

UNIVERSIDADE FUMEC
NÚCLEO DE PÓS GRADUAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO (Engenharia de Estruturas)

SISTEMA DE FUNDAÇÕES EM RADIER ESTAQUEADO:
estudo de um caso

Vagner de Jesus Vieira

Belo Horizonte
Novembro/2015

Vagner de Jesus Vieira

**SISTEMA DE FUNDAÇÕES EM RADIER ESTAQUEADO:
estudo de um caso**

Trabalho apresentado para a Conclusão
de Curso de Especialização em
Engenharia de Estruturas – Núcleo de
Pós Graduação – Universidade FUMEC.

Belo Horizonte – MG

Novembro/2015

Vagner de Jesus Vieira

**SISTEMA DE FUNDAÇÕES EM RADIER ESTAQUEADO:
estudo de um caso**

Trabalho aprovado pelo professor orientador de conteúdo e metodologia
do Curso de Especialização em Engenharia de Estruturas - Núcleo de Pós
Graduação - Universidade Fumec.

Professor Daniel Lelis de Almeida
Orientador de Conteúdo e Metodologia

Belo Horizonte – MG
Novembro/2015

*Aos professores e amigos da Faculdade que
acreditaram e apoiaram meu trabalho.*

RESUMO

A partir de uma demanda industrial, com um projeto arrojado e prazo curto para sua execução, iniciou-se um estudo para se encontrar soluções de fundações mais eficientes do ponto de vista funcional e que combinassem segurança e velocidade. O empreendimento localiza-se em um terreno com solo de má qualidade geotécnica (solos argilosos moles e colapsíveis). Para estes tipos de solo, os sistemas de fundação exigem o emprego de fundações profundas (estacas isoladas, grupo de estacas e tubulões), respeitando-se os critérios de segurança da edificação, mas, ao mesmo tempo encarecendo o custo do empreendimento. O presente estudo pretende validar, numericamente, a aplicação do sistema de radier estaqueado sobre estes solos, combinado com uma camada de solo melhorada com espessura finita, a fim de demonstrar que, conjuntamente, ambos podem absorver as tensões de colapso nos primeiros metros, e, assim, permitam assegurar uma estrutura mais eficiente e segura. A aplicação do radier estaqueado sobre solos moles propõe uma alternativa arrojada e eficiente quando existe viabilidade e a classificação da metodologia de projeto o permite. Neste estudo se apresenta as vantagens e desvantagens do uso deste sistema. A previsão da capacidade de carga de estacas constitui-se um dos desafios da engenharia de fundações, por requerer, na teoria, a estimativa das propriedades do solo, suas alterações pela execução da fundação e o conhecimento do mecanismo de interação solo-estaca. Devido à dificuldade para se reproduzir analítica e numericamente o mecanismo de interação solo-estaca, a prática brasileira faz uso de correlações empíricas, relacionando diretamente os resultados do ensaio SPT com o desempenho do elemento de fundação. Apesar da grande contribuição dos métodos tradicionalmente usados, sua validade está limitada à prática construtiva regional e às condições específicas dos casos históricos utilizados em seu estabelecimento. Com o objetivo de incorporar à engenharia brasileira de fundações um novo método de previsão da capacidade de carga de estacas obtido diretamente, a partir de ensaios SPT, desenvolveu-se, nesta pesquisa uma metodologia baseada na interpretação do ensaio SPT. Observando esta nova interpretação, utiliza-se a força dinâmica de reação do solo à cravação do amostrador SPT, para estimar a capacidade de carga de estacas, relacionando os mecanismos de mobilização de resistência do amostrador (modelo) com os da estaca (protótipo). Conclui-se, a partir de análises comparativas entre cargas previstas e medidas, que o método proposto é capaz de prever, de forma satisfatória, a capacidade de carga de estacas. Uma análise estatística dos dados possibilita atribuir à estimativa de capacidade de carga um intervalo de confiança das previsões baseado na confiabilidade requerida para o projeto. Essas análises foram controladas por meio de critérios de recalque admissível, distorção angular, tensões máximas de projeto, fator de segurança global do sistema e parcial do grupo de estacas. Por fim, escolheram-se as melhores soluções a serem empregadas.

Palavras-chave: Radier Estaqueado; Solos Argilosos; Fundações.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Valores da carga de ruptura convencional obtidos nas provas de carga.	15
FIGURA 2 - Modelo de elementos finitos de um radier estaqueado	18
FIGURA 3 - Tipos de sistemas de fundação: a) grupo de estacas, b) radier estaqueado, c) radier estaqueado combinado, d) radier, e) estaca isolada..	19
FIGURA 4 - Geologia e geotecnia no município de Brumadinho.	22
FIGURA 5 - Planta locação das torres 1 e 2 – UTM Brumadinho.	33
FIGURA 6 - Locação dos pilares com a indicação das cargas individuais.	34
FIGURA 7 - Locação dos pilares com a indicação das cargas individuais da torre 2.	34
FIGURA 8 - Locação das estacas e radier da torre 1	35
FIGURA 9 - Locação das estacas e radier da torre 2.....	36
FIGURA 10 - Detalhe do corte e dimensões do radier estaqueado.	36
FIGURA 11 - Laudo de Sondagem SPT nas cotas de implantação das torres da UTM.	38
FIGURA 12 - Croqui esquemático do local dos furos de sondagem SPT.	41
FIGURA 13 - Distribuição das tensões considerando estacas e radier trabalhando em conjunto.....	44
FIGURA 14 - Escavação das estacas do radier estaqueado da torre 1 da UTM. ...	51
FIGURA 15 - Forma e Armação do radier estaqueado da torre 1 da UTM.	53
FIGURA 16 - Detalhe do Chumbador da chapa de base do apoio dos pilares – Torres 1 e 2.....	55
FIGURA 17 - Concretagem do radier estaqueado da torre 1 da UTM	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Valores da carga de ruptura convencional obtidos nas provas de carga	25
TABELA 2 - Parâmetros de dimensionamento	31
TABELA 3 - Mapa de cargas da estrutura - Torre 1	32
TABELA 4 Mapa de cargas da estrutura - Torre 2	33
TABELA 5 - Relatório de resultados de SPT no furo sp 05.	39
TABELA 6 - Relatório de resultados de SPT no furo sp 02.	40
TABELA 7 - Módulo de reação do solo ks1 em kgf/cm ²	42
TABELA 8 - Valor de resistência das estacas por unidade (carga de ponta).	43
TABELA 9 - Valor de resistência do Radier/solo por Área de influência.	43
TABELA 10 - Distribuição do peso próprio do radier.	43
TABELA 11 - Determinação do coeficiente de segurança.	45

LISTA DE SÍMBOLOS

c	Coesão do solo
e	Índice de vazios; expoente de eficiência de Fleming
fs	Tensão de atrito lateral mobilizado
fb	Resistência de ponta da estaca em compressão
h	Espessura da camada de solo melhorada
k	Coeficiente de permeabilidade
w	Recalque da fundação
w	Teor de umidade natural
wr	Recalque do radier
wt	Recalque no topo da estaca
wrad	Recalque do radier
z	Profundidade
B	Largura da fundação
C	Coeficiente de colapso
C.A	Cota de arrasamento
CP	Porcentagem de colapso
Csm	Coesão do solo melhorado
D	Diâmetro da estaca
Ep	Módulo de elasticidade da estaca
Es	Módulo de elasticidade (Young) do solo
Ec	Módulo de elasticidade (Young) das estacas
Eradier	Módulo de elasticidade (Young) do radier
Esolo	Módulo de elasticidade (Young) do solo
Esm	Módulo de elasticidade (Young) do solo melhorado
FS	Fator de segurança
fs	Resistência por atrito lateral do ensaio de CPT
Gs	Módulo cisalhante do solo
H	Espessura da sapata ou radier
IP	Índice de plasticidade geotécnica
K	Rigidez relativa de uma estaca
K0	Coeficiente de empuxo no repouso
L	Comprimento da estaca

LL	Limite de liquidez
LP	Limite de Plasticidade
M	Carga momento
N	Número de estacas
N.I	Nível de implantação
N.S	Nível do solo
N.T	Nível do topo do radier
P	Carga atuante no topo de uma estaca; Carga vertical
Pt	Carga total atuante no radier estaqueado
Ppg	Carga absorvida pelo grupo de estacas
Pr	Carga absorvida pelo radier
Pult	Carga última de uma estaca ou de um radier
qc	Resistência de ponta do ensaio CPT
S	Espaçamento entre estacas
Wp	Peso próprio da estaca
γ	Ângulo de atrito
γ_{sm}	Ângulo de atrito do solo melhorado
γ_{nat}	Peso específico da amostra
γ_{sat}	Peso específico da amostra saturada
vc	Coeficiente de Poisson do concreto
vs	Coeficiente de Poisson do solo
vsm	Coeficiente de Poisson do solo melhorado
Cv	Coeficiente de variação
σ	Desvio padrão
σ_v	Tensões verticais
σ'_{v0}	Tensões efetivas iniciais no solo
σ'_{vr}	Tensões efetivas no solo gerado pelo radier isolado
$\Delta\sigma'_v$	Tensões efetivas atuantes no solo geradas pela aplicação do radier
esta	queado combinado
τ	Tensão cisalhante
δ	Recalque do radier estaqueado
ϵ_v	Deformação volumétrica do solo

ΔS	Recalque diferencial
Δw	Variação da umidade
δ_{\max}	Recalque máximo admissível

