANA, 2008).

O método mais eficaz para determinar a capacidade de carga em um grupo de estacas é o ensaio de Prova de Carga para Grupo de Estacas, porém alguns estudiosos desenvolveram critérios para determinar a capacidade de carga teórica em grupo de estacas.

3.1.1 Critério de Feld (1943)

Segundo MORAES (1976) no critério de Feld para determinar a capacidade de um grupo de estacas, a carga de uma estaca isolada deve ser reduzida de tantos $1/16$ quantas forem às estacas vizinhas, na mesma fila ou em diagonal (Figura 14).

Figura 14 – Critério de Feld



Fonte: MORAIS, 1976

Quanto a distância entre as estacas, o critério de Feld determina que para estacas pré-moldadas a espaçamento entre os centros geométricos não deve ser inferior a 3 vezes o seu diâmetro. No caso de estacas moldadas “in-loco” o critério de Feld não leva em consideração o espaçamento entre as estacas .

No critério de Feld também não se leva em consideração nem o tipo e nem as características do solo ou das estacas.

3.1.2 Critério de Terzaghi & Peck (1948)

O critério desenvolvido por Terzaghi & Peck utiliza a seguinte expressão para determinar a capacidade em grupo de estacas (MORAES, 1976):

$$Q_c = Q_{dr} + U D_f \tau \quad (8)$$

Onde:

Q_{dr} = capacidade de carga de uma fundação direta com a área igual à delimitada pelo grupo de estacas assentadas na profundidade D_f ;

U = perímetro do bloco que envolve as estacas;

D_f = comprimento da estaca;

τ = resistência ao cisalhamento médio do solo entre a superfície do terreno e a profundidade.

3.1.3 Critério de Converse-Labarre (1961)

Segundo CAPUTO (1983 apud MELHADO, 2009) o fator de eficiência de grupo também pode ser obtido através da fórmula empírica de Converse-Labarre. O critério de Converse-Labarre pode ser representado através da expressão:

$$E = 1 - \phi \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right] \quad (9)$$

Onde:

E = Eficiência;

m = número de filas;

n = número de estacas em uma fila;

ϕ = ângulo cuja tangente é igual a $\frac{d}{s}$

s = distância entre os eixos de duas estacas;

(10)

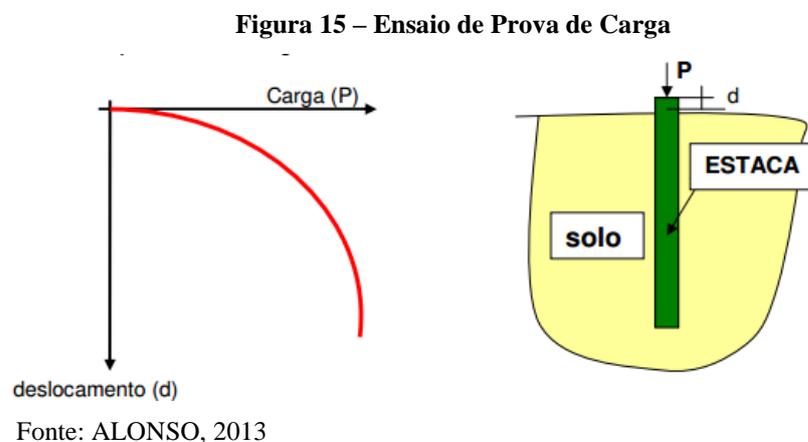
d = diâmetro da estaca.

Devido a sua simplicidade o método de Converse-Labarre é muito utilizado, mas também é muito criticado por não fazer qualquer referência ao tipo de solo.

3.2 PROVAS DE CARGA ESTÁTICA EM ESTACAS

A prova de carga estática é o método mais tradicional e eficaz de ensaio para determinar a capacidade de carga em estacas. A melhoria na eficiência do projeto e processo executivo das estacas moldadas in loco está relacionada à realização de ensaios que comprovam a capacidade de carga e a integridade das peças executadas (MEDEIROS, 2005)

Segundo a NBR 12131 (ABNT, 1992), norma que regulamenta o ensaio no Brasil, a prova de carga consiste na aplicação de esforços estáticos crescentes na estaca e no registro dos deslocamentos correspondentes (Figura 15).



Antes de iniciar o ensaio é necessário documentar todas as informações sobre a estaca analisada, incluindo dados como: formato geométrico, forma de execução e os materiais utilizados.

Para se realizar o ensaio é montado um sistema de reação sobre a estaca, este pode ser composto por uma cargueira, estacas de reação, tirantes ou outros tipos de montagem especial (MEDEIROS, 2005). A distância entre o sistema de reação e a estaca circular é de no mínimo três vezes o diâmetro da estaca e no mínimo 1,5 metros. As cargas aplicadas na estaca

são medidas com um manômetro e o deslocamento das estacas são medidas através de quatro extensômetros.

De acordo com a NBR 12131 (ABNT, 2002, p.3), “Na execução da prova de carga, a estaca é carregada até a ruptura ou, ao menos, até duas vezes o valor previsto para sua carga de trabalho”. O ensaio de prova de carga estática pode ser realizado de duas maneiras: com carregamento lento ou com carregamento rápido.

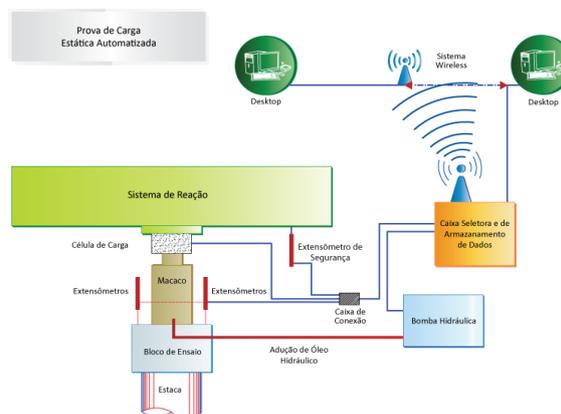
No ensaio com carregamento lento com o auxílio de macacos hidráulicos aplica-se a carga na estaca, esta carga não pode ser superior a 20% da carga de trabalho prevista para a estaca ensaiada. A NBR 12131 (ABNT, 2002) define que cada estágio de aplicação de carga deve durar o prazo mínimo de 30 minutos ou até não haver deslocamentos. A norma ainda determina que as leituras dos deslocamentos devam ocorrer logo após a aplicação da carga, seguindo-se de leituras após 2, 4, 8, 15 e 30 minutos após o início da aplicação da carga e a última leitura deve acontecer quando o deslocamento atingir a estabilidade.

A retirada da carga aplicada na estaca também deve ser feita em estágios, no mínimo 4, sendo necessário fazer registro dos deslocamentos.

Para o ensaio com carregamento rápido a NBR 12131 (ABNT, 2002) define que a carga máxima a ser aplicada na estaca durante cada estágio não pode ser superior a 10% da carga de trabalho da estaca. Cada estágio deve ter duração de 5 minutos e a anotação dos deslocamentos acontece antes e depois de cada estágio.

O descarregamento da estaca deve acontecer em quatro estágios, sendo necessário o registro de deslocamento em cada estágio. A leitura de deslocamento final acontece após 10 minutos do descarregamento total. A figura 16 apresenta a ilustração do ensaio de prova de carga estática.

Figura 16 – Equipamentos para prova de carga estática



Fonte: GEOMECC, 2015

Os resultados obtidos no ensaio de prova de carga são apresentados em um relatório final que deve conter: dados sobre o ensaio (data, plantas e características do local), dados sobre a estaca (tipo, forma de execução, materiais utilizados), informações sobre os equipamentos utilizados no ensaio, tabelas de tempo-recalque e carga-recalque de todas as etapas do ensaio e a curva carga versus deslocamento. O principal resultado obtido é a chamada curva carga versus deslocamento, que mostra o comportamento da fundação sob carregamentos estáticos crescentes (MEDEIROS, 2005).

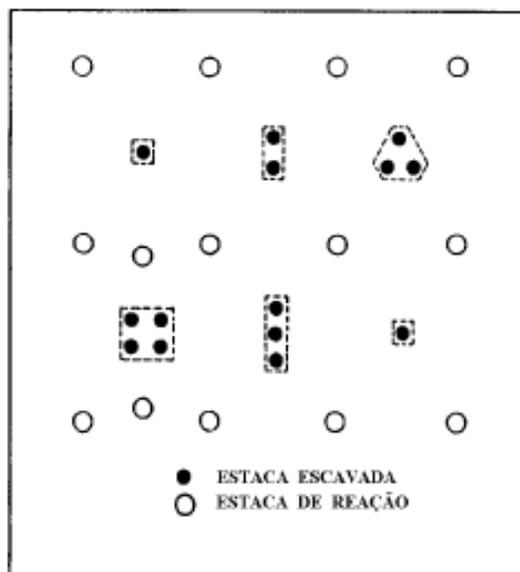
O ensaio de prova de carga é extremamente importante, pois através dele consegue-se obter resultados precisos do comportamento da fundação diante das cargas que deve suportar. As grandes dificuldades da realização deste ensaio são o tempo e os custos financeiros já que para realizá-lo são necessários equipamentos e profissionais especializados.

4 CASO DE CINTRA E SILVA (1996)

Com objetivo de analisar o comportamento dos grupos de estacas Cintra e Silva (1996) realizaram seis ensaios de prova de carga estática no Campo Experimental de Fundações da escola de Engenharia de São Carlos (USP).

Os seis ensaios subdividiam-se em: duas estacas isoladas, um grupo de duas estacas em linha (1x2), um grupo de três estacas em linha (1x3), um grupo de três estacas em triângulo (3 Δ) e um grupo de quatro estacas em quadrado (2x2) (Figura 17). Todas as estacas, isoladas ou em grupo tratavam-se de estacas tipo broca, escavadas com trado mecânico helicoidal, com as seguintes características: 0,25 metros de diâmetro (d), 6,00 metros de comprimento (L) e os espaçamentos entre as estacas de 3d. Os blocos de coroamento das estacas ensaiadas foram assentados a -0,50 metros.

Figura 17 – Configuração dos grupos de estacas



Fonte: CINTRA e SILVA, 1996.

O Campo Experimental de Fundação da Escola de Engenharia de São Carlos (USP) quanto ao seu perfil geológico (Tabela 7) possui uma camada superficial com 6 metros de Sedimento Cenozóico (areia argilosa fina e marrom com SPT médio de 4 golpes), abaixo encontra-se uma linha de seixos separando um solo residual do Grupo Bauru (areia argilosa vermelha com SPT médio de 4 a 18 golpes) (Figura 18). O nível de água encontra-se a 10 metros de profundidade.

Tabela 7 – Parâmetros Geotécnicos

Camada	γ (KN/m ³)	q_d (Kpa)	ϕ_d (graus)	N (n° de golpes)	q_c (Mpa)	f_c (Kpa)
Areia argilosa marrom (0-6m)	16,00	20,00	30,00	4,00	1,10	45,00
Areia argilosa vermelha (6-10m)	18,50	30,00	28,00	7,00	2,40	150,00

γ = Peso específico natural do solo

q_d = Coesão drenada

ϕ_d = Ângulo de atrito interno drenado

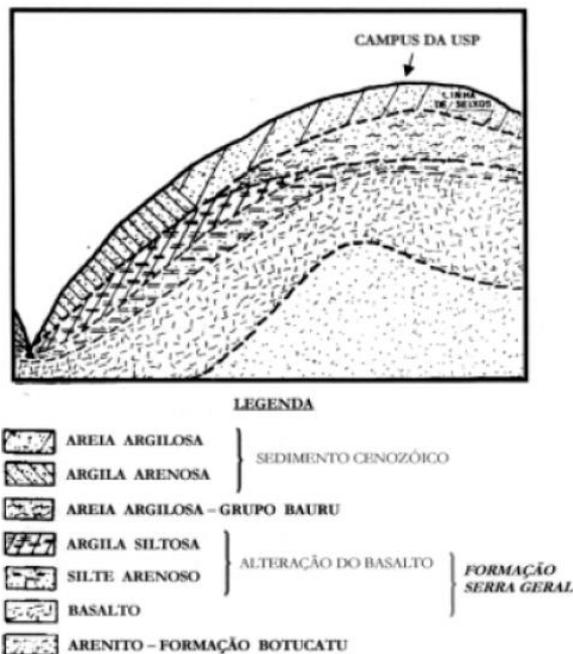
N = Índice de resistência à penetração (SPT)

q_c = Resistência de ponta do cone

f_c = Resistência lateral do cone

Fonte: Adaptada de CINTRA e SILVA, 1996

Figura 18 – Tipos de solo



Fonte: CINTRA e SILVA, 1996.

As provas de carga realizadas por Cintra e Silva (1996) foram do tipo rápido seguindo as orientações da MB-3472/91, foram aplicadas cargas em no mínimo 20 estágios sucessivos com duração de 15 minutos cada um. Em cada estágio a leitura dos recalques foram feitas nos tempos de 0,1,3,6,9,12 e 15 minutos, sendo a prova de carga conduzida até a ruptura com a possibilidade de registros de requalque máximo de 50 milímetros. A Tabela 8 apresenta os resultados do ensaio.

Tabela 8 – Valores de carga última obtidos na prova de carga

Ensaio	Pu _{pc} (KN)	Pug _{pc} (KN)
Estaca Isolada In	145	-
Estaca Isolada Is	139	-
Grupo 1x2	326	256
Grupo 1x3	500	394
Grupo 3Δ	512	465
Grupo 2x2	608	551

Pu_{pc} = Valores da carga última

Pug_{pc} = Valores da carga última sem a contribuição do bloco de coroamento

Fonte: Adaptada de CINTRA e SILVA, 1996.

Aplicando os resultados obtidos na fórmula geral da eficiência de grupo em estacas:

$$\eta = \frac{(Pu)g}{n \cdot (Pu)i} \quad (11)$$

η = eficiência de grupo;

(Pu)g = capacidade de carga de um grupo de estacas;

n = número de estacas do grupo;

(Pu)i = capacidade de carga de uma estaca isolada.

Os resultados para o fator de eficiência obtido por Cintra e Silva (1996) estão apresentados na Tabela 9:

Tabela 9 – Fator de eficiência

Ensaio	η_{pc}	η_{pc}'
Grupo 1x2	1,15	0,90
Grupo 1x3	1,17	0,92
Grupo 3Δ	1,20	1,09
Grupo 2x2	1,07	0,97

Fonte: Adaptada de CINTRA e SILVA, 1996.

Para aplicar a fórmula geral da eficiência Cintra e Silva (1996) consideraram como capacidade de carga das estacas isoladas a média dos resultados dos dois ensaios realizados.

4.1 APLICAÇÕES DOS CRITÉRIOS DE ANÁLISE

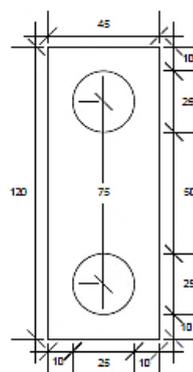
Os critérios de análise da eficiência em grupo de estacas sugeridos por Feld (1943), Terzaghi & Peck (1948) e Converse-Labarre (1961) serão aplicados na situação criada por Cintra e Silva (1996) no Campo Experimental de Fundações da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), para uma posterior comparação com os resultados do ensaio de prova de carga estática nos grupos de estacas.

4.1.1 Aplicação do Critério de Feld

De acordo com Feld para determinar eficiência do grupo de estacas deve-se reduzir a carga de uma estaca isolada em 1/16 quantas forem às estacas vizinhas. Aplicando-se este critério para cada uma das quatro configurações ensaiadas por Silva e Cintra (1996) obtêm-se os seguintes resultados:

- Grupo com duas estacas em linha (Figura 19):

Figura 19 – Critério de Feld para bloco com duas estacas (1x2)



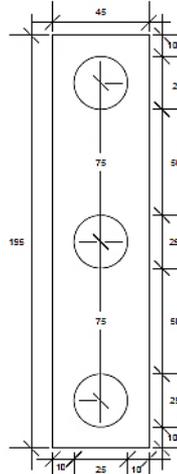
Fonte: Próprio Autor, 2015

$$1 - \frac{1}{16} = \frac{16 - 1}{16} = \frac{15}{16} \quad (12)$$

$$\frac{15}{16} = 93,75\% \quad (13)$$

- Grupo com três estacas em linha (Figura 20):

Figura 20 – Critério de Feld para bloco com três estacas (1x3)



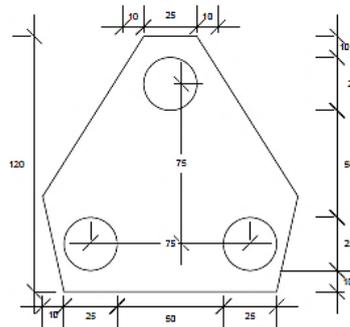
Fonte: Próprio Autor, 2015

$$1 - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} = \frac{16 - 1 - 1}{16} = \frac{14}{16} \quad (14)$$

$$\frac{14}{16} = 87,50\% \quad (15)$$

- Grupo com três estacas em triângulo (Figura 21):

Figura 21 – Critério de Feld para bloco com três estacas (3Δ)



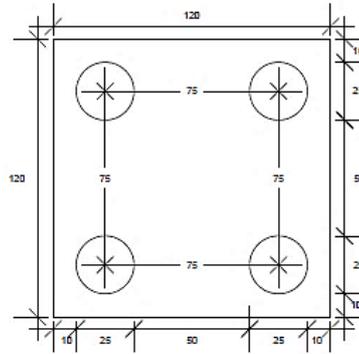
Fonte: Próprio Autor, 2015

$$1 - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} = \frac{16 - 1 - 1}{16} = \frac{14}{16} \quad (16)$$

$$\frac{14}{16} = 87,50\% \quad (17)$$

- Grupo com quatro estacas em quadrado (Figura 22):

Figura 22 – Critério de Feld para bloco com quatro estacas (2x2)



Fonte: Próprio Autor, 2015

$$1 - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} = \frac{16 - 1 - 1 - 1}{16} = \frac{13}{16} \quad (18)$$

$$\frac{13}{16} = 81,25\% \quad (19)$$

4.1.1.1 Comparação dos Resultados de Feld

Ao aplicar os dados do ensaio de prova de carga estática realizados por Cintra e Silva (1996) na fórmula de eficiência sugerida por Feld em 1943, obtivemos os resultados de eficiência apresentados pela Tabela 10 e a Figura 23.

Tabela 10 – Feld x Cintra & Silva

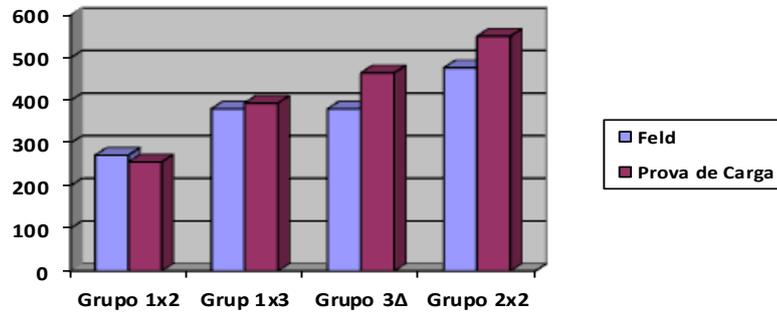
Grupos	Critério de Feld		Ensaio de Prova de Carga Estática
	E (%)	Pug (KN)	Pug (KN)
Grupo 1x2	93,74	271,85	256
Grupo 1x3	87,5	380,62	394
Grupo 3Δ	87,5	380,62	465
Grupo 2x2	82,25	477,05	551

E = eficiência do grupo de estacas

Pug = Valores da Carga última

Fonte: Próprio Autor

Figura 23 – Gráfico Feld x Cintra e Silva



Fonte: Próprio Autor, 2015

4.1.2 Aplicação do Critério de Terzaghi & Peck

De acordo com Terzaghi & Peck a seguinte expressão deve ser utilizada para determinar a eficiência de um grupo de estacas:

$$Q_c = Q_{dr} + U D_f \tau \quad (20)$$

Onde:

Q_{dr} = capacidade de carga de uma fundação direta com a área igual à delimitada pelo grupo de estacas assentadas na profundidade D_f ;

U = perímetro do bloco que envolve as estacas;

D_f = comprimento da estaca;

τ = resistência ao cisalhamento médio do solo. Segundo Terzaghi (1948 apud MARAGON 2011) a resistência ao cisalhamento médio do solo (τ), pode ser estimada através da seguinte fórmula:

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} \quad (21)$$

Onde:

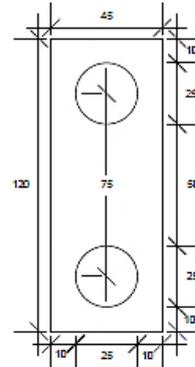
c = coesão;

N = Resistência a penetração;

$\alpha = 15$.

- Grupo com duas estacas em linha (Figura 24):

Figura 24 – Critério de Terzaghi & Peck para bloco com duas estacas (1x2)



Fonte: Próprio Autor, 2015

$$Q_{adm} = \sqrt{4} - 1 = 1,0 \text{ kgf/cm}^2 \quad (22)$$

$$A = 120 * 45 = 5400 \text{ cm}^2 \quad (23)$$

$$Q_{dr} = 1,0 * 5400 = 5400 \text{ kgf} = 52,6 \text{ kN} \quad (24)$$

$$U = 0,45 + 1,20 = 1,65 \text{ m} \quad (25)$$

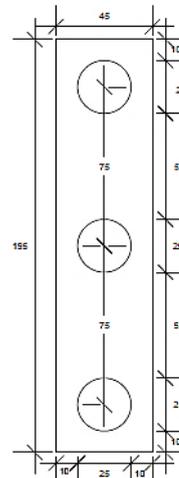
$$D_f = 6 \text{ m} \quad (26)$$

$$\tau = c = 20 \text{ kN/m}^2 \quad (27)$$

$$Q_c = 52,6 + 1,65 * 6 * 20 = 250,6 \text{ kN} \quad (28)$$

- Grupo com três estacas em linha (Figura 25):

Figura 25 – Critério de Terzaghi & Peck para bloco com três estacas (1x3)



Fonte: Próprio Autor, 2015

$$Q_{adm} = \sqrt{4} - 1 = 1,0 \text{ kgf/cm}^2 \quad (29)$$

$$A = 195 * 45 = 8775 \text{ cm}^2 \quad (30)$$

$$Q_{dr} = 1,0 * 8775 = 8775 \text{ kgf} = 86,05 \text{ KN} \quad (31)$$

$$U = 0,45 + 1,95 = 2,40 \text{ m} \quad (32)$$

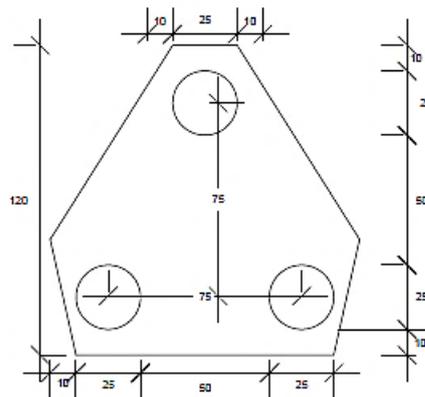
$$D_f = 6 \text{ m} \quad (33)$$

$$\tau = c = 20 \text{ kN/m}^2 \quad (34)$$

$$Q_c = 86,05 + 2,40 * 6 * 20 = 374,05 \text{ kN} \quad (35)$$

- Grupo com três estacas em triângulo (Figura 26):

Figura 26 – Critério de Terzaghi & Peck para bloco com três estacas (Δ)



Fonte: Próprio Autor, 20115

$$Q_{adm} = \sqrt{4} - 1 = 1,0 \text{ kgf/cm}^2 \quad (36)$$

$$A = 11000 \text{ cm}^2 \quad (37)$$

$$Q_{dr} = 1,0 * 11000 = 11000 \text{ kgf} = 107,87 \text{ KN} \quad (38)$$

$$U = 4,07 \text{ m} \quad (39)$$

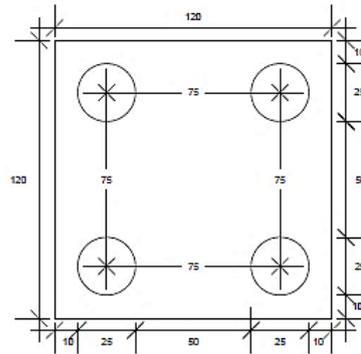
$$D_f = 6 \text{ m} \quad (40)$$

$$\tau = c = 20 \text{ kN/m}^2 \quad (41)$$

$$Q_c = 107,87 + 4,07 * 6 * 20 = 596,27 \text{ kN} \quad (42)$$

- Grupo com quatro estacas em quadrado (Figura 27):

Figura 27 – Critério de Terzaghi & Peck para bloco com quatro estacas (2x2)



Fonte: Próprio Autor, 2015

$$Q_{adm} = \sqrt{4} - 1 = 1,0 \text{ kgf/cm}^2 \quad (43)$$

$$A = 120 * 120 = 14400 \text{ cm}^2 \quad (44)$$

$$Q_{dr} = 1,0 * 14400 = 14400 \text{ kgf} = 141,22 \text{ KN} \quad (45)$$

$$U = 1,20 + 1,20 = 2,40 \text{ m} \quad (46)$$

$$D_f = 6 \text{ m} \quad (47)$$

$$\tau = c = 20 \text{ kN/m}^2 \quad (48)$$

$$Q_c = 141,22 + 2,40 * 6 * 20 = 429,22 \text{ kN} \quad (49)$$

4.1.2.1 Comparação dos Resultados de Terzaghi & Peck

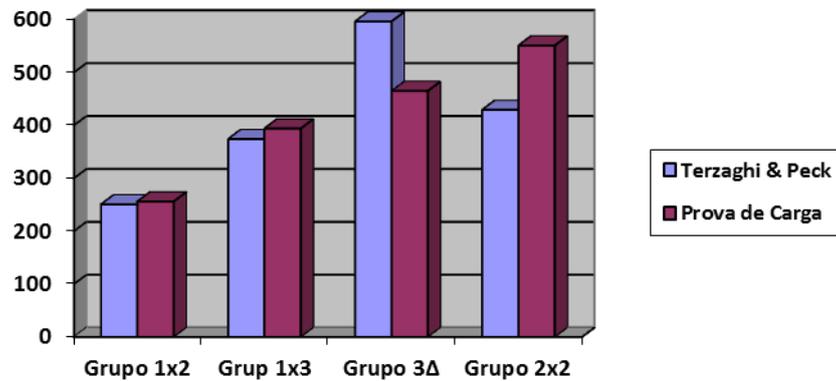
Ao aplicar os dados do ensaio de prova de carga estática realizados por Cintra e Silva na fórmula de eficiência sugerida por Terzaghi & Peck em 1948, obtivemos os resultados apresentados na Tabela 11 e na Figura 28:

Tabela 11 – Terzaghi & Peck x Cintra & Silva

Grupos	Critério de Terzaghi & Peck	Ensaio de Prova de Carga Estática
	Pug (KN)	Pug (KN)
Grupo 1x2	250,6	256
Grupo 1x3	374,05	394
Grupo 3Δ	596,27	465
Grupo 2x2	429,22	551

Fonte: Próprio Autor, 2015

Figura 28 – Gráfico Terzaghi & Peck x Cintra e Silva



Fonte: Próprio Autor, 2015

4.1.3 Aplicação do Converse-Labarre

Segundo o critério de Converse-Labarre a eficiência em grupo de estacas é dado pela seguinte equação:

$$E = 1 - \phi \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right] \quad (50)$$

Onde:

E = eficiência;

m = número de filas;

n = número de estacas em uma fila;

$\phi = \text{ângulo cuja tangente é igual a } \frac{d}{s}$ (51)

s = distância entre os eixos de duas estacas;

d = diâmetro da estaca.

Aplicando-se a equação acima para os grupos de estacas ensaiados no Campo Experimental de Fundações da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), onde:

d = 0,25 metros

s = 0,75 metros

$$\phi = \tan^{-1} \frac{0,25}{0,75} = 18,43 \quad (52)$$

Obtemos os seguintes resultados:

- Grupo com duas estacas em linha (Figura 29):

Figura 29 – Critério de Converse-Labarre para bloco com duas estacas (1x2)



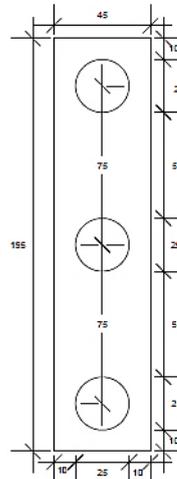
Fonte: Próprio Autor, 2015

$$E = 1 - 18,43 \left[\frac{(2 - 1) * 1 + (1 - 1) * 2}{90 * 1 * 2} \right] \quad (53)$$

$$E = 0,8976 = 89,7\% \quad (54)$$

- Grupo com três estacas em linha (Figura 30):

Figura 30 – Critério de Converse-Labarre para bloco com três estacas (1x3)



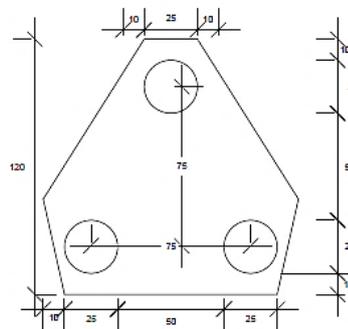
Fonte: Próprio Autor, 2015

$$E = 1 - 18,43 \left[\frac{(3 - 1) * 1 + (1 - 1) * 3}{90 * 1 * 3} \right] \quad (55)$$

$$E = 0,8635 = 86,35\% \quad (56)$$

- Grupo com três estacas em triângulo (Figura 31):

Figura 31 – Critério de Converse-Labarre para bloco com três estacas (Δ)



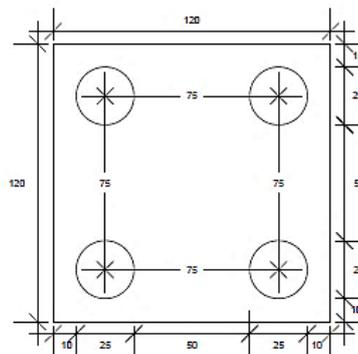
Fonte: Próprio Autor, 2015

$$E = 1 - 18,43 \left[\frac{(1 - 1) * 3 + (3 - 1) * 1}{90 * 3 * 1} \right] \quad (57)$$

$$E = 0,8635 = 86,35\% \quad (58)$$

- Grupo com quatro estacas em quadrado (Figura 32):

Figura 32 – Critério de Converse-Labarre para bloco com quatro estacas (2x2)



Fonte: Próprio Autor, 2015

$$E = 1 - 18,43 \left[\frac{(2 - 1) * 2 + (2 - 1) * 2}{90 * 2 * 2} \right] \quad (59)$$

$$E = 0,7952 = 79,52\% \quad (60)$$

4.1.3.1 Comparação dos Resultados de Converse-Labarre

Aplicando o Critério de Converse-Labarre para calcular a eficiência dos grupos de estacas, os resultados obtidos estão na Tabela 12 e na Figura 33 que apresentam a comparação dos resultados obtidos na prova de carga estática e na aplicação do critério de Converse-Labarre.

Tabela 12 – Converse-Labarre x Cintra & Silva

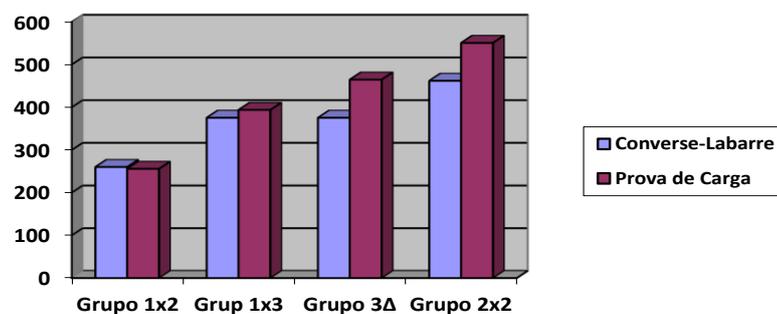
Grupos	Critério de Converse-Labarre		Ensaio de Prova de Carga Estática
	E (%)	Pug (KN)	Pug (KN)
Grupo 1x2	89,76	260,30	256
Grupo 1x3	86,35	375,62	394
Grupo 3Δ	86,35	375,62	465
Grupo 2x2	79,52	462,22	551

E = eficiência do grupo de estacas

Pug = Valores da Carga última

Fonte: Próprio autor, 2015

Figura 33 – Converse-Labarre x Cintra & Silva



Fonte: Próprio Autor, 2015

5 ESTUDO DE CASO DO EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM GOIÂNIA-GO

Trata-se de um edifício residencial de 34 pavimentos localizado na cidade de Goiânia-Go. No local foi realizado um ensaio à percussão do tipo SPT, onde foram executados 2 furos de sondagem num total de 33,65 metros (m) de profundidade. O perfil geológico encontrado trata-se de uma camada de 7 metros (m) de uma argila pouco arenosa, seguida de uma camada de 2 metros (m) de uma argila pouco siltosa e por fim uma camada de 9 metros (m) de um silte pouco argiloso.

O projeto de fundações possui estacas com diâmetros de 70, 80 e 90 centímetros (cm), com espaçamentos variados de acordo com seus respectivos blocos. Todas as estacas estão apoiadas na camada de solo de uma argila pouco siltosa.

As estacas estão distribuídas em 15 blocos, sendo os blocos B1 e B2 compostos por apenas uma estaca, os blocos B3, B4, B5 e B6 compostos por duas estacas, os blocos B7, B8, B9 e B10 compostos por quatro estacas, os blocos B11 e B12 compostos por cinco estacas, os blocos B13 e B14 compostos por seis estacas e o bloco B15 composto por um grupo de doze estacas.

As cargas nos pilares da estrutura variam de 8,4 tf a 1196,9 tf, sendo estes esforços transferidos através dos blocos anteriormente citados.

5.1 APLICAÇÕES DOS CRITÉRIOS DE ANÁLISE

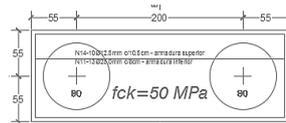
5.1.1 Critério de Feld

De acordo com Feld para determinar eficiência do grupo de estacas deve-se reduzir a carga de uma estaca isolada em 1/16 quantas forem às estacas vizinhas. O critério de Feld leva em consideração apenas o número de estacas do bloco, não levando em consideração fatores como espaçamento, diâmetro e profundidade das estacas, nem dados geotécnicos. Desta maneira o resultado para todos os blocos com duas estacas vão possuir a mesma eficiência, o mesmo acontece com todos os blocos de quatro, cinco e seis estacas. No caso dos blocos com apenas uma estaca consideramos a eficiência em 100%.

- Blocos sobre duas estacas (Figura 34):

Os seguintes blocos possuem o grupo formado por duas estacas: B3- bloco sobre duas estacas de Ø70cm (1x) PT7; B4-bloco sobre duas estacas de Ø80cm (2x) PT1-PT12; B5- bloco sobre duas estacas de Ø80cm (1x) PT2 e B6- Bloco sobre duas estacas de Ø90cm (1x) PT6.

Figura 34 – Feld, bloco sobre duas estacas



Fonte: ENGESOL, 2014

$$1 - \frac{1}{16} = \frac{16 - 1}{16} = \frac{15}{16} \quad (61)$$

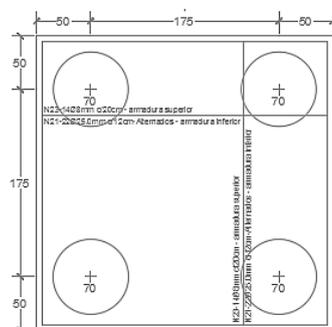
$$\frac{15}{16} = 0,9375 = 93,75\% \quad (62)$$

Para todos os blocos sobre duas estacas a eficiência é de 93,75%.

Bloco sobre quatro estacas (Figura 35):

Os seguintes blocos possuem o grupo formado por quatro estacas: B7- bloco sobre quatro estacas de Ø70cm (1x) PT14; B8- bloco sobre quatro estacas de Ø80cm (4x) PT4-PT10-PT20-PT23; B9- bloco sobre quatro estacas de Ø90cm (3x) PT17-PT19-PT21 e B10- Bloco sobre quatro estacas de Ø90cm (1x) PT9.

Figura 35 – Feld, bloco sobre quatro estacas.



Fonte: ENGESOL, 2014

$$1 - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} = \frac{16 - 1 - 1 - 1}{16} = \frac{13}{16} \quad (63)$$

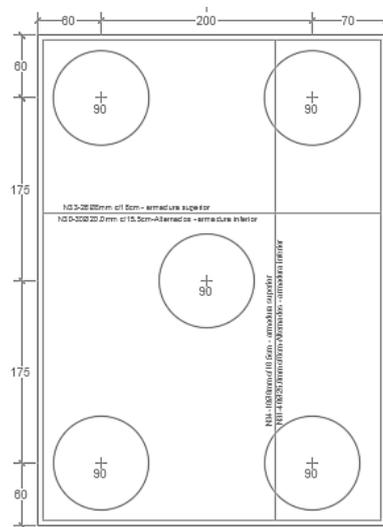
$$\frac{13}{16} = 0,8125 = 81,25\% \quad (64)$$

Para todos os blocos sobre quatro estacas a eficiência é de 81,25%.

- Bloco sobre cinco estacas (Figura 36):

Os seguintes blocos possuem o grupo formado por cinco estacas: B11- bloco sobre cinco estacas de Ø90cm (1x) PT8 e B12- bloco sobre cinco estacas de Ø90cm (1x) PT22.

Figura 36 – Feld, bloco sobre cinco estacas



Fonte: ENGESOL, 2014

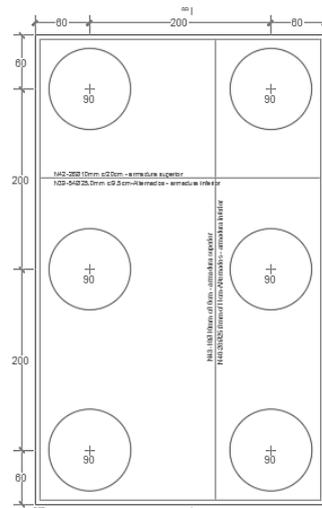
$$1 - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} = \frac{16 - 1 - 1 - 1 - 1}{16} = \frac{12}{16} \quad (65)$$

$$\frac{12}{16} = 0,75 = 75\% \quad (66)$$

Para todos os blocos sobre cinco estacas a eficiência é de 75%.

- Bloco sobre seis estacas (Figura 37):

Os seguintes blocos possuem o grupo formado por seis estacas: B13- bloco sobre seis estacas de Ø90cm (1x) PT3+PT5 e B14- bloco sobre seis estacas de Ø90cm (1x) PT13+PT16.

Figura 37 – Feld, bloco sobre seis estacas

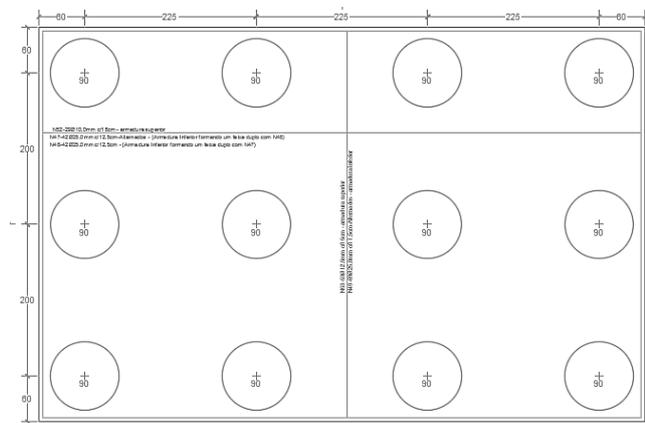
Fonte: ENGESOL, 2014

$$1 - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} - \frac{1}{16} = \frac{16 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1}{16} = \frac{11}{16} \quad (67)$$

$$\frac{11}{16} = 0,6875 = 68,75\% \quad (68)$$

Para todos os blocos sobre seis estacas a eficiência é de 68,75%.

- Bloco sobre doze estacas (Figura 38):
- Apenas um bloco possui o grupo formado por doze estacas: B15- Bloco sobre doze estacas de Ø90cm (1x) PT11+PT15+PT18.

Figura 38 - Feld, bloco sobre doze estacas

Fonte: ENGESOL, 2014

$$1 - \frac{1}{16} \quad (69)$$

$$\frac{16 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1}{16} = \frac{8}{16} \quad (70)$$

$$\frac{8}{16} = 0,50 = 50\% \quad (71)$$

5.1.2 Critério de Terzaghi & Peck

Segundo o critério de Terzaghi & Peck a eficiência em grupo de estacas é dada por:

$$Q_c = Q_{dr} + U D_f \tau \quad (72)$$

Onde:

Q_{dr} = capacidade de carga de uma fundação direta com a área igual à delimitada pelo grupo de estacas assentadas na profundidade D_f ;

U = perímetro do bloco que envolve as estacas;

D_f = comprimento da estaca;

τ = resistência ao cisalhamento médio do solo. Segundo Terzaghi (1948 apud MARAGON 2011) a resistência ao cisalhamento médio do solo (τ), pode ser estimada através da seguinte fórmula: $\tau = c = \frac{N}{\alpha}$ (73)

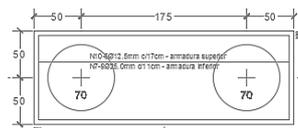
c = coesão;

N = Resistência a penetração;

$\alpha = 15$.

- B3- Bloco sobre duas estacas de $\varnothing 70\text{cm}$ (1x) PT7 (Figura 39):

Figura 39 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B3



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{40} - 1 = 5,32 \text{ kgf/cm}^2 \quad (74)$$

$$A = 275 * 100 = 27500 \text{ cm}^2 \quad (75)$$

$$Q_{dr} = 5,32 * 27500 = 146300 \text{ kgf} = 146,3 \text{ tf} \quad (76)$$

$$Df = 14,48m \quad (77)$$

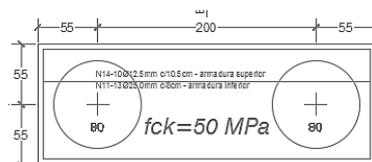
$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{40}{15} = 2,67 \quad (78)$$

$$U = 2,75 + 1,00 = 3,75m \quad (79)$$

$$Qc = 146,30 + 3,75 * 14,48 * 2,67 = 291,28tf \quad (80)$$

- B4- Bloco sobre duas estacas de Ø80cm (2x) PT1-PT12 (Figura 40):

Figura 40 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B4



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Qadm = \sqrt{40} - 1 = 5,32 \text{ kgf/cm}^2 \quad (81)$$

$$A = 310 * 110 = 34100\text{cm}^2 \quad (82)$$

$$Qdr = 5,32 * 34100 = 181412\text{kgf} = 181,412 \text{ tf} \quad (83)$$

$$U = 3,10 + 1,10 = 4,20m \quad (84)$$

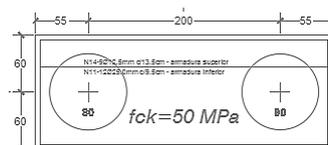
$$Df \text{ médio} = 14,70m \quad (85)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{40}{15} = 2,67 \quad (86)$$

$$Qc = 181,41 + 4,20 * 14,70 * 2,67 = 346,26tf \quad (87)$$

- B5- Bloco sobre duas estacas de Ø80cm (1x) PT2 (Figura 41):

Figura 41 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B5



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Qadm = \sqrt{40} - 1 = 5,32 \text{ kgf/cm}^2 \quad (88)$$

$$A = 310 * 120 = 37200\text{cm}^2 \quad (89)$$

$$Q_{dr} = 5,32 * 37200 = 197904gf = 197,904 \text{ tf} \quad (90)$$

$$U = 3,10 + 1,20 = 4,30\text{m} \quad (81)$$

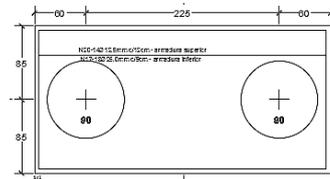
$$Df \text{ médio} = 14,80\text{m} \quad (92)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{40}{15} = 2,67 \quad (93)$$

$$Q_c = 197,90 + 4,30 * 14,80 * 2,67 = 367,82\text{tf} \quad (94)$$

- B6- Bloco sobre duas estacas de Ø90cm (1x) PT6 (Figura 42):

Figura 42 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B6



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{40} - 1 = 5,32 \text{ kgf/cm}^2 \quad (95)$$

$$A = 345 * 170 = 58650\text{cm}^2 \quad (96)$$

$$Q_{dr} = 5,32 * 58650 = 312018gf = 312,018 \text{ tf} \quad (97)$$

$$U = 3,45 + 1,70 = 5,15\text{m} \quad (98)$$

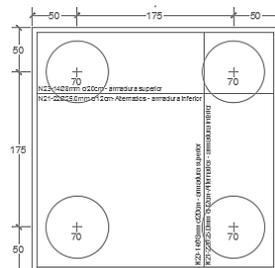
$$Df \text{ médio} = 14,85\text{m} \quad (99)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{40}{15} = 2,67 \quad (100)$$

$$Q_c = 312,01 + 5,15 * 14,85 * 2,67 = 516,20\text{tf} \quad (101)$$

- B7- Bloco sobre quatro estacas de Ø70cm (1x) PT14 (Figura 43):

Figura 43 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B7



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{40} - 1 = 5,32 \text{ kgf/cm}^2 \quad (102)$$

$$A = 275 * 275 = 75625 \text{ cm}^2 \quad (103)$$

$$Q_{dr} = 5,32 * 75625 = 402325 \text{ gf} = 402,325 \text{ tf} \quad (104)$$

$$U = 2,75 + 2,75 = 5,50 \text{ m} \quad (105)$$

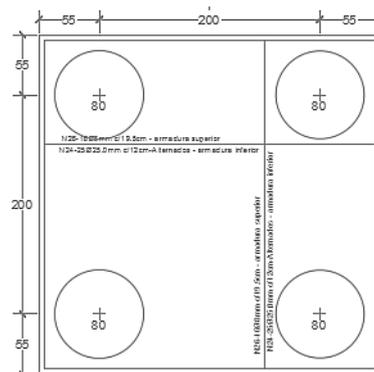
$$Df \text{ médio} = 14,56 \text{ m} \quad (106)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{40}{15} = 2,67 \quad (107)$$

$$Q_c = 402,32 + 5,50 * 14,56 * 2,67 = 616,13 \text{ tf} \quad (108)$$

- B8- Bloco sobre quatro estacas de Ø80cm (4x) PT4-PT10-PT20-PT23 (Figura 44):

Figura 44 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B8



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{40} - 1 = 5,32 \text{ kgf/cm}^2 \quad (109)$$

$$A = 310 * 310 = 96100 \text{ cm}^2 \quad (110)$$

$$Q_{dr} = 5,32 * 96100 = 511252 \text{ kgf} = 511,252 \text{ tf} \quad (111)$$

$$U = 3,10 + 3,10 = 6,20 \text{ m} \quad (112)$$

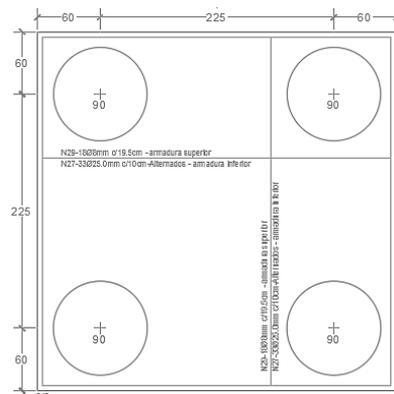
$$Df \text{ médio} = 14,60 \text{ m} \quad (113)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{40}{15} = 2,67 \quad (114)$$

$$Q_c = 511,25 + 6,20 * 14,60 * 2,67 = 752,94 \text{ tf} \quad (115)$$

- B9- Bloco sobre quatro estacas de Ø90cm (3x) PT17-PT19-PT21 (Figura 45):

Figura 45 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B9



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{40} - 1 = 5,32 \text{ kgf/cm}^2 \quad (116)$$

$$A = 345 * 345 = 119025 \text{ cm}^2 \quad (117)$$

$$Q_{dr} = 5,32 * 119025 = 633213 \text{ kgf} = 633,213 \text{ tf} \quad (118)$$

$$U = 3,35 + 3,35 = 6,70 \text{ m} \quad (119)$$

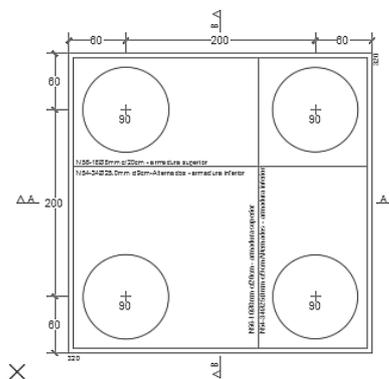
$$D_f \text{ médio} = 14,80 \text{ m} \quad (120)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{40}{15} = 2,67 \quad (121)$$

$$Q_c = 633,21 + 6,70 * 14,80 * 2,67 = 897,97 \text{ tf} \quad (122)$$

- B10- Bloco sobre quatro estacas de Ø90cm (1x) PT9 (Figura 46):

Figura 46 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B10



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{40} - 1 = 5,32 \text{ kgf/cm}^2 \quad (123)$$

$$A = 320 * 320 = 102400 \text{ cm}^2 \quad (124)$$

$$Q_{dr} = 5,32 * 102400 = 544768 \text{kgf} = 544,768 \text{ tf} \quad (125)$$

$$U = 3,20 + 3,20 = 6,40 \text{m} \quad (126)$$

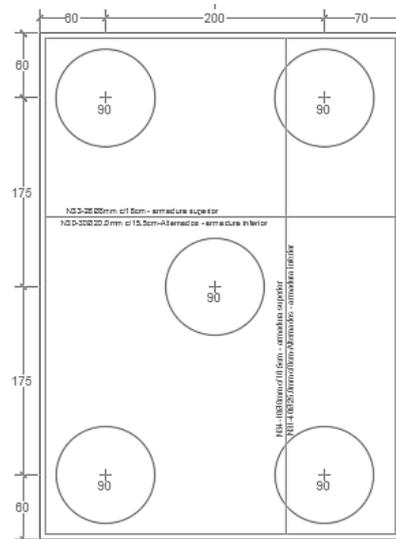
$$Df \text{ médio} = 14,83 \text{m} \quad (127)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{40}{15} = 2,67 \quad (128)$$

$$Q_c = 544,77 + 6,40 * 14,83 * 2,67 = 798,19 \text{tf} \quad (129)$$

- B11- Bloco sobre cinco estacas de Ø90cm (1x) PT8 (Figura 47):

Figura 47 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B11



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{52} - 1 = 6,21 \text{ kgf/cm}^2 \quad (130)$$

$$A = 340 * 340 = 115600 \text{cm}^2 \quad (131)$$

$$Q_{dr} = 6,21 * 115600 = 717876 \text{kgf} = 717,876 \text{ tf} \quad (132)$$

$$U = 3,30 + 4,70 = 8,00 \text{m} \quad (133)$$

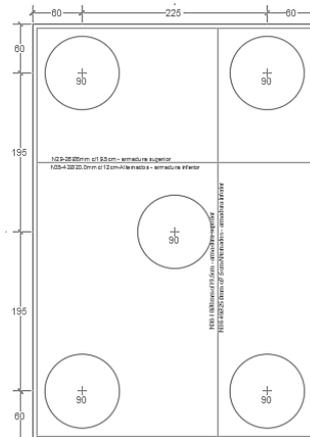
$$Df \text{ médio} = 16,60 \text{m} \quad (134)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{52}{15} = 3,47 \quad (135)$$

$$Q_c = 717,88 + 8,00 * 16,60 * 3,47 = 1178,70 \text{tf} \quad (136)$$

- B12- Bloco sobre cinco estacas de Ø90cm (1x) PT22 (Figura 48):

Figura 48 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B12



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{40} - 1 = 5,32 \text{ kgf/cm}^2 \quad (137)$$

$$A = 345 * 510 = 175950 \text{ cm}^2 \quad (138)$$

$$Q_{dr} = 5,32 * 175950 = 936054 \text{ kgf} = 936,054 \text{ tf} \quad (139)$$

$$U = 3,45 + 5,10 = 8,55 \text{ m} \quad (140)$$

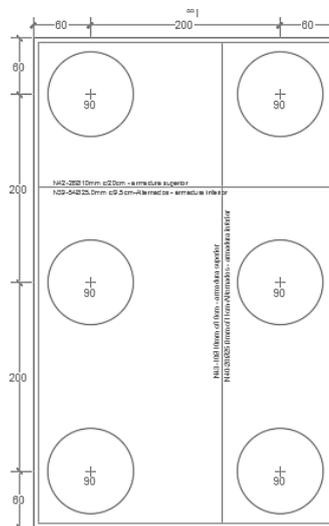
$$D_f \text{ médio} = 14,80 \text{ m} \quad (141)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{40}{15} = 2,67 \quad (142)$$

$$Q_c = 936,05 + 8,55 * 14,80 * 2,67 = 1273,91 \text{ tf} \quad (143)$$

- B13- Bloco sobre seis estacas de Ø90cm (1x) PT3+PT5 (Figura 49):

Figura 49 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B13



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{48} - 1 = 5,93 \text{ kgf/cm}^2 \quad (144)$$

$$A = 320 * 520 = 166400 \text{ cm}^2 \quad (145)$$

$$Q_{dr} = 5,93 * 166400 = 986752 \text{ kgf} = 986,752 \text{ tf} \quad (146)$$

$$U = 3,20 + 5,20 = 8,40 \text{ m} \quad (147)$$

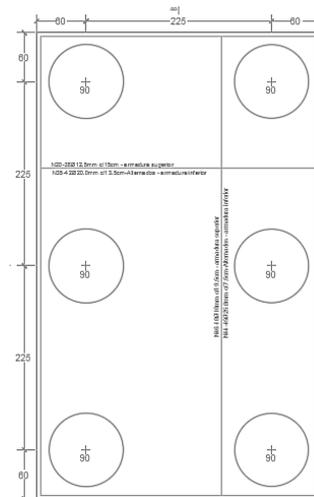
$$Df \text{ médio} = 15,00 \text{ m} \quad (148)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{48}{15} = 3,20 \quad (149)$$

$$Q_c = 986,75 + 8,45 * 15,00 * 3,20 = 1392,35 \text{ tf} \quad (150)$$

- B14- Bloco sobre seis estacas de Ø90cm (1x) PT13+PT16 (Figura 50):

Figura 50 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B14



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{52} - 1 = 6,21 \text{ kgf/cm}^2 \quad (151)$$

$$A = 345 * 570 = 196650 \text{ cm}^2 \quad (152)$$

$$Q_{dr} = 6,21 * 196650 = 1221196,50 \text{ kgf} = 1221,196 \text{ tf} \quad (153)$$

$$U = 3,45 + 5,60 = 9,05 \text{ m} \quad (154)$$

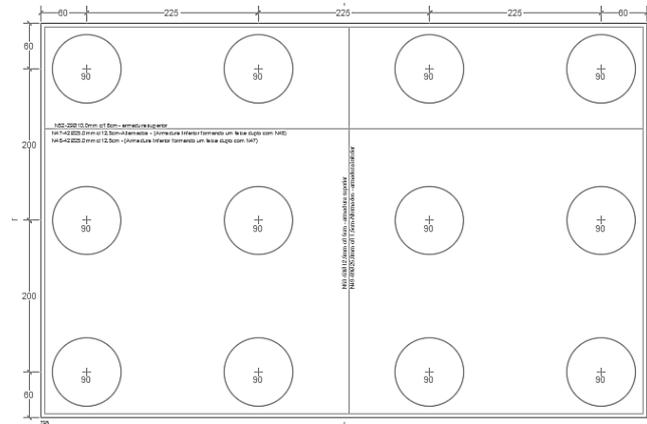
$$Df \text{ médio} = 16,40 \text{ m} \quad (155)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{52}{15} = 3,47 \quad (156)$$

$$Q_c = 1221,20 + 9,05 * 16,40 * 3,47 = 1736,22 \text{ tf} \quad (157)$$

- B15- Bloco sobre doze estacas de Ø90cm (1x) PT11+PT15+PT18 (Figura 51):

Figura 51 – Critério de Terzaghi & Peck para o bloco B15



Fonte: ENGESOL, 2014

$$Q_{adm} = \sqrt{52} - 1 = 6,21 \text{ kgf/cm}^2 \quad (158)$$

$$A = 520 * 795 = 413400 \text{ cm}^2 \quad (159)$$

$$Q_{dr} = 6,21 * 413400 = 2567214 \text{ kgf} = 2567,214 \text{ tf} \quad (160)$$

$$D_f \text{ médio} = 16,60 \text{ m} \quad (161)$$

$$\tau = c = \frac{N}{\alpha} = \frac{N}{15} = \frac{52}{15} = 3,47 \quad (162)$$

$$Q_c = 2567,21 + 10,90 * 16,60 * 3,47 = 3195,07 \text{ tf} \quad (163)$$

5.1.3 Critério de Converse-Labarre

Segundo o critério de Converse-Labarre a eficiência em grupo de estacas é dado pela seguinte equação:

$$E = 1 - \Phi \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right] \quad (164)$$

Onde:

E = Eficiência;

m = número de filas;

n = número de estacas em uma fila;

$$\phi = \text{ângulo cuja tangente é igual a } \frac{d}{s} \quad (165)$$

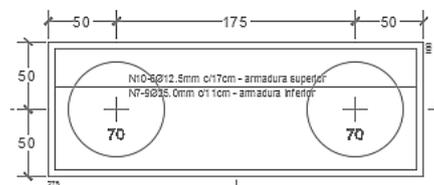
s = distância entre os eixos de duas estacas;

d = diâmetro da estaca.

Nos blocos com apenas uma estacas, considera-se que a eficiência é de 100%

- B3- Bloco sobre duas estacas de $\varnothing 70\text{cm}$ (1x) PT7 (Figura 52):

Figura 52 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B3



Fonte: ENGESOL, 2014

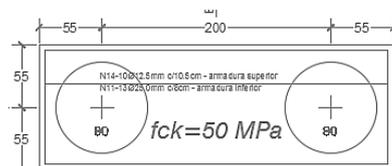
$$\phi = \tan^{-1} \frac{0,70}{1,75} = 21,80 \quad (166)$$

$$E = 1 - 21,80 \left[\frac{(1-1)2 + (2-1)1}{90 * 2 * 1} \right] \quad (167)$$

$$E = 0,8789 = 87,89\% \quad (168)$$

- B4- Bloco sobre duas estacas de $\varnothing 80\text{cm}$ (2x) PT1-PT12 (Figura 53):

Figura 53 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B4



Fonte: ENGESOL, 2014

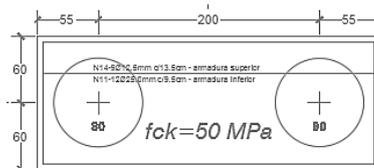
$$\phi = \tan^{-1} \frac{0,80}{2,0} = 21,80 \quad (169)$$

$$E = 1 - 21,80 \left[\frac{(1 - 1)2 + (2 - 1)1}{90 * 2 * 1} \right] \quad (170)$$

$$E = 0,8789 = 87,89\% \quad (171)$$

- B5- Bloco sobre duas estacas de Ø80cm (1x) PT2 (Figura 54):

Figura 54 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B5



Fonte: PROJETO, 2014

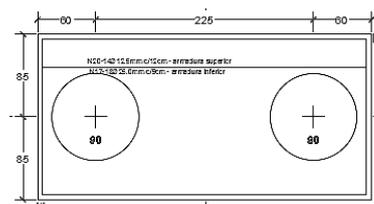
$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{0,80}{2,0} = 21,80 \quad (172)$$

$$E = 1 - 21,80 \left[\frac{(1 - 1)2 + (2 - 1)1}{90 * 2 * 1} \right] \quad (173)$$

$$E = 0,8789 = 87,89\% \quad (174)$$

- B6- Bloco sobre duas estacas de Ø90cm (1x) PT6 (Figura 55):

Figura 55 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B6



Fonte: ENGESOL, 2014

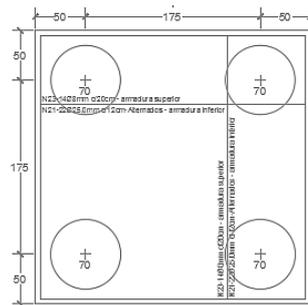
$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{0,90}{2,25} = 21,80 \quad (175)$$

$$E = 1 - 21,80 \left[\frac{(1 - 1)2 + (2 - 1)1}{90 * 2 * 1} \right] \quad (176)$$

$$E = 0,8789 = 87,89\% \quad (177)$$

- B7- Bloco sobre quatro estacas de Ø70cm (1x) PT14 (Figura 56):

Figura 56 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B7



Fonte: ENGESOL, 2014

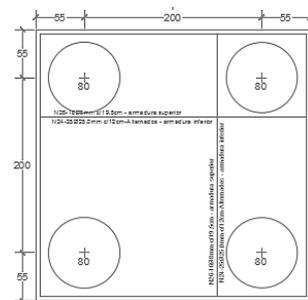
$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{0,70}{1,75} = 21,80 \quad (178)$$

$$E = 1 - 21,80 \left[\frac{(2-1)^2 + (2-1)^2}{90 * 2 * 2} \right] \quad (179)$$

$$E = 0,7578 = 75,78\% \quad (180)$$

- B8- Bloco sobre quatro estacas de Ø80cm (4x) PT4-PT10-PT20-PT23 (Figura 57):

Figura 57 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B8



Fonte: ENGESOL, 2014

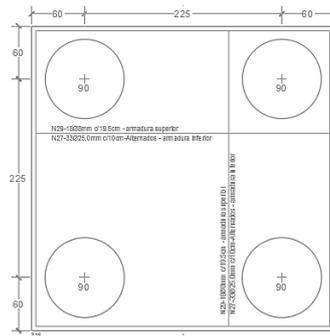
$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{0,80}{2,0} = 21,80 \quad (181)$$

$$E = 1 - 21,80 \left[\frac{(2-1)^2 + (2-1)^2}{90 * 2 * 2} \right] \quad (182)$$

$$E = 0,7578 = 75,78\% \quad (183)$$

- B9- Bloco sobre quatro estacas de Ø90cm (3x) PT17-PT19-PT21 (Figura 58):

Figura 58 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B9



Fonte: ENGESOL, 2014

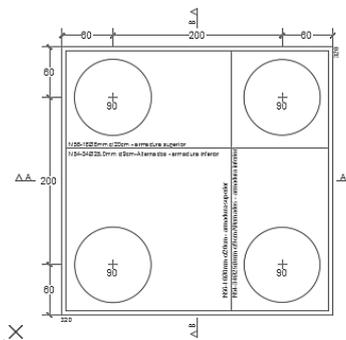
$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{0,90}{2,25} = 21,80 \quad (184)$$

$$E = 1 - 21,80 \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 * 2 * 2} \right] \quad (185)$$

$$E = 0,7578 = 75,78\% \quad (186)$$

- B10- Bloco sobre quatro estacas de Ø90cm (1x) PT9 (Figura 59):

Figura 59 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B10



Fonte: ENGESOL, 2014

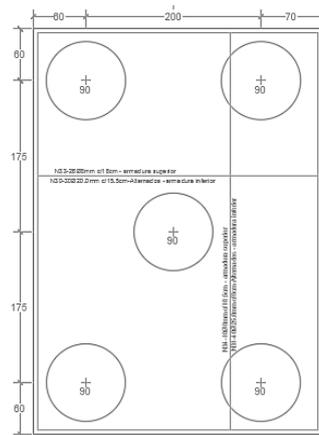
$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{0,90}{2,0} = 24,23 \quad (187)$$

$$E = 1 - 24,23 \left[\frac{(1-1)2 + (2-1)1}{90 * 2 * 1} \right] \quad (188)$$

$$E = 0,7308 = 73,08\% \quad (189)$$

- B11- Bloco sobre cinco estacas de Ø90cm (1x) PT8 (Figura 60):

Figura 60 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B11



Fonte: ENGESOL, 2014

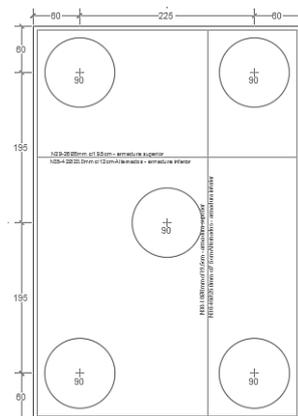
$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{0,90}{2,0} = 24,23 \quad (190)$$

$$E = 1 - 24,23 \left\{ \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 * 2 * 2} \right] + \left[\frac{(1-1)1 + (1-1)1}{90 * 1 * 1} \right] \right\} \quad (191)$$

$$E = 0,7308 = 73,08\% \quad (192)$$

- B12- Bloco sobre cinco estacas de Ø90cm (1x) PT22 (Figura 61):

Figura 61 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B12



Fonte: ENGESOL, 2014

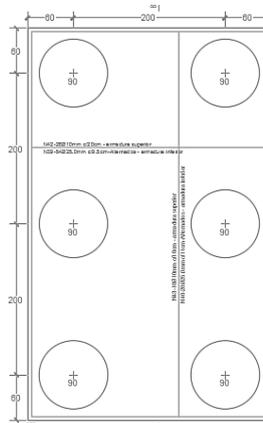
$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{0,90}{2,25} = 21,80 \quad (193)$$

$$E = 1 - \left\{ 21,80 \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 * 2 * 2} \right] + \left[\frac{(1-1)1 + (1-1)1}{90 * 1 * 1} \right] \right\} \quad (194)$$

$$E = 0,7578 = 75,78\% \quad (195)$$

- B13- Bloco sobre seis estacas de Ø90cm (1x) PT3+PT5 (Figura 62):

Figura 62 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B13



Fonte: ENGESOL, 2014

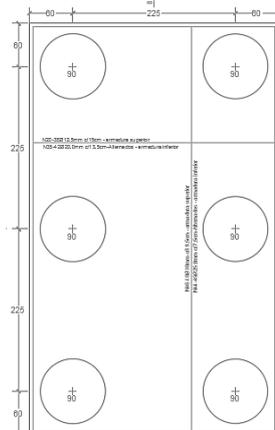
$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{0,90}{2,0} = 24,23 \quad (196)$$

$$E = 1 - 24,23 \left[\frac{(3 - 1)2 + (2 - 1)3}{90 * 2 * 3} \right] \quad (197)$$

$$E = 0,6859 = 68,59\% \quad (198)$$

- B14- Bloco sobre seis estacas de Ø90cm (1x) PT13+PT16 (Figura 63):

Figura 63 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B14



Fonte: ENGESOL, 2014

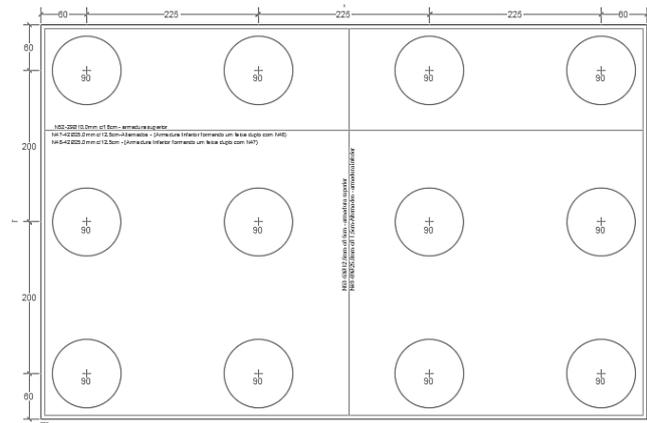
$$\emptyset = \tan^{-1} \frac{0,90}{2,25} = 21,80 \quad (199)$$

$$E = 1 - 21,80 \left[\frac{(3 - 1)2 + (2 - 1)3}{90 * 2 * 3} \right] \quad (200)$$

$$E = 0,7174 = 71,74\% \quad (201)$$

- B15- Bloco sobre doze estacas de Ø90cm (1x) PT11+PT15+PT18 (Figura 64):

Figura 64 – Critério de Converse-Labarre para o bloco B15



Fonte: ENGESOL, 2014

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0,90}{2,25} = 21,80 \quad (202)$$

$$E = 1 - 21,80 \left[\frac{(3 - 1)4 + (4 - 1)3}{90 * 4 * 3} \right] \quad (203)$$

$$E = 0,6568 = 65,68\% \quad (204)$$

5.2 APLICAÇÕES DAS EFICIÊNCIAS NO PROJETO DE FUNDAÇÕES

Neste item, os resultados da aplicação dos critérios de análise de eficiência para grupos de estacas de Feld, Terzaghi & Peck e Converse-Labarre em todos os blocos que compõem a fundação de edifício são utilizados para verificar se o dimensionamento da fundação levou em consideração o fenômeno da eficiência dos grupos de estacas.

São utilizadas as cargas admissíveis de cada bloco, fornecidas pelo projetista, e nelas são aplicados às eficiências, os resultados são comparados com as cargas dos pilares que devem suportar. Desta maneira verificamos se a fundação tem condições de suportar as cargas da estrutura sem sofrer nenhum tipo de deformação ou recalque.

Os valores das cargas fornecidas pelo projetista são apresentados na Tabela 13:

Tabela 13 – Tabela de cargas

NOME	N máx. tf	Mx tf.cm	My tf.cm	Qtd. Estacas	Peso proprio		$\sum N_i [X_i]^2$ cm ²	$\sum N_i [Y_i]^2$ cm ²	C. Máx	Média dos Métodos			
					1,1					Carga Admissível (tf) FS=2,0	Por Decourt Quaresma (tf) FS=2,0	Carga Admissível (tf) FS=1,6	Por Decourt Quaresma (tf) FS=1,6
PT01	466,2	2,9	24	2	256,41		2,00	0,00	268,41	242,2	278,0	302,8	347,5
PT02	442,8	2	20,6	2	243,54		0,00	2,00	244,54	242,2	278,0	302,8	347,5
PT03/PT5	1902	96,9	6,3	6	348,70		6,00	16,00	361,66	282,7	320,8	353,4	401
PT04	987,3	41,5	6,8	4	271,51		4,00	4,00	283,58	242,2	278,0	302,8	347,5
PT06	671,6	44,7	3,6	2	369,38		2,00	0,00	371,18	282,7	320,8	353,4	401
PT07	390,2	52,8	1,5	2	214,61		0,00	2,00	241,01	203,5	237,0	254,4	296,25
PT08	1616,2	314,5	271,1	5	355,56		4,00	12,25	468,27	304,7	348,8	380,9	436
PT09	1312,1	6,2	94,9	4	360,83		4,00	4,00	386,10	282,7	320,8	353,4	401
PT10	797,8	52	14,3	4	219,40		4,00	4,00	235,97	242,2	278,0	302,8	347,5
PT11/PT15/PT18	3645,1	124,8	398	12	334,13	75,67	32,00	32,00	359,44	331,9	380,8	414,9	476
PT12	544,7	2	42,5	2	299,59		2,00	0,00	320,84	242,2	278,0	302,8	347,5
PT13/PT16	2002,9	13,4	367,9	6	367,20	20,25	7,53	7,53	410,07	304,7	348,8	380,9	436
PT14	699	95,8	2,4	4	192,23		3,06	3,06	220,28	203,5	237,0	254,4	296,25
PT17	1159,1	40,8	7,5	4	318,75		5,06	5,06	329,51	282,7	320,8	353,4	401
PT19	1079	8,8	105,2	4	296,73		5,06	5,06	322,06	282,7	320,8	353,4	401
PT20	812,6	36,9	23,1	4	223,47		4,00	4,00	238,47	267,2	309,6	334,0	387
PT21	1111	179,8	13,1	4	305,53		5,06	5,06	348,39	282,7	320,8	353,4	401
PT22	1376,3	132,5	18,8	5	302,79		5,06	15,21	323,95	282,7	320,8	353,4	401
PT23	1034,7	99	32,8	4	284,54		4,00	4,00	317,49	242,2	278,0	302,8	347,5
P101	239,3	1,6	2,9	1	263,23		0,00	0,00	263,23	267,2	309,6	334,0	387
P102	228,5	1,6	2	1	251,35		0,00	0,00	251,35	242,2	278,0	302,8	347,5
P103	201,6	1,3	2,5	1	221,76		0,00	0,00	221,76	242,2	278,0	302,8	347,5
P105	28,8	2	0,5	1	31,68		0,00	0,00	31,68	225,1	264,3	281,4	330,375
P106	29,6	1,8	0,5	1	32,56		0,00	0,00	32,56	203,5	237,0	254,4	296,25

Fonte: Adaptado de ENGESOL, 2015.

5.2.1 Aplicação do Critério de Feld

As aplicações dos resultados de eficiência obtidas através da aplicação do critério de Feld estão apresentados na Tabela 14 e na Tabela 15:

Tabela 14 – Aplicação da eficiência de Feld FS=1,6

BLOCO	NOME	N ESTACAS	EFIC. (%)	CARGA MÁXIMA (tf)	Média dos métodos		Por Decourt Quaresma		Aplicando-se a Eficiência			Resultados		
					CARGA ADMISSÍVEL (tf) FS=1,6	CARGA ADMISSÍVEL (tf) FS=1,6	CARGA PILAR (tf)	CARGA MÁXIMA (tf)	C. MÉDIA DOS MÉTODOS (tf)	C. DECOURT QUARESMA (tf)	CARGA MÁXIMA (tf)	MÉDIA DOS MÉTODOS (tf)	DECOURT QUARESMA (tf)	
B1	P105	1	100	31,68	281,40	330,38	26,50	31,68	281,40	330,38	Ok	Ok	Ok	
B1	P106	1	100	32,56	254,40	296,25	35,20	32,56	254,40	296,25	Não passa	Ok	Ok	
B2	P101	1	100	263,23	334,00	387,00	234,30	263,23	334,00	387,00	Ok	Ok	Ok	
B2	P102	1	100	251,35	302,80	345,70	221,90	251,35	302,80	345,70	Ok	Ok	Ok	
B2	P103	1	100	221,76	302,80	347,50	195,40	221,76	302,80	347,50	Ok	Ok	Ok	
B3	PT7	2	93,75	241,01	254,40	296,25	265,30	225,95	238,50	277,73	Não passa	Não passa	Ok	
B4	PT1	2	93,75	268,41	302,80	347,50	290,80	251,63	283,88	325,78	Não passa	Não passa	Ok	
B4	PT12	2	93,75	320,84	302,80	347,50	459,50	300,79	283,88	325,78	Não passa	Não passa	Não passa	
B5	PT2	2	93,75	244,54	302,80	347,50	245,40	229,26	283,88	325,78	Não passa	Ok	Ok	
B6	PT6	2	93,75	371,18	353,40	401,00	568,30	347,98	331,31	375,94	Não passa	Não passa	Não passa	
B7	PT14	4	81,25	220,8	254,40	296,25	559,10	179,40	206,70	240,70	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT4	4	81,25	283,58	302,80	347,50	739,80	230,41	246,03	282,34	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT10	4	81,25	235,97	302,80	347,50	636,80	191,73	246,03	282,34	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT20	4	81,25	238,47	334,00	387,00	591,2	193,76	271,38	314,44	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT23	4	81,25	317,49	302,80	347,50	883,8	257,96	246,03	282,34	Não passa	Não passa	Não passa	
B9	PT17	4	81,25	329,51	353,40	401,00	1043,6	267,73	287,14	325,81	Não passa	Não passa	Não passa	
B9	PT19	4	81,25	322,06	353,40	401,00	1196,9	261,67	287,14	325,81	Não passa	Não passa	Não passa	
B9	PT21	4	81,25	348,39	353,40	401,00	1030,2	283,07	287,14	325,81	Não passa	Não passa	Não passa	
B10	PT9	4	81,25	386,1	353,40	401,00	1094,4	313,71	287,14	325,81	Não passa	Não passa	Não passa	
B11	PT8	5	75,00	468,27	380,90	436,00	1088,5	351,20	285,68	327,00	Não passa	Não passa	Não passa	
B12	PT22	5	75	323,95	353,40	401,00	1191,6	242,96	265,05	300,75	Não passa	Não passa	Não passa	
B13	PT3+PT5	6	68,75	361,86	353,40	401,00	1581,1	248,78	242,96	275,69	Não passa	Não passa	Não passa	
B14	PT13+PT16	6	68,75	410,07	380,90	436,00	1658,6	281,92	261,87	299,75	Não passa	Não passa	Não passa	
B15	PT11+PT15+PT18	12	50	359,44	414,90	476,00	3128,2	179,72	207,45	238,00	Não passa	Não passa	Não passa	

Fonte: Próprio Autor, 2015

Tabela 15 - Aplicação da eficiência de Feld FS=2,0

BLOCO	NOME	N. ESTACAS	EFIC. (%)	CARGA MÁXIMA (tf)	Média dos métodos		Por Decourt Quaresma		Aplicando-se a Eficiência			Resultados		
					CARGA ADMISSÍVEL (tf) F.S.=2,0	CARGA ADMISSÍVEL (tf) F.S.=2,0	CARGA PILAR (tf)	CARGA MÁXIMA (tf)	C. MÉDIA DOS MÉTODOS (tf)	C. DE COURT QUARESMA (tf)	CARGA MÁXIMA (tf)	MÉDIA DOS MÉTODOS (tf)	DECOURT QUARESMA (tf)	
B1	P105	1	100	31,68	225,10	264,30	26,50	31,68	225,10	264,30	Ok	Ok	Ok	
B1	P106	1	100	32,56	203,50	237,00	35,20	32,56	203,50	237,00	Não passa	Ok	Ok	
B2	P101	1	100	263,23	267,20	309,60	234,30	263,23	267,20	309,60	Ok	Ok	Ok	
B2	P102	1	100	251,35	242,20	278,00	221,90	251,35	242,20	278,00	Ok	Ok	Ok	
B2	P103	1	100	221,76	242,20	278,00	195,40	221,76	242,20	278,00	Ok	Ok	Ok	
B3	PT7	2	93,75	241,01	203,50	237,00	265,30	225,95	190,78	222,19	Não passa	Não passa	Não passa	
B4	PT1	2	93,75	268,41	242,20	278,00	290,80	251,63	227,06	260,63	Não passa	Não passa	Não passa	
B4	PT12	2	93,75	320,84	242,20	278,00	459,50	300,79	227,06	260,63	Não passa	Não passa	Não passa	
B5	PT2	2	93,75	244,54	242,20	278,00	245,40	229,26	227,06	260,63	Não passa	Não passa	Ok	
B6	PT6	2	93,75	371,18	282,70	320,80	568,30	347,98	265,03	300,75	Não passa	Não passa	Não passa	
B7	PT14	4	81,25	220,8	203,50	237,00	559,10	179,40	165,34	192,56	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT4	4	81,25	283,58	242,20	278,00	739,80	230,41	196,79	225,88	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT10	4	81,25	235,97	242,20	278,00	636,80	191,73	196,79	225,88	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT20	4	81,25	238,47	267,20	309,60	591,2	193,76	217,10	251,55	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT23	4	81,25	317,49	242,20	278,00	883,8	257,96	196,79	225,88	Não passa	Não passa	Não passa	
B9	PT17	4	81,25	329,51	282,70	320,80	1043,6	267,73	229,69	260,65	Não passa	Não passa	Não passa	
B9	PT19	4	81,25	322,06	282,70	320,80	1196,9	261,67	229,69	260,65	Não passa	Não passa	Não passa	
B9	PT21	4	81,25	348,39	282,70	320,80	1030,2	283,07	229,69	260,65	Não passa	Não passa	Não passa	
B10	PT9	4	81,25	386,1	282,70	320,80	1094,4	313,71	229,69	260,65	Não passa	Não passa	Não passa	
B11	PT8	5	75,00	468,27	304,70	348,80	1088,5	351,20	228,53	261,60	Não passa	Não passa	Não passa	
B12	PT22	5	75	323,95	282,70	320,80	1191,6	242,96	212,03	240,60	Não passa	Não passa	Não passa	
B13	PT3+PT5	6	68,75	361,86	282,70	320,80	1581,1	248,78	194,36	220,55	Não passa	Não passa	Não passa	
B14	PT13+PT16	6	68,75	410,07	304,70	348,80	1658,6	281,92	209,48	239,80	Não passa	Não passa	Não passa	
B15	PT11+PT15+PT18	12	50	359,44	331,90	380,80	3128,2	179,72	165,95	190,40	Não passa	Não passa	Não passa	

Fonte: Próprio Autor, 2015

5.2.2 Aplicação do Critério de Terzaghi & Peck

As aplicações dos resultados de eficiência obtidos através do critério de Terzaghi & Peck estão apresentados na Tabela 16 e na Tabela 17:

Tabela 16 – Aplicação da eficiência de Terzaghi & Peck FS=1,6

BLOCO	NOME	N. ESTACAS	CARGA MÁXIMA (tf)	Média dos métodos		CARGA PILAR (tf)	CAPACIDADE DE C. TERZAGHI & PECK	RESULTADO
				CARGA ADMISSÍVEL (tf) F.S.=1,6	CARGA ADMISSÍVEL (tf) F.S.=1,6			
B1	P105	1	31,68	281,40	330,38	26,50	não se aplica	não se aplica
B1	P106	1	32,56	254,40	296,25	35,20	não se aplica	não se aplica
B2	P101	1	263,23	334,00	387,00	234,30	não se aplica	não se aplica
B2	P102	1	251,35	302,80	345,70	221,90	não se aplica	não se aplica
B2	P103	1	221,76	302,80	347,50	195,40	não se aplica	não se aplica
B3	PT7	2	241,01	254,40	296,25	265,30	291,28	Ok
B4	PT1	2	268,41	302,80	347,50	290,80	345,26	Ok
B4	PT12	2	320,84	302,80	347,50	459,50	345,26	Não passa
B5	PT2	2	244,54	302,80	347,50	245,40	367,82	Ok
B6	PT6	2	371,18	353,40	401,00	568,30	516,20	Não passa
B7	PT14	4	220,8	254,40	296,25	559,10	616,13	Ok
B8	PT4	4	283,58	302,80	347,50	739,80	752,94	Ok
B8	PT10	4	235,97	302,80	347,50	636,80	752,94	Ok
B8	PT20	4	238,47	334,00	387,00	591,2	752,94	Ok
B8	PT23	4	317,49	302,80	347,50	883,8	752,94	Não passa
B9	PT17	4	329,51	353,40	401,00	1043,6	897,97	Não passa
B9	PT19	4	322,06	353,40	401,00	1196,9	897,97	Não passa
B9	PT21	4	348,39	353,40	401,00	1030,2	897,97	Não passa
B10	PT9	4	386,1	353,40	401,00	1094,4	798,19	Não passa
B11	PT8	5	468,27	380,90	436,00	1088,5	1178,70	Ok
B12	PT22	5	323,95	353,40	401,00	1191,6	1273,91	Ok
B13	PT3+PT5	6	361,86	353,40	401,00	1581,1	1392,35	Não passa
B14	PT13+PT16	6	410,07	380,90	436,00	1658,6	1726,22	Ok
B15	PT11+PT15+PT18	12	359,44	414,90	476,00	3128,2	3195,07	Ok

Fonte: Próprio Autor, 2015

Tabela 17 - Aplicação da eficiência de Terzaghi & Peck FS=2,0

BLOCO	NOME	N. ESTACAS	CARGA MÁXIMA (tf)	Média dos métodos	Por Decourt	CARGA PILAR (tf)	CAPACIDADE DE C. TERZAGHI & PECK	RESULTADO
				CARGA ADMISSÍVEL (tf) F.S.=2,0	CARGA ADMISSÍVEL (tf) F.S.=2,0			
B1	P105	1	31,68	225,10	264,30	26,50	não se aplica	não se aplica
B1	P106	1	32,56	203,50	237,00	35,20	não se aplica	não se aplica
B2	P101	1	263,23	267,20	309,60	234,30	não se aplica	não se aplica
B2	P102	1	251,35	242,20	278,00	221,90	não se aplica	não se aplica
B2	P103	1	221,76	242,20	278,00	195,40	não se aplica	não se aplica
B3	PT7	2	241,01	203,50	237,00	265,30	291,28	Ok
B4	PT1	2	268,41	242,20	278,00	290,80	345,26	Ok
B4	PT12	2	320,84	242,20	278,00	459,50	345,26	Não passa
B5	PT2	2	244,54	242,20	278,00	245,40	367,82	Ok
B6	PT6	2	371,18	282,70	320,80	568,30	516,20	Não passa
B7	PT14	4	220,8	203,50	237,00	559,10	616,13	Ok
B8	PT4	4	283,58	242,20	278,00	739,80	752,94	Ok
B8	PT10	4	235,97	242,20	278,00	636,80	752,94	Ok
B8	PT20	4	238,47	267,20	309,60	591,2	752,94	Ok
B8	PT23	4	317,49	242,20	278,00	883,8	752,94	Não passa
B9	PT17	4	329,51	282,70	320,80	1043,6	897,97	Não passa
B9	PT19	4	322,06	282,70	320,80	1196,9	897,97	Não passa
B9	PT21	4	348,39	282,70	320,80	1030,2	897,97	Não passa
B10	PT9	4	386,1	282,70	320,80	1094,4	798,19	Não passa
B11	PT8	5	468,27	304,70	348,80	1088,5	1178,70	Ok
B12	PT22	5	323,95	282,70	320,80	1191,6	1273,91	Ok
B13	PT3+PT5	6	361,86	282,70	320,80	1581,1	1392,35	Não passa
B14	PT13+PT16	6	410,07	304,70	348,80	1658,6	1726,22	Ok
B15	PT11+PT15+PT18	12	359,44	331,90	380,80	3128,2	3195,07	Ok

Fonte: Próprio Autor, 2015

5.2.3 Aplicação do Converse-Labarre

As aplicações dos resultados de eficiência obtidos através do critério de Converse-Labarre estão apresentados na Tabela 18 e na Tabela 19:

Tabela 18 – Aplicação da eficiência de Converse-Labarre FS=1,6

BLOCO	NOME	N. ESTACAS	EFIC. (%)	CARGA MÁXIMA (tf)	Média dos métodos	Por Decourt	Aplicando-se a Eficiência				Resultados		
					CARGA ADMISSÍVEL (tf) F.S.=1,6	CARGA ADMISSÍVEL (tf) F.S.=1,6	CARGA PILAR (tf)	C. MÉDIA DOS MÉTODOS	C. DECOURT QUARESMA	CARGA MÁXIMA (tf)	MÉDIA DOS MÉTODOS (tf)	DECOURT QUARESMA (tf)	
B1	P105	1	100	31,68	281,40	330,38	26,50	31,68	281,40	330,38	Ok	Ok	Ok
B1	P106	1	100	32,56	254,40	296,25	35,20	32,56	254,40	296,25	Não passa	Ok	Ok
B2	P101	1	100	263,23	334,00	387,00	234,30	263,23	334,00	387,00	Ok	Ok	Ok
B2	P102	1	100	251,35	302,80	345,70	221,90	251,35	302,80	345,70	Ok	Ok	Ok
B2	P103	1	100	221,76	302,80	347,50	195,40	221,76	302,80	347,50	Ok	Ok	Ok
B3	PT7	2	87,89	241,01	254,40	296,25	265,30	211,82	223,59	260,37	Não passa	Não passa	Não passa
B4	PT1	2	87,89	268,41	302,80	347,50	290,80	235,91	266,13	305,42	Não passa	Não passa	Ok
B4	PT12	2	87,89	320,84	302,80	347,50	459,50	281,99	266,13	305,42	Não passa	Não passa	Não passa
B5	PT2	2	87,89	244,54	302,80	347,50	245,40	214,93	266,13	305,42	Não passa	Ok	Ok
B6	PT6	2	87,89	371,18	353,40	401,00	568,30	326,23	310,60	352,44	Não passa	Não passa	Não passa
B7	PT14	4	75,78	220,8	254,40	296,25	559,10	167,32	192,78	224,50	Não passa	Não passa	Não passa
B8	PT4	4	75,78	283,58	302,80	347,50	739,80	214,90	229,46	263,34	Não passa	Não passa	Não passa
B8	PT10	4	75,78	235,97	302,80	347,50	636,80	178,82	229,46	263,34	Não passa	Não passa	Não passa
B8	PT20	4	75,78	238,47	334,00	387,00	591,2	180,71	253,11	293,27	Não passa	Não passa	Não passa
B8	PT23	4	75,78	317,49	302,80	347,50	883,8	240,59	229,46	263,34	Não passa	Não passa	Não passa
B9	PT17	4	75,78	329,51	353,40	401,00	1043,6	249,70	267,81	303,88	Não passa	Não passa	Não passa
B9	PT19	4	75,78	322,06	353,40	401,00	1196,9	244,06	267,81	303,88	Não passa	Não passa	Não passa
B9	PT21	4	75,78	348,39	353,40	401,00	1030,2	264,01	267,81	303,88	Não passa	Não passa	Não passa
B10	PT9	4	73,08	386,1	353,40	401,00	1094,4	282,16	258,26	293,05	Não passa	Não passa	Não passa
B11	PT8	5	73,08	468,27	380,90	436,00	1088,5	342,21	278,36	318,63	Não passa	Não passa	Não passa
B12	PT22	5	75,78	323,95	353,40	401,00	1191,6	245,49	267,81	303,88	Não passa	Não passa	Não passa
B13	PT3+PT5	6	68,59	361,86	353,40	401,00	1581,1	248,20	242,40	275,05	Não passa	Não passa	Não passa
B14	PT13+PT16	6	71,74	410,07	380,90	436,00	1658,6	294,18	273,26	312,79	Não passa	Não passa	Não passa
B15	PT11+PT15+PT18	12	65,68	359,44	414,90	476,00	3128,2	236,08	272,51	312,64	Não passa	Não passa	Não passa

Fonte: Próprio Autor, 2015

Tabela 19 – Aplicação da eficiência de Converse-Labarre FS=2,0

BLOCO	NOME	N. ESTACAS	EFIC. (%)	CARGA MÁXIMA (tf)	Média dos métodos		Por Decourt Quaresma		Aplicando-se a Eficiência			Resultados		
					CARGA ADMISSÍVEL (tf) F.S=2,0	CARGA ADMISSÍVEL (tf) F.S= 2,0	CARGA PILAR (tf)	CARGA MÁXIMA (tf)	C. MÉDIA DOS MÉTODOS (tf)	C. DECOURT QUARESMA (tf)	CARGA MÁXIMA (tf)	MÉDIA DOS MÉTODOS (tf)	DECOURT QUARESMA (tf)	
B1	P105	1	100	31,68	225,10	264,30	26,50	31,68	225,10	264,30	Ok	Ok	Ok	
B1	P106	1	100	32,56	203,50	237,00	35,20	32,56	203,50	237,00	Não passa	Ok	Ok	
B2	P101	1	100	263,23	267,20	309,60	234,30	263,23	267,20	309,60	Ok	Ok	Ok	
B2	P102	1	100	251,35	242,20	278,00	221,90	251,35	242,20	278,00	Ok	Ok	Ok	
B2	P103	1	100	221,76	242,20	278,00	195,40	221,76	242,20	278,00	Ok	Ok	Ok	
B3	PT7	2	87,89	241,01	203,50	237,00	265,30	211,82	178,86	208,30	Não passa	Não passa	Não passa	
B4	PT1	2	87,89	268,41	242,20	278,00	290,80	235,91	212,87	244,33	Não passa	Não passa	Não passa	
B4	PT12	2	87,89	320,84	242,20	278,00	459,50	281,99	212,87	244,33	Não passa	Não passa	Não passa	
B5	PT2	2	87,89	244,54	242,20	278,00	245,40	214,93	212,87	244,33	Não passa	Não passa	Não passa	
B6	PT6	2	87,89	371,18	282,70	320,80	568,30	326,23	248,47	281,95	Não passa	Não passa	Não passa	
B7	PT14	4	75,78	220,8	203,50	237,00	559,10	167,32	154,21	179,60	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT4	4	75,78	283,58	242,20	278,00	739,80	214,90	183,54	210,67	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT10	4	75,78	235,97	242,20	278,00	636,80	178,82	183,54	210,67	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT20	4	75,78	238,47	267,20	309,60	591,2	180,71	202,48	234,61	Não passa	Não passa	Não passa	
B8	PT23	4	75,78	317,49	242,20	278,00	883,8	240,59	183,54	210,67	Não passa	Não passa	Não passa	
B9	PT17	4	75,78	329,51	282,70	320,80	1043,6	249,70	214,23	243,10	Não passa	Não passa	Não passa	
B9	PT19	4	75,78	322,06	282,70	320,80	1196,9	244,06	214,23	243,10	Não passa	Não passa	Não passa	
B9	PT21	4	75,78	348,39	282,70	320,80	1030,2	264,01	214,23	243,10	Não passa	Não passa	Não passa	
B10	PT9	4	73,08	386,1	282,70	320,80	1094,4	282,16	206,60	234,44	Não passa	Não passa	Não passa	
B11	PT8	5	73,08	468,27	304,70	348,80	1088,5	342,21	222,67	254,90	Não passa	Não passa	Não passa	
B12	PT22	5	75,78	323,95	282,70	320,80	1191,6	245,49	214,23	243,10	Não passa	Não passa	Não passa	
B13	PT3+PT5	6	68,59	361,86	282,70	320,80	1581,1	248,20	193,90	220,04	Não passa	Não passa	Não passa	
B14	PT13+PT16	6	71,74	410,07	304,70	348,80	1658,6	294,18	218,59	250,23	Não passa	Não passa	Não passa	
B15	PT11+PT15+PT18	12	65,68	359,44	331,90	380,80	3128,2	236,08	217,99	250,11	Não passa	Não passa	Não passa	

Fonte: Próprio Autor, 2015

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados da aplicação dos três critérios de análise para eficiência de grupo em estacas no caso de Cintra e Silva (1996) percebemos que, em geral, os resultados das eficiências aproximam-se dos resultados da prova de carga estática em grupo de estacas, porém ainda existem alguns fatores que precisam ser melhorados em cada um dos critérios de análise.

O critério de Feld leva em consideração apenas o número de estacas do bloco, deixando de lado fatores como as características das estacas, os parâmetros do solo e características do próprio bloco. Observa-se no grupo formado por 3 estacas, que independente da configuração do grupo, se este é formado por estacas em linha ou em triângulo, o resultado da eficiência é o mesmo. Neste caso o resultado do ensaio de prova de carga comprovou que a configuração do grupo é um fator de influência na eficiência do grupo de estacas, sendo necessário que este seja considerado num correto dimensionamento.

Por sua vez, o critério de Converse-Labarre leva em consideração características da estaca como diâmetro e espaçamento e também características do bloco como o número de estacas por fila, mas não leva em consideração parâmetros como o formato do bloco, tipo de solo e sua resistência.

O critério de Terzaghi & Peck é o mais completo deles, já que utiliza os dados do solo e as características do bloco e das estacas que o compõem em seu cálculo de eficiência.

Em geral, podemos verificar que os critérios existentes para determinar a eficiência de grupo em estacas apresentam algumas limitações e ainda existe uma longa jornada até que estes se tornem tão eficientes quanto o ensaio de prova de carga estática para grupo de estacas. Mas devido à dificuldade da execução do ensaio de prova de carga devido ao seu alto custo, além de existir poucos locais, equipamentos e profissionais para sua execução, os critérios de análise de eficiência se tornam cada vez mais um parâmetro para o dimensionamento de projeto de fundações.

Pensando nisto, nesta monografia, os critérios de análise de eficiência do grupo foram aplicados em um caso real, no projeto de um edifício residencial da na cidade de Goiânia-Go. Comparando os resultados da eficiência de cada um dos blocos, aplicando neles os três critérios de análise estudados, com as cargas dos pilares que cada um deve suportar percebe-se que o projetista não levou em consideração o parâmetro de eficiência, ou seja, ele

considerou equivocadamente que a carga suportada pelo bloco é resultado da somatória da carga que cada estaca isolada que compõem o grupo suporta.

Diante do exposto, os critérios de eficiência apesar de suas limitações, podem alimentar contínuas discussões no meio científico quanto ao mecanismo de funcionamento das estacas, tanto isoladas quanto em grupo. Com o objetivo aproveitar a máxima capacidade de carga do grupo de estacas, evitando assim desperdício nos projetos de fundações, mas prevenindo deformações e recalques na estrutura, ou seja, visando projetos de fundações mais seguros e econômicos, é necessário investir em estudos e em maior clareza por parte das normas regulamentadoras vigentes no país.

Esse nível de preocupação deve partir tanto da comunidade científica quanto por parte das empresas, pois buscar soluções para resolver ou preencher as lacunas que existem nos projetos de fundações, tornam as empresas mais competitivas e reconhecidas já que mostram ao mercado uma preocupação com a qualidade de seus projetos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. J. **Avaliação Experimental do Comportamento de Grupos de Fundação Carregados Lateralmente em Solo Poroso Colapsível e Tropical do Distrito Federal**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- ALONSO, U. R. **Prova de Carga em estacas**: Evolução dos Ensaios e da Norma. 2013. Disponível em: <<http://www.abms.com.br/wp-content/uploads/2014/04/ProvaCarga-UrbanoAlonso-18-06-2013.pdf>>. Acesso em: 15 de abril de 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projetos Estruturais de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, Brasil, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro, Brasil, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12131**: Estacas – Prova de Carga Estática. Rio de Janeiro, Brasil, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO. **Curso de Sondagem a Percussão de Simples Reconhecimento**. 2012. Disponível em:< <http://www.helix.eng.br/downloads/sp.pdf>>. Acesso em: 14 de abril de 2015, 09:23:37.
- AZEREDO, Hélio A. de. Fundações. In: _____. **O Edifício até a sua Cobertura**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. cap. 3, p. 29-52.
- BASTOS, P. S. S. **Blocos de Fundação** . Universidade Estadual Paulista, 2013. Disponível em:< <http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Blocos.pdf>>. Acesso em: 15 de abril de 2015, 10:12:09.
- BEILFUSS, Tatiane. **Estudo comparativo da fundação de um edifício modelo: estaca x tubulão**. 2012. 143f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Ijuí, 2012. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/2012/TCC_Tatiane%20Beilfuss.pdf>. Acesso em: 24 fevereiro de 2015, 09:48:39.
- CAMPOS, M. **Tipos de solo e investigação do subsolo**: entenda o ensaio a percussão e seu famoso índice SPT. 2012. Disponível em:< <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=126>>. Acesso em: 31 de maio de 2015, 15:53:45.

CAPUTO, H. Pinto. Estacas. In: _____. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações: Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.v.2. cap. 13, p. 260-321.

CAPUTO, H. Pinto. Exploração do Subsolo. In: _____. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações: fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. cap. 14, p. 189-217.

CERQUEIRA, Giordano. **Eficiência de grupo e estacas: revisão e aplicação dos métodos em três tipos de fundações**. 2009. 110f. Monografia (Bacharelado em Engenharia civil) – Universidade Federal de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009. Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/GIORDANO%20NEPOMUCENO%20DE%20CERQUEIRA.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2015, 08:56:22.

CINTRA, José Carlos A.; SILVA, Paulo André B. Ávila. Capacidade de carga de grupos de estacas escavadas de pequeno diâmetro. In: _____. **3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais de Geotecnia**. 3 ed. São Paulo, ANAIS, 1996. p. 247-256.

COMPANHIA ESTADUAL DE OBRAS PÚBLICAS. **Estacas Brocas**. 2013. Disponível em: <<http://187.17.2.135/orse/esp/ES00052.pdf>>. Acesso em: 06 de abril de 2015, 20:06:47.

CONSTANCIO, Douglas. **Notas de Aula da disciplina de Fundações I**. Fundações Profundas: “Tubulões”. Americana, 2004. 31 p. il. Disponível em: <http://www.helix.eng.br/downloads/tubulao_%285%29.pdf>. Acesso em: 25 de Abril 2015.

CRAIG, R. F. Capacidade de Carga. In: _____. **Craig, Mecânica dos Solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. cap. 8, p. 226-282.

DANTAS NETO, Silvrano A. **Fundações Profundas**. 2006. Disponível em: <<http://www.lmsp.ufc.br/arquivos/graduacao/fundacao/apostila/04.pdf>> . Acesso em: 06 de abril de 2015, 20:05:42.

DANZIGER, F. et al. Investigações Geotécnicas. In: HACHICH, Waldemar et al. **Fundações: Teoria e Prática**. 2º Edição. São Paulo, Brasil: Editora PINI Ltda, 1998. c.3, p. 119-162.

DÊCOURT, Luciano.; ALBIERO, José Henrique.; CINTRA, José Carlos Ângelo. Análise e projeto de fundações profundas. In: HACHICH, Waldemar et al. **Fundações: Teoria e Prática**. 2º Edição. São Paulo, Brasil: Editora PINI Ltda, 1998. c.8, p. 265-327.

DELALIBERA, R. G. et al. **Dimensionamento das Barras da Armadura de Blocos sobre Estacas** . Universidade Federal de Goiás, 2011. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pivic/trabalhos/BARBARA_.PDF> . Acesso em: 15 de abril de 2015, 09:14:55.

ENGESOL. **Relatório Interno**. 2014. Goiânia-Go.

FERREIRA, E. M. **Fundações e obras de terra**. Faculdade de Tecnologia e Ciências FTC. Itabuna, 2014. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/andreluizvicente58/fundaes-e-obras-de-terra-parte-01>>. Acesso em: 31 de maio de 2015, 13:47:28.

GEOCOMPANY. **Estacas hélice contínua e ômega: aspectos executivos.** 2003. Disponível em: < <http://geocompany.com.br/ftp/artigo15.pdf>>. Acesso em: 27 de outubro de 2015, 10:49:07.

GEOFUND. **Metodologia Executiva.** 2014. Disponível em: < <http://www.geofund.com.br/?feed=atom>> . Acesso em: 27 de outubro de 2015, 12:30:22.

GEOMEC. **Prova de carga estática.** 2015. Disponível em: < <http://www.geomec.com.br/servicos/prova-de-carga-estatica/>>. Acesso em: 31 de maio de 2015, 16:38:18.

LOBO, B. O. **Método de previsão de capacidade de carga em estacas:** Aplicação dos conceitos de energia do ensaio SPT . 2005. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7394/000543601.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 23 abril. 2015, 08:45:33.

MARAGON, M. **Parâmetros dos solos para cálculo de fundações.** 2011. Disponível em :< <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1culo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>>. Acesso em: 10 de outubro de 2015, 14:28:17.

MARCHEZINI, S. F. **Comparação entre métodos estáticos e dinâmicos de previsão de capacidade de carga em estacas assentes em solo tropical.** 2013. 171f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: < http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15440/1/2013_SilvanaFavaMarchezini.pdf>. Acesso em: 22 abril. 2015, 19:35:12.

MEDEIROS, Heloisa. Estacas a toda prova. **Revista técnica.** São Paulo, ed. 95, fev. 2005. Disponível em: <<http://techne.kubbix.com/engenharia-civil/95/artigo287359-1.aspx>> . Acesso em: 01 abril de 2015.

MEDEIROS, Marcelo. **Fundações.** Universidade Federal do Paraná, 2013. Disponível em:< http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/3/38/TC025_Funda%C3%A7%C3%B5es_C_x.pdf>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2015, 09:40:44.

MELHADO, Silvio B. et al. **Fundações.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Depart. de Eng. da construção civil, PCC-2435 Tecnologia da construção de edifícios I, março, 2002. Disponível em: <http://www.essel.com.br/cursos/biblioteca_tecnica/civil/Tipos%20de%20fundacoes.pdf>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2015, 10:01:44.

MORAES, M. C. Fundações Diretas. In: _____. **Estruturas de Fundações.** 3. ed. São Paulo: McGRAW-HILL do Brasil, 1976. cap. 2, p. 35-81.

SANTANA, Christian. **Comparação entre metodologias de análise de efeito de grupo de estacas.** 2008. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php/component/docman/cat_view/1-mestrado/84-2008?Itemid=>>. Acesso em: 10 fevereiro de 2015, 08:17:35.

RODOMUNK. **Perfuratriz hidráulica.** 2012.Disponível em:<<http://www.rodomunk.com.br/acessorios/perfuratriz-hidraulica>>. Acesso em: 31 de maio de 2015, 16:59:24.

SIMÃO, C. A. **Brocas Manuais.** 2014.Disponível em: <<http://engcarlos.com.br/brocas-manuais/>>. Acesso em: 31 de maio de 2015, 16:02:14.

TULIO, Marco. **Tipos de Fundação.** 2012.Disponível em:<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfCpIAI/tipos-fundacao>>. Acesso em: 31 de maio de 2015, 15:24:26.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Estacas Brocas.** 2012.Disponível em:< <http://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/files/2013/11/Estacas-broca.pdf>>. Acesso em: 06 de abril de 2015, 20:53:08.

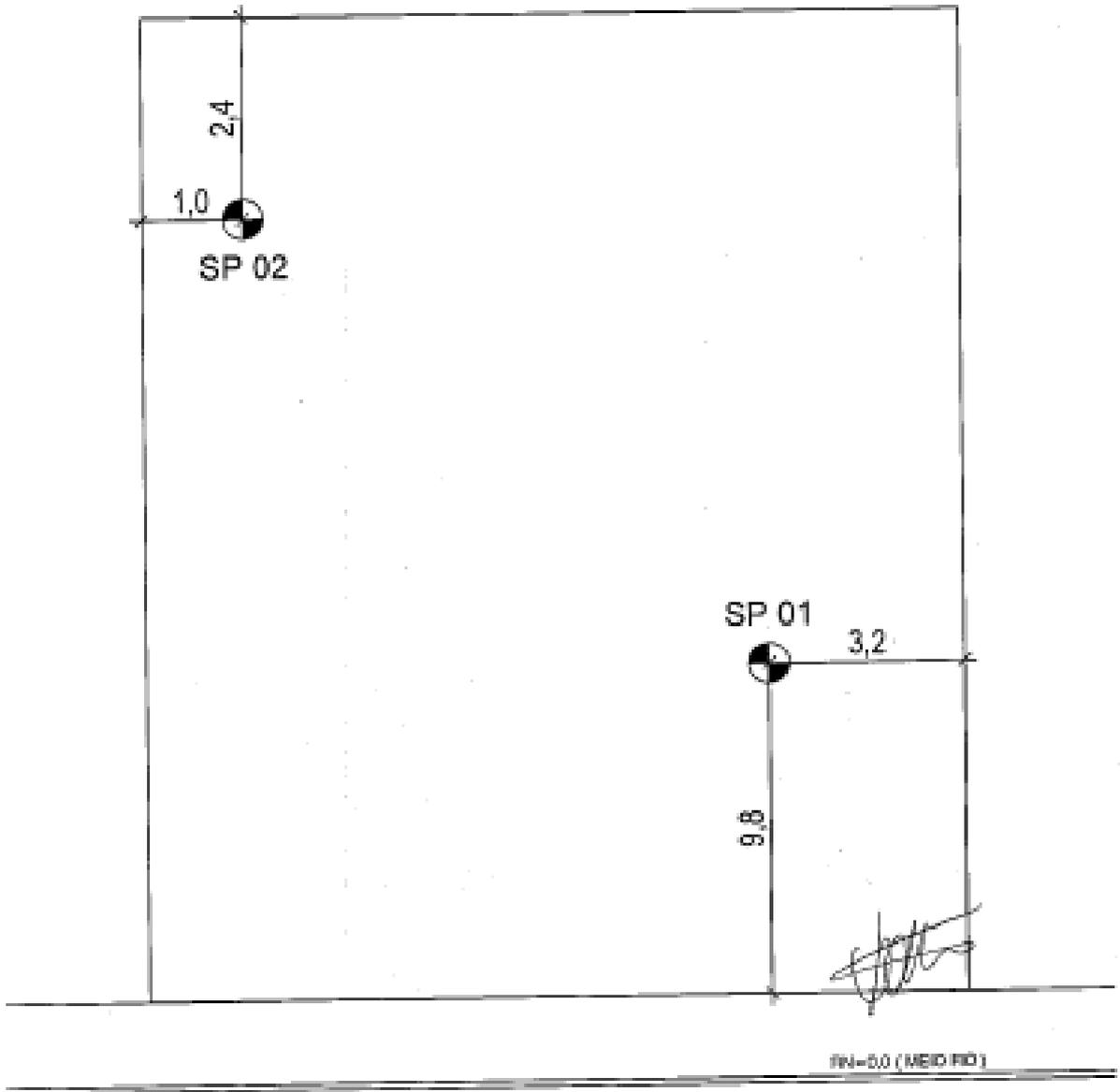
UNIVERSIDADE DA AMAZONIA – UNAMA. **Tecnologia das Construções I:Aula4.** 2013.Disponível em:<http://arquivos.unama.br/nead/graduacao/ccet/arquitetura_urbanismo/3semestre/tec_construcoes_I/html/unidade4/aula1/aula1.pdf>. Acesso em: 06 de abril de 2015, 20:04:56.

ANEXO A - SONDAGEM

DESCRIÇÃO DO MATERIAL GRANULOMETRIA, PLASTICIDADE, COR, E ORIGEM.	PROFUNDIDADE DA SONDAGEM (m)	COTA (m) +2,80		NÍVEL D'ÁGUA (m) ANOSGRA	ENSAIO DE PENETRAÇÃO					
		Nº GOLPES			PESO PADRÃO DE 65 kgf ALTURA DE QUEDA = 75cm					
		1ª-2ª	2ª-3ª		1ª E 2ª PENETRAÇÕES 2ª E 3ª PENETRAÇÕES					
					10	20	30	40	50	
Argila pouco arenosa marrom	0.00 - 1.00	-	-	0						
Areia cinza c/ casc. fino, fina	1.00 - 1.45	04	04	1						
Argila pouco arenosa marrom, dura	2.00 - 2.45	22	20	2						
Argila pouco arenosa marrom, média	3.00 - 3.45	08	08	3						
Argila pouco arenosa marrom c/ casc. fino, média	4.00 - 4.45	08	08	4						
Argila pouco arenosa marrom c/ casc. fino, rija	5.00 - 5.45	18	18	5						
	6.00 - 6.45	13	15	6						
Argila pouco silteosa marrom micéica, rija	7.00 - 7.45	14	14	7						
Argila pouco silteosa variegada micéica, rija a dura	8.00 - 8.45	19	20	8						
Silte pouco argiloso marrom micéico, duro	9.00 - 9.45	22	28	9						
	10.00 - 10.45	23	30	10						
Silte pouco argiloso cinza micéico, duro	11.00 - 11.45	28	33	11						
	12.00 - 12.45	32	32	12						
	13.00 - 13.45	40	46	13						
CLIENTE					SP - 01					
OPERA: RESIDENCIAL										
N.A.: 5,27m										
DATA DA SONDAGEM: 27/07/2012										
RESF. TÉCNICO-ENG.					DATA: 02/08/2012					
BOLETIM DE SONDAGEM À PERCUSSÃO					VISTO					

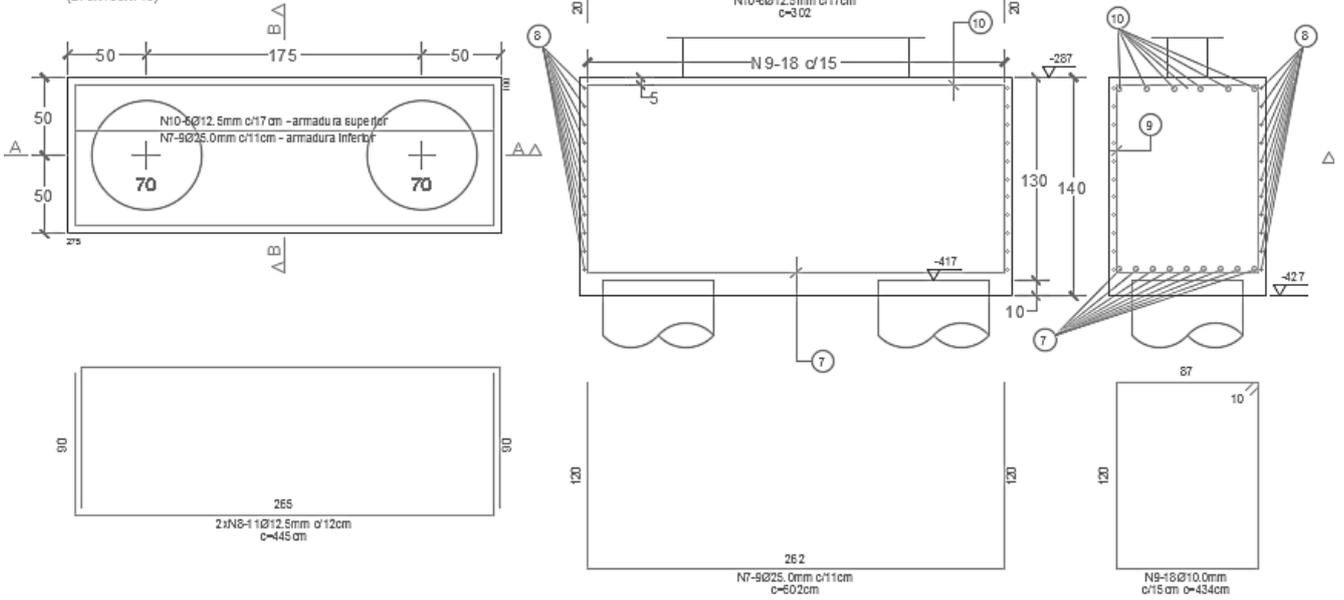
DESCRIÇÃO DO MATERIAL GRANULOMETRIA, PLASTICIDADE, COR, E ORIGEM.	PROFUNDIDADE DA SONDAGEM (m)	COTA (m) + 1,50		NÍVEL D'ÁGUA (m) ANOSTRA	ENSAIO DE PENETRAÇÃO					
		Nº GOLPES			PESO PADRÃO DE 65 kg ALTURA DE QUEDA = 75cm					
		1ª e 2ª	3ª e 3ª		1ª e 2ª PENETRAÇÕES ----- 3ª e 3ª PENETRAÇÕES					
					10	20	30	40	50	
Argila pouco arenosa marrom	0,00 - 1,00	-	-	0						
Argila pouco arenosa marrom, média	1,00 - 1,45	10	10	1						
Argila pouco arenosa marrom cf caso, fino, média	2,00 - 2,45	08	08	2						
Argila pouco arenosa marrom cf caso, fino, rija	3,00 - 3,45	15	13	3						
Argila pouco arenosa marrom amarelada, média	4,00 - 4,45	08	10	4						
Argila pouco arenosa marrom amarelada, média e rija	5,00 - 5,45	08	12	5						
Argila pouco silteosa marrom micéica, rija	6,00 - 6,45	16	18	6						
Argila pouco silteosa variegada micéica cf caso, fino, rija	7,00 - 7,45	14	17	7						
Silt pouco argiloso variegado micéico, rija	8,00 - 8,45	15	17	8						
	9,00 - 9,45	15	17	9						
Silt pouco argiloso variegado micéico, duro	10,00 - 10,45	29	36	10						
	11,00 - 11,45	21	25	11						
	12,00 - 12,45	27	28	12						
Silt pouco argiloso cinza micéico, duro	13,00 - 13,45	34	38	13						
CLIENTE:					SP - 02					
OBRA: RESIDENCIAL										
LOCAL:										
N.A.: 6,87m		DATA DA SONDAÇÃO: 30/07/2012		DATA: 02/08/2012						
RESP. TÉCNICO				VISTE						
BOLETIM DE SONDAÇÃO À PERCUSSÃO										

LOCAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM CROQUI SEM ESCALA

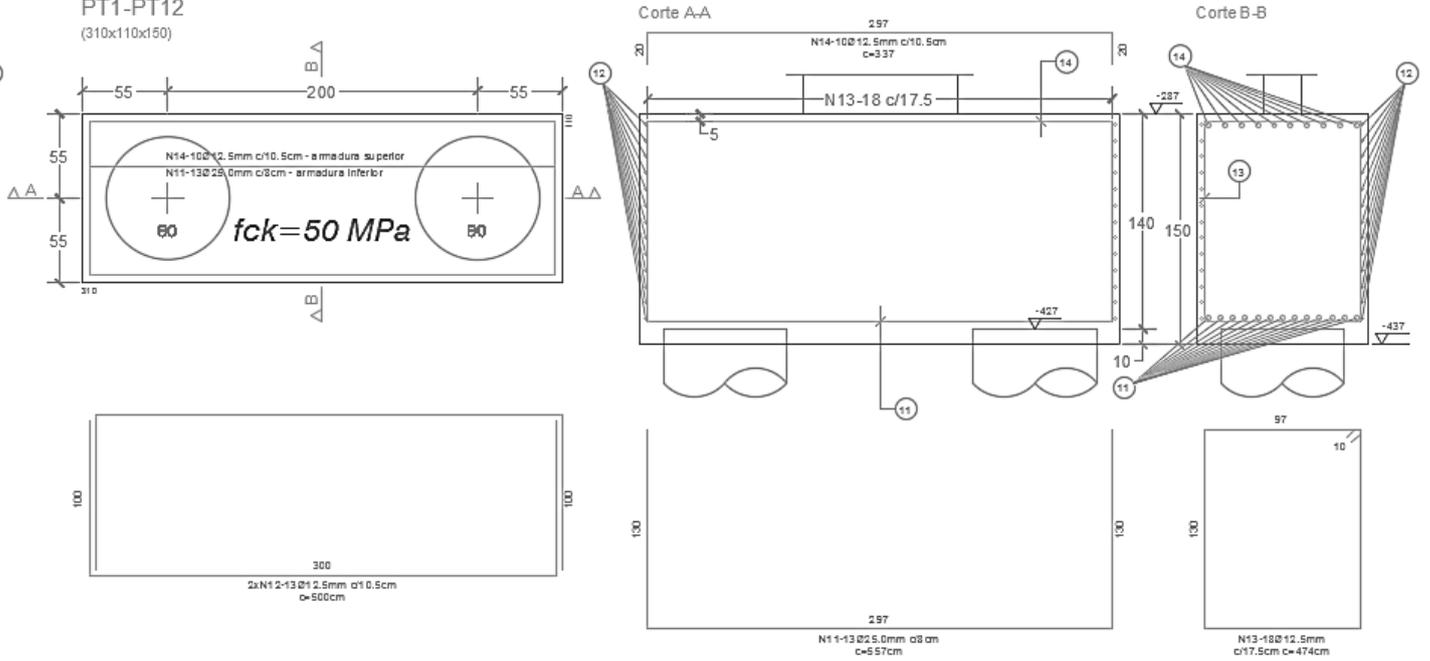


ANEXO B – DETALHES DOS BLOCOS

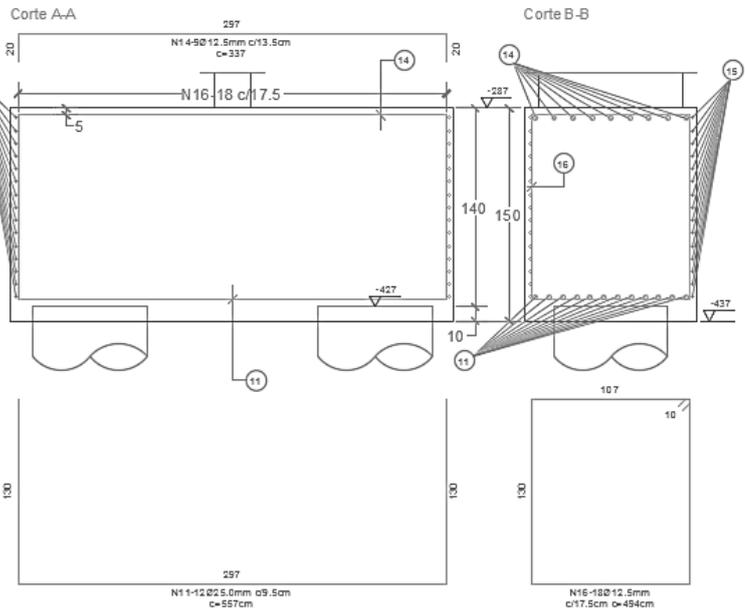
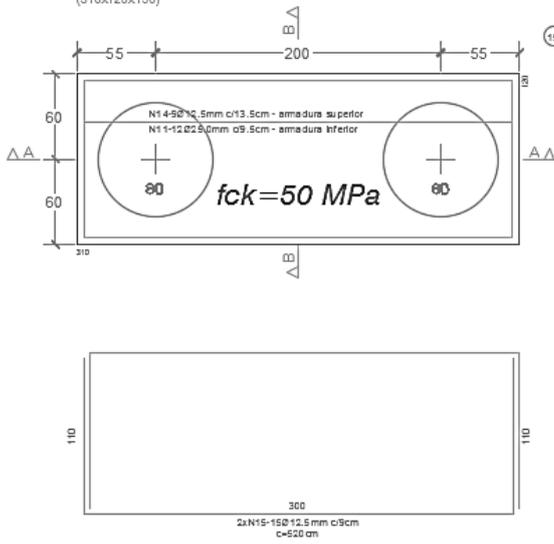
B3-Bloco sobre duas estacas de Ø70cm (1x)
PT7
(275x100x140)



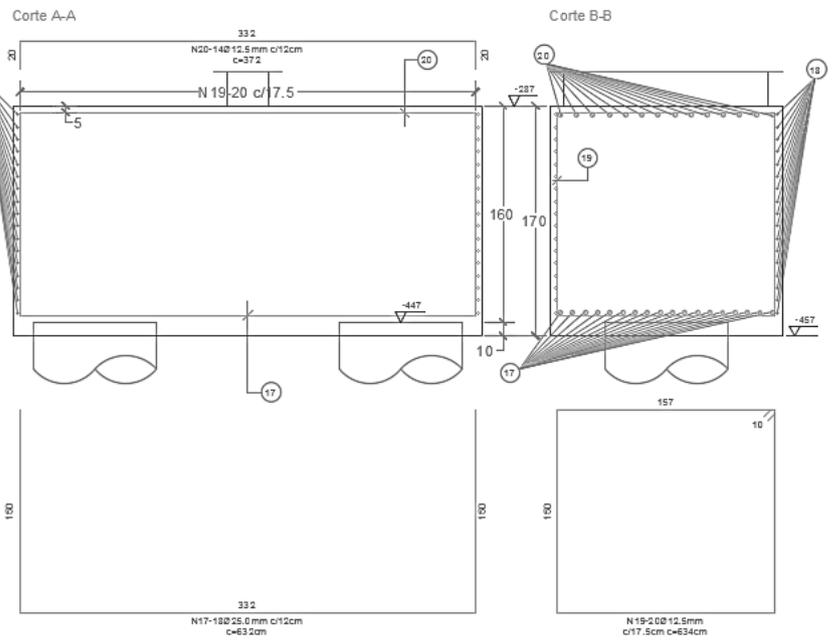
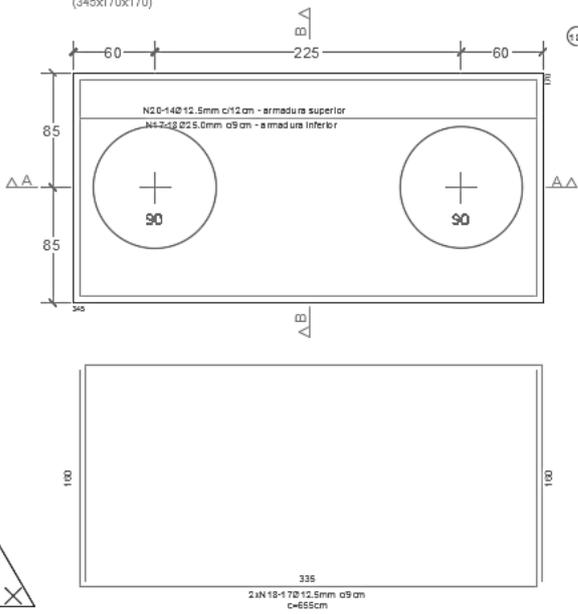
B4-Bloco sobre duas estacas de Ø80cm (2x)
PT1-PT12
(310x110x150)



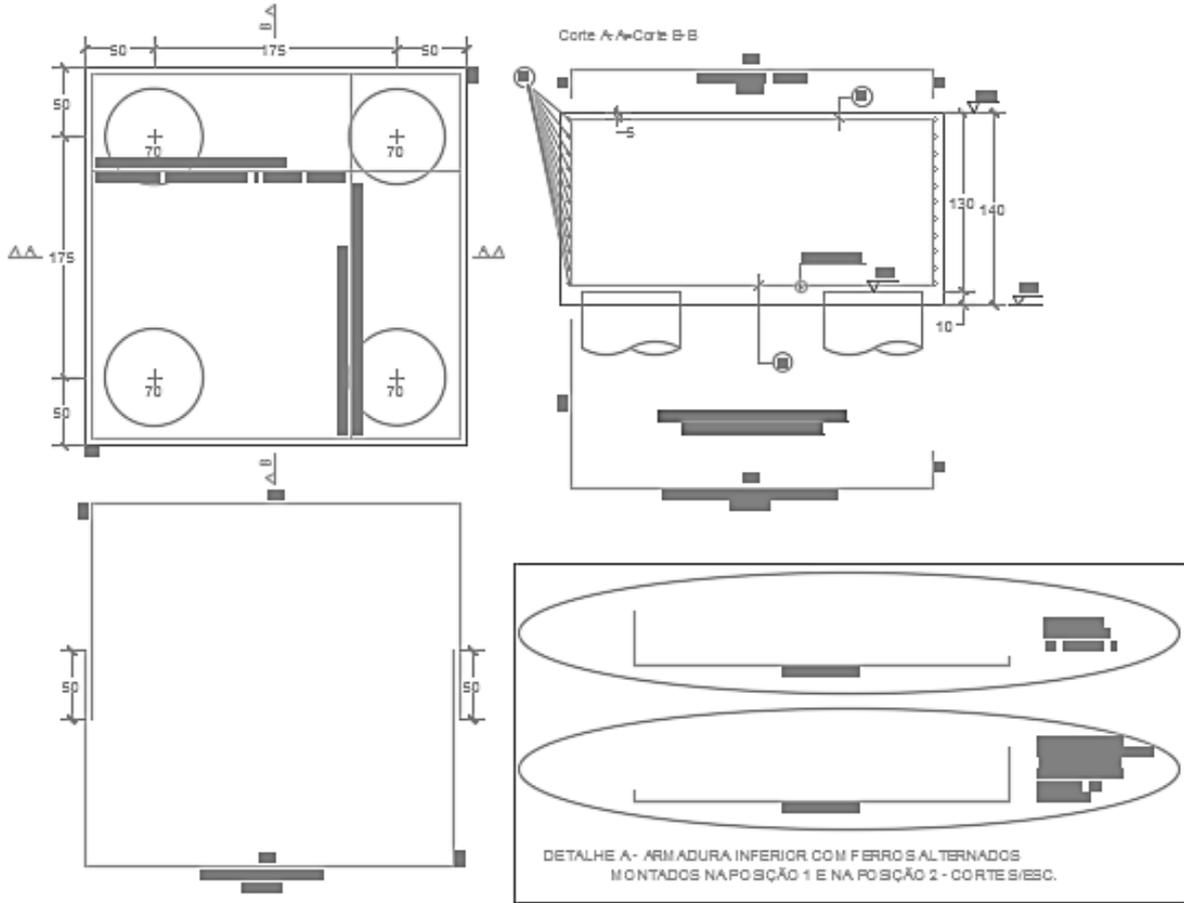
B5-Bloco sobre duas estacas de Ø80cm (1x)
PT2
(310x120x150)



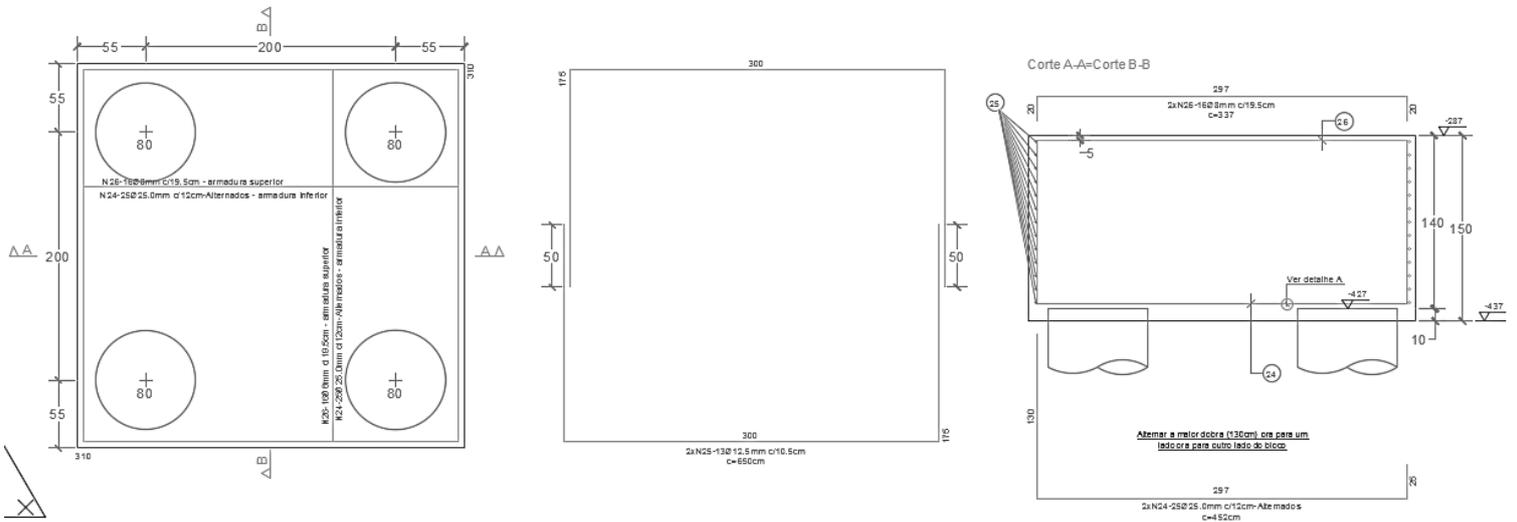
B6-Bloco sobre duas estacas de Ø90cm (1x)
PT6
(345x170x170)



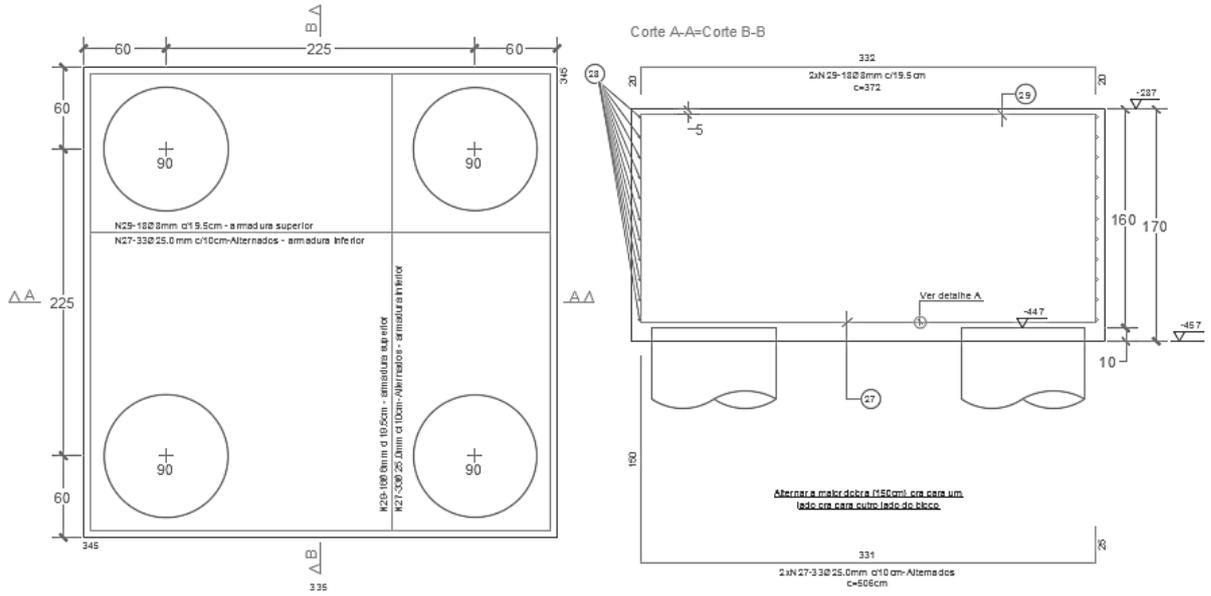
B7-Bloco sobre quatro estacas de Ø70cm (1x)
PT14
(275x275x40)



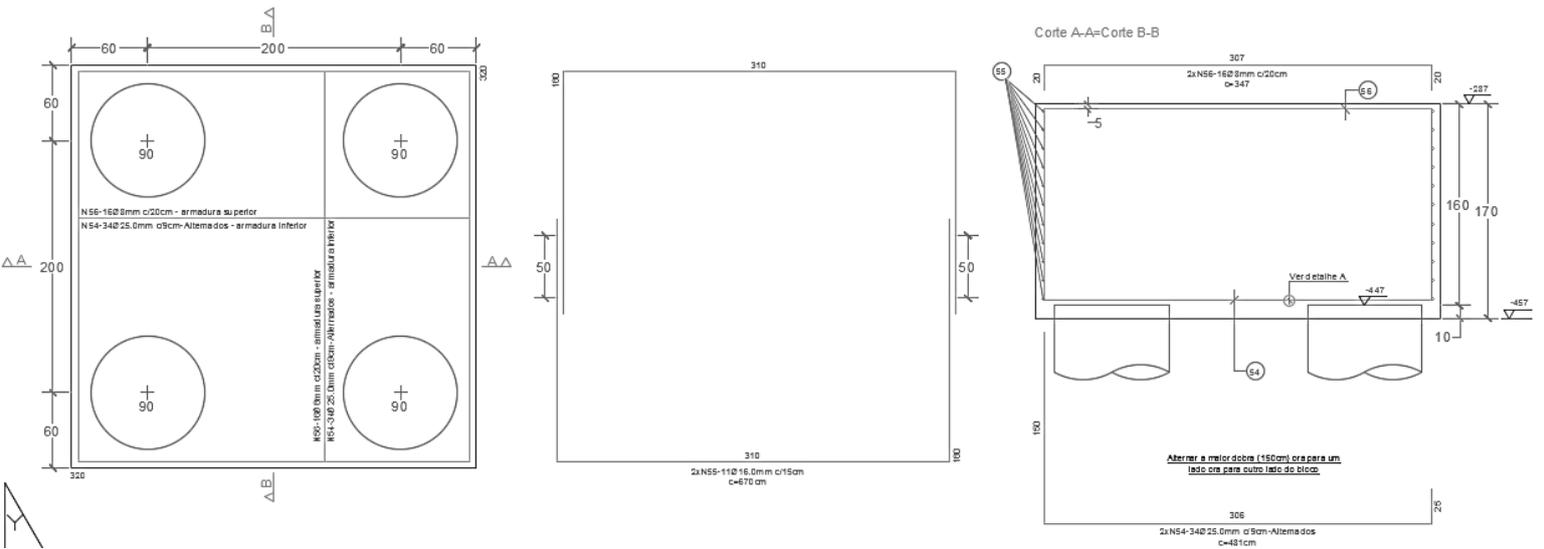
B8-Bloco sobre quatro estacas de Ø80cm (4x)
PT4-PT10-PT20-PT23
(310x310x50)



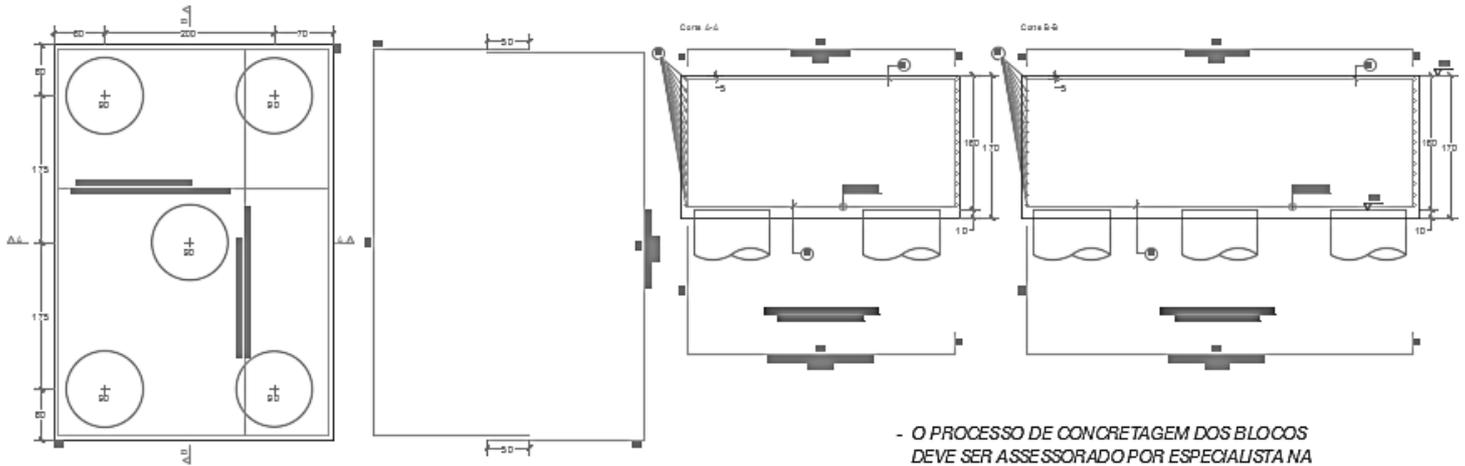
B9-Bloco sobre quatro estacas de Ø90cm (3x)
 PT17-PT19-PT21
 (345x345x170)



B10-Bloco sobre quatro estacas de Ø90cm (1x)
 PT9
 (320x320x170)



B11-Bloco sobre cinco estacas de Ø90cm (1x)
PT3

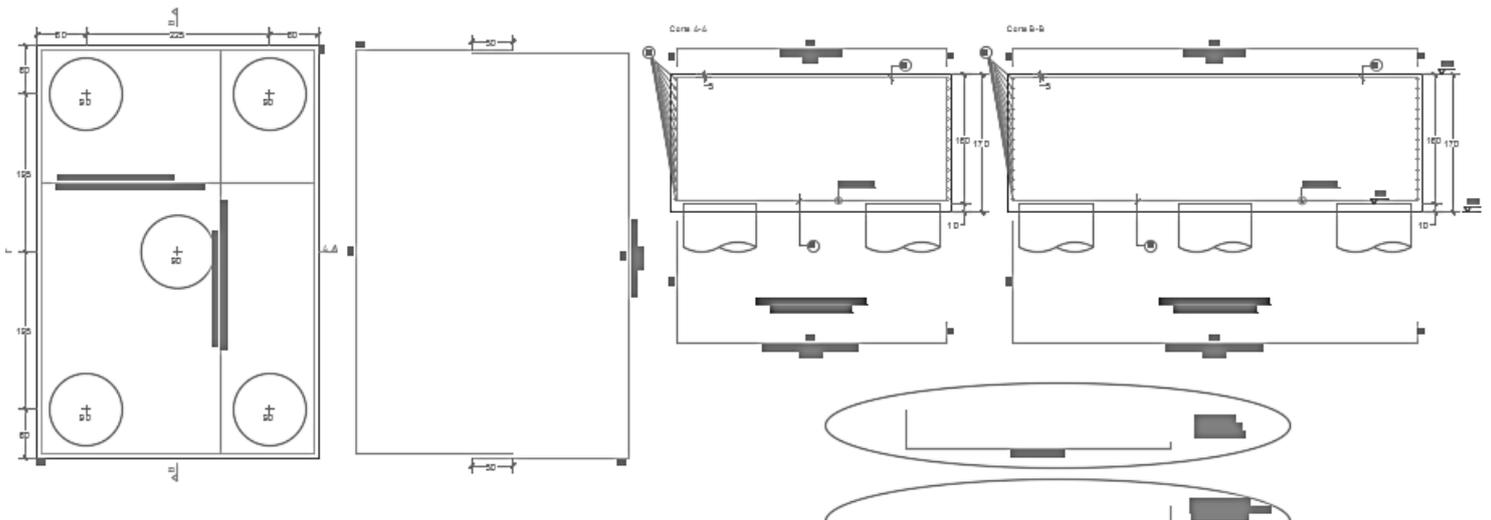


B13-Bloco sobre seis estacas de Ø90cm (1x)
PT3+PT5

L4

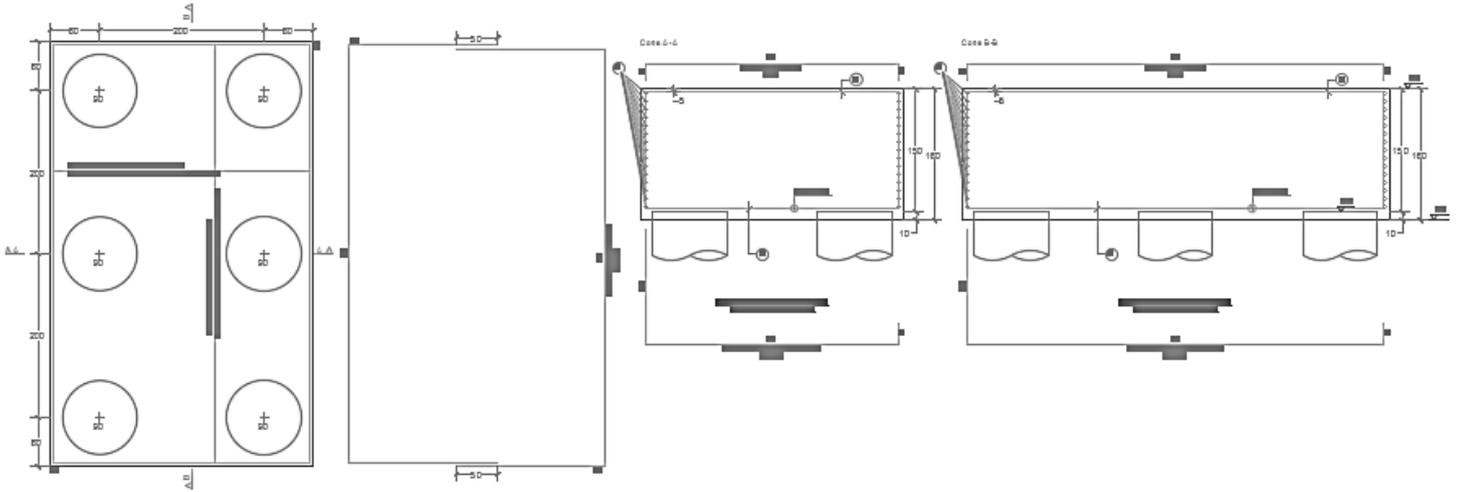
- O PROCESSO DE CONCRETAGEM DOS BLOCOS DEVE SER ASSESSORADO POR ESPECIALISTA NA ÁREA DE CONCRETO PARA MINIMIZAR A ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA DESTE CONCRETO E REDUZIR O RISCO DE FISSURAS TÉRMICAS EM GRANDE MACIÇO DE CONCRETO.

B12-Bloco sobre cinco estacas de Ø90cm (1x)
PT22



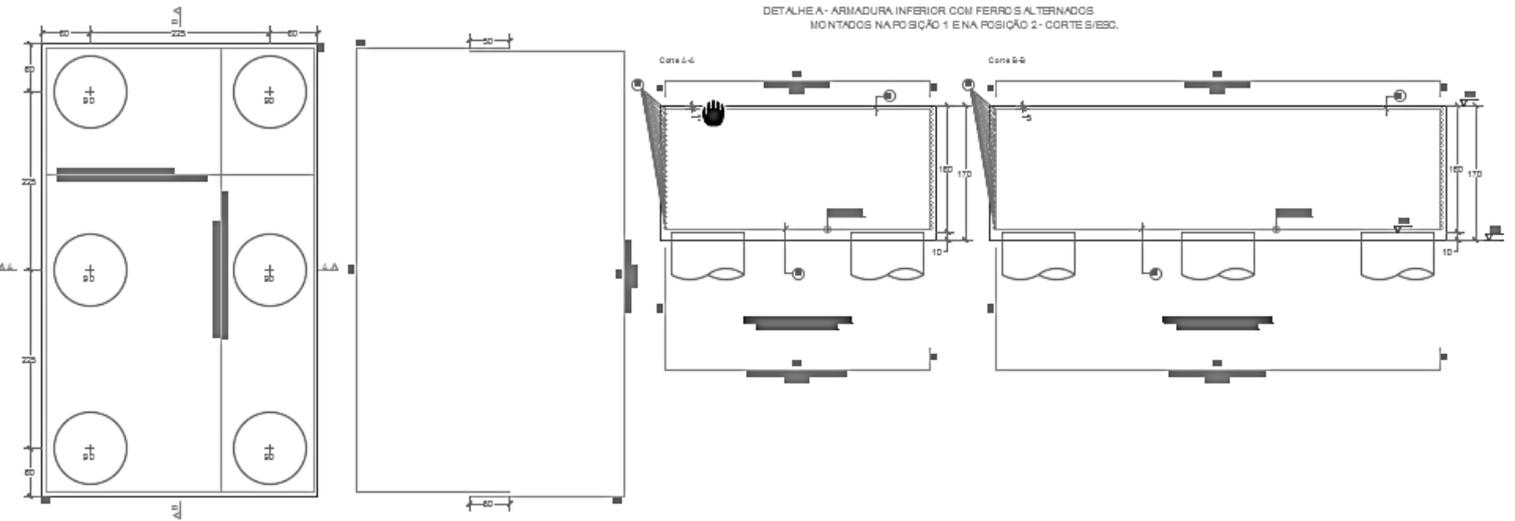
BLOCO DE FERRÃO TERMINADO EM SEUS LADOS DE CONCRETO.

B13-Bloco sobre seis estacas de Ø90cm (1x)
PT3+PT6



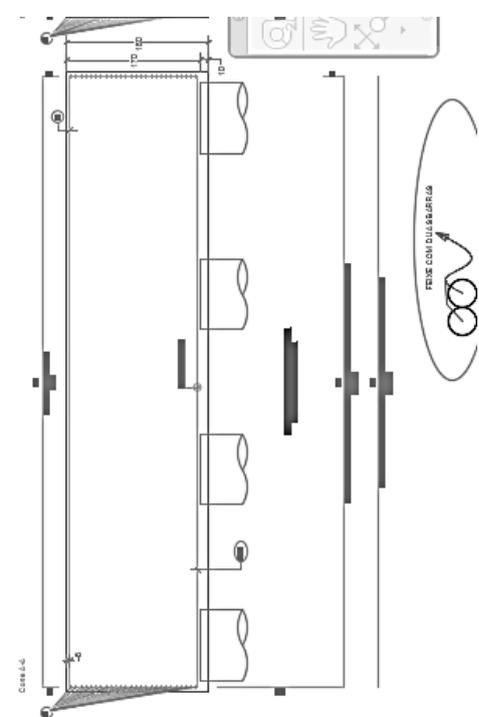
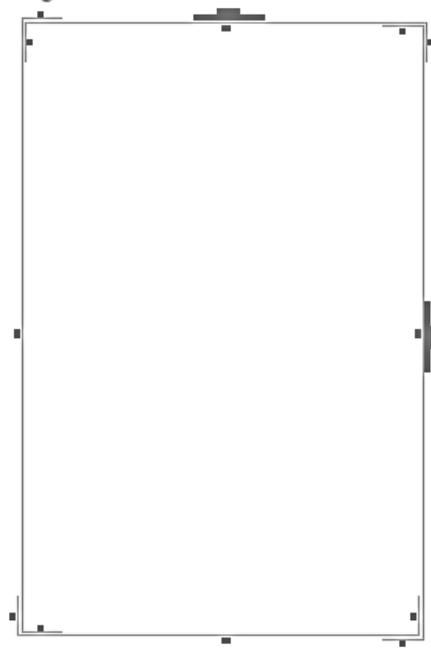
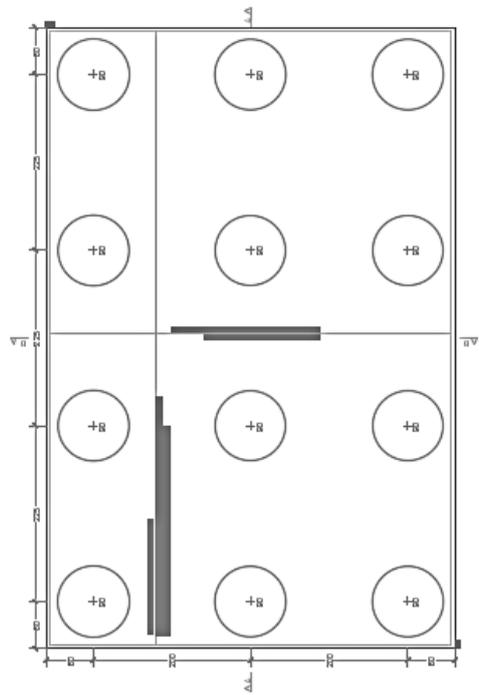
B14-Bloco sobre seis estacas de Ø90cm (1x)
PT13+PT16

DETALHE A- ARMADURA INFERIOR COM FERROS ALTERNADOS MONTADOS NA POSIÇÃO 1 E NA POSIÇÃO 2- CORTE S/ESC.





B15-Bloco sobre oze e estacas de Ø 30cm (1x)
PT1+PT15+PT18



ANEXO C – CARGAS NOS PILARES

Pilar	Caso 1	Pilar	Vento (1) 90°		
			Fz	Fy	Mx
PT1	290.8	PT1	77.5	1.2	-2.7
PT2	245.4	PT2	147.8	0.8	-2.1
PT3	910.1	PT3	236.9	16.0	-73.3
PT4	739.8	PT4	221.6	11.1	-47.8
PT5	671.0	PT5	-88.9	10.7	-35.6
PT6	568.3	PT6	34.1	12.0	-48.1
PT7	265.3	PT7	-53.0	13.3	-62.3
PT8	1088.5	PT8	-127.5	-0.3	-189.7
PT9	1094.4	PT9	-48.5	5.5	-7.6
PT10	636.8	PT10	-121.8	11.1	-44.6
PT11	872.2	PT11	81.4	-0.2	-1.4
PT12	459.5	PT12	66.3	0.8	-2.3
PT13	640.5	PT13	118.8	0.7	-2.9
PT14	559.1	PT14	129.7	23.3	-120.3
PT15	1066.5	PT15	-77.7	-0.3	-1.4
PT16	1018.1	PT16	-120.7	0.7	-2.9
PT17	1043.6	PT17	-57.1	11.0	-48.0
PT18	1189.5	PT18	63.1	0.6	-64.5
PT19	1196.9	PT19	-14.4	3.9	-12.7
PT20	591.2	PT20	-175.3	10.8	-45.5
PT21	1030.2	PT21	-18.6	25.3	-195.5
PT22	1191.6	PT22	-205.7	21.6	-151.0
PT23	883.8	PT23	-100.6	14.4	-104.5
P101	234.3	P101	2.9	0.8	-1.8
P102	221.9	P102	2.7	0.5	-1.2
P103	195.4	P103	2.6	0.3	-0.8
P105	26.5	P105	-0.8	1.2	-2.5
P106	35.2	P106	-0.5	0.8	-1.7
PM14	42.7	PM14	1.8	0.3	-0.6
PM16	24.5	PM16	0.2	0.3	-0.6
PM41	11.9	PM41	0.1	0.2	-0.7
PM42	11.7	PM42	-1.2	0.2	-0.6
PM43	13.1	PM43	-0.2	0.2	-0.6
PM44	15.9	PM44	-0.2	0.3	-0.7
PM45	8.8	PM45	-0.2	1.5	-3.0
PM46	7.9	PM46	0.0	0.2	-0.6
PM47	10.4	PM47	-0.2	0.2	-0.5
PM48	10.0	PM48	-0.1	0.2	-0.5
PM49	9.5	PM49	-0.6	0.2	-0.4
PM50	10.0	PM50	-0.7	0.1	-0.4
PM51	8.4	PM51	0.0	0.1	-0.3
PM52	9.7	PM52	0.0	0.1	-0.3
PM53	10.6	PM53	0.0	0.1	-0.3
PM54	11.9	PM54	0.0	0.1	-0.2
PM55	11.5	PM55	-0.2	0.0	-0.1
A1	10.6	A1	-0.2	0.0	-0.1
A2	9.0	A2	0.4	0.0	-0.1
A3	8.2	A3	0.3	0.0	-0.1
A4	9.5	A4	0.3	0.0	-0.1
A5	15.1	A5	0.6	0.0	-0.1
A6	21.8	A6	1.4	0.0	-0.1
A7	11.1	A7	1.0	0.0	-0.1
A8	7.8	A8	0.4	0.0	-0.1
A9	7.7	A9	0.0	0.0	-0.1
A10	10.7	A10	0.2	0.0	-0.1
A11	20.3	A11	0.9	0.0	-0.1
A12	17.9	A12	1.4	0.0	-0.1
A13	9.2	A13	0.8	0.0	-0.1
A14	7.2	A14	0.2	0.0	-0.1
A15	7.6	A15	-0.1	0.0	-0.1

ANEXO D – RELATÓRIO DE PERFURAÇÃO

HC 08						
Estaca	Data	Ini.P	Ini.C	Fim C	Diam(m)	Comp(m)
PT14P	15/10/2014	18:00	16:16	16:25	0,7	14,48
PT14A	16/10/2014	09:07	09:17	09:28	0,7	14,64
PT14D	16/10/2014	09:45	10:51	11:38	0,7	14,48
PT105	16/10/2014	13:00	13:05	13:16	0,7	15,04
PT106	16/10/2014	13:23	13:31	13:40	0,7	14,56
PT7A	16/10/2014	14:00	14:36	14:46	0,7	14,48
PT14C	17/10/2014	08:40	08:45	09:10	0,7	14,48
PT7B	17/10/2014	09:14	09:18	09:27	0,7	14,48
PT21C	17/10/2014	13:32	13:38	14:03	0,9	14,88
PT21B	17/10/2014	14:39	14:57	15:50	0,9	14,80
PT21D	18/10/2014	07:59	08:06	08:26	0,9	14,70
PT21A	18/10/2014	08:46	09:29	09:53	0,9	14,70
PT22B	20/10/2014	10:00	10:44	11:00	0,9	14,80
PT22D	20/10/2014	11:24	13:36	13:55	0,9	14,88
PT19C	20/10/2014	14:19	14:44	15:04	0,9	14,80
PT03F	20/10/2014	15:53	15:58	16:18	0,9	14,80
PT03C	20/10/2014	16:39	16:44	17:02	0,9	14,88
PT22E	21/10/2014	08:30	08:36	08:54	0,9	14,80
PT22A	21/10/2014	09:12	09:42	10:01	0,9	14,80
PT03A	21/10/2014	10:51	11:14	11:35	0,9	14,80
PT03D	21/10/2014	13:07	13:15	13:37	0,9	14,88
PT20D	22/10/2014	08:44	08:53	09:16	0,8	15,20
PT20A	22/10/2014	09:29	10:05	10:17	0,8	14,56
PT12A	22/10/2014	10:29	10:34	10:51	0,8	14,56
PT23C	22/10/2014	11:02	12:54	13:11	0,8	14,56
PT23B	22/10/2014	13:39	13:46	14:03	0,8	14,56
PT10D	22/10/2014	14:45	15:24	15:36	0,8	14,56
PT20C	23/10/2014	08:31	08:48	09:08	0,8	14,64
PT20B	23/10/2014	09:29	09:34	09:46	0,8	14,56
PT12B	23/10/2014	09:56	10:26	10:38	0,8	14,56
PT23D	23/10/2014	10:50	11:48	12:00	0,8	14,64
PT23A	23/10/2014	13:21	13:26	13:45	0,8	14,56
PT10C	23/10/2014	13:58	14:03	14:16	0,8	14,64
PT10B	23/10/2014	14:37	15:14	15:28	0,8	14,64
PT04B	23/10/2014	15:58	16:10	16:26	0,8	14,64
PT04C	23/10/2014	16:37	16:43	17:01	0,8	14,72
PT01B	23/10/2014	17:08	17:14	17:32	0,8	14,64
PT10A	27/10/2014	08:18	08:24	08:40	0,8	14,72
PT04D	27/10/2014	09:02	09:42	10:06	0,8	14,72
PT04A	27/10/2014	10:37	10:42	10:55	0,8	14,56
PT02A	27/10/2014	11:45	11:50	12:54	0,8	14,80
PT01A	27/10/2014	14:16	14:22	14:36	0,8	14,80
PT102	27/10/2014	15:01	15:06	15:16	0,8	14,08
PT101	27/10/2014	15:38	15:58	16:31	0,8	15,60
PT103	27/10/2014	16:37	16:43	16:55	0,8	14,24
PT02B	28/10/2014	07:46	08:26	08:47	0,8	14,64
PT19A	28/10/2014	09:54	13:31	13:46	0,9	14,88
PT19D	28/10/2014	14:01	14:07	14:27	0,9	14,88

PT22C	28/10/2014	14:35	14:40	15:02	0,9	14,72
PT03B	28/10/2014	15:47	16:10	16:29	0,9	15,92
PT06B	28/10/2014	16:44	16:50	17:10	0,9	14,80
PT06A	29/10/2014	08:39	08:45	09:10	0,9	14,88
PT09E	29/10/2014	09:16	10:00	10:22	0,9	14,88
PT09B	29/10/2014	10:57	11:41	11:58	0,9	14,80
PT09C	29/10/2014	13:27	13:32	13:53	0,9	14,88
PT19B	29/10/2014	14:02	14:08	14:27	0,9	14,80
PT17D	29/10/2014	14:44	15:29	15:50	0,9	14,80
PT17A	29/10/2014	16:22	16:37	16:57	0,9	14,88
PT09D	30/10/2014	08:45	08:51	09:11	0,9	14,88
PT09A	30/10/2014	09:36	09:41	09:57	0,9	14,80
PT17C	30/10/2014	11:17	11:23	11:42	0,9	14,80
PT17B	30/10/2014	12:32	12:58	13:18	0,9	14,80
PT08B	30/10/2014	13:44	14:49	15:14	0,9	17,36
PT08D	30/10/2014	15:47	16:04	16:33	0,9	16,08
PT13F	30/10/2014	16:56	17:06	17:28	0,9	16,16
PT08A	31/10/2014	08:25	08:41	09:06	0,9	17,20
PT08E	31/10/2014	09:16	09:31	09:50	0,9	15,84
PT13C	31/10/2014	10:05	10:34	11:11	0,9	16,80
PT13E	31/10/2014	11:26	11:35	11:54	0,9	16,24
PT13A	31/10/2014	12:12	12:24	12:43	0,9	16,32
PT15G	31/10/2014	14:03	14:13	14:37	0,9	16,72
PT15E	31/10/2014	14:57	15:05	15:26	0,9	16,48
PT15L	31/10/2014	16:01	16:10	16:36	0,9	17,04
PT15D	31/10/2014	16:51	17:06	17:29	0,9	16,32
PT15J	01/11/2014	08:10	08:22	08:42	0,9	16,88
PT15B	01/11/2014	08:57	09:08	09:30	0,9	17,12
PT13D	01/11/2014	09:54	10:03	10:29	0,9	15,92
PT13B	01/11/2014	10:43	10:53	11:13	0,9	15,36
PT15H	03/11/2014	08:49	09:06	09:25	0,9	16,80
PT15C	03/11/2014	09:42	10:21	10:44	0,9	16,40
PT15A	03/11/2014	10:59	11:12	11:34	0,9	16,00
PT15K	03/11/2014	13:19	13:30	13:50	0,9	16,48
PT15F	03/11/2014	14:01	14:12	14:35	0,9	16,08
PT08C	03/11/2014	15:05	15:21	15:40	0,9	16,40
PT15I	03/11/2014	16:05	16:19	16:41	0,9	16,72

TOTALS HC 08	Ø 70cm (m)	116,64
	Ø 80cm (m)	366,40
	Ø 90cm (m)	809,64