

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

**ESTUDO DE CASO DE FUNDAÇÃO EM ESTACA TIPO
HÉLICE CONTÍNUA EM SITES DE MINERAÇÃO:
DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA**

AUTOR: ALEXANDRE LOPES TEIXEIRA
PROF. ORIENTADOR: RONALDO AZEVEDO CHAVES

2016

AGRADECIMENTOS

“Esta manhã, antes do alvorecer, subi numa colina
para admirar o céu povoado,
E disse à minha alma: Quando abarcarmos esses
mundos e o conhecimento e o prazer que encerram,
estaremos finalmente fartos e satisfeitos?
E minha alma disse: Não, uma vez alcançados esses
mundos prosseguiremos no caminho.”

Walt Whitman

Antes de tudo, o Verbo.

Agradeço ao Senhor pela onipresença indelével e indefectível, à sua bondade e sua magnificência, sua força e sua beleza, sempre a nos guiar pela imensidão do existir.

Agradeço aos meus queridos pais, Geraldo e Vera, pelo amor e dedicação inquebrantáveis, pelo abraço mais reconfortante, pela coragem mais estimulante e, principalmente, pela forja mais educadora.

Agradeço à minha querida esposa Carla, pela companhia amorosa, pelo exemplo diário e extraordinário de esforço e superação, pela inteligência sagaz e inspiradora, pelo cuidado zeloso à nossa maior riqueza – nossos filhos Bernardo e Victor, que me estimulam a seguir sempre, rumo ao cume.

Agradeço aos amigos de todas as horas, aos companheiros de todos os tempos, aos parceiros de todas as venturas e, principalmente, das desventuras, do tombo no infinito, por partilhar da força indômita capaz de erigir e reconstruir a maior das moradas, a da amizade.

À empresa PEEX, principalmente ao meu tio Sérgio Lúcio, pela oportunidade e pelo subsídio cognitivo e experimental da prática diária dos insondáveis caminhos da engenharia.

E finalmente, agradeço aos mestres e professores, das cátedras e das vidas, que no espaço de um instante, no decorrer de todas as estradas e caminhos, me privilegiaram com seus ensinamentos e lições, que preencheram meus vazios, minhas ausências originais, com a substância do saber e com a sua luz referencial.

Resumo

Neste trabalho, é apresentado um estudo de caso referente a um estaqueamento com utilização de estaca escavada moldada “in loco”, tipo hélice contínua, adotada como fundação de uma torre de estrutura metálica que abriga equipamentos de apoio ao tratamento de minérios, localizada dentro de um “site” de mineração, na região central do Estado de MG.

Inicialmente, foi elaborada a revisão bibliográfica que transcorre sobre as características construtivas e os procedimentos executivos do referido gênero de estaca, dos equipamentos comumente utilizados, dos materiais normalmente lançados à mão para sua perfeita execução, das vantagens e desvantagens deste tipo de estaqueamento, dos métodos tradicionalmente utilizados para a previsão da capacidade de carga geotécnica desta espécie de elemento de fundação, bem como sobre investigação geotécnica, em especial, a sondagem de simples reconhecimento de solo com SPT (*Standard Penetration Test*). Logo em seguida, são apresentados os comentários pertinentes sobre o caso estudado, sua descrição e algumas características geotécnicas, extraídas do boletim de sondagem. Após o dimensionamento geotécnico, realizado a partir de métodos semi-empíricos, e o respectivo dimensionamento estrutural, baseados nas prescrições teóricas da bibliografia técnica corrente, nas disposições normativas da ABNT e nas premissas emitidas pelo cliente, foram realizadas novas tentativas de cálculo com a adoção de parâmetros diferenciados de comprimento e diâmetro das estacas, buscando encontrar a melhor relação custo benefício para o referido tipo de estaqueamento.

Concluiu-se, neste estudo, que a diminuição da seção transversal das estacas, concomitantemente ao aumento de comprimento do fuste, corrobora para obtenção de uma relação custo benefício mais adequada, no sentido da economia de materiais e insumos, girando em torno de 20%, para o caso apresentado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVO	8
2.1	Geral	8
2.2	Específico	8
3	REVISÃO DA LITERATURA	9
4	ESTRUTURAS DE FUNDAÇÃO	9
4.1	HISTÓRICO	12
4.2	Estacas Hélice Contínua	12
4.3	Metodologia executiva - Perfuração	13
4.4	Concretagem	14
4.5	Colocação da armadura.....	15
4.6	Equipamentos	16
4.7	VANTAGENS E DESVANTAGENS DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA	17
4.8	CONTROLE EXECUTIVO	18
4.9	MATERIAIS.....	19
4.9.1	CONCRETO.....	19
4.9.2	ARMADURAS.....	19
4.9.3	DIMENSIONAMENTO.....	20
5	ENSAIOS GEOTÉCNICOS	21
5.1	Metodologia do ensaio.....	22

6	MÉTODOS DE CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA GEOTÉCNICA	23
6.1	ELEMENTO DE FUNDAÇÃO POR ESTACA.....	23
6.2	CAPACIDADE DE CARGA	23
6.2.1	MÉTODOS TEÓRICOS	23
6.2.2	MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS.....	24
7	DESCRIÇÃO DO PROJETO	33
8	AÇÕES E COMBINAÇÕES DE AÇÕES	38
8.1	PESO PRÓPRIO DA ESTRUTURA	38
8.2	AÇÕES DEVIDO À ESTRUTURA METÁLICA.....	38
8.3	COMBINAÇÕES DE AÇÕES:.....	38
8.3.1	SITUAÇÕES DE PROJETO.....	38
9	MARCHA DE CÁLCULO	39
9.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	39
9.2	VERIFICAÇÕES EFETUADAS	40
9.2.1	ESTACAS	40
10	ANÁLISE COMPARATIVA	45
11	CONCLUSÃO	47
12	REFERÊNCIAS	49
	APÊNDICES E ANEXOS	51

1 INTRODUÇÃO

A engenharia de fundações é uma área de grande interface com o segmento de mineração, no que diz respeito à implantação e à manutenção da continuidade do processo mineral, desde a lavra até ao beneficiamento e à expedição do minério, promovendo e garantindo o adequado suporte às estruturas e equipamentos ao longo deste processo.

A utilização de estaqueamento tipo hélice contínua tem conquistado cada vez mais adeptos dentro do segmento industrial de mineração, seja por questões de fidelidade de resultados devidas à elevada capacidade de carga ou por questões de ordem prática, que dizem respeito à alta produtividade, desembaraçada logística de implantação e reduzido tempo de execução.

2 OBJETIVO

Embasados na revisão bibliográfica deste trabalho e no estudo de caso da implantação de uma torre de Hidrociclones, pretende-se atingir os seguintes objetivos:

2.1 Geral

Estudar e conhecer os aspectos de projeto e construtivos da tipologia de fundação em estaca hélice contínua, adotada como solução de suporte para a torre de um Hidrociclone.

2.2 Específico

- a) Descrever as características e o processo executivo das estacas;
- b) Determinar os parâmetros geotécnicos do subsolo do local da obra a partir do boletim de sondagem;
- c) Conhecer as cargas de trabalho das fundações;

- d) Realizar uma análise comparativa para diâmetros e comprimentos diferentes das estacas, buscando a melhor projeção da relação custo-benefício, no que diz respeito ao quantitativo de materiais.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Dentro do panorama geral da mineração no Brasil, Minas Gerais ocupa posição de destaque como um dos principais estados mineradores do país, detentor de significativas e diversificadas reservas minerais, extraído e explotando, aproximadamente, 53% da produção brasileira de minerais metálicos e 29% de minérios em geral.

Com mais de 300 minas em operação, dentre as quais, 40 situadas entre as 100 maiores minas do Brasil, a atividade está presente em mais de 250 municípios mineiros, concentrados em 50 distritos industriais, que somam mais de 2.000 projetos implantados, dentre eles, 67% das minas tipo “classe A” (produção superior a 3 milhões t/ano). Dos dez maiores municípios mineradores 7 estão em Minas, sendo Itabira um dos maiores do País.

Os produtos minerais e de origem mineral representam 50% de toda a exportação do Estado e Minas Gerais é o maior produtor de ferro, ouro, zinco, nióbio, fosfato, grafita, lítio e calcário (CODEMIG/2015).

Este trabalho faz uma análise da fundação em estaca hélice contínua adotada como solução de fundação para uma torre de estrutura metálica, que serve de suporte a um dos equipamentos da fase de beneficiamento, implantada dentro de um “site” de mineração de minério de ferro, na região central do Estado de Minas Gerais.

4 ESTRUTURAS DE FUNDAÇÃO

Entende-se por fundação a parte relativa a um sistema de engenharia estrutural que tem como finalidade precípua transmitir ao solo subjacente, as cargas aplicadas sobre este referido sistema, oriundas da superestrutura.

As fundações são convencionalmente agrupadas em 2 gêneros distintos:

Fundações superficiais (ou "diretas").

- Bloco: elemento de fundação de concreto simples;
- Sapata: elemento de fundação de concreto simples ou armado;
- Viga de fundação: elemento de fundação que recebe pilares alinhados, geralmente de concreto armado;
- Grelha: elemento de fundação, geralmente em concreto armado, constituído por um conjunto de vigas que se cruzam nos pilares;
- Sapata associada: elemento de fundação, geralmente em concreto armado, que recebe parte dos pilares da obra, o que a difere do radier, sendo que estes pilares não são alinhados, o que a difere da viga de fundação;
- Radier: elemento de fundação que recebe todos os pilares da obra.

Fundações profundas.

- Estaca: elemento de fundação profunda executado com auxílio de ferramentas ou equipamentos, execução esta que pode ser por cravação à percussão, prensagem, vibração ou por escavação, ou, ainda, de forma mista, envolvendo mais de um destes processos;
- Tubulão: elemento de fundação profunda de forma geralmente cilíndrica, em que, pelo menos na sua fase final de execução, há a descida de operário (o tubulão não difere da estaca por suas dimensões, mas pelo processo executivo que envolve a descida de operário);

- Caixaão: elemento de fundação profunda de forma prismática, concretado na superfície e instalado por escavação interna.

“A distinção entre estes dois tipos é feita segundo o critério (arbitrário) de que uma fundação profunda é aquela cujo mecanismo de ruptura de base não atinge a superfície do terreno. Como os mecanismos de ruptura de base atingem, acima da mesma, até 2 vezes sua menor dimensão, a norma NBR 6122 estabelece que fundações profundas são aquelas cujas bases estão implantadas a mais de 2 vezes sua menor dimensão, e a pelo menos 3 m de profundidade” (FUNDAÇÕES - Teoria e prática).

Fundações Mistas

- São fundações mistas aquelas que associam fundações superficiais e profundas.

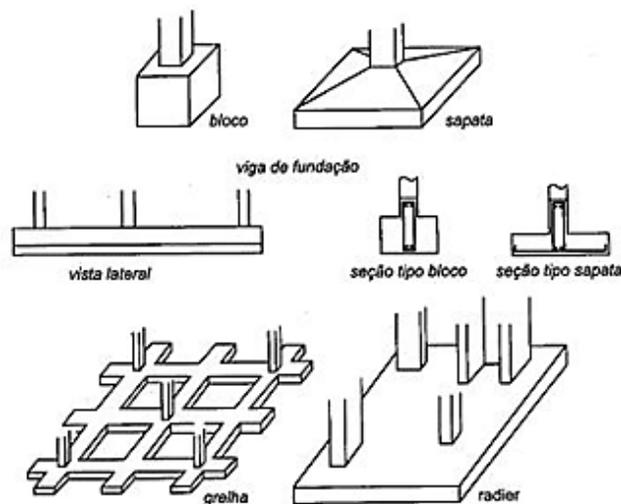


Figura 1 – Tipos de fundação superficial. Fonte: Velloso e Lopes (2004).

- Metálica
- Pré-moldada de concreto vibrado
- Pré-moldada de concreto centrifugado
- Tipo Franki e tipo Strauss
- Tipo Raiz
- Escavadas
- Tubulões

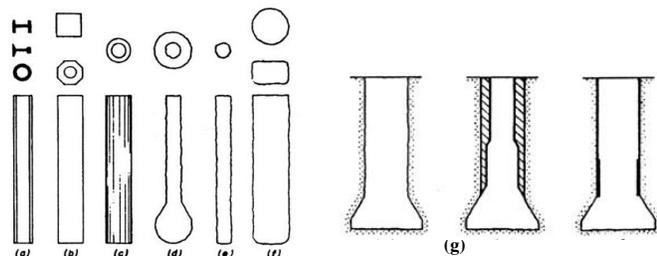


Figura 2 – Tipos de fundação profunda. Fonte: Velloso e Lopes (2004).

4.1 HISTÓRICO

A implementação do processo de estaqueamento por meio da perfuração com equipamento a trado helicoidal contínuo, apareceu nos Estados Unidos nos idos de 1950. A partir do início de 1970, esse processo foi adotado pela Alemanha, de onde se irradiou para outras regiões da Europa e para o Japão (PENNA et al., 1999). A partir de 1980 as estacas hélice contínua passaram por um grande avanço tecnológico nos Estados Unidos, Japão e Europa, com o desenvolvimento de novos equipamentos mais apropriados e específicos para a execução do referido processo, em substituição aos velhos equipamentos adaptados utilizados nos primórdios de sua utilização.

Essa tipologia de estaqueamento foi inserida no cenário técnico brasileiro por volta de 1987, com utilização de equipamentos aqui desenvolvidos, adequadamente montados sobre guindastes de esteiras, criando muitas expectativas e interesses principalmente pelas vantagens e facilidades oferecidas pelo novo processo construtivo. A partir da metade da década de 90, observa-se um grande salto tecnológico no desenvolvimento do uso desta tipologia de estaqueamento no Brasil, em função da entrada de uma nova geração de equipamentos específicos para execução das estacas hélice contínua, principalmente de origem italiana (PENNA et al., 1999).

A partir de então, com utilização de equipamentos importados com maior força de arranque e com torques de até 85 kN.m, viabilizou-se a execução de estacas de até 800 mm de diâmetro e comprimento máximo de 24 metros. Hoje em dia, é possível executar estacas com 1.200 mm de diâmetro e 32 metros de comprimento e com a contínua evolução dos equipamentos, o portfólio de opções de diâmetros e profundidades tendem a aumentar (ALMEIDA NETO, 2002).

4.2 Estacas Hélice Contínua

A estaca hélice contínua é uma estaca de concreto, moldada “in loco”, realizada por equipamento de perfuração a trado helicoidal contínuo e com injeção de concreto através de haste central, concomitantemente à sua retirada do terreno (ABNT – NBR 6120 / 2010).

4.3 Metodologia executiva - Perfuração

O ato perfurante consiste na penetração da hélice no terreno, por intermédio da aplicação de um torque, sobre a haste, apropriado a romper a resistência do solo.

A haste de perfuração é constituída por uma hélice espiral, devidamente solidarizada a uma estrutura central tubular, provida de um terminal dentado na extremidade inferior, possibilitando a sua penetração no terreno.

A metodologia de perfuração possibilita a sua execução em terrenos arenosos e coesivos, na presença ou ausência de lençol freático e permite transpor camadas de solos com índices de N_{SPT} superiores a 50 golpes, respeitando-se a capacidade dos equipamentos (FUNDAÇÕES: TEORIA E PRÁTICA).

O processo de perfuração ocorre de forma contínua por rotação, até a cota prevista em projeto.



Imagem 1 – Perfuração Fonte: <http://ambienteconstrucao.com.br>

4.4 Concretagem

O concreto é bombeado através da estrutura tubular central, quando alcançada a profundidade requerida, preenchendo de forma simultânea o espaço remanescente criado pela extração do trado contínuo do terreno, por rotação, considerando sempre o mesmo sentido da perfuração. Para resguardar a integridade física do fuste, a pressão de injeção de concreto deve ser tal que se mantenha sempre positiva e controlada pelo operador durante todo o processo de concretagem.

O concreto utilizado apresenta, geralmente, resistência característica $f_{ck} \geq 20$ MPa, traço tipo bombeável, composto de areia e pedriscos com consumo de cimento não inferior a 400 kg/m^3 .

O "Slump" ou abatimento é mantido igual a (220 ± 30) mm segundo ABNT NBR NM 67, relação $A/C \leq 0,6$. Normalmente é utilizada bomba de concreto ligada ao equipamento de perfuração através de mangueira flexível. O preenchimento da estaca com concreto é normalmente executado até a superfície de trabalho sendo possível o seu arrasamento abaixo da superfície do terreno guardadas as precauções quanto à estabilidade do furo no trecho não concretado e a colocação da armadura (ABNT NBR 6120 -2010).



Imagem 2 – Concretagem Fonte: <http://www.geofund.com.br>

4.5 Colocação da armadura

O método de execução da estaca hélice contínua exige a colocação da armadura imediatamente após a sua concretagem.

A armadura, montada em forma de gaiola, é introduzida na estaca por gravidade ou com o auxílio de um pilão de pequena carga ou vibrador, desta forma, para garantir a sua eficácia de aplicação, a armadura deve ser adequadamente enrijecida, dotada de barras longitudinais de diâmetros generosos e estribos convenientemente amarrados e soldados nas barras principais.



Imagem 3 – Colocação da armadura Fonte: <http://www.fundesp.com.br>

4.6 Equipamentos

O equipamento empregado para cravar a hélice no terreno é constituído de um conjunto motor sobre esteiras, sendo nele montada a torre vertical de altura apropriada à profundidade da estaca, equipada com guias por onde corre a mesa de rotação de acionamento hidráulico. Os equipamentos disponíveis permitem executar estacas de até 32 m de profundidade e inclinação de até 1:4 (H:V) (ALMEIDA NETO, 2002).

Normalmente, as perfuratrizes são compostas pelos seguintes elementos: torre metálica vertical articulada, mesa rotativa hidráulica, trados de hélice contínua de diâmetros variados, sistemas de monitoramento e ferramentas de limpeza do trado.

Além dos tradicionais equipamentos de perfuração, são necessários equipamentos de apoio, no intuito de complementar a implantação da estaca, a saber: bombas de injeção de alta capacidade adequadas para bombeamento de concreto e seu lançamento no interior da haste tubular e guindaste para posicionamento da armadura dentro da massa de concreto.

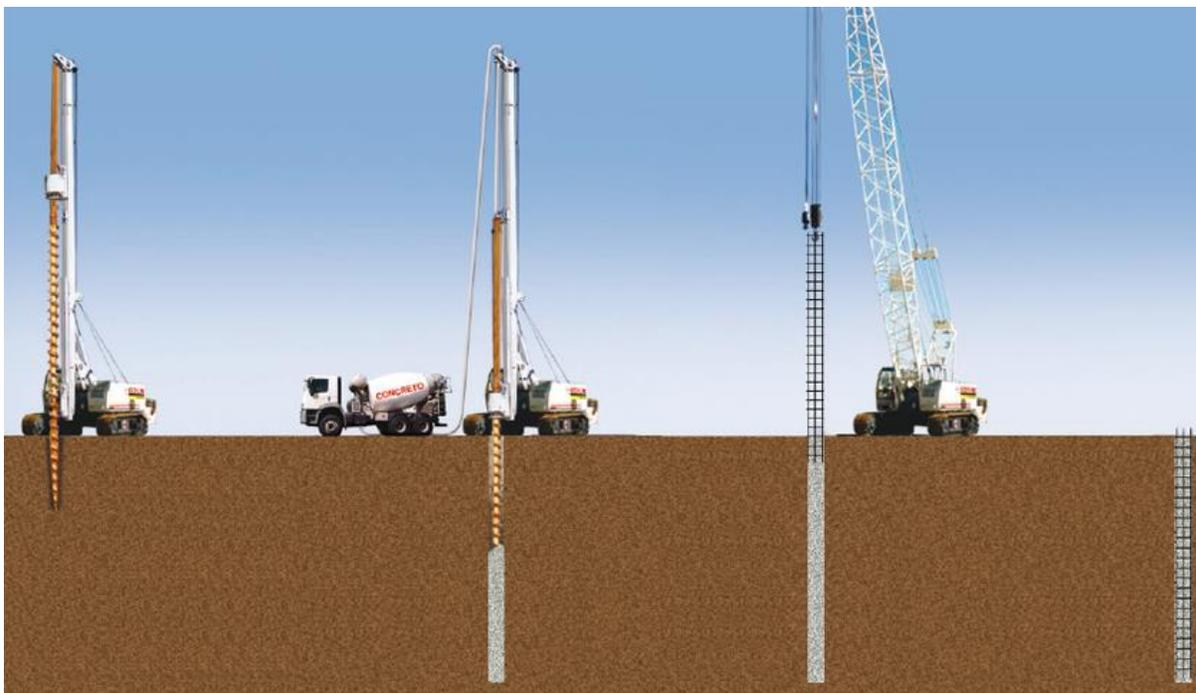


Imagem 4– Metodologia executiva Hélice Contínua Fonte: <http://www.geofond.com.br>

Os equipamentos de hélice contínua, no Brasil, são agrupados em três classes distintas, em função de suas características relativas ao torque e à tração imposta pelo equipamento no momento da retirada do trado do solo, após o término do processo de perfuração e durante a injeção do concreto (PENNA et al., 1999).

Tabela 1 - Características dos equipamentos.

	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
Torque (kN.m)	30	80 - 100	150 - 250
Diâmetro máximo (mm)	425	800	1200
Comprimento máximo (m)	15	23	28
Tração (kN)	60 - 100	150 - 300	400 - 700
Peso do conjunto (kN)	200	400	650 - 800

Fonte: (PENNA et al., 1999).

4.7 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

Vantagens:

- Alta produtividade;
- Elevado grau de qualidade;
- Possibilidade de execução muito próxima à divisa do terreno;
- Pode ser executada abaixo do nível de água;
- Pode ser utilizada em qualquer tipo de solo (exceto perfuração de rochas);
- Provoca pouca ou nenhuma vibração;
- Apresenta baixa intensidade de barulho para sua execução (o ruído e as vibrações são extremamente baixos). É o método adequado para ser utilizado em terrenos de baixa resistência ou submerso;

Desvantagens:

- Necessidade de locais planos para locomoção dos equipamentos de execução;
- Grande acúmulo de solo retirado, exigindo remoção constante;
- Número grande de estacas para ser competitiva com os demais sistemas disponíveis no mercado;
- Devido a sua alta produtividade e do quantitativo expressivo de concreto necessário à execução das estacas, é condição essencial à presença de uma central de concreto nas imediações da obra.

4.8 CONTROLE EXECUTIVO

A Norma brasileira (ABNT NBR – 6122 /2010) preconiza um rigoroso controle de execução das estacas a partir do monitoramento eletrônico, por de sensores devidamente instalados na perfuratriz, ao longo de todo processo, registrando-se, principalmente:

- O nivelamento do equipamento e prumo do trado;
- A velocidade de avanço do trado;
- A pressão no torque;
- A velocidade de extração do trado.
- A rotação do trado;
- A pressão de concreto durante a concretagem;
- A cota de ponta do trado;
- O sobreconsumo de concreto;

Adicionalmente, pelo menos 1 % das estacas, e no mínimo uma por obra, deverá ser exposta abaixo da cota de arrasamento e, se possível, até o nível d'água, para verificação da sua integridade e qualidade do fuste (ABNT NBR – 6122 /2010).

4.9 MATERIAIS

4.9.1 CONCRETO

- Consumo mínimo de cimento: 400 kg /m³ de concreto;
- Abatimento ou “slump test” igual a 22 ± 3 cm, conforme ABNT NBR NM 67;
- Fator água/cimento $\leq 0,6$;
- Agregados: areia e pedrisco;
- % de argamassa em massa: ≥ 55 %;
- Traço tipo bombeado;
- $f_{ck} \geq 20$ MPa aos 28 dias, conforme ABNT NBR 6118, ABNT NBR 6122, ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 5739.

4.9.2 ARMADURAS

As categorias de aço a serem utilizadas como armaduras para as estruturas de concreto armado são as seguintes:

- Aço CA-50: armaduras longitudinais em geral, armaduras transversais (estribos), etc.
- Aço CA-60: armaduras transversais, armaduras de distribuição, etc. (quando especificado). Espessuras de cobrimento para estacas de concreto devem obedecer à ABNT NBR - 6118/2014 em função da classe de agressividade do meio.

4.9.3 DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento das estruturas de fundação a bibliografia técnica corrente considera três etapas distintas e concomitantes, quais sejam:

Dimensionamento geotécnico:

- O dimensionamento geotécnico será desenvolvido considerando o boletim de sondagem enviado como referência (Anexo I).

Dimensionamento geométrico:

- O dimensionamento geométrico será conduzido considerando as premissas do cliente e estudos tridimensionais preliminares elaborados, para determinação da geometria final das estruturas de fundação;

Premissas do cliente:

- Utilizar fundação superficial ou profunda, neste caso, considerar estaca hélice contínua com diâmetro prévio de 600 mm, por questões de aproveitamento de logística existente sem possibilidade de alteração de diâmetro.

Dimensionamento estrutural:

- O dimensionamento estrutural será elaborado considerando o plano de cargas dos equipamentos, as prescrições normativas da ABNT NBR - 6118/2014 e as diretrizes internas da padronização de engenharia do cliente.

Considerando as informações do boletim de sondagens fornecido como referência (Anexo I), o plano de cargas desenvolvido, considerando as premissas iniciais acima referenciadas, foi definida como mais adequada a essa situação a utilização de fundação profunda em estacas escavadas tipo hélice contínua.

Cabe ressaltar que o ponto de sondagem adotado como referência (SM-01), por questões de proximidade, apresenta um horizonte de aterro de baixa capacidade de suporte de solo ao nível superficial, o que corrobora para adoção do estaqueamento como tipologia de fundação mais ajustada à situação.

5 ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Os parâmetros de resistência do solo são obtidos a partir de ensaios geotécnicos, sendo, de longe, o mais comumente utilizado no país, o ensaio de sondagem de simples reconhecimento à percussão ou SPT (Standard Penetration Test). A sondagem à percussão é um ensaio tipicamente de campo, apta a proporcionar a adequada amostragem do substrato de um solo e quando está integrada ao ensaio de penetração dinâmica, é capaz de medir a resistência à penetração deste substrato, considerando a profundidade amostrada. Ao ensaio de sondagem atribui-se o conhecimento das seguintes informações:

- A estratigrafia do solo, analisado a partir da retirada de uma amostra deformada, a cada metro escavado;
- A resistência (N_{SPT}) oferecida pelo solo à cravação do amostrador padrão, a cada metro perfurado;
- A situação espacial do nível d'água dentro do substrato, quando este existente, durante o processo de perfuração e/ou escavação.

A primeira normalização referente àquele ensaio no País acontece em 1979 com a publicação do texto normativo intitulado: “Execução de Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos”, que mais tarde veio a se tornar a ABNT NBR - 6484 /1980. Em 2001, a ABNT NBR - 7250/1982 denominada “Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos” foi absorvida por esta norma, recebendo a seguinte denominação ABNT NBR - 6484/2001, “Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio”, a norma atualmente vigente no Brasil.

5.1 Metodologia do ensaio

O procedimento certificado consiste, basicamente, na cravação de um amostrador padrão no solo, de 45 cm de comprimento, através da queda livre de um peso (martelo), de 65 kg, caindo de uma altura de 75 cm.

O valor do índice de resistência à penetração (N_{SPT}) de um solo qualquer corresponde ao número de golpes necessários à penetração dos últimos 30 cm de um amostrador padrão, após a cravação inicial de 15 cm.

A norma brasileira lista e descreve os componentes da aparelhagem-padrão para a execução de ensaios SPT.

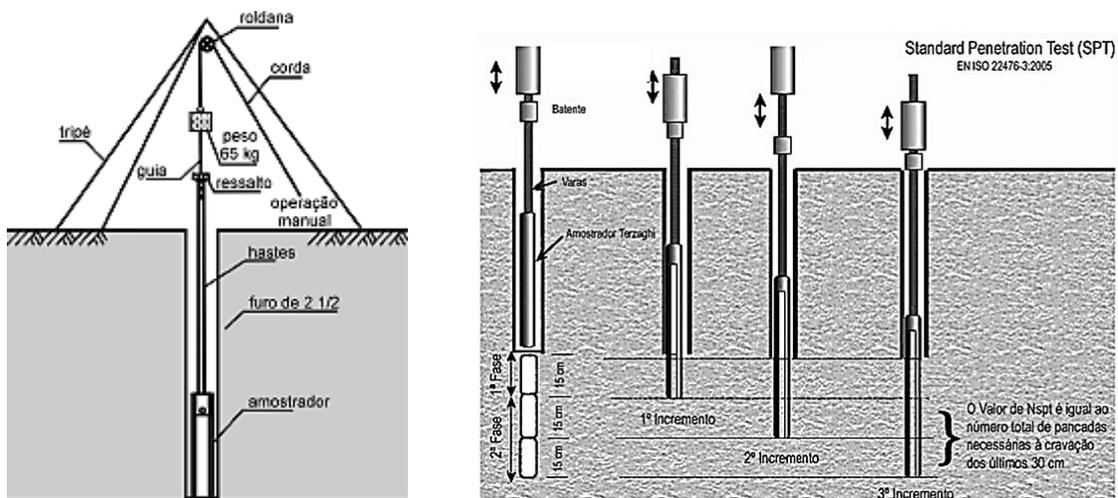


Figura 3 - Apresentam-se imagens de uma aparelhagem padrão. Fonte: (Schnaid, 2000).

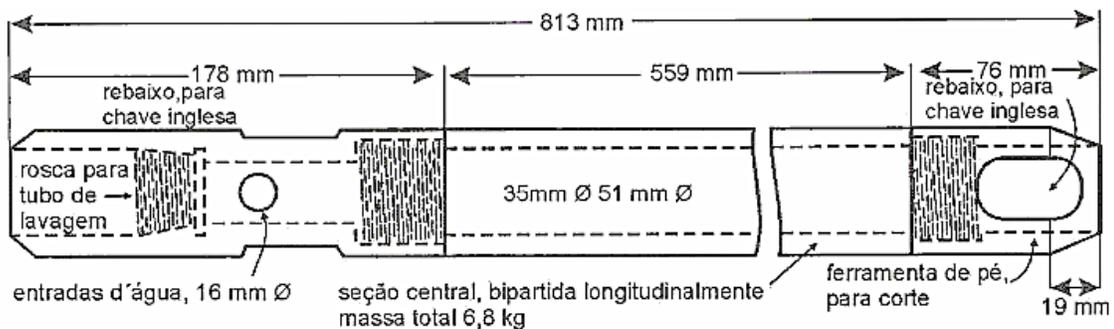


Figura 4 - Amostrador padrão. Fonte: (ABNT NBR - 6484/2001).

6 MÉTODOS DE CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA GEOTÉCNICA

6.1 ELEMENTO DE FUNDAÇÃO POR ESTACA

Por definição, a estaca pode ser assimilada a um pilar confinado, envolto pelo maciço de solo, normalmente discretizado como um elemento de barra sujeito à esforços axiais de compressão, esforços horizontais e momentos no seu topo.

6.2 CAPACIDADE DE CARGA

A norma brasileira que versa sobre estruturas de fundação (ABNT NBR - 6122/2010) estabelece como carga admissível (Q_{adm}) de uma estaca qualquer a força que, aplicada sobre a referida estrutura, ocasiona recalques assimiláveis pela construção, fornecendo segurança contra os estados limites do solo e do elemento de fundação.

A capacidade de carga admissível (Q_{adm}) daquele elemento de fundação é o resultado da relação entre a capacidade de carga por um fator de segurança, que pode variar de 1,6 a 2. Por sua vez, a capacidade de carga de uma estaca é manifestada como a somatória de duas parcelas distintas, a saber: uma parcela devida à resistência lateral (Q_l) do solo adjacente e outra devida à resistência de ponta (Q_p) do solo subjacente, de tal forma que a parcela lateral é dada pelo produto do atrito médio ou adesão do solo ao elemento de fundação pela superfície lateral do fuste deste mesmo elemento. A parcela atribuída à resistência de ponta é entendida como o produto da capacidade de carga da camada de solo de apoio da fundação pela área de projeção desta ponta sobre um plano exatamente a prumo de seu eixo.

A seguir são apresentados alguns métodos, utilizados na literatura corrente da engenharia de fundações, para previsão da capacidade de carga de estacas.

6.2.1 MÉTODOS TEÓRICOS

A teoria clássica (e.g. Therzagui, 1943; Meyerhof, 1951; Berezantzev, 1961; Vésic, 1972) divulga conceitos e modelos de interpretação complexa, tanto no que se refere ao

entendimento da resistência por atrito lateral quanto para o da resistência da ponta. A pluralidade de formulações existentes para o desenvolvimento do cálculo da capacidade de carga de componentes de fundação por estacas é alta e devido a essa grande variabilidade teórica há, no meio técnico específico, dificuldades para o estabelecimento de um consenso, no intuito de definir um modelo físico e matemático que venha representar, de forma adequada, tal complexidade referente aos estados limites de fundações profundas.

Por consequência, as formulações semi-empíricas, obtidas a partir da larga experiência acumulada ao longo do estudo do comportamento de um número suficientemente adequado de fundações já executadas (e.g. Aoki & Velloso, 1975; Décourt & Quaresma, 1978; Pedro Paulo Costa Velloso, 1979; Teixeira, 1996; Alonso, 1996), são utilizadas com mais frequência na prática corrente, por permitirem o cálculo direto da carga admissível com base em correlações diversas, principalmente, com parâmetros oriundos do ensaio de SPT.

6.2.2 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS

6.2.2.1 AOKI & VELLOSO

O método de Nelson Aoki e Dirceu Velloso (1975) foi elaborado considerando estudos comparativos entre os resultados de provas de carga em estacas e ensaios geotécnicos. O método é válido tanto para dados referentes aos ensaios de SPT (*Standard Penetration Test*) quanto para os ensaios de penetração CPT (*Cone Penetration Test*).

Os autores propõem critérios para a determinação da resistência de ponta e da resistência lateral, que compõe a capacidade de carga da estaca.

$$Q_u = Q_{lu} + Q_{pu};$$

$$Q_{adm} = Q_u / 2;$$

Onde:

$$Q_{lu} = p * L / [(L-1) * F2] * \sum(f_s * l);$$

$$Q_{pu} = (s_p / F1) * q_p;$$

Em que:

L é o comprimento do fuste;

K, F1 e F2 são parâmetros tabelados, conforme as tabelas a seguir;

$\Sigma (f_s * l)$ é a soma dos valores ($\alpha * K * N_{SPT}$), calculados ao longo do fuste da estaca. A resistência de ponta é calculada com N_{SPT} correspondente à ponta da estaca, com a recomendação de que se $N_{SPT} \geq 40$, adotar $N_{SPT} = 40$.

Tabela 2 - Coeficiente K e razão de atrito α

Solo	K (MPa)	α (%)
Areia	1	1,4
Areia siltosa	0,8	2
Areia siltoargilosa	0,7	2,4
Areia argilosa	0,6	3
Areia argilossiltosa	0,5	2,8
Silte	0,4	3
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argiloarenoso	0,25	3
Argila	0,2	6
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,3	2,8
Argila siltosa	0,22	4
Argila siltoarenosa	0,33	3

Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Os fatores de correção F1 e F2 consideram a diferença de comportamento entre a estaca (protótipo) e o cone do CPT (modelo), bem como a influência do método executivo de cada tipo de estaqueamento. Os referidos fatores de correção foram ajustados com 63 provas de carga realizadas em vários estados do Brasil, o que permitiu a obtenção da Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de correção F1 e F2

Tipos de estaca	F1	F2
Franki	2,5	2F1
Metálica	1,75	2F1
Pré-moldada	1+ D/0,8	2F1
Raiz, Hélice contínua e Ômega	2	2F1
Escavada	3	2F1

Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Para efeito de carga admissível (Q_{adm}), a ABNT NBR - 6122/2010 prescreve que a capacidade total (Q_u) da estaca deve ser minorada por um fator de segurança $F_s = 2$, quando a capacidade de carga é calculada por método semi-empírico.

Cintra e Aoki (2010) observam que para a utilização do método, a formulação geral deve ser mantida, mas as correlações devem ser regionalizadas adequadamente, com correlações que possuam validade técnica comprovadas.

6.2.2.2 DECOURT & QUARESMA

Luciano Décourt e Renato Quaresma (1978) expuseram à comunidade técnica um processo expedito para o cálculo da carga de ruptura de estacas, a partir nos resultados fornecidos por sondagens à percussão SPT. À semelhança do método de Aoki e Velloso, a capacidade de carga é dividida em duas parcelas diferenciadas: uma relacionada à resistência de ponta (Q_{pu}) e a outra relacionada à resistência de atrito lateral no fuste ao longo da estaca (Q_{lu}), representadas pelas seguintes equações:

$$Q_u = Q_{lu} + Q_{pu};$$

$$Q_{adm} = (Q_{lu} / 1,3) + (Q_{pu}/4);$$

Onde:

$$Q_{lu} = p * L / (L-1) * \Sigma(f_s * l);$$

$$Q_{pu} = s_p * q_p;$$

$$f_s = (\beta * N_{SPT}/3 + \beta);$$

$$q_p = (\alpha * K * N_{SPT}),$$

Em que:

L é o comprimento do fuste;

α , β e K são parâmetros tabelados, conforme as tabelas a seguir:

Tabela 4 - Coeficiente K

Tipo de solo	K (kPa)
Argila Siltosa	110
Argila Arenosa	120
Silte argiloso *	200
Silte arenoso *	250
Areia Argilosa	350
Areia Siltosa	350
Areia	400
Areia com Pedregulho	400

* solos residuais

Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Tabela 5 – Valores dos coeficientes α em função do tipo de solo.

Tipo de Solo	Tipo de Estaca				
	Escavada em Geral	Escavada (betonita)	Hélice Contínua	Raiz	Injetada (altas pressões)
Argilas	0,85	0,85	0,3*	0,85*	1*
Solos Intermediários	0,6	0,6	0,3*	0,6*	1*
Areias	0,5	0,5	0,3*	0,5*	1*

*valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis

Fonte: Décourt (1996)

Tabela 6 – Valores dos coeficientes β em função do tipo de solo.

Tipo de Solo	Tipo de Estaca				
	Escavada em Geral	Escavada (betonita)	Hélice Contínua	Raiz	Injetada (altas pressões)
Argilas	0,8	0,9	1	1,5	3
Solos Intermediários	0,65	0,75	1	1,5	3
Areias	0,5	0,6	1	1,5	3

valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis

Fonte: Décourt (1996)

Onde N_{SPT} é tomado como o valor médio do índice de resistência à penetração na ponta, obtido a partir de três valores: o correspondente ao nível da ponta, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior. O parâmetro **K** diz respeito ao coeficiente característico do solo (Tabela 4), validado por meio de 41 provas de carga executadas em estacas pré-moldadas de concreto.

6.2.2.3 PEDRO PAULO COSTA VELLOSO (1981)

O método de Pedro Paulo da Costa Velloso (1981) foi desenvolvido para o uso dos resultados do CPT na estimativa da capacidade de carga do sistema solo-estaca. Porém, o autor sugere correlações que permitem o uso dos resultados do SPT, de acordo com as seguintes equações:

$$Q_u = Q_{lu} + Q_{pu};$$

$$Q_{adm} = (Q_{lu} / 2,5);$$

Onde:

$$Q_{lu} = \alpha_1 * \lambda_1 * p * L / (L-1) * \Sigma(f_s * l);$$

$$Q_{pu} = \alpha_P * \lambda_P * \beta * s_p * 0,5 * [(q_p)_{m\u00e9dia\ acima} + (q_p)_{m\u00e9dia\ abaixo}];$$

Em que:

L é o comprimento do fuste;

f_s = Adesão solo-estaca;

q_p = Comprimento da estaca com adesão f_s ;

α_1 , λ_1 , α_P , λ_P e β são parâmetros a seguir a seguir tabelados;

$\Sigma (f_s * l)$ é a soma dos valores ($\alpha * K * N_{SPT}$), calculados ao longo do fuste da estaca;

$(q_p)_{m\u00e9dia\ acima}$ = média dos valores de (q_p) calculado tomando como referência um intervalo de $(8 * d_p)$ acima da ponta da estaca;

$(q_p)_{m\u00e9dia\ abaixo}$ = média dos valores de (q_p) calculado tomando como referência um intervalo de $(3,5 * d_p)$ abaixo da ponta da estaca;

$\beta = 1,016 - 0,016 * d_p/d_c$, onde $d_c = 3,60$ cm, diâmetro do cone holandês.

O autor ajustou os valores de adesão (f_s) e resistência de ponta (q_p) a partir dos resultados das investigações na área da Refinaria Duque de Caxias e Açominas, conforme se segue:

Refinaria Duque de Caxias: $f_s = C_s * N_{SPT}$;

Açominas:

$$q_p = C_P * N_{SPT};$$

$$f_s = 1,21 * N_{SPT}^{0,74} \text{ (t/m}^2\text{)};$$

$$q_p = 47 * N_{SPT}^{0,96} \text{ (t/m}^2\text{)};$$

Quando $N_{SPT} \geq 40$ recomenda-se a adoção de $N_{SPT} = 40$.

Tabela 7 - Valores dos parâmetros α_1 , λ_1 , α_p e λ_p .

Tipo de Estaca	α_1	α_p
Pré-Moldada e Perfil Metálico	1	1
Franki	1	1
Hélice Contínua	0,85	0,5
Escavada s/revest.	0,5	0,5
Escavada c/revest.	0,7	0,5
Raiz	0,9	0,5

Tipo de Carregamento	λ_1	λ_p
Compressão	1	1
Tração	0,75	0

Fonte: Apostila UFMG – Fundações (2014) SILVEIRA, J.E.S. et al..

Tabela 8 - Valores dos parâmetros C_s e C_p .

Tipo de Solo	C_s (t/m²)	C_p (t/m²)
Argila Siltosa	0,63	25
Argila Arenosa	0,63	25
Silte Argiloso	0,7	30
Silte Arenoso	0,8	40
Areia Argilosa	0,85	45
Areia Siltosa	0,85	50
Areia	0,5	60
Areia com pedregulhos	0,5	60

Fonte: Apostila UFMG – Fundações (2014) SILVEIRA, J.E.S. et al.

6.2.2.4 TEIXEIRA (1996)

O método de Alberto Henriques Teixeira (1996) sugere uma equação unificada para a capacidade de carga. Para este método, o valor de $N_{SPT \text{ médio acima}}$ corresponde à média do índice de resistência à penetração medido no intervalo de 4 diâmetros acima da ponta da estaca e 1 diâmetro abaixo, e $N_{SPT \text{ médio abaixo}}$ corresponde ao valor médio do índice de resistência à penetração ao longo do fuste da estaca. Sendo que os valores dos parâmetros α e β também são tabelados.

$$Q_u = Q_{lu} + Q_{pu};$$

$$Q_{adm} = (Q_{lu} / 1,5) + (Q_{pu}/4); \quad \text{para estacas escavadas em geral};$$

$$Q_{adm} = (Q_u/2); \quad \text{para cravadas e raiz};$$

Onde:

$$Q_{lu} = p * L * f_s;$$

$$Q_{pu} = s_p * q_p;$$

$$f_s = (\beta * N_{SPT \text{ médio}});$$

$$q_p = 0,5 * [(\alpha * N_{SPT})_{\text{médio acima}} + (\alpha * N_{SPT})_{\text{médio abaixo}}];$$

Em que:

L é o comprimento do fuste;

α e β são parâmetros tabelados, conforme as tabelas a seguir:

$(\alpha * N_{SPT})_{\text{médio acima}}$ = média dos valores de $(\alpha * N_{SPT})$ calculado tomando como referência um intervalo de $(4 * d_p)$ acima da ponta da estaca;

$(\alpha * N_{SPT})_{\text{médio abaixo}}$ = média dos valores de $(\alpha * N_{SPT})$ calculado tomando como referência um intervalo de $(10 * d_p)$ abaixo da ponta da estaca;

Recomenda-se de que se $N_{SPT} \geq 40$, adotar $N_{SPT} = 40$.

Tabela 9 - Valores do parâmetro α .

Solo	Tipo de estaca - α (kPa)			
	Pré-Moldada e perfil Metálico	Franki	Escavada a céu aberto	Raiz
(4<NSPT<40)				
Argila Siltosa	110	100	100	100
Silte Argiloso	160	120	110	110
Argila Arenosa	210	160	130	140
Silte Arenoso	260	210	160	160
Areia Argilosa	300	240	200	190
Areia Siltosa	360	300	240	220
Areia	400	340	270	260
Areia com pedregulhos	440	380	310	290

Fonte: Teixeira (1996).

Tabela 10 - Valores do parâmetro β .

Tipo de Estaca	β (kPa)
Pré-Moldada e Perfil Metálico	4
Franki	5
Hélice Contínua	4
Escavada céu aberto	4
Raiz	6

Fonte: Teixeira (1996).

Para efeito de carga admissível, Teixeira (1996) adota fator de segurança $FS = 2$.

6.2.2.5 ALONSO (1996)

O método idealizado e sugerido por Urbano Rodrigues Alonso (1996) apropria os dados obtidos a partir do ensaio de SPT-T (*Standard Penetration Test with Torque Measurements*) e gera valores referentes à parcela de resistência lateral da capacidade de carga total da interação solo - estaca. A parcela de resistência de ponta pode ser calculada através dos métodos de

Aoki-Velloso (1975) ou de Décourt-Quaresma (1978 - 1996). As seguintes equações são utilizadas:

$$Q_u = Q_{lu} + Q_{pu};$$

$$Q_{adm} = (Q_u / 2) \text{ ou } Q_{adm} = [(Q_{lu} / 2) / 0,8], \text{ considerar o menor valor};$$

Onde:

$$Q_{lu} = 0,662 * p * L * f_s;$$

$$Q_{pu} = s_p * q_p; \rightarrow \text{máximo 20\% de } Q_{adm}$$

$$f_s = (\alpha * N_{\text{médio}});$$

$$q_p = 0,5 * [(\beta * N_{\text{SPT}})_{\text{médio acima}} + (\beta * N_{\text{SPT}})_{\text{médio abaixo}}];$$

Recomenda-se, no caso onde $N_{\text{SPT}} \geq 40$, adotar-se $N_{\text{SPT}} = 40$.

Em que:

L é o comprimento do fuste;

α , β são parâmetros tabelados, a seguir relacionados:

Tabela 11 - Valores dos parâmetros α e β .

Tipo de Estaca	Tipo de solo								
	α (kPa)	β (kPa)							
		ARGS	ARGA	SAG	SAR	AREA	ARS	ARE	ARP
Prém.(conc./ aço)	6,7	10	10	15	15	20	20	20	20
Franki	6,7	10	10	15	15	20	20	20	20
Hélice Contínua	6,5	10	10	15	15	20	20	20	20
Escavada s/revest.	0,56	10	10	15	15	20	20	20	20
Escavada c/revest.	0,59	10	10	15	15	20	20	20	20
Raiz	0,87	10	10	15	15	20	20	20	20

Fonte: Apostila UFMG – Fundações (2014) SILVEIRA, J.E.S. et al.

7 DESCRIÇÃO DO PROJETO

A concepção estrutural da fundação do prédio do Hidrociclone foi concebida adotando-se o sistema estrutural reticulado tradicional, considerando peças estruturais básicas, quais sejam: cintas de travamento, blocos de coroamento e pilares moldados "in loco". Neste sistema, a distribuição dos esforços ocorre através dos referidos elementos isolados, sendo que as cintas e pilares se apoiam nos blocos, que transmitem os esforços para o estaqueamento.

Este sistema é o que possui a maior abrangência, pois é adaptável às mais variadas soluções arquitetônicas, e também às mais diversas condições de execução disponíveis, por não depender, por exemplo, de canteiros com grande espaço, nem de equipamentos como guias e guindastes.

O processo executivo deverá ser o tradicional, contemplando a utilização de escoramentos e formas em madeira.

Cabe observar que a magnitude dos carregamentos, oriundos do plano de cargas devido à estrutura metálica, equipamentos de processo e material armazenado, conforme tabela de cargas, determinaram a geometria final da estrutura. O referido plano de cargas foi obtido a partir do modelamento matemático via *software* SAP – 2000 e encontra-se relacionado no Anexo I.

A estrutura é composta por montantes de altura 4,5 m e seções 70 x 70 cm apoiados em blocos de estaca com dimensões 120 x 120 x 70 cm. No topo dos montantes foram consideradas vigas de travamento seções 60 x 30 cm. Na base dos blocos, considerou-se vigas de equilíbrio com seções 50 x 40 cm. Cada bloco engloba uma estaca do tipo hélice-contínua com diâmetro 60 cm e comprimento de 14 m. Em atendimento à norma ABNT NBR - 6118/2014, toda a estrutura foi dimensionada em concreto estrutural classe C30. O cobrimento adotado foi 4 cm. As imagens 5 a 7 mostram a obra concluída e o modelamento das estruturas de fundação e as figuras 5 a 7 apresentam a geometria da estrutura.



Imagem 5 – Foto do prédio do Hidrociclone concluído – Fonte: Arquivo particular.

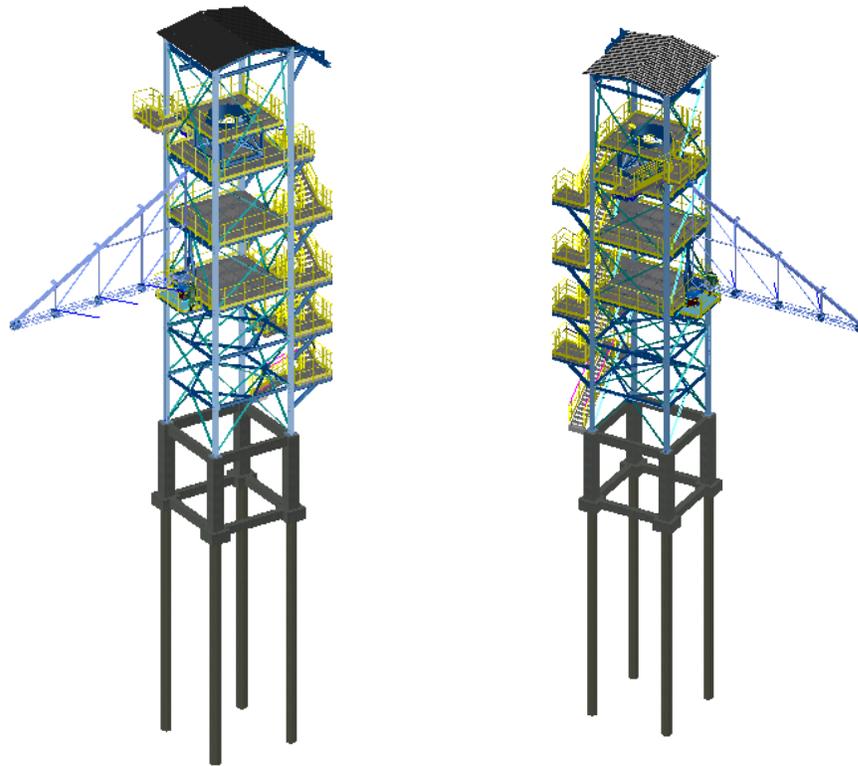


Imagem 6 – Modelamento tridimensional do prédio do Hidrociclone.

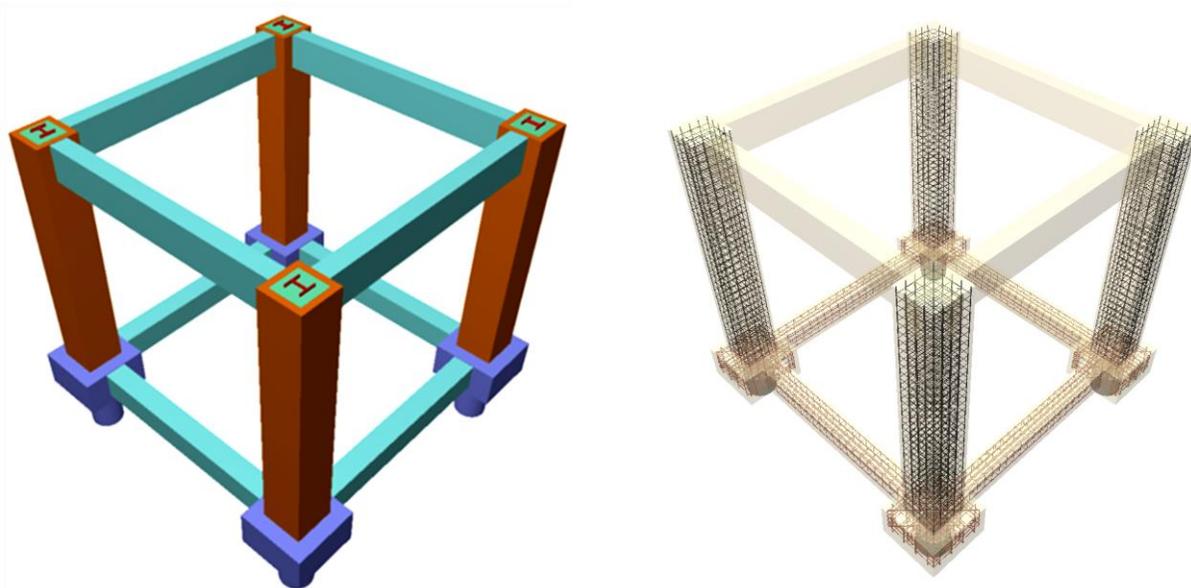


Imagem 7 – Perspectiva da estrutura intermediária de concreto armado – Forma e armadura.

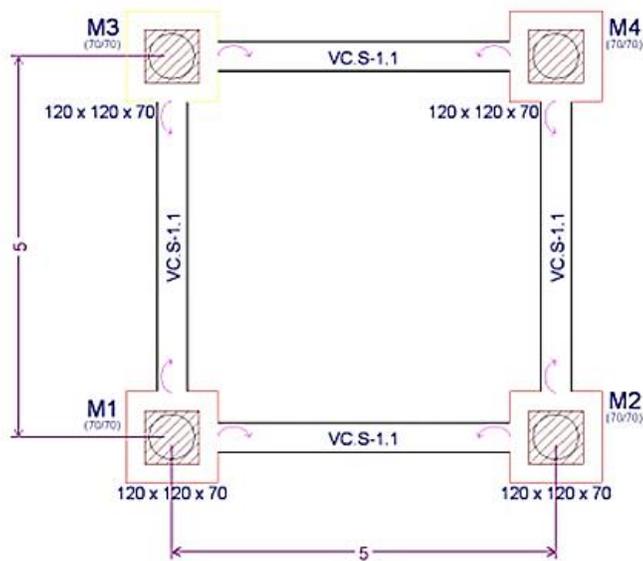


Figura 5 – Croquis da planta baixa da estrutura de concreto – topo dos blocos (cota +0,0).

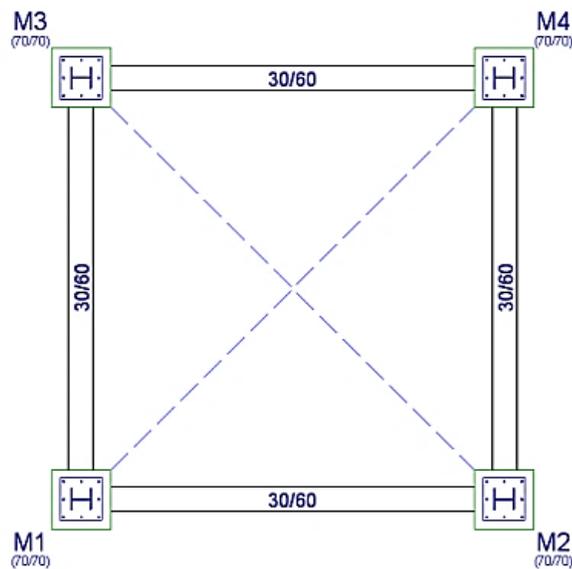


Figura 6 – Croquis da planta baixa da estrutura de concreto – topo dos montantes (cota +4,5).

A estrutura de fundação definida para o projeto foi estaca moldada “in loco“, tipo hélice contínua, \varnothing 600 mm e 14 m de comprimento, conforme item 4.8.3 deste trabalho (Figura 8).

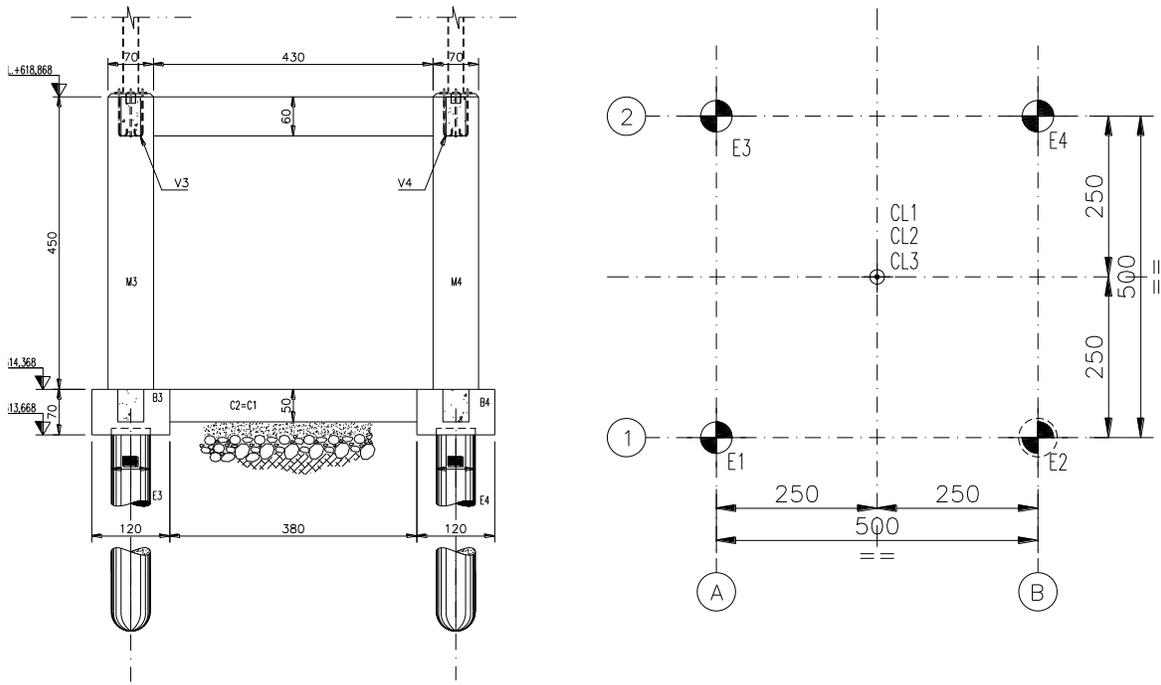


Figura 7 – Croquis das estruturas de fundação e sua localização.



Figura 8 – Perspectivas de um elemento isolado das estruturas de fundação – Forma e armadura.

8 AÇÕES E COMBINAÇÕES DE AÇÕES

AÇÕES:

Foram consideradas as seguintes ações:

8.1 PESO PRÓPRIO DA ESTRUTURA

As ações gravitacionais serão calculadas automaticamente pelo *software*, considerando-se peso específico do concreto 25 kN/m³.

8.2 AÇÕES DEVIDAS À ESTRUTURA METÁLICA

Sobre os montantes atuam as ações indicadas na tabela do Anexo I, devidas à estrutura metálica que compõe o prédio da ciclonagem.

8.3 COMBINAÇÕES DE AÇÕES:

Foram consideradas as combinações de ações indicadas na norma ABNT NBR -8681/2003 (Ações e segurança nas estruturas – Procedimento).

8.3.1 SITUAÇÕES DE PROJETO

Para as distintas situações de projeto, as combinações de ações serão definidas de acordo com os seguintes critérios:

Com coeficientes de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

Sem coeficientes de combinação

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

Onde:

G_k Ação permanente;

Q_k Ação variável;

γ_G Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes;

$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal;

$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento;

$\Psi_{p,1}$ Coeficiente de combinação da ação variável principal;

$\Psi_{a,i}$ Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento.

8.3.1.1 Coeficientes parciais de segurança (γ) e coeficientes de combinação (Ψ)

Para cada situação de projeto e estado limite, os coeficientes a utilizar serão:

E.L.U. Concreto: ABNT NBR - 6118/2014

E.L.U. Concreto em fundações: ABNT NBR - 6118/2014

Tabela 12 - Valores dos coeficientes parciais de segurança e de combinação.

Situação 1				
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (Ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (Ψ_p)	Acompanhamento (Ψ_a)
Permanente (G)	1,00	1,40	-	-
Sobrecarga (Q)	0,00	1,40	1,00	0,50
Vento (Q)	0,00	1,40	1,00	0,60

Fonte: *Software Cypecad v 2012.a.*

9 MARCHA DE CÁLCULO

9.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As análises estruturais dos montantes, vigas e blocos foram realizadas através do *software Cypecad v2012.a*, baseado no Método dos Elementos Finitos. Foram determinadas também as ações nas estacas.

A capacidade de carga das estacas hélice-contínua foi determinada com o auxílio de planilhas Excel. As análises estruturais deste elemento foram realizadas através do *software* SAP-2000 v.14, também baseado no Método dos Elementos Finitos.

9.2 VERIFICAÇÕES EFETUADAS

9.2.1 ESTACAS

A partir das ações e combinações de ações indicadas no item 8 deste documento e do boletim de sondagem representado no Anexo I, extraídos dos documentos fornecidos pelo cliente, determinou-se o comprimento médio das estacas com 14 metros.

Tabela 13 – Reações nas estacas (kN)

Estaca	N (kN)	H (kN)
<i>E1</i>	503,3	32,9
<i>E2</i>	634,7	32,9
<i>E3</i>	493	32,9
<i>E4</i>	586,8	32,9

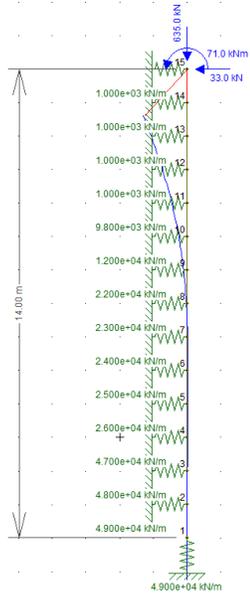
Fonte: *Software* Cypecad v 2012.a.

No Anexo I é apresentado o cálculo da capacidade de carga geotécnica das estacas, considerando-se as características do furo de sondagem SM-01 (Anexo I), com auxílio de planilhas de Excel elaboradas a partir de cada um dos métodos semi-empíricos abordados no item 6 deste relatório.

A figura 9 apresenta os resultados de deslocamento horizontal (figura 9.a) no topo das estacas devido às reações destes elementos de fundação, obtidas do modelo Cypecad v2012.a e cujas magnitudes são 635 e 33 kN nas direções vertical e horizontal e 71 kN.m para momento. Para a determinação dos deslocamentos considerou-se, no modelo FTool v.2, a presença do solo através de coeficientes de mola horizontais indicados na tabela da figura 9.b (Bowles, 1996).

Pode-se observar que os deslocamentos obtidos (0,16 e 1,35 cm para as direções vertical e horizontal) não comprometem a operação na ciclonagem.

A figura 10 apresenta os esforços solicitantes característicos atuantes na estaca. Estes valores foram utilizados na determinação das seções de aço e verificação da capacidade de carga estrutural deste elemento.



9.a – Deslocamento no topo.

Prof. (m)	K (kN/m ³)
1	1.000
2	1.000
3	1.000
4	1.000
5	9.800
6	12.000
7	22.000
8	23.000
9	24.000
10	25.000
11	26.000
12	47.000
13	48.000
14	49.000

9.b – Coef. Mola ao longo da estaca.

Figura 9 – Deformação nas estacas.

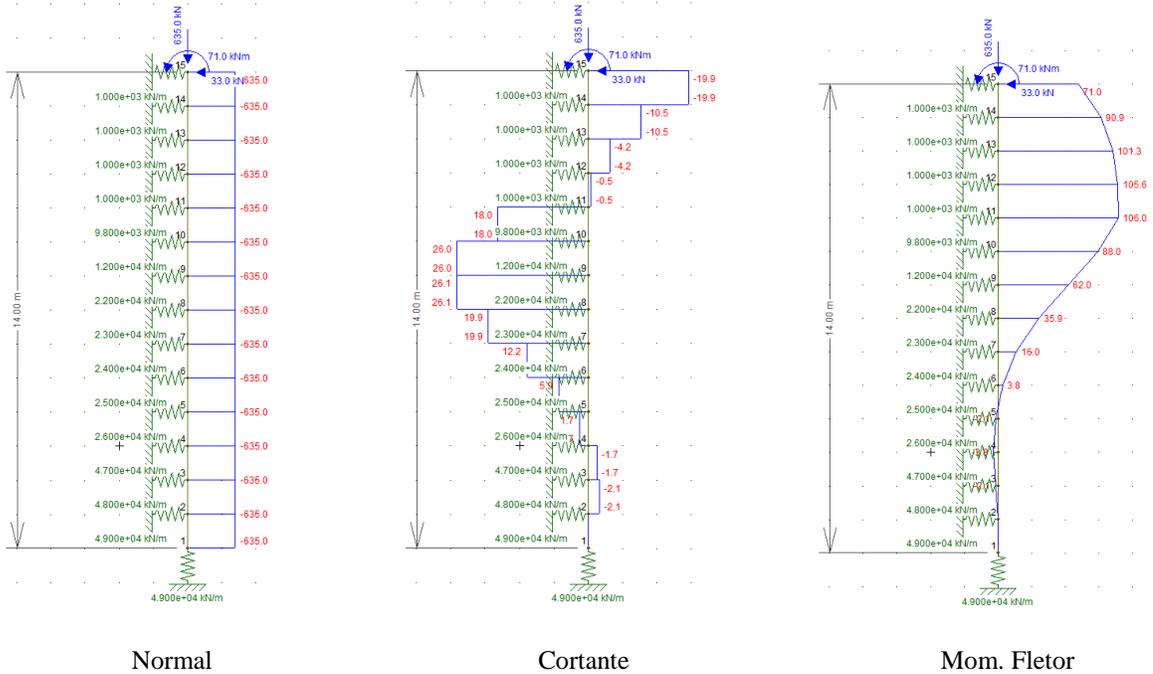


Figura 10 – Esforços característicos nas estacas ($N_k = 635$ kN, $V_k = 33$ kN e $M_k = 106$ kN.m).

Os esforços de dimensionamento considerando esforço normal máximo serão:

$$\begin{aligned}N_d &= 1,4 * 635 &= 889 \text{ kN;} \\V_d &= 1,4 * 33 &= 46,2 \text{ kN;} \\M_d &= 1,4 * 106 &= 148,4 \text{ kN.m;}\end{aligned}$$

Determinação da área de aço longitudinal:

Entrando no gráfico do ábaco de interação adimensional indicado no Anexo I figura 12, com unidades kgf e cm, temos:

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c \quad \rightarrow \quad 200 / 1,8 = 111,11 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\gamma_c = 1,8 \text{ de acordo com a Tabela 4 - Estacas moldadas "in loco": parâmetros para dimensionamento da ABNT NBR-6122/2010);}$$

$$A_c = (\pi \times \phi^2) / 4 \quad \rightarrow \quad 3,14 * (60)^2 / 4 = 2.827,43 \text{ cm}^2;$$

$$\nu = \frac{N_d}{A_c \times f_{cd}} = \quad \rightarrow \quad 88.900 / (2.827,43 * 111,11) \approx 0,35;$$

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \times h \times f_{cd}} = \quad \rightarrow \quad 1.484.000 / (2.827,43 * 60 * 111,11) \approx 0,08;$$

Logo: $\omega = 0,05$;

$$A_{s1} = \frac{\omega \times A_c \times f_{cd}}{f_{yd}} = 0,05 * (2.827,43 * 111,11 / 4.347) \approx 3,61 \text{ cm}^2 \rightarrow 2 \text{ } \emptyset 16$$

Atendendo às prescrições construtivas normativas (ABNT NBR - 6118/2014), que estabelece a utilização de no mínimo 6 \emptyset para seções circulares, adotar-se-ão 6 \emptyset 16.

$$A_{s,\text{min}} = 0,40 \% A_c \approx 0,40 / 100 * 2.827,43 = 11,31 \text{ cm}^2 \geq A_{s1}$$

Os esforços de dimensionamento considerando esforço normal mínimo serão:

$$N_d = 1,4 * 0 \quad = 0 \text{ kN;}$$

$$V_d = 1,4 * 33 = 46,2 \text{ kN};$$

$$M_d = 1,4 * 106 = 148,4 \text{ kN*m};$$

Entrando no gráfico do ábaco de interação adimensional indicado no Anexo I figura 12, com unidades kgf e cm, temos:

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c \quad \rightarrow \quad 200 / 1,8 = 111,11 \text{ kgf/cm}^2;$$

$$A_c = (\pi \times \phi^2) / 4 \quad \rightarrow \quad 3,14 * (60)^2 / 4 = 2.827,43 \text{ cm}^2;$$

$$\nu = \frac{Nd}{A_c \times f_{cd}} \quad \rightarrow \quad 0;$$

$$\mu = \frac{Md}{A_c \times h \times f_{cd}} \quad \rightarrow \quad 994.000 / (2.287,43 * 60 * 111,11) \approx 0,05$$

Logo: $\omega \approx 0,25$;

$$A_{s2} = \frac{\omega \times A_c \times f_{cd}}{f_{yd}} = 0,25 * (2.827,43 * 111,11 / 4.347) \approx 18,07 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \text{ } \emptyset 20.$$

$$A_{s,\text{longitudinal}} = A_{s2} \geq A_{s,\text{min}} \geq A_{s1} = 18,06 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \text{ } \emptyset 20,00.$$

Nas estacas solicitadas à flexo-compressão a verificação de fissuração deverá ser garantida de forma a atender à ABNT NBR - 6118/2014. Alternativamente e de modo simplificado, pode-se proceder ao dimensionamento, considerando uma redução de 2 mm no diâmetro das barras longitudinais, como espessura de sacrifício (ABNT NBR - 6122/2010).

Atendendo às prescrições referentes à fissuração, acima apresentadas, e às disposições construtivas normativas (ABNT NBR - 6118/2014) e estabelecidas na bibliografia técnica corrente, que preconiza a utilização de no mínimo 6 \emptyset para seções circulares (FUSCO - 1994), adotar-se-ão 6 \emptyset 20 para armadura longitudinal das estacas.

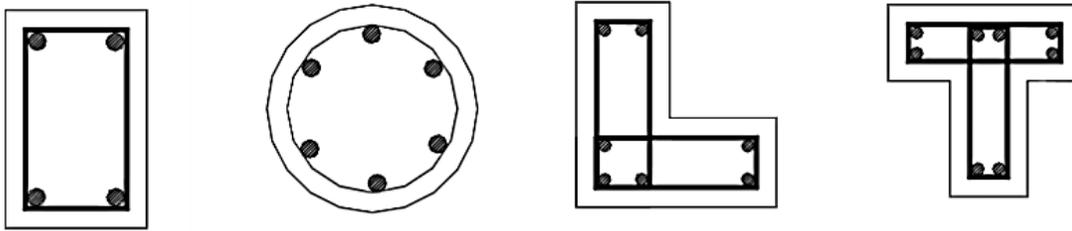


Figura 11 – Distribuição mínima de barras nas seções transversais. Fonte (FUSCO - 1994).

Como indicado na figura 10, as estacas estão submetidas à esforços de flexão ao longo do seu fuste, motivo pelo qual a estaca deverá ser armada em todo seu fuste.

Determinação da área da armadura transversal – Verificação expedita:

A verificação ao cisalhamento é conduzida pelas disposições da ABNT NBR - 6118/2014 para seções retangulares. Nos casos de seções circulares, o CEB estabelece critérios de transformação destas seções em seções retangulares equivalentes, para análise dos efeitos de cisalhamento, conforme se segue:

Seção circular plena: $\varnothing 60$, $c = 5$ cm \equiv Seção retangular: $d_e \times b_e$, onde:

$$b_e = 0,9 * \varnothing \quad \rightarrow 0,9 * 60 = 54 \text{ cm};$$

$$d_e = 0,13 * \varnothing + 0,64 * (\varnothing - 2 * c) \quad \rightarrow 0,13 * 60 + 0,64 * (60 - 2 * 5) = 39,8 \text{ cm};$$

Logo, a seção retangular equivalente é: 54 x 39,8 cm.

Cortante de cálculo: $V_d = 46,2$ kN ≈ 4.620 kgf;

Tensão de cisalhamento solicitante: $\tau_{wd} = V_d / d_e * b_e = 4.620 / 54 * 39,8 \approx 2,15$ kgf/cm²;

Tensão de cisalhamento resistente: $\tau_{wd2} = 0,27 * \alpha_{v2} * f_{cd} = 0,27 * 0,92 * 111,11 = 27,06$ kgf/cm²;

$\tau_{wd2} \geq \tau_{wd} \rightarrow$ OK! Biela de concreto preservada! Concreto verificado.

Onde:

$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck} / 250) = 0,92;$$

f_{cd} : Resistência de cálculo à compressão do concreto (f_{ck} / γ_c) = $200 / 1,8 = 111,11 \text{ kgf} / \text{cm}^2$;

d_e : Altura útil da seção equivalente;

b_e : A largura da seção equivalente;

$\gamma_c = 1,8$.

Armadura:

Como $\tau_{wd} \leq \tau_{wd.min}$. então $\rho_w = \rho_{w.min}$. $\therefore A_{sw} = A_{sw.min} = \rho_{w.min} \cdot b_w$,

Onde:

$\rho_{w.min} = 0,012 \cdot f_{ck}^{2/3} \approx 0,088$;

$\tau_{wd.min} = 10,10 \text{ kgf/cm}^2$, logo:

$A_{sw} = 0,088 \cdot 54 = 4,75 \text{ cm}^2 / \text{m}$;

- $\tau_{wd} / \tau_{wd2} = 1,82 \text{ kgf/cm}^2 / 27,06 \text{ kgf/cm}^2 = 0,07 \leq 0,67 \rightarrow S_{m\acute{a}x.} = 0,6 \cdot d_e = 0,6$
* $39,8 \approx 23 \text{ cm}$;
- Em função da armadura longitudinal: $A_{sw} = 12 \cdot \emptyset_{longitudinal} = 12 \cdot 20 = 24 \text{ cm}$;
- $S_{m\acute{a}x.} = 20 \text{ cm}$;

Adotado $\emptyset 8 \text{ c.15}$, a favor da segurança.

10 ANÁLISE COMPARATIVA

Considerando a mesma rotina de cálculos indicada no ítem 9, conservando o plano de cargas e procurando preservar a magnitude da capacidade de carga geotécnica, e agora variando os parâmetros geométricos de diâmetro e comprimento, propõe-se encontrar a melhor relação custo-benefício relativo aos quantitativos de material para as estruturas de fundação.

Para tanto, consideraremos um estaqueamento com um diâmetro acima ($\emptyset 700 \text{ mm}$) e um diâmetro abaixo ($\emptyset 500 \text{ mm}$) da referência original ($\emptyset 600 \text{ mm}$), procurando o comprimento final a partir da capacidade de carga geotécnica, não inferior às condições originais (81,5 tf).

Para as condições originais estabelecidas no projeto apresentado, chega-se aos seguintes quantitativos de material, referentes ao estaqueamento, para o prédio do Hidrociclone:

Estacas Ø 600 mm e comprimento L = 14 m:

Concreto:

$$A_c = (\pi \times \phi^2) / 4 \quad \rightarrow \quad 3,14 * (60)^2 / 4 = 2.827,43 \text{ cm}^2;$$

$$V = A_c * L \quad \rightarrow \quad 2.827,43 \text{ cm}^2 * 1.400 \text{ cm} = 3.95958.402 \text{ cm}^3 \approx 3,96 \text{ m}^3;$$

$$V_{\text{total}} = V * 4 \quad \rightarrow \quad 3,96 \text{ m}^3 * 4 = 15,84 \text{ m}^3;$$

Aço:

$$M_{\text{aço}} = M_{\text{aço longitudinal}} + M_{\text{aço transversal}} = 207,16 \text{ kg} + 59,90 \text{ kg} \approx 267,06 \text{ kg};$$

$$M_{\text{total}} = M_{\text{aço}} * 4 = 1.068,24 \text{ kg}.$$

Para a 1ª condição alternativa, estaca com Ø 700 mm, chega-se aos seguintes quantitativos de material para o prédio do Hidrociclone:

Estacas Ø 700 mm e comprimento L = 12 m:

Concreto:

$$A_c = (\pi \times \phi^2) / 4 \quad \rightarrow \quad 3,14 * (70)^2 / 4 = 3.848,45 \text{ cm}^2;$$

$$V = A_c * L \quad \rightarrow \quad 3.848,45 \text{ cm}^2 * 1.200 \text{ cm} = 4.618.141,20 \text{ cm}^3 \approx 4,62 \text{ m}^3;$$

$$V_{\text{total}} = V * 4 \quad \rightarrow \quad 4,62 \text{ m}^3 * 4 = 18,48 \text{ m}^3;$$

Aço:

$$M_{\text{aço}} = M_{\text{aço longitudinal}} + M_{\text{aço transversal}} = 177,56 \text{ kg} + 72,70 \text{ kg} \approx 250,26 \text{ kg};$$

$$M_{\text{total}} = M_{\text{aço}} * 4 = 1.001,04 \text{ kg}.$$

Para a 2ª condição alternativa, estaca com Ø 500 mm, chega-se aos seguintes quantitativos de material, para o prédio do Hidrociclone:

Estacas Ø 500 mm e comprimento L = 17 m:

Concreto:

$$A_c = (\pi \times \phi^2) / 4 \quad \rightarrow \quad 3,14 * (50)^2 / 4 = 1.963,5 \text{ cm}^2;$$

$$V = A_c * L \quad \rightarrow \quad 1.963,5 \text{ cm}^2 * 1.700 \text{ cm} = 2.748.893,57 \text{ cm}^3 \approx 2,75 \text{ m}^3;$$

$$V_{\text{total}} = V * 4 \quad \rightarrow \quad 2,75 \text{ m}^3 * 4 = 11 \text{ m}^3;$$

Aço:

$$M_{\text{aço}} = M_{\text{aço longitudinal}} + M_{\text{aço transversal}} = 293,47 \text{ kg} + 48,10 \text{ kg} \approx 341,57 \text{ kg};$$

$$M_{\text{total}} = M_{\text{aço}} * 4 = 1.366,28 \text{ kg}.$$

Tabela 14 – Análise comparativa de materiais

ESTACA DN 500,00 mm		ESTACA DN 600,00 mm		ESTACA DN 700,00 mm	
Resultados		Resultados		Resultados	
Volume de concreto	2,75 m ³	Volume de concreto	3,96 m ³	Volume de concreto	4,62 m ³
Massa aço longitudinal	293,47 kg	Massa aço longitudinal	207,16 kg	Massa aço longitudinal	177,56 kg
Massa aço transversal	48,10 kg	Massa aço transversal	59,90 kg	Massa aço transversal	72,70 kg
4,00	341,57	4,00	267,06	4,00	250,26
	1.366,28 kg		1.068,23 kg		1.001,05 kg
Comparação relativa	69%	Comparação relativa	100%	Comparação relativa	117%
DN 500/DN 600	128%	DN 600/DN 600	100%	DN 700/DN 600	94%
Custo total de concreto	R\$ 3.146,82	Custo total de concreto	R\$ 4.531,43	Custo total de concreto	R\$ 5.286,66
Custo total de aço	R\$ 1.235,51	Custo total de aço	R\$ 872,13	Custo total de aço	R\$ 747,54
Custo total de materiais	R\$ 4.382,33	Custo total de materiais	R\$ 5.403,56	Custo total de materiais	R\$ 6.034,20
	80%		100%		112%
Valor m ³ de concreto	R\$ 286,19	Fonte: http://tcpoweb.pini.com.br			
Valor kg de aço	R\$ 4,21				

11 CONCLUSÃO

A partir da geometria indicada no item 7 e das ações descritas na tabela 15 – Anexo I procedeu-se, no item 9 deste documento, ao dimensionamento das fundações, em concreto armado, do prédio da ciclonagem a ser instalado nas dependências do cliente, nas Minas da região central de MG. Pode-se observar que todos os critérios relacionados aos estados limites dos elementos estruturais foram atendidos, desta forma o dimensionamento estrutural atende aos requisitos das normas vigentes.

No que diz respeito às análises comparativas apresentadas no item 10, considerando as características específicas apresentadas neste projeto, os estudos indicam que a utilização da

alternativa de estaqueamento com diâmetro menor e comprimento maior, ainda que dispenda um percentual maior de aço (material mais nobre, em termos de custo), da ordem de 28%, conduz a uma relação custo-benefício mais propícia, reduzindo em 20% o impacto do quantitativo de materiais no custo total das estruturas de fundação. Observa-se, neste caso, que o concreto é o principal responsável pela condução do custo-benefício. Outro fator interessante se refere à capacidade de carga geotécnica, que também se apresentou mais favorável nesta mesma alternativa. Em função do maior comprimento deste estaqueamento a capacidade de carga devido ao atrito lateral aumenta sua contribuição consideravelmente, tornando a referida opção mais atrativa, também, por questões de segurança. As análises acima apresentadas dizem respeito somente aos materiais especificados na tabela 14 e não consideraram os custos relativos à logística de equipamentos e perfurações.

Cabe ressaltar que para condições geotécnicas distintas daquelas utilizadas neste trabalho, os resultados podem apresentar valores diferenciados, passíveis, portanto, de uma análise exclusiva.

12 REFERÊNCIAS

AOKI, N.; CINTRA, J. C.A. Fundações por estacas: Projeto Geotécnico, São Paulo: Oficina de Textos, 2010, 96 p;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6122 – Projeto e execução de Fundações, Brasil, 2010, 91 p;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT: Método de Ensaio, Brasil, 2001, 17 p;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8036 – Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios, Brasil, 1983, 3 p;

Book Company - 1984 GEOFIX (1998), Hélice contínua monitorada, Catálogo técnico, São Paulo: Geofix;

BOWLES. J. E., (1968), Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, Nova York, 657p;

DÉCOURT. L. Análise e projeto de fundações profundas: estacas, In: HACHICH et al, (eds.), Fundações: teoria e prática, São Paulo: Pini, 1996, P. 265-301;

FUNDAÇÕES: TEORIA E PRÁTICA, — 2, ed. São Paulo: Pini, 1998, Vários autores, Vários editores técnicos Bibliografia, ISBN 85-7266-098-4 Fundações;

FUSCO, PÉRICLES BRASILIENSE 1930, Técnica de armar as estruturas de concreto, São Paulo: Editora Pini, 1995. 378 p.

JIMENEZ MONTOYA. P.; GARCIA MESEGNER. A.; MORAN CABRE. F. - Hormigón Armado, Barcelona, Gustavo Gili, v.1. 1979;

PENNA, A.S.D.; CAPUTO. A.N.; MAIA. M.C.; PALERMO. G.; GOTLIEB. M.; PARAÍSO. S.C.; ALONSO. U.R. (1999). A estaca hélice-contínua – a experiência atual, 1ª ed.;

SILVEIRA, J.E.S., Curso de estruturas de fundações: UFMG/Departamento de Engenharia de Estruturas. et al, Material Didático;

SOARES, J. M. D., Fundações em estacas, Santa Maria: UFSM/Departamento de Engenharia Civil, 56 p, Material Didático;

TEIXEIRA, A. H. Projeto e execução de fundações, In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 3, 1996, São Paulo, Anais, São Paulo, 1996, v. 1. P. 33-50.

APÊNDICES E ANEXOS

Tabela 15 - Ações no montante devido estrutura metálica.

TABLE: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	kgf	kgf	kgf	kgf-cm	kgf-cm	kgf-cm
1	DEAD	LinStatic	66,3	87,98	6235,04	-647,64	3,4	-0,03157
	HIDROCICLONE	LinStatic	4,36	6,17	4047,69	-338,97	57,44	-0,06712
	SC, MANUTENCAO	LinStatic	6,08	8,09	5348,6	-441,57	123,4	-0,06271
	PP-TUBO	LinStatic	0,28	0,86	621,99	-42,42	-71,06	-0,005988
	SC-POLPA	LinStatic	0,53	1,62	1171,21	-80,11	-133,55	-0,0117
	VENTO 0	LinStatic	236,32	-328,83	-2949,21	5947,53	12460,48	4,77
	VENTO 90	LinStatic	2266,42	12,65	10729,51	-657,42	18027,16	-0,26
	PP-ESCADA	LinStatic	-171,43	33,43	-736,76	-465,62	-870,59	-0,09338
	SC-ESCADA	LinStatic	-360,05	70,22	-1547,41	-977,93	-1828,49	-0,2
	SC-MONOVIA	LinStatic	9,9	7,46	514,24	145,22	202,09	0,06512
	PP-TALHA	LinStatic	1,8	1,35	93,33	26,36	36,68	0,01182
SC-COBERTURA	LinStatic	0,82	1,07	658,92	-55,98	15,66	0,009264	
2	DEAD	LinStatic	-56,77	398,32	5477,97	411,47	2118,07	-0,43
	HIDROCICLONE	LinStatic	-4,41	288,51	3902,66	248,08	-163,11	-0,22
	SC, MANUTENCAO	LinStatic	-6,16	395,31	5348,98	307	-216,86	-0,34
	PP-TUBO	LinStatic	-0,26	-25,42	-339,41	-23,34	-74,69	0,05094
	SC-POLPA	LinStatic	-0,49	-47,65	-636,21	-43,75	-140,45	0,0954
	VENTO 0	LinStatic	-267,42	97,66	599,03	-423,5	-12073,81	3,31
	VENTO 90	LinStatic	2392,07	-621,04	-11348,98	-528,9	24365,47	0,36
	PP-ESCADA	LinStatic	241,09	208,38	4437,45	915,43	28237,18	-0,29
	SC-ESCADA	LinStatic	506,35	437,67	9319,92	1922,67	59306,17	-0,6
	SC-MONOVIA	LinStatic	6,01	91,2	2368,3	531,73	47,68	-0,04496
	PP-TALHA	LinStatic	1,09	16,55	429,85	96,51	8,65	-0,008161
SC-COBERTURA	LinStatic	-0,71	48,69	661,07	35,63	-28,38	-0,0512	
3	DEAD	LinStatic	71,39	-78,44	5897,32	580,08	23,52	0,03147
	HIDROCICLONE	LinStatic	4,36	-6,22	4047,57	340,1	57,51	0,06784
	SC, MANUTENCAO	LinStatic	6,08	-8,17	5349,15	442,96	123,48	0,06382
	PP-TUBO	LinStatic	0,32	-0,83	621,93	42,01	-70,81	0,00542
	SC-POLPA	LinStatic	0,6	-1,57	1171,09	79,33	-133,09	0,01063
	VENTO 0	LinStatic	-101,52	-322,85	-1326,24	5635,51	10042,88	4,6
	VENTO 90	LinStatic	2265,19	-13,21	10726,74	668,7	18021,38	0,26
	PP-ESCADA	LinStatic	-71,84	36,23	-1234,54	-611,83	-234,61	-0,15
	SC-ESCADA	LinStatic	-150,89	76,08	-2592,88	-1285,03	-492,75	-0,31
SC-MONOVIA	LinStatic	-8,84	8,46	-1194,97	91,97	31,05	0,05405	

	PP-TALHA	LinStatic	-1,6	1,53	-216,89	16,69	5,64	0,00981
	SC-COBERTURA	LinStatic	0,7	-0,96	661,1	53,11	14,2	-0,00924
4	DEAD	LinStatic	-80,93	-407,85	5006,49	-89,32	421,35	0,42
	HIDROCICLONE	LinStatic	-4,3	-288,46	3902,08	-249,15	-60	0,22
	SC, MANUTENCAO	LinStatic	-6	-395,23	5348,6	-308,76	-72,77	0,29
	PP-TUBO	LinStatic	-0,34	25,4	-339,35	23,77	-104,63	-0,04682
	SC-POLPA	LinStatic	-0,65	47,61	-636,09	44,56	-196,67	-0,0877
	VENTO 0	LinStatic	-609,23	-62,11	1980,65	-574,46	-14762,61	3,22
	VENTO 90	LinStatic	2394,4	621,59	-11346,22	519,17	24420,81	-0,36
	PP-ESCADA	LinStatic	2,18	-278,04	3453,85	504,69	7224,81	-0,01304
	SC-ESCADA	LinStatic	4,59	-583,97	7254,08	1059,99	15174,17	-0,02739
	SC-MONOVIA	LinStatic	-7,08	-107,12	312,43	500,08	86,19	0,22
	PP-TALHA	LinStatic	-1,28	-19,44	56,71	90,76	15,64	0,04054
	SC-COBERTURA	LinStatic	-0,81	-48,8	658,91	-33,39	-11,64	0,03906

Fonte: Software SAP-2000 v.14.

LOCAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM

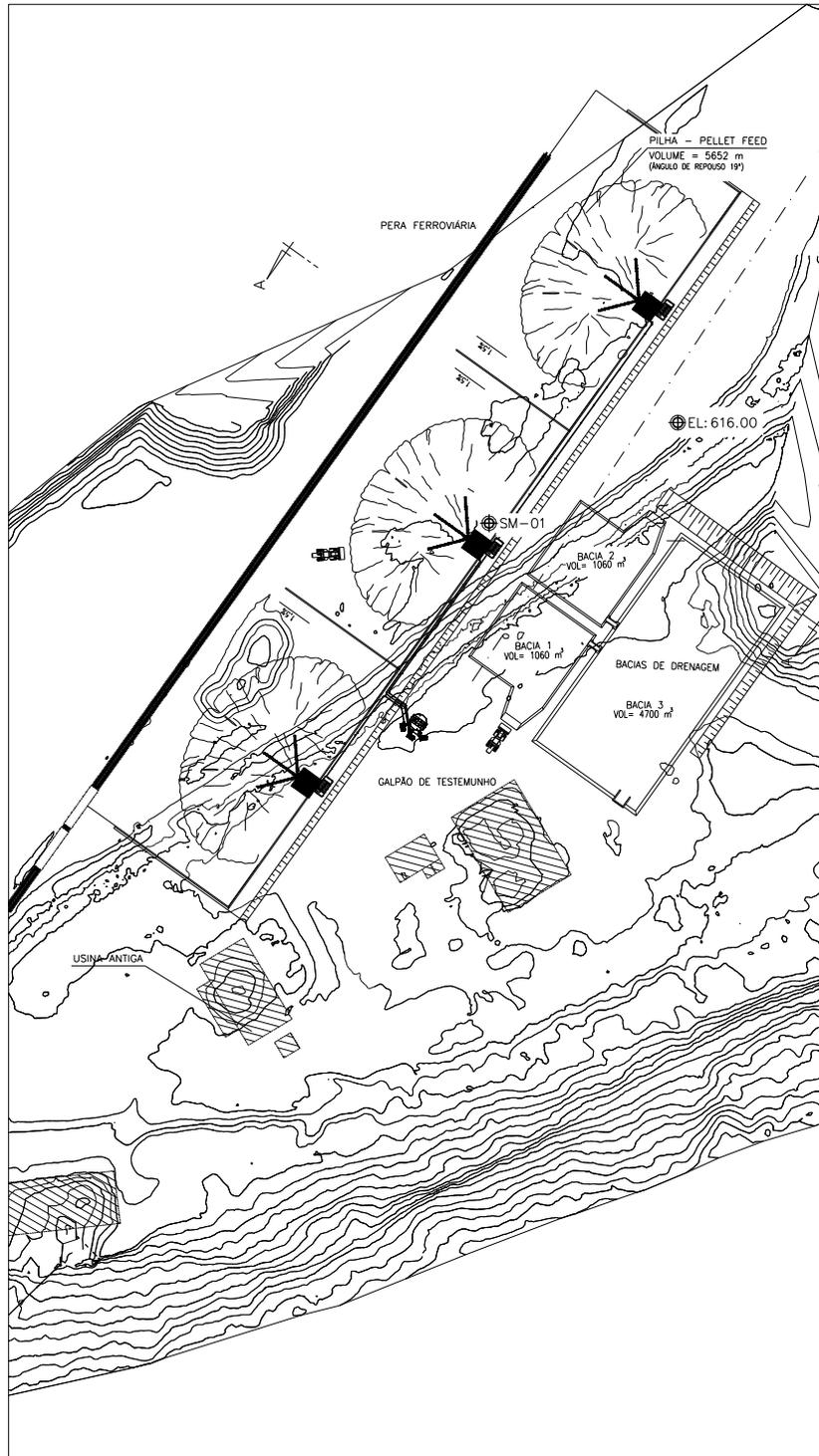


Imagem 7 – Plano de sondagens - Furo SM-01.

Cota (m)	N° SPT	Tipo do solo							Tipo de Estaca
		Argila Siltosa	Argila Arenosa	Silte Argiloso	Silte Arenoso	Areia Argilosa	Areia Siltosa	Areia	
1	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> Premoldada (concreto) <input type="radio"/> Franki <input checked="" type="radio"/> Hélice Contínua <input type="radio"/> Escavadas sem revestimentos <input type="radio"/> Escavadas com revestimentos ou lama <input type="radio"/> Hollow Auger <input type="radio"/> Raiz
2	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	36	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Comprimento total da estaca (m)	14,0	m	ok
Diâmetro seção circular	600,0	mm	*
Volume base alargada (Franki) (L)		litros	
Tipo de carregamento método "P.P.C.V"	Compressão		*

Resultado dos Métodos				
Carga admissível da estaca (t)				
Capacidade de carga total da estaca (t)				
Capacidade de carga resistência de ponta (t)				
Capacidade de carga atrito lateral (t)				
Pedro Paulo Costa Velloso	137,1	62,9	200,0	80,0
Aoki-Velloso	60,7	108,9	169,6	84,8
Decourt-Quaresma	95,3	66,4	161,7	89,9
Alberto Henriques Teixeira	90,5	67,9	158,3	77,3
Urbano Rodrigues Alonso	87,6	63,0	150,6	75,3
Média dos processos	94,2	73,8	168,0	81,5

Imagem 9 - Planilha de Excel – Capacidade de carga das estacas Ø 600,00 mm, métodos semi-empíricos. Fonte: <http://www.sitengenharia.com.br>.

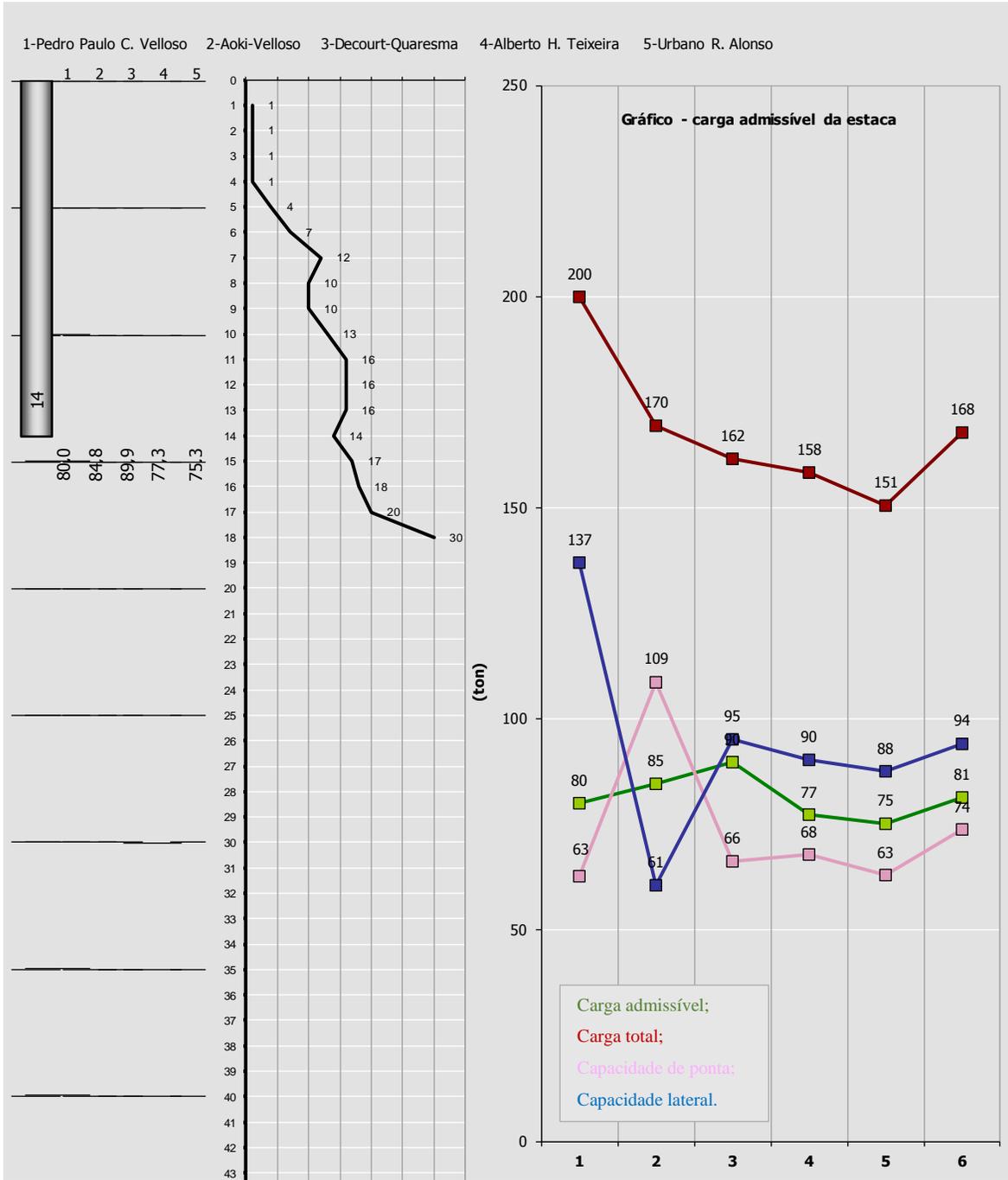


Imagem 10 - Planilha de Excel – Gráfico capacidade de carga das estacas Ø 600 mm, métodos semi-empíricos.

Fonte: <http://www.sitengenharia.com.br>.

Tabela 16 – Planilha de cálculo auxiliar – Método P.P.C. Velloso

Método						
Pedro Paulo Costa Velloso						
COTA	SPT	Tipo do solo	SPT considerado	C_i t/m ² .N	C_p t/m ² .N (acima)	C_p t/m ² .N (abaixo)
1	1	SAR	1	0,8		
2	1	SAR	1	0,8		
3	1	ARGA	1	0,8		
4	1	ARGA	1	0,63		
5	4	SAR	4	2,52		
6	7	SAR	7	5,6		
7	12	SAR	12	9,6		
8	10	SAR	10	8		
9	10	SAR	10	8	400	
10	13	SAR	13	10,4	520	
11	16	SAR	16	12,8	640	
12	16	SAR	16	12,8	640	
13	16	SAR	16	12,8	640	
14	14	SAR	14			560
15	17	SAR	17			680
16	18	ARE	18			
17	20	ARE	20			
18	30		30			
19	0		0			
20	0		0			
Compressão		Tração				
λ_i	1	λ_i	0		α_i	0,85
λ_p	1	λ_p	0		α_p	0,5

Tabela 17 – Planilha de cálculo auxiliar – Método Aoki - Velloso

Método						
Aoki-Velloso						
COTA	SPT	Tipo do solo	SPT considerado	$\alpha(\%),K(t/m^2)$	$\alpha(\%),K(t/m^2),N$	
1	1	SAR	1	1,21	1,21	
2	1	SAR	1	1,21	1,21	
3	1	ARGA	1	1,21	1,21	
4	1	ARGA	1	0,84	0,84	
5	4	SAR	4	0,84	3,36	
6	7	SAR	7	1,21	8,47	
7	12	SAR	12	1,21	14,52	
8	10	SAR	10	1,21	12,1	
9	10	SAR	10	1,21	12,1	
10	13	SAR	13	1,21	15,73	
11	16	SAR	16	1,21	19,36	
12	16	SAR	16	1,21	19,36	
13	16	SAR	16	1,21	19,36	
14	14	SAR	14	1,21		
15	17	SAR	17	1,21		
16	18	ARE	18	1,21		
17	20	ARE	20	1,4		
18	30		30	1,4		
19	0		0	0		
20	0		0	0		
F1	2					
F2	4					

Tabela 18 – Planilha de cálculo auxiliar – Método Décourt-Quaresma

Método						
Décourt-Quaresma						
COTA	SPT	Tipo do solo	SPT considerado	$1/3\beta.N$	$\alpha.K.N$	
1	1	SAR	3	1,8	0	
2	1	SAR	3	1,8	0	
3	1	ARGA	3	1,8	0	
4	1	ARGA	3	2	0	
5	4	SAR	4	2,33333333	0	
6	7	SAR	7	3	0	
7	12	SAR	12	4,5	0	
8	10	SAR	10	3,9	0	
9	10	SAR	10	3,9	0	
10	13	SAR	13	4,8	0	
11	16	SAR	16	5,7	0	
12	16	SAR	16	5,7	0	
13	16	SAR	16	5,7	240	
14	14	SAR	14	0	210	
15	17	SAR	17	0	255	
16	18	ARE	18	0	0	
17	20	ARE	20	0	0	
18	30		30	0	0	
19	0			0	0	
20	0			0	0	

Tabela 19 – Planilha de cálculo auxiliar – Método A.H. Teixeira

Método						
Alberto Henriques Teixeira						
COTA	SPT	Tipo do solo	SPT considerado	β	$\alpha.N$	
1	1	SAR	4	0,4	0	
2	1	SAR	4	0,4	0	
3	1	ARGA	4	0,4	0	
4	1	ARGA	4	0,4	0	
5	4	SAR	4	0,4	0	
6	7	SAR	7	0,4	0	
7	12	SAR	12	0,4	0	
8	10	SAR	10	0,4	0	
9	10	SAR	10	0,4	0	
10	13	SAR	13	0,4	0	
11	16	SAR	16	0,4	0	
12	16	SAR	16	0,4	256	
13	16	SAR	16	0,4	256	
14	14	SAR	14	0,4	0	
15	17	SAR	17	0,4	0	
16	18	ARE	18	0,4	0	
17	20	ARE	20	0,4	0	
18	30		30	0,4	0	
19	0			0	0	
20	0			0	0	

Tabela 20 – Planilha de cálculo auxiliar – Método U.R. Alonso

Método						
Urbano Rodrigues Alonso						
COTA	SPT	Tipo do solo	SPT considerado	8db (acima)	3db (abaixo)	α
1	1	SAR	1	0	0	0,65
2	1	SAR	1	0	0	0,65
3	1	ARGA	1	0	0	0,65
4	1	ARGA	1	0	0	0,65
5	4	SAR	4	0	0	0,65
6	7	SAR	7	0	0	0,65
7	12	SAR	12	0	0	0,65
8	10	SAR	10	0	0	0,65
9	10	SAR	10	150	0	0,65
10	13	SAR	13	195	0	0,65
11	16	SAR	16	240	0	0,65
12	16	SAR	16	240	0	0,65
13	16	SAR	16	240	0	0,65
14	14	SAR	14	0	210	0,65
15	17	SAR	17	0	255	0,65
16	18	ARE	18	0	0	0,65
17	20	ARE	20	0	0	0,65
18	30		30	0	0	0,65
19	0		0	0	0	0,00
20	0		0	0	0	0,00

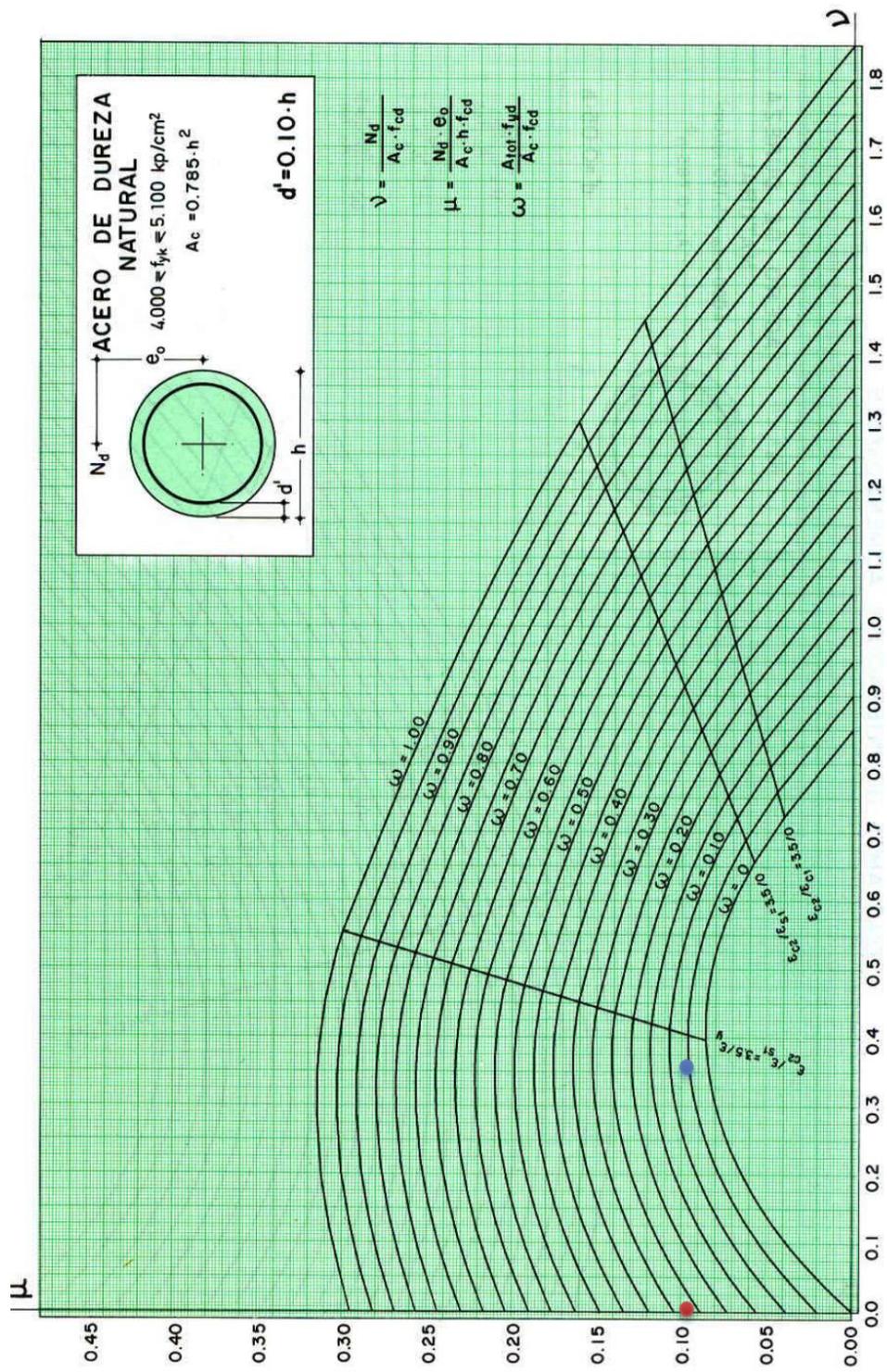


Figura 12 – Ábaco de interação adimensional (Hormigón Armado – P. Jimenez Montoya).

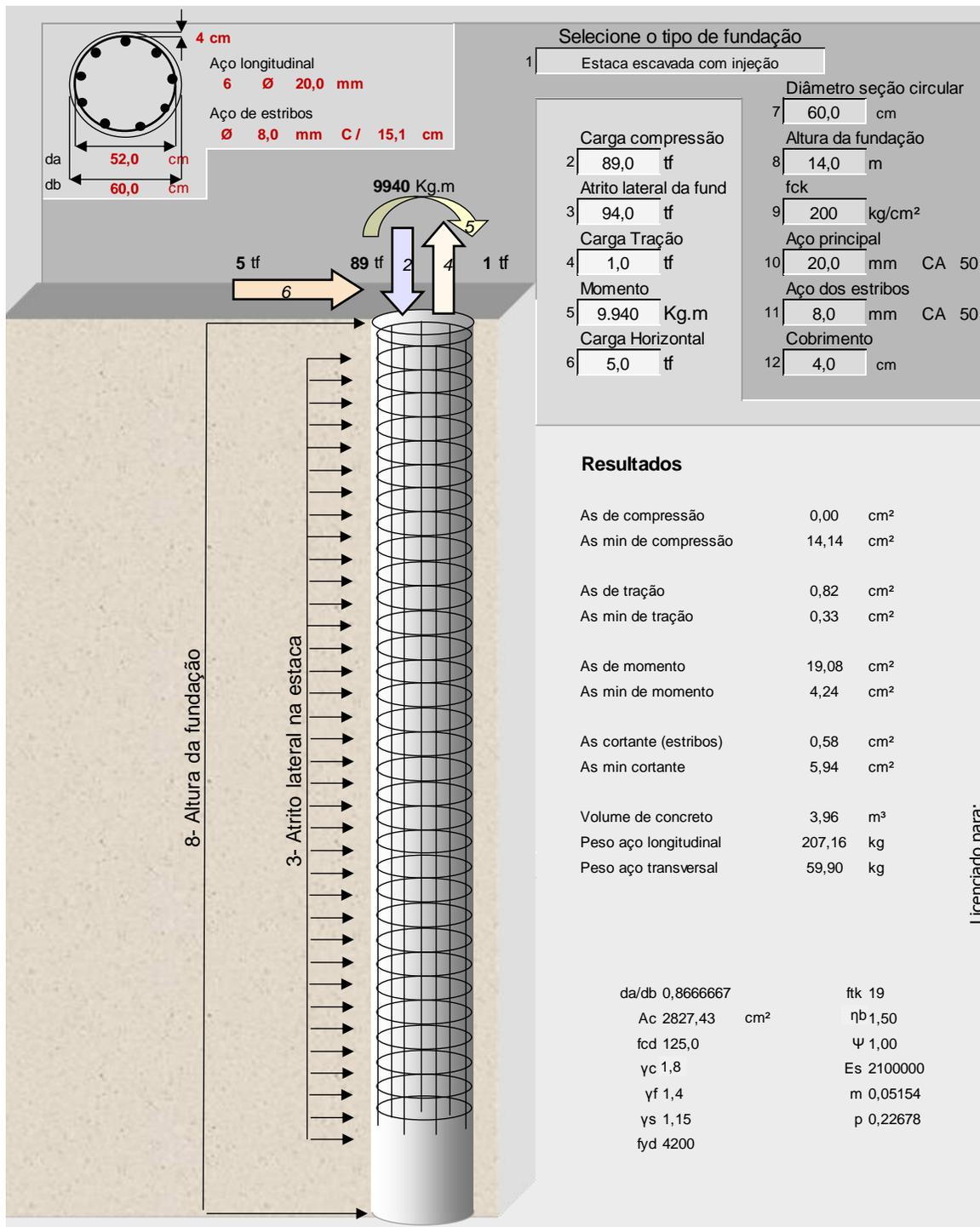


Imagem 11 - Planilha de Excel – Dimensionamento estrutural estacas Ø 600 mm, L=14 m com carga vertical.

Fonte: <http://www.sitengenharia.com.br>.

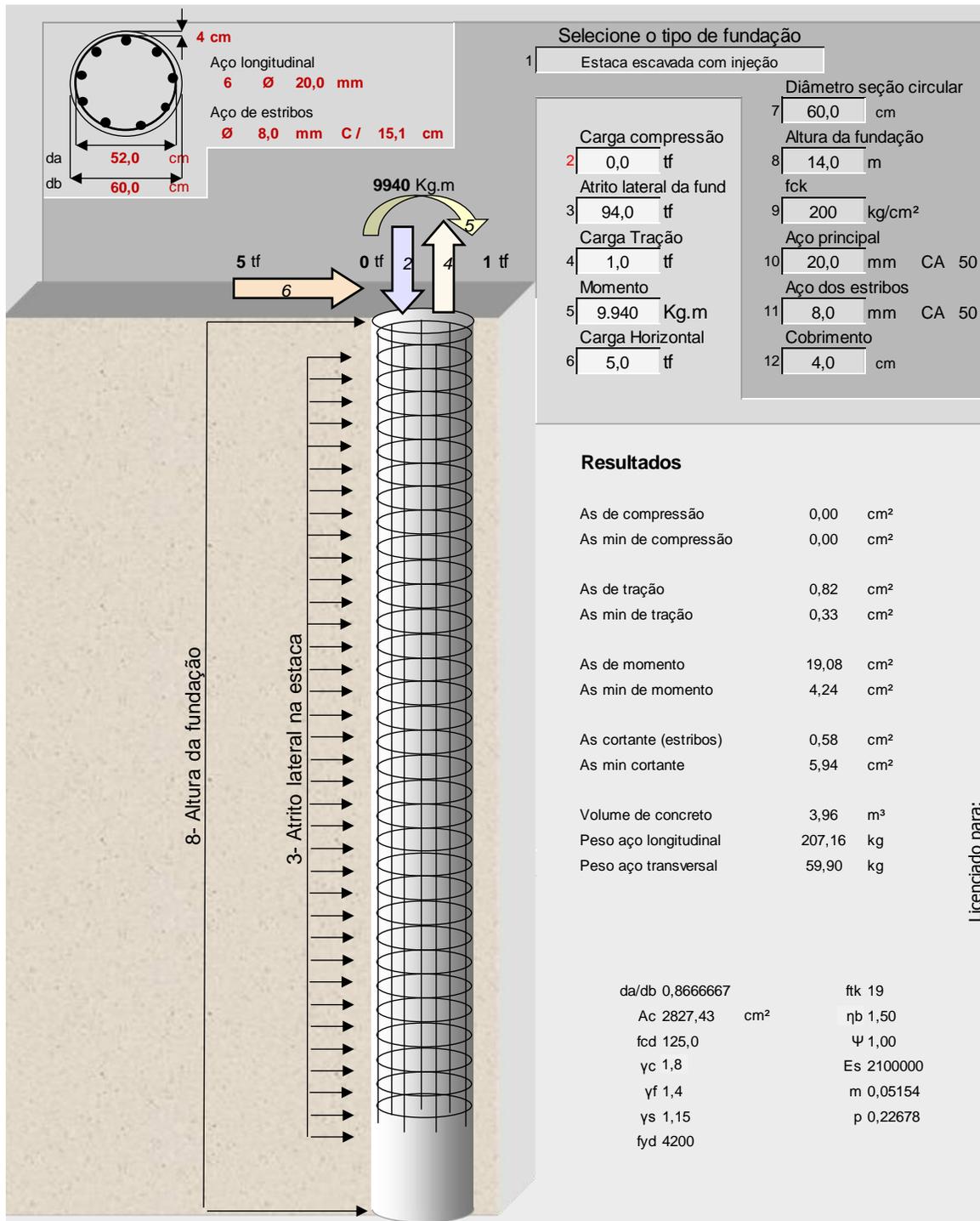


Imagem 12 - Planilha de Excel – Dimensionamento estrutural estacas Ø 600 mm, L=14 m sem carga vertical.

Fonte: <http://www.sitengenharia.com.br>.

Cota (m)	N° SPT	Tipo do solo							Tipo de Estaca
		Argila Siltosa	Argila Arenosa	Silte Argiloso	Silte Arenoso	Areia Argilosa	Areia Siltosa	Areia	
1	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> Premoldada (concreto) <input type="radio"/> Franki <input checked="" type="radio"/> Hélice Contínua <input type="radio"/> Escavadas sem revestimentos <input type="radio"/> Escavadas com revestimentos ou lama <input type="radio"/> Hollow Auger <input type="radio"/> Raiz
2	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	36	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Comprimento total da estaca (m)	17,0	m	ok
Diâmetro seção circular	500,0	mm	*
Volume base alargada (Franki) (L)		litros	
Tipo de carregamento método "P.P.C.V"	Compressão		*

Resultado dos Métodos				
Carga admissível da estaca (t)				
Capacidade de carga total da estaca (t)				
Capacidade de carga resistência de ponta (t)				
Capacidade de carga atrito lateral (t)				
Pedro Paulo Costa Velloso	166,6	83,8	250,3	100,1
Aoki-Velloso	73,9	196,3	270,2	135,1
Decourt-Quaresma	107,4	83,1	190,5	103,4
Alberto Henriques Teixeira	106,2	80,5	186,7	90,9
Urbano Rodrigues Alonso	106,1	73,0	179,1	89,6
Média dos processos	112,0	103,4	215,4	103,8

Imagem 13 - Planilha de Excel – Capacidade de carga das estacas Ø 500 mm, métodos semi-empíricos. Fonte: <http://www.sitengenharia.com.br>.

Cota (m)	Nº SPT	Tipo do solo							Tipo de Estaca
		Argila Siltosa	Argila Arenosa	Silte Argiloso	Silte Arenoso	Areia Argilosa	Areia Siltosa	Areia	
1	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> Premoldada (concreto) <input type="radio"/> Franki <input checked="" type="radio"/> Hélice Contínua <input type="radio"/> Escavadas sem revestimentos <input type="radio"/> Escavadas com revestimentos ou lama <input type="radio"/> Hollow Auger <input type="radio"/> Raiz
2	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	36	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Comprimento total da estaca (m)	12,0 m	ok
Diâmetro seção circular	700,0 mm	*
Volume base alargada (Franki) (L)	litros	
Tipo de carregamento método "P.P.C.V"	Compressão	*

Resultado dos Métodos				
Carga admissível da estaca (t)				
Capacidade de carga total da estaca (t)				
Capacidade de carga resistência de ponta (t)				
Capacidade de carga atrito lateral (t)				
Pedro Paulo Costa Velloso	112,1	74,1	186,2	74,5
Aoki-Velloso	49,5	169,3	218,9	109,4
Decourt-Quaresma	85,2	92,4	177,6	88,7
Alberto Henriques Teixeira	77,4	89,3	166,7	73,9
Urbano Rodrigues Alonso	71,9	78,9	150,8	75,4
Média dos processos	79,2	100,8	180,0	84,4

Imagem 14 - Planilha de Excel – Capacidade de carga das estacas Ø 700 mm, métodos semi-empíricos. Fonte: <http://www.sitengenharia.com.br>.

Tabela 21 – Resultados parciais – Estaca Ø 600 mm.

ESTACA DN 600 mm				
Resultados				
As de compressão			0	cm ²
As min de compressão			14,14	cm ²
As de tração			8,18	cm ²
As min de tração			3,33	cm ²
As de momento			19,52	cm ²
As min de momento			4,24	cm ²
As cortante (estribos)			0	cm ²
As min cortante			5,94	cm ²
Volume de concreto			3,96	m ³
Peso aço longitudinal			207,16	kg
Peso aço transversal			59,90	kg
	4		267,06	1.068,23
da/db	0,83		ftk	19
Ac	2.827,43	cm ²	ηb	2,25
fcd	125			
γc	1,8		Es	2.100.000
γf	1,4		m	0,05
γs	1,15		ρ	0,23
fyd	4.200			

Tabela 22 – Resultados parciais – Estaca Ø 500 mm.

ESTACA DN 500 mm				
Resultados				
As de compressão			0	cm ²
As min de compressão			9,82	cm ²
As de tração			8,18	cm ²
As min de tração			3,33	cm ²
As de momento			24,29	cm ²
As min de momento			2,95	cm ²
As cortante (estribos)			0,3	cm ²
As min cortante			4,95	cm ²
Volume de concreto			2,75	m ³
Peso aço longitudinal			293,47	kg
Peso aço transversal			48,10	kg
	4		341,57	1.366,28
da/db	0,8		ftk	19
Ac	1.963,5	cm ²	ηb	1,5
fcd	125			
γc	1,8		Es	2.100.000
γf	1,4		m	0,09
γs	1,15		ρ	0,42
fyd	4.200			

Tabela 23 – Resultados parciais – Estaca Ø 700 mm.

ESTACA DN 700 mm				
Resultados				
As de compressão		0	cm ²	
As min de compressão		19,24	cm ²	
As de tração		8,18	cm ²	
As min de tração		3,33	cm ²	
As de momento		16,36	cm ²	
As min de momento		5,77	cm ²	
As cortante (estribos)		0	cm ²	
As min cortante		6,93	cm ²	
Volume de concreto		4,62	m ³	
Peso aço longitudinal		177,56	kg	
Peso aço transversal		72,70	kg	
	4,00	250,26		1.001,04
da/db	0,86		ftk	19
Ac	3.848,45	cm ²	ηb	1,5
fcd	125			
γc	1,8		Es	2.100.000
γf	1,4		m	0,03
γs	1,15		ρ	0,14
fyd	4.200			