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCE	American Society of Civil Engineers
CPT	Ensaio de penetração de cone elétrico
CPT	Ensaio de Penetração de Cone Elétrico
FS	Fator de Segurança
ISSMFE	Sociedade Internacional de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica
ISSMGE	Sociedade internacional de mecânica de solos e engenharia
LCPC	Laboratório Central de Pontes e Estradas
MEC	Método dos Elementos de Contorno
MEF	Método dos Elementos Finitos
NBR	Norma Brasileira
NSPT	Número de golpes na sondagem a percussão
SPT	Sondagem a percussão dinâmica
SPT	Sondagem a percussão dinâmica
UTM	Unidade de Tratamento de Minério

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Dados do empreendimento	13
1.2	Necessidade	13
1.3	Soluções propostas	14
1.3.1	<i>Estacas escavadas.....</i>	<i>14</i>
1.3.2	<i>Radier Estaqueado.....</i>	<i>16</i>
1.4	Proposta.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Elementos a serem analisados no emprego do radier estaqueado.	19
2.2	Investigação geotécnica	21
2.2.1	<i>Características do solo em Brumadinho.....</i>	<i>21</i>
2.2.2	<i>Solos colapsíveis.....</i>	<i>23</i>
2.2.3	<i>Reforço de solo por compactação.....</i>	<i>25</i>
2.2.4	<i>Resistência do solo obtida a partir do ensaio de SPT</i>	<i>28</i>
2.2.5	<i>Estaca tipo trado mecanizado</i>	<i>29</i>
2.3	Dados para o cálculo do radier estaqueado	32
3	PROJETO	35
3.1	Compatibilização	36
3.2	Dimensionamento	41
3.3	Cuidados	45
3.4	Planejamento	46
4	EXECUÇÃO	48
4.1	ETapas da obra.....	48
4.1.1	<i>Locação topográfica</i>	<i>48</i>
4.1.2	<i>Escavação do radier.....</i>	<i>48</i>
4.1.3	<i>Compactação do radier</i>	<i>49</i>
4.1.4	<i>Escavação das estacas.....</i>	<i>50</i>
4.1.5	<i>Concretagem das estacas.....</i>	<i>51</i>
4.1.6	<i>Fretamento da cabeça das estacas.....</i>	<i>52</i>
4.1.7	<i>Eexecução das formas do radier.....</i>	<i>52</i>
4.1.8	<i>Montagem da armação do radier</i>	<i>53</i>
4.1.9	<i>Instalação dos insertes da torre metálica</i>	<i>54</i>
4.1.10	<i>Concretagem do radier.....</i>	<i>55</i>
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6	RESULTADOS.....	58
	REFERÊNCIAS.....	60
	ANEXOS - Anotações de Responsabilidade Técnica.....	64

1 INTRODUÇÃO

O Aluno de pós graduação responsável pela elaboração deste trabalho de conclusão de curso apresenta, neste estudo, um trabalho desenvolvido paralelamente ao curso de pós graduação. Para seu desenvolvimento, foi utilizado o conhecimento adquirido durante o curso, a orientação de colegas e professores, além do advindo das pesquisas bibliográficas apresentadas.

Através de um contrato entre a Áster Construtora Ltda (contratada) e a Green Metals S.A (contratante), o pós graduando atuou como engenheiro técnico responsável pelo projeto e pela execução de 59 fundações. Por se tratar de um projeto piloto de uma unidade de tratamento de minério de ferro que retira este minério de barragens de rejeito, o projeto foi desenvolvido em etapas, adequando o modelo em escala reduzida desenvolvido em laboratório, à realidade em escala real.

Neste estudo, busca-se apresentar as motivações que levaram à escolha do modelo construtivo adotado, bem como os parâmetros utilizados no projeto e na execução. Um ponto determinante foi o prazo proposto para a finalização da obra. Sem um projeto definido para toda a planta, fazer um planejamento seria uma missão quase impossível. Buscou-se, então, padronizar a metodologia, adaptando todas as necessidades em um mesmo processo.

A primeira fundação a ser executada seria determinante para o planejamento das demais. No entanto, foi determinado pelo cliente que a primeira fundação seria a da maior edificação existente na planta, uma torre de 35 metros de altura com uma base única de 320 metros quadrados e com múltiplas cargas concentradas de até 100 toneladas.

Os estudos de investigação do subsolo foram iniciados pela empresa Tecnosef, parceira da construtora Áster. Com os laudos de sondagem em mãos, os estudos de metodologias para se desenvolver o projeto de fundações chegaram a uma conclusão. Foi, portanto, desenvolvido o projeto de fundações das duas torres e dos Silos. A Rocha Vieira Engenharia, empresa do grupo da Áster construtora, tendo como engenheiro de projetos o mesmo responsável técnico, apresentou para a Green Metals o projeto com a solução proposta. Tendo sido aprovado o projeto, passou-se à etapa de orçamentos e concorrência, sendo que, mais uma vez, o

cliente se convenceu de que, além de uma proposta mais eficaz, a Áster conseguiu apresentar o melhor orçamento/custo para a execução da obra.

1.1 Dados do empreendimento

Trata se de uma Unidade de Tratamento de Minério (UTM) - localizada próxima a diversas minerações da região. As barragens das mineradoras fornecerão o rejeito para processamento e concentração magnética a seco.

Entre os objetivos da Green Metals está o investimento nas comunidades locais, gerar empregos, implantar projetos sociais, construir estradas e pavimentar vias.

Existe uma previsão de produção, nesta unidade, de 125.000 toneladas/mês de Minério Verde (Sinter Feed com teor de até 68% de Fe); a qual impedirá o consumo de 2,4 bilhões de litros de água por ano, através de processamento e concentração magnética de rejeitos estéril e minério de baixo teor, aplicando processos a seco.

Será feito o tratamento e disposição adequados de rejeitos, estéril de baixo teor proveniente de distintas mineradoras da região, objetivando aproveitarem, ao máximo, os insumos, eliminar um passivo ambiental (rejeito ou estéril), prolongar a vida útil das minas e evitar abertura de barragens de rejeitos.

O local da operação é o município de Brumadinho, ao lado do aterro sanitário municipal, a cerca de 70 km de Belo Horizonte.

1.2 Necessidade

Em qualquer empreendimento faz-se necessário um planejamento, o qual compreende na elaboração de um orçamento e um cronograma físico, objetivando atender os custos e prazos pré-definidos. No caso da empresa de engenharia, seu papel constitui em avaliar a estimativa e o cronograma, efetivar os serviços no tempo estabelecido considerando todos os regulamentos de segurança. Em geral, muito pouca atenção é dedicada ao processo de produção. Quando a produção fica em segundo plano, a rentabilidade fica comprometida, pois, os custos de obra, direta ou indiretamente, fogem da programação, devido aos prazos não cumpridos

ou à necessidade de retrabalhos, implicando o aumento de custos financeiros. Outro ponto relevante é que o setor torna-se, a cada dia, mais competitivo. Os custos estão cada vez mais altos, os prazos menores e os produtos exigem a utilização de mão de obra mais especializada. Soma-se a isso uma maior terceirização da mão-de-obra e uma maior exigência por parte dos clientes, sejam externos ou internos. (LIMA JÚNIOR, 1990).

Por todo o exposto, muitos são os estudos que tratam da necessidade de se racionalizarem os processos da construção civil, evitando-se para essa indústria grandes perdas, baixa produtividade e enormes desperdícios de tempo e de dinheiro. Sabe-se que muitos desses problemas têm origem no canteiro de obras. Portanto, o estudo do planejamento operacional, sob a ótica do canteiro de obras, é de fundamental importância para a melhoria do processo de construção e implicará melhores resultados, sob diversos aspectos, para todos os envolvidos. Especificamente, neste empreendimento, a imposição de um prazo específico para a execução da obra impactou nas escolhas de técnicas mais ágeis e que pudessem proporcionar a mesma segurança de uma obra convencional.

A obra teve, portanto, o cronograma definido em nove meses de duração, com o início no dia 5 de março de 2014 e término no dia 15 de dezembro do mesmo ano.

1.3 Soluções propostas

1.3.1 Estacas escavadas

O objetivo deste estudo é desenvolver um método de previsão de capacidade de carga de estacas, com base em resultados do ensaio SPT baseado na energia gasta na cravação do amostrador no solo. Por isso, serão apresentados, sucintamente, alguns métodos consagrados de previsão da capacidade de carga de fundações e alguns tópicos de relevância para o entendimento do mecanismo de transferência de energia no ensaio SPT, informações fundamentais para o entendimento do método proposto.

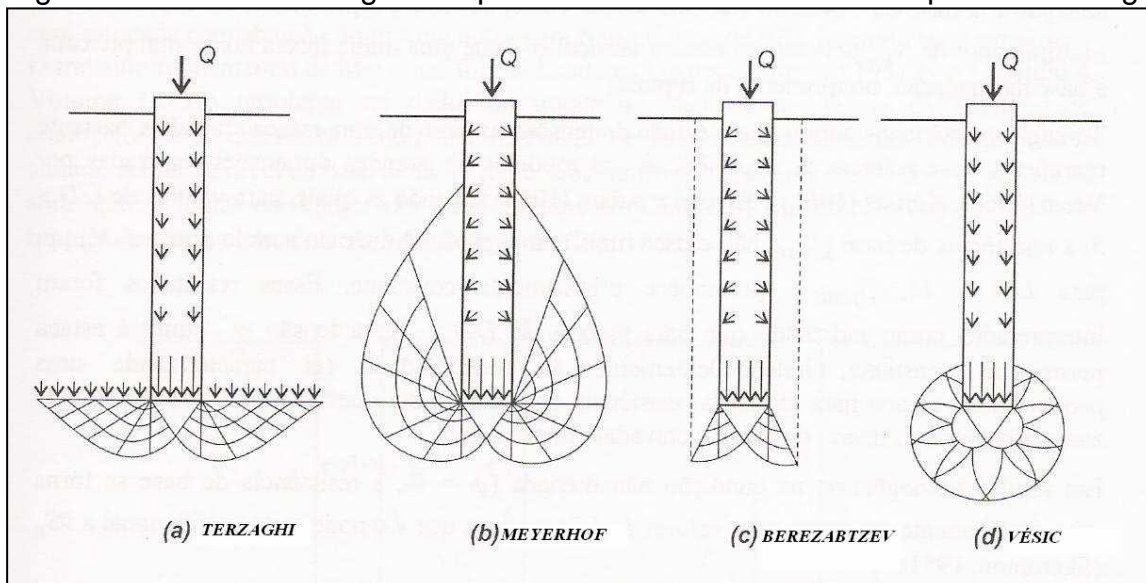
A Norma Brasileira (NBR) 6122/1994 define a carga admissível de uma estaca isolada como sendo a força que, aplicada sobre a estaca, provoca apenas

recalques compatíveis com a construção e oferecendo, simultaneamente, segurança satisfatória contra a ruptura do solo e do elemento de fundação. Como, geralmente, o solo é o material menos resistente, a capacidade de carga de uma fundação está condicionada às características geotécnicas finais do maciço que envolve a estaca (*i.e.* ao mecanismo de interação solo- estaca). (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

A capacidade de carga do maciço pode ser avaliada, através de métodos racionais ou por métodos semi-empíricos. Os métodos racionais ou teóricos utilizam soluções clássicas de capacidade de carga, a partir de parâmetros do solo, como ângulo de atrito e coesão. Já os métodos semi-empíricos baseiam-se em correlações entre a capacidade de carga do elemento com resultados de ensaios “*in situ*”, como o Ensaio de Penetração de Cone Elétrico (CPT) e o Sondagem a percussão dinâmica (SPT). (TERZAGHI apud LOBO, 2005).

São inúmeras as teorias clássicas para a determinação da capacidade de carga de fundações (BEREZANTZEV, 1961; MEYERHOF, 1951; 1976; TERZAGHI, 1943; VÉSIC, 1972 apud LOBO, 2005), cada uma postulando diferentes mecanismos de ruptura da base da estaca, conforme apresenta-se na Figura 1.

Figura 1 - Valores da carga de ruptura convencional obtidos nas provas de carga



Fonte: Lobo (2005).

1.3.2 Radier estaqueado

Na compreensão clássica de projeto de grupos de estacas, o número é localizado, “dividindo-se o carregamento total pela capacidade de carga de trabalho individual da estaca, buscando-se garantir um fator de segurança mínimo (“médio”) de dois a todas as estacas.” (SALES *et al.* 2014, p. 2). Os autores ensinam ainda que:

quando analisa-se a influência da rigidez do bloco, ainda dentro da concepção tradicional, geralmente, encontram-se carregamentos mais elevados nas estacas periféricas, o que, em muitos projetos, leva a um aumento do número de estacas, para se garantir um Fator de Segurança (FS) mínimo de dois a todas as estacas. (SALES *et al.* 2014, p. 2).

Com a metodologia de radier estaqueado, “busca-se encontrar uma configuração de estacas ligadas a um elemento horizontal que assegure níveis de carga de trabalho, recalque total e diferenciais para o conjunto” (SALES *et al.* 2014, p. 8), não havendo preocupação, contudo,

com a carga atuante em uma estaca em particular. Assim, é muito frequente a situação em que uma ou mais estacas estejam suportando carregamentos próximos ou iguais ao valor último de resistência da estaca, mesmo estando o sistema de fundação, como um todo, com um FS aceitável. (SALES *et al.* 2014, p. 8)

Radiers estaqueados são conceituados como um tipo de fundação mista composta por dois elementos:

- a) um: horizontal (o radier);
- b) outro: vertical (as estacas).

A transferência das cargas estruturais ao solo se faz por três formas: pela base do elemento horizontal como nas fundações rasas e também ao longo do fuste e da ponta do elemento vertical como ocorre em fundações profundas.

Esse tipo de recurso é aceito, para a fundação, caso a capacidade de suporte do terreno para fundações rasas é de qualidade razoável, mas nos quais “os recalques totais e diferenciais esperados possam ser elevados. A introdução de algumas estacas sob o radier tem como objetivo reduzir os valores de recalque a

níveis aceitáveis” (BURLAND *et al.*, 1977 apud CORDEIRO, 2007). Nesses casos, o número de estacas a ser utilizado é três ou quatro vezes menor do que aquele correspondente à alternativa de fundação estaqueada convencional, ou seja, a redução do número de estacas é da ordem de 65% a 75% (RANDOLPH, 1994 apud CORDEIRO, 2007).

1.4 Proposta

Uma estimativa mais precisa e um controle mais rigoroso dos recalques são aspectos importantes a serem considerados no projeto de um radier estaqueado. Em particular, os recalques diferenciais, que apresentam inúmeros aspectos negativos em uma superestrutura, bem como na própria fundação, devendo, então, ser restringidos a limites aceitáveis. (CORDEIRO, 2007).

Segundo a NBR 6122/1994, a estaca broca é o tipo de fundação profunda executada por perfuração com trado e posterior concretagem. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

Em um projeto de um radier estaqueado, as estacas têm sido normalmente preparadas de modo uniforme, como num grupo de estacas, ainda que determinadas “regras intuitivas tenham sido propostas para reduzir os recalques diferenciais. (CORDEIRO, 2007, p. 9). Trabalho desenvolvido por Kim *et al.*, citado por Cordeiro (2007),

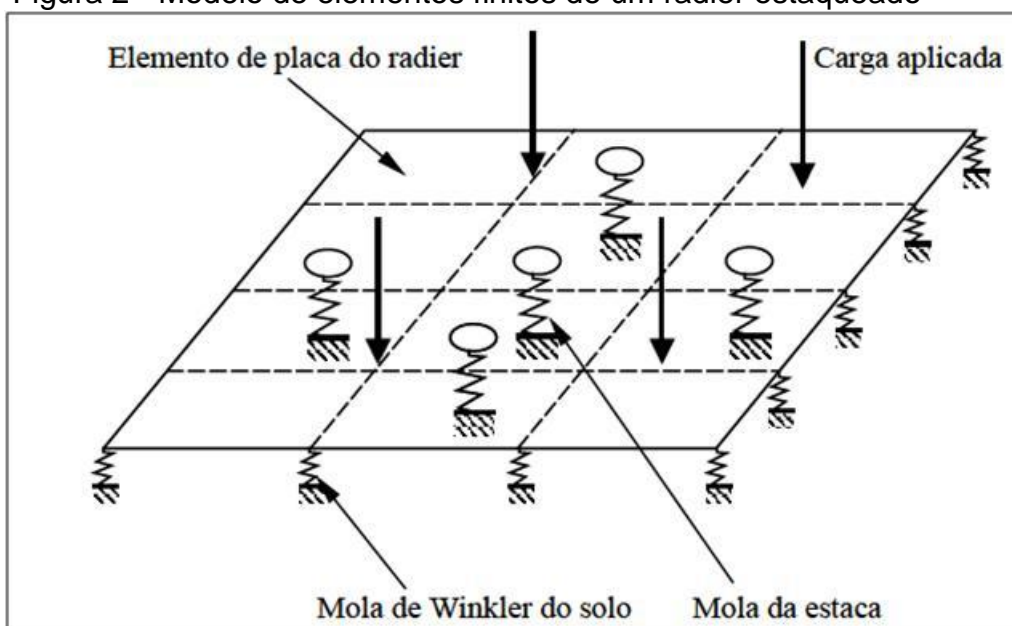
apresentaram uma técnica de otimização para a distribuição das estacas com o objetivo de reduzir os recalques diferenciais de um radier estaqueado. Nessa técnica, os diâmetros, comprimentos e número de estacas são pré-definidos, enquanto a posição das mesmas no radier é determinada por um processo de otimização. (KIM *et al.* apud CORDEIRO, 2007, p. 9).

A análise de um radier estaqueado engloba três subestruturas:

- a) o radier;
- b) o grupo de estacas; e
- c) o solo subjacente.

Kim *et al.* citado por Cordeiro (2007) propõem que o radier seja modelado como uma placa, já que sua espessura é relativamente pequena, comparada às outras dimensões. O solo de suporte e as estacas são modelados respectivamente, através de molas de Winkler e molas acopladas propostas por Randolph e Wroth (1979), como mostra a Figura 2. A interação entre as estacas é considerada de forma aproximada, através das molas acopladas, enquanto a interação entre as estacas e o radier é negligenciada no modelo de Winkler.

Figura 2 - Modelo de elementos finitos de um radier estaqueado



Fonte: (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, 2016).

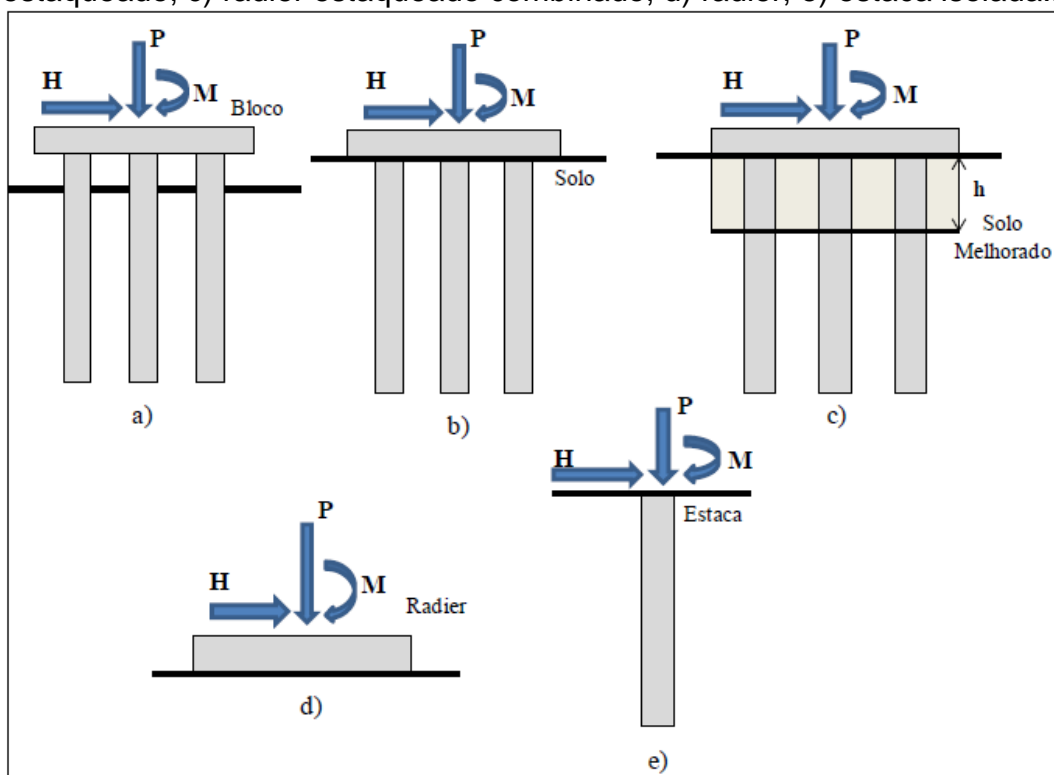
Portanto, a função objetivo deve ser apropriadamente precisa e transparente em um problema de otimização para que possa representar, de maneira adequada, o fenômeno físico estudado. Assim, “supõe-se que a escolha natural da função objetivo para representar este problema, seja o recalque diferencial máximo da fundação que, nesse caso, varia em função das posições das estacas.” Nesse entendimento, os recalques máximos e mínimos necessitariam “ser expressos em função das posições das estacas, e uma análise de sensibilidade dos recalques diferenciais máximos também seria função das posições das estacas, o que tornaria a análise muito difícil.” (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, 2016).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Elementos a serem analisados no emprego do radier estaqueado

Radiers estaqueados têm sido projetados em todo o mundo, para suportar uma grande variedade de estruturas, e, nas últimas décadas, vêm-se destacando como uma alternativa bastante econômica, se comparada à fundação convencional totalmente estaqueada, que sustenta que toda a carga estrutural é suportada apenas pelas estacas. Para tomar partido do compartilhamento de carga entre o radier e as estacas, é conveniente que se tenha disponível um método de projeto que considere, apropriadamente, os mecanismos de interação que ocorrem entre os elementos que compõem a fundação, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Tipos de sistemas de fundação: a) grupo de estacas, b) radier estaqueado, c) radier estaqueado combinado, d) radier, e) estaca isolada..



Fonte: Castillo (2013)

No âmbito da literatura específica existem inúmeros métodos sugeridos para a análise de radiers estaqueados, podendo ser classificados em uma das categorias apresentadas, a seguir:

a) Métodos para cálculo simplificado:

Abrangem a utilização de soluções teóricas alcançadas pela teoria da elasticidade linear para estimativa do recalque médio do conjunto e da distribuição de carga entre o radier e as estacas (PADFIELD; SHARROCK, 1983; POULOS; DAVIS, 1980; RANDOLPH, 1983, apud PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, 2016).

(Padfield & Sharrock, 1983; Randolph, 1983, Poulos & Davis, 1980).

b) Análises baseadas no método dos elementos de contorno:

À análise de fundações em estacas, a grande maioria das soluções publicadas na literatura específica pelo Método dos Elementos de Contorno (MEC) é alicerçada “na solução clássica de Mindlin (1936) que admite a hipótese de isotropia e homogeneidade do solo, representado como meio linearmente elástico.” Um pequeno índice das produções contemporâneas admitem o maciço constituído por diferentes camadas horizontais (solos estratificados) e são baseadas em funções específicas de Green. (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, 2016).

c) Análises baseadas no Método dos Elementos Finitos (MEF):

O MEF tem sido utilizado, com bastante frequência, nas pesquisas de radiers estaqueados. “Foi pioneiramente utilizado para análise de grupos de estacas verticalmente carregados em meios homogêneos linearmente elásticos por Ottaviani (1975).” Nessas análises,

o mecanismo de transferência de carga foi estudado detalhadamente, considerando a presença e a posição do bloco de coroamento. Elementos axissimétricos e tridimensionais foram usados na modelagem do problema para a determinação do recalque, em função da rigidez relativa das estacas. Os resultados foram comparados com valores previamente publicados obtidos analiticamente, ou através de ensaios em modelos, mostrando boa concordância entre si. (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, 2016, p. 45).

d) Análises baseadas em métodos híbridos:

Com o objetivo de superar algumas das dificuldades e limitações apresentadas tanto pelo MEC quanto pelo MEF, vários autores propuseram métodos híbridos de análise para radiers estaqueados pela combinação de técnicas numéricas, como por exemplo o uso do MEF para a análise do radier, e do MEC para a análise do conjunto estacas-solo.

2.2 Investigação geotécnica

Para iniciarmos a investigação, faz-se necessário definir o escopo e o propósito do estudo a ser realizado. O escopo é determinado pelo estágio do projeto, ou seja, definido na etapa da sua viabilidade, na etapa básica ou na etapa executiva. No nosso caso específico, foi na fase, ou etapa executiva. O objetivo da investigação está associado às características do projeto, ou seja, a execução de fundações, estabilidade de taludes naturais, reparo e prevenção de rupturas, etc.

Na geotecnia, é necessária a observação, para que sejam acertados os procedimentos de estudo. O método observacional se destaca por propor que a investigação seja fundamental, juntamente com o estabelecimento das condições mais prováveis e mais desfavoráveis. (PECK, 1969 apud MARINHO, 2005).

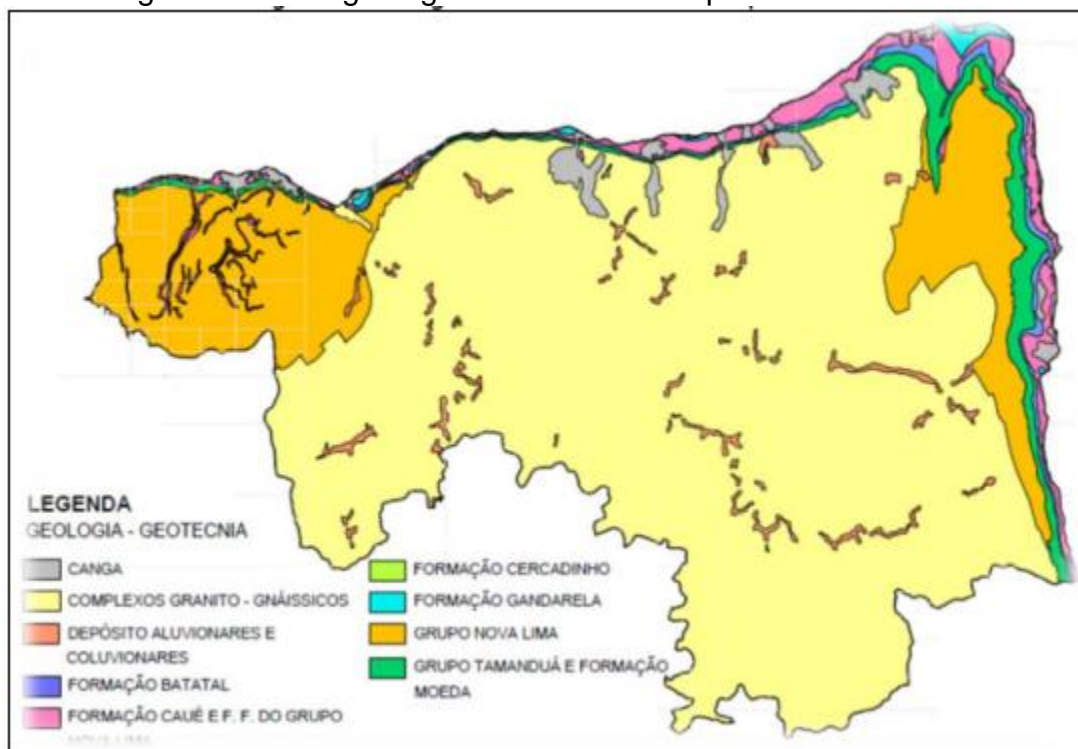
Em uma condição mais desfavorável, tem-se a análise sob a ótica dos solos saturados. O clima desempenha papel fundamental neste aspecto. O geotécnico deve escolher aqueles parâmetros que deverão ser monitorados, durante a construção e vida útil da obra. A variação sazonal dos parâmetros é de fundamental importância para a estabilidade das estruturas de apoio e obras com solo. Com base na investigação, buscaram-se, primeiramente, alternativas que respondessem às observações feitas, ao longo da monitoração da obra.

2.2.1 Características do solo em Brumadinho

A maior porção do território de Brumadinho se inclui no grupo geológico Granito-Gnáissico (onde predominam solos argilo-arenosos).

Os solos pertencentes ao Complexo Granito Gnáissico apresentam como características gerais solos residuais imaturos silto-arenosos e maduros argiloarenosos, rocha sã e rocha alterada. (BRUMADINHO, 2014).

Figura 4 - Geologia e geotecnia no município de Brumadinho.



Fonte: Brumadinho (2014).

Quadro 1 - Geologia e geotecnia no município de Brumadinho.

Característica	Complexo Granito-Gnáissico	
	Solos imaturos	Solos maduros
Coesão	Baixa	Média
Erodibilidade	Alta	Média
Permeabilidade	Baixa a média	
Principais estruturas	Brandamento Gnáissico (solos imaturos podem preservar essa estrutura)	
Escoamento Superficial	Rápido a moderado	
Escavação, perfuração e compactação	Variável, depende do grau de intemperismo	
Adequabilidade para sistemas sépticos e disposição de resíduos sólidos	Satisfatória nos solos maduros e espessos	
Estabilidade para fundações	Em geral boa	
Estabilidade de taludes	Pobre a boa	
Processos Geodinâmicos comuns	Escorregamento (circular), erosão, inundações, assoreamento	

Fonte: Brumadinho (2014).

2.2.2 Solos colapsíveis

O solo colapsível é definido por Reginatto (1970) como aquele que possui baixo conteúdo de umidade e de suporte de cargas. Entretanto, caso saturados, sofrem desmoronamento brusco, ocorrendo grande subsidência. Já Mariz (1993) o conceitua como aqueles que têm estrutura instável e brusca mudança no comportamento tensão-deformação, quando ocorre aumento do grau de saturação, sem mudança do estado de tensão, devido às cargas externas. Araki (1997) o explica como aquele não saturado caracterizado por sofrer um recalque abrupto e de grandes proporções e que, dependendo do grau de colapsividade, apresentam uma estrutura metaestável com elevado índice de vazios ($> 0,8$) e baixo grau de saturação ($< 60\%$), indicando que as partículas maiores e os grumos de partículas menores são mantidos em suas posições, devido à presença de um vínculo capaz de proporcionar ao solo uma resistência adicional aparente.

Conforme Cintra (1998),

Existem solos colapsíveis que, ao serem inundados, entram em colapso apenas pelo próprio peso da camada. Em outros, o colapso está associado a uma sobrecarga e, mais frequentemente, o fenômeno ocorre por uma combinação do efeito da sobrecarga e do acréscimo ocasional do grau de saturação (CINTRA, 1998).

Os solos realmente colapsíveis são “aqueles que, quando sob aumentos do valor de seu grau de saturação, não suportam o peso das camadas superiores,” assim como também os solos condicionalmente colapsíveis, “como aqueles que, na saturação, suportam certo valor de sobrecarga, dependendo da relação entre a carga aplicada e a tensão de pré-adensamento do solo.” (REGINATTO; FERRERO apud CASTILHO, 2013, p. 5)

Sultan (1971) citado por Rodrigues (2003), acrescentam quando afirmam que os solos colapsíveis apresentam alguns comportamentos particulares, a saber:

- a) apresentam colapso instantâneo quando umedecidos, tanto para pequenas, quanto para grandes profundidades;
- b) pode ocorrer rebaixamento do nível de água, pois a retirada de água por rebaixamento aumenta as tensões efetivas das camadas de solo mais profundas, devido ao peso das camadas sobrejacentes;
- c) sofrem expansão quando umedecidos e posteriores recalques consideráveis, quando sobrecarregados; isso ocorre nos solos que têm na sua constituição a montmorilonita (ou, em geral, argilominerais altamente expansivos.
- d) - não ocorre recuperação, em solos/areia, ao longo do tempo, de nenhuma parcela do volume reduzido por colapso;
- e) foi verificada em alguns solos/argila a recuperação de alguma parcela de volume perdido com o tempo, ainda que submetido ao carregamento que gerou o processo de colapso.

O mecanismo de colapso em solos não saturados como estes, está associado ao equilíbrio de dois componentes distintos de tensão efetiva: a aplicada que desenvolve tensões cisalhantes instabilizantes nos contatos entre os grãos, e a sucção, tensão normal que promove a estabilidade nos contatos intergranulares (McGOWN; COLLINS, 1973), sendo que, segundo este mesmo autor, o colapso de

solos não saturados pode estar associado à:

- a) presença de uma estrutura meta-instável;
- b) aumento da tensão externa aplicada ao solo, em grau suficiente para destruir sua estrutura;
- c) diminuição da sucção existente no solo.

Mendonça (1990) e Ferreira (1995) apresentam várias explicações sobre o mecanismo de colapso, sendo ele, via de regra, a diminuição de resistência explicada pela diminuição da sucção matricial e pela quebra das ligações (FUTAI, 1997).

Tabela 1 - Valores da carga de ruptura convencional obtidos nas provas de carga

Solo	Ensaio	Teste	Carga de Ruptura (kN)	deformações na ruptura (% B ou D)
Natural	Sapata isolada	I	150	3,0 (B)
	Estaca isolada – virgem	II	75	3,5 (D)
	Estaca isolada – reensaio	II	67	1,9 (D)
	Grupo de 4 estacas	IV	300	12,3 (D)
	Sapata sobre 4 estaca testadas	V	360	0,75 (B)
	Sapata sobre 4 estacas virgens	VI	400	1,2 (B)
Pré - Inundado	Sapata isolada	VII	90	1,3 (B)
	Estaca isolada – virgem	VIII	32,4	2,3 (D)
	Estaca isolada – reensaio	VIII	30	1,5 (D)
	Sapata sobre 1 estaca testada	IX	120	2,2 (B)

Obs.: B - largura da sapata (100cm) e D - diâmetro da estaca (15cm)

Fonte: (CASTILLO, 2013).

2.2.3 Reforço de solo por compactação

Os estudos que compreendem a técnica e o controle da compactação é recente e tem sido desenvolvido, sobretudo, para a construção de aterros. A compactação constitui-se em um “processo que visa melhorar as propriedades do solo, garantindo-lhe certa homogeneidade, procedendo-se à eliminação dos vazios existentes entre as partículas sólidas, aumentando mecanicamente a densidade do solo.” (SAYÃO; SIEIRA; SANTOS, 2014, p. 23).

Sayão, Sieira e Santos (2014), lembram ainda que:

Ralph Proctor, em 1933, publicou uma série de artigos, divulgando seu método de controle de compactação baseado em um novo método de projeto e construção de barragens de terra compactadas [...] empregado na Califórnia. No referido método, a densidade relativa em que um solo é compactado, sob uma determinada energia de compactação, depende do teor de umidade, no momento da compactação. (SAYÃO; SIEIRA; SANTOS, 2014).

Os solos podem ser classificados como coesivos, granulares ou não coesivos e mistos. Esta é uma classificação simplificada, porém, quando se trata do estudo dos processos de compactação dos solos, tal classificação é suficiente.

Sayão, Sieira e Santos (2014), afirma ainda, que a mistura, composta por muitas partículas individuais, soltas e no estado seco, não se aderem umas às outras, sendo, portanto, altamente permeáveis. Isso se deve ao fato de existirem espaços vazios relativamente grandes e intercomunicados entre si. Em estado seco, é fácil reconhecer um solo granular por simples observação, devido ao tamanho dos distintos grãos (partículas) que os compõem e à correspondente porcentagem em peso desses grãos. A capacidade de carga dos solos não coesivos depende da resistência ao travamento entre partículas individuais. Ao aumentar o número de pontos ou superfícies de contato entre os grãos individuais do solo, por meio de um aumento da quantidade de grãos por unidade de volume (compactação), aumenta-se a resistência ao travamento dos grãos e, simultaneamente, melhora-se a capacidade de transmissão de forças entre eles.

De acordo com Sayão, Sieira e Santos (2014),

Os solos coesivos compõem a categoria dos solos argilosos e siltosos. Os grãos individuais desse tipo de solo são muito finos e, em geral, em forma de plaquetas. São quase farináceos, aderem-se firmemente uns aos outros e não podem ser reconhecidos individualmente a olho nu. Os vazios ou espaços entre os grãos são muito pequenos e predominantemente isolados uns dos outros.

Devido à sua estrutura, esses solos mostram pouca tendência a permitir a passagem de água, absorvendo-a muito lentamente, voltando a expulsá-la com lentidão. Devido aos pequenos poros entre os grãos, muitas vezes preenchidos por água, estes são compactados através de vibração, sendo relativamente resistentes a ela. Isso se deve, principalmente, às forças de adesão naturais (coesão) entre

partículas, as quais tendem a agrupar-se, formando lâminas contínuas com inclusão de água e/ ou ar e não permitindo uma redistribuição dos grãos ou partículas individuais. As águas das chuvas podem penetrar muito lentamente em um solo coesivo bem compactado. Por essa razão, a superfície de cada camada individual deveria ser ao menos regularizada depois dos trabalhos de compactação com, por exemplo, um pequeno rolo de tambor liso, mantendo uma inclinação transversal de pelo menos 6%. (SAYÃO; SIEIRA; SANTOS, 2014).

A porcentagem em peso das partículas finas (diâmetro do grão igual ou menor que 0,063mm) é decisiva para a classificação do solo como um material coesivo ou não- coesivo e, assim, determinar as propriedades mecânicas do solo. Uma porcentagem em peso de 15% de partículas com diâmetro igual ou menor que 0,063mm define o limite aproximado entre solos coesivos e não coesivos. Ou seja, um solo com mais de 15% em peso de material fino é classificado como coesivo ou argiloso. O grau de compactação de um solo está ligado de modo direto à distribuição granulométrica. Solos com grãos de diâmetro da mesma dimensão são classificados como solos uniformes. Solos com grãos de tamanhos variados são classificados como bem graduados. Portanto, a “partir da curva de distribuição granulométrica, um geotécnico pode estimar informações adicionais relacionadas à permeabilidade e à resistência do solo.” (SAYÃO; SIEIRA; SANTOS, 2014, p. 27).

Ainda segundo a referência dos autores acima,

Devem ser considerados vários fatores para se definir qual o equipamento correto para compactação de um determinado tipo de solo, tais como, forma, rugosidade da partícula individual, distribuição granulométrica etc. Adicionalmente, devem ser consideradas as condições específicas da obra, a porcentagem de compactação (especificada em projeto) do material a ser compactado (Proctor normal ou modificado), além das condições especiais de contrato de obra. Em virtude da grande variedade de fatores a serem avaliados, em geral, especifica-se o tipo de equipamento para compactação, em função da predominância do tipo do solo, ou seja, se o solo é coesivo ou não coesivo. (SAYÃO; SIEIRA; SANTOS, 2014, p. 27).

Ainda segundo a referência dos autores acima, recomenda-se “uma altura de salto elevada para a base do soquete vibratório, uma vez que isso permite obter um maior trabalho de impacto por golpe e consequente avanço no processo de compactação. A alta sequência de golpes, algo em torno de 700 golpes” por minuto, faz com que as partículas vibrem, oscilem e se mantenham em constante

movimento, significando ampla vantagem durante a compactação dos solos, tanto coesivos quanto não coesivos. (SAYÃO; SIEIRA; SANTOS, 2014, p. 29).

Deve-se ressaltar também, devido a grande multiplicidade “dos solos e da variedade de equipamentos disponíveis, a compactação é uma operação em que não se pode pré-determinar, com segurança, a forma mais rápida e econômica de execução.” (SAYÃO; SIEIRA; SANTOS, 2014, p. 30). Nesse sentido é fundamental conhecer os parâmetros que implicam no processo, com objetivo de ajustá-los de modo a se conseguirem maior eficiência e melhores resultados na compactação. Esses parâmetros são:

- a) umidade do solo;
- b) espessura da camada;
- c) homogeneidade da camada;
- d) número de passadas e
- b) velocidade do equipamento. (SAYÃO; SIEIRA; SANTOS, 2014).

2.2.4 Resistência do solo obtida a partir do ensaio de SPT

O ensaio SPT Standard Penetration Test (SPT) é, reconhecidamente, o sistema de sondagem mais utilizado no mundo. Podem-se citar vários países como o Brasil e toda a América Latina, os Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Japão, Austrália, Espanha, Portugal entre outros, onde este ensaio é usado rotineiramente. Características como simplicidade e robustez, aliadas ao baixo custo e a experiência empírica acumulada na execução e na aplicação dos resultados, tornam esta sondagem uma ferramenta indispensável à prática de engenharia.

Em contra partida, existem críticas severas à sua padronização. Resultados dispersos, com forte dependência do operador e a diversidade de equipamentos e procedimentos utilizados, motivaram o desenvolvimento de estudos, a partir da década de 1970, que incluem a medição de energia, objetivando padronizar o ensaio. Em 1988 foi publicado o Procedimento Internacional de Referência para o SPT (IRTP), elaborado pela Sociedade Internacional de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica (ISSMFE), que tem por objetivo fazer recomendações a serem adotadas por normas e códigos nacionais, padronizando procedimentos e equipamentos, permitindo a normalização de resultados entre diferentes países. No

Brasil, este ensaio é padronizado pela NBR 6484 que, em 2001, teve sua versão atualizada em relação à norma de 1980. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001).

Skempton, em 1986, citado por Castilho (2013) sugere a normalização dos resultados em relação a uma energia de referência, ou seja, o valor do N_{spt} deve ser corrigido para um valor único de energia de referência da ordem de 60% da energia teórica. Com este procedimento, os resultados de ensaios executados em diferentes partes do mundo e de diferentes maneiras podem ser comparados. Contudo, diversos trabalhos têm sido publicados na literatura nacional e internacional com o objetivo de entender o modo de transferência de energia e, consequentemente a eficiência do ensaio SPT. Esses trabalhos convergem na idéia de que a melhor forma de interpretar o ensaio SPT é baseada no trabalho efetivamente consumido para cravar o amostrador no solo.

2.2.5 Estaca tipo trado mecanizado

Conforme a NBR 2122, a execução deste tipo de estaca se faz através da perfuração por rotação de um trado helicoidal de comprimento usual de 1,00 m acoplado a uma haste tipo Keller ou torre. Este tipo de estaca tem profundidade de alcance limitada pelo nível de água freático. Por se tratar de uma escavação sem o uso de revestimentos ou fluidos estabilizantes, é empregada em perfis de solo que apresentam uma determinada coesão. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

Quando da inserção total do trado helicoidal no solo, pelo sistema de rotação e avanço hidráulico, o trado é retirado de forma estática para fora da escavação e, então, faz-se sua limpeza de maneira que o material presente entre as pás do trado não caia na escavação. Prossegue-se, então, com este ciclo até a cota de apoio desejada, para a inserção da armadura longitudinal e posterior concretagem do elemento. Antes da inserção da armadura, o fundo da cavidade da estaca é apiloado com um soquete, “pilão” de concreto fabricado na própria obra (HACHICH *et al.* 1998 apud SILVA, 2014), procedimento adotado em muitas regiões do país, visando à compactação da camada de solo solto no fundo da cavidade, para se obterem melhorias no desempenho de carga da parcela referente à ponta da

estaca, bem como minimizar os possíveis recalques.

O diâmetro de trados disponíveis no mercado podem variar usualmente de 0,30m à 1,20m e alcance de profundidade de até 25,0m em média. O controle executivo deve ser realizado ao longo de toda a perfuração do fuste da estaca, onde deve ser avaliada a verticalidade da torre, com fio de prumo ou outro processo de maior precisão, podendo ter, no máximo, um desaprumo de 1% em relação à sua profundidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) sem que haja necessidade de intervenções. Também, o solo escavado é inspecionado de forma tátil-visual, a fim de verificar a compatibilidade em relação à classificação do material junto ao perfil geotécnico apresentado nos boletins de sondagens, bem como a estabilidade do maciço, durante o processo de perfuração. Atenção deve ser dada durante o processo de inserção da armadura, mesmo quando se tratar apenas de armaduras de ligação entre a estaca e o bloco de coroamento, devendo-se evidenciar o uso de espaçadores e cobrimento adequado da armadura.

Em relação à concretagem do elemento, faz-se o uso de funil com comprimento de no mínimo 1,50m (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) o que contribui para a queda centralizada do concreto e a sua não segregação. A resistência do concreto aos 28 dias deve obter o $f_{ck} \geq 20\text{MPa}$. As vantagens deste método executivo são: vibração insignificante, alta produtividade e garantia da geometria circular, o que permite considerar com boa aproximação um cilindro perfeito, que propicia uma estimativa de volume de concretagem mais aproximada.

O dimensionamento estrutural dos elementos de fundação do tipo trado mecanizado, quando solicitados apenas com carregamentos axiais e tensões limitadas aos valores apresentados na Tabela 2, podem ser executados em concreto não armado, exceto, quando há imposição de armadura de ligação com a infra-estrutura da edificação. Quando são solicitados com carregamentos que ultrapassem a tensão máxima indicada na Tabela 2, devem ser dotadas de armaduras dimensionadas, de acordo com a NBR/6118. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

As causas que interferem no bom desempenho deste tipo de estaca estão atreladas, na maioria das vezes, ao processo de execução. Porém, também pode

haver alteração no desempenho, devido a mudanças no teor de umidade natural do maciço.

Tabela 2 - Parâmetros de dimensionamento

Tipo de estaca	f_{ck}^d máximo de projeto MPa	γ_f	γ_c	γ_s	Comprimento útil mínimo (incluindo trecho de ligação com o bloco) e % de armadura mínima		Tensão média atuante abaixo da qual não é necessário armar (exceto ligação com o bloco) MPa
					Armadura %	Comprimento (m)	
Escavadas sem fluido	15	1,4	1,9	1,15	0,5	2,0	5,0

(1) “d” f_{ck} máximo de projeto para dimensionamento estrutural da peça

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994)

Em relação ao desempenho das estacas, devido ao processo executivo, como já discorrido, brevemente, no Capítulo 1, há uma redução das tensões confinantes do solo, em função da sua remoção, pelo processo executivo, tanto no fundo da cavidade quanto ao longo do fuste da estaca (BRANCO, 2006 apud SILVA, 2014), podendo promover desprendimento das partículas sólidas por alívio de tensões, na direção da escavação. Com isso, haverá uma redução na capacidade de absorção de cargas pelo solo transmitidas pelo elemento estrutural de fundação. Para minimizar a perda de capacidade de carga, faz-se necessária a concretagem imediata, após a escavação da estaca.

A variação do teor de umidade do solo também pode interferir no desempenho das estacas. Esta variação ocorre, devido à demora entre o tempo de escavação e a concretagem, que pode gerar o desprendimento dos grãos. O teor de umidade também é alterado, quando do aumento de precipitações, o que também pode reduzir o valor de sucção do solo. Com a diminuição do valor de sucção, há ocorrência de redução da coesão aparente do solo, o que pode provocar a queda de rigidez das ligações entre partículas sólidas e redução da resistência ao cisalhamento (GONÇALVES, 2006).

2.3 Dados para o cálculo do radier estaqueado

A partir do cálculo do peso próprio, equipamentos, sua carga e dinâmica, foram geradas as cargas resultantes nos apoios das torres 1 e 2 da UTM-Brumadinho. A contratante Green Metals enviou o mapa de cargas com as resultantes em cada apoio. Os valores transcritos pela Rocha Vieira Engenharia (responsável pelo projeto estrutural) estão dispostos em dois croquis e em duas tabelas que se seguem, mais à frente, neste capítulo. Nesta Tabela 3, já estão presentes os valores acrescidos de coeficientes de segurança que serão explicados, no capítulo 3.

Tabela 3 - Mapa de cargas da estrutura – Torre 1

CARGAS POR PILARES - TORRE 1 UTM BRUMADINHO					
PILAR Nº	SEÇÃO	QUADRANTE	CARGA	F.S	CARGA FINAL (TF)
1	A	1	20,6	1,2	24,72
2	A	2	44,8	1,5	67,2
3	A	3	52,7	1,5	79,05
4	A	4	96	2	192
5	A	5	14,4	1,2	17,28
6	B	1	33	1,5	49,5
7	B	2	65,7	1,8	118,26
8	B	3	69,8	1,8	125,64
9	B	5	38,8	1,5	58,2
10	C	1	20,9	1,2	25,08
11	C	2	42,7	1,5	64,05
12	C	3	41,6	1,5	62,4
13	C	4	88	2	176
14	C	5	22	1,2	26,4
15	D	1	18	1,2	21,6
16	D	2	18	1,2	21,6
TOTAL					1128,98
CARGA POR ESTACA EM INTERAÇÃO					70,56125

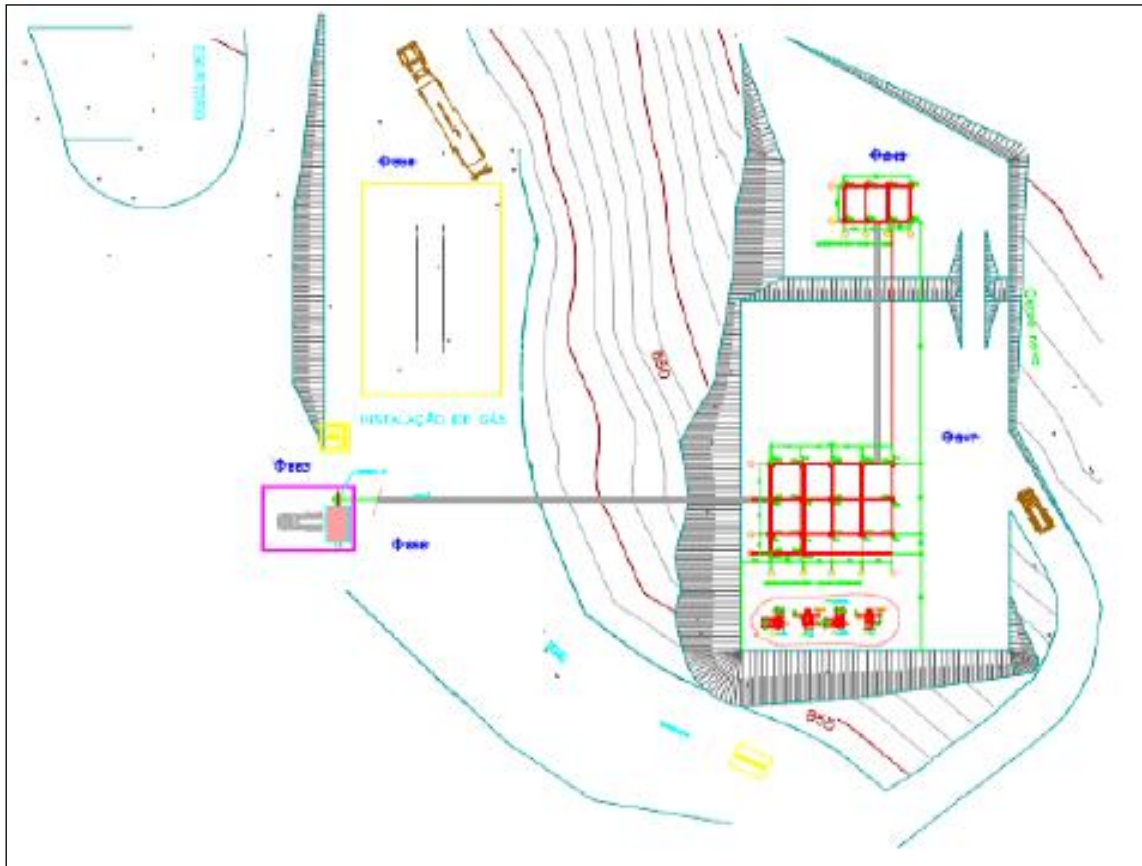
Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

Tabela 4 Mapa de cargas da estrutura – Torre 2

CARGAS POR PILARES - TORRE 2 UTM BRUMADINHO					
PILAR Nº	SEÇÃO	QUADRANTE	CARGA	F.S	CARGA FINAL (TF)
1	A	1	25	1,2	30
2	A	2	37	1,5	55,5
3	A	3	37	1,5	55,5
4	A	4	25	1,2	30
5	B	1	25	1,2	30
6	B	2	35	1,5	52,5
7	B	3	35	1,5	52,5
8	B	4	25	1,2	30
TOTAL					336
CARGA POR ESTACA EM INTERAÇÃO					42

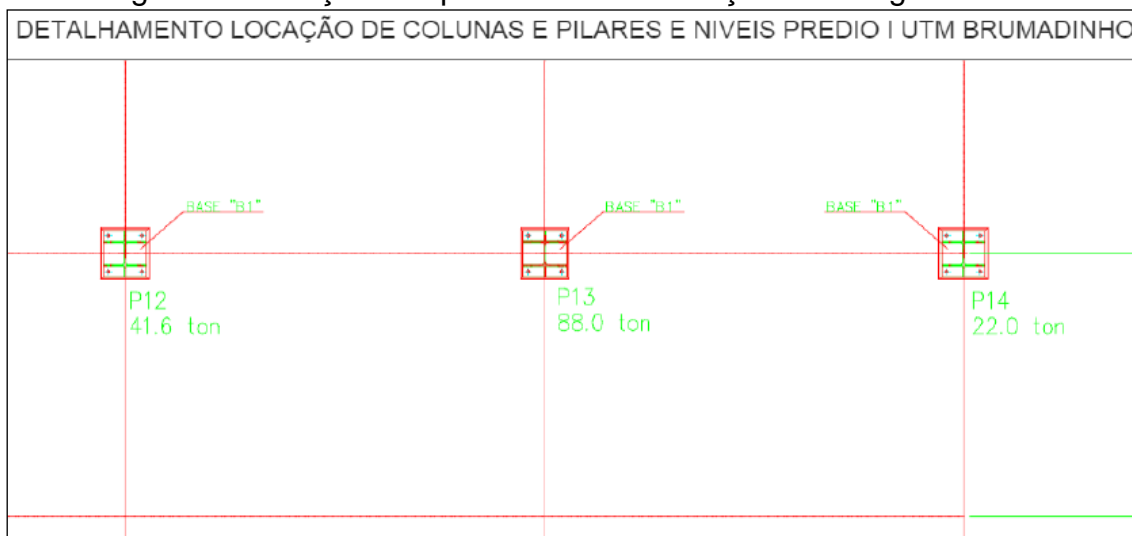
Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

Figura 5 - Planta locação das torres 1 e 2 – UTM Brumadinho



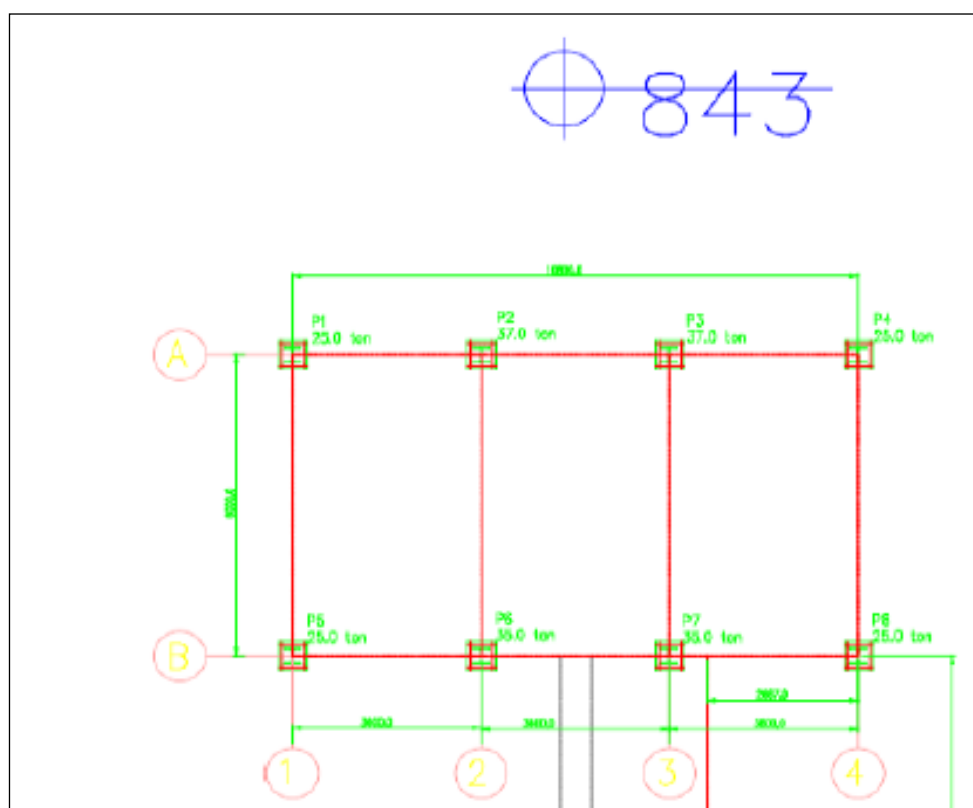
Fonte: Green Metals (2014).

Figura 6 - Locação dos pilares com a indicação das cargas individuais



Fonte: Green Metals (2014).

Figura 7 - Locação dos pilares com a indicação das cargas individuais da torre 2

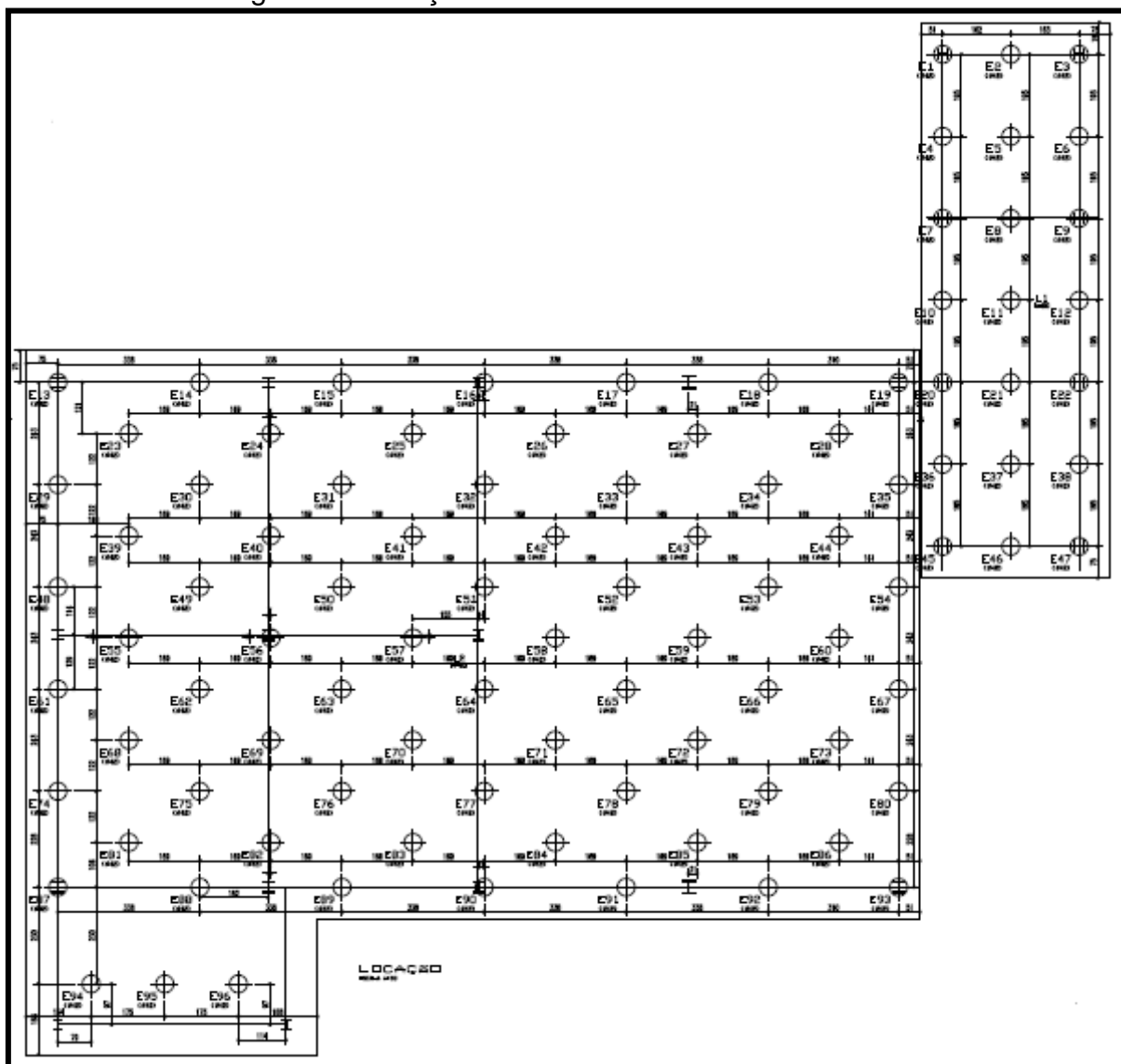


Fonte: Green Metals (2014).

3 PROJETO

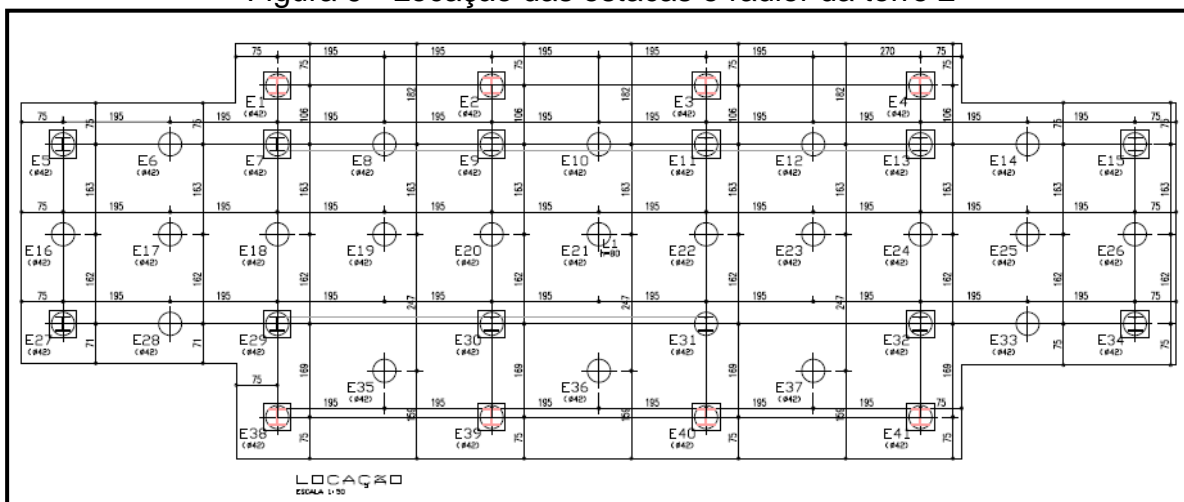
Neste capítulo, apresentam-se os principais projetos de fundações da planta de beneficiamento de minério de ferro, considerando o tipo de solo. Além do universo e da amostragem do estudo, são apresentados os critérios de escolha da opção mais adequada, tanto do ponto de vista econômico quanto técnico. Também, foram descritos os instrumentos de pesquisa utilizados e os procedimentos adotados na análise dos dados coletados.

Figura 8 - Localização das estacas e radier da torre 1



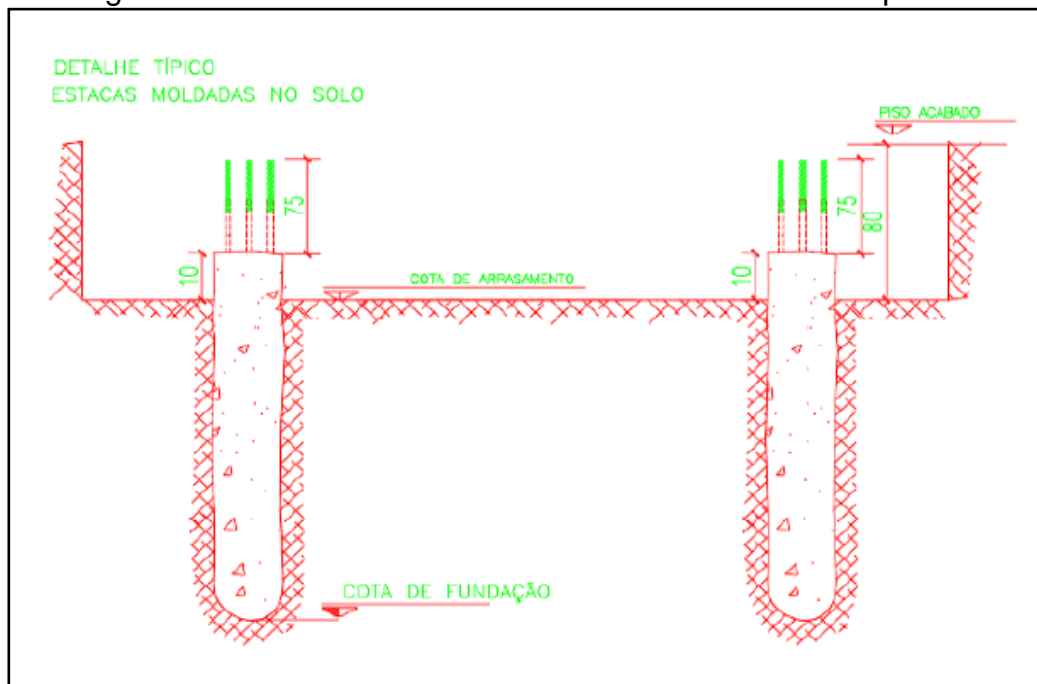
Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

Figura 9 - Locação das estacas e radier da torre 2



Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

Figura 10 - Detalhe do corte e dimensões do radier estaqueado



Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

3.1 Compatibilização

Em relação à metodologia, tratou-se de pesquisa descritiva, uma vez que se alinha à definição dada por Gil (2009), quando descreve que pesquisas descritivas são adequadas ao detalhamento teórico e expositivo dos assuntos abordados e tratados, oferecendo as condições para o alcance dos objetivos delineados. Nesta etapa, acontece a revisão dos pressupostos teóricos sobre a temática central desta pesquisa, a investigação do sub solo, a partir dos métodos de ensaios SPT,

sondagem à percussão.

Os procedimentos adotados para o estudo foram a apresentação dos resultados obtidos nos ensaios de SPT realizados no terreno em questão e a revisão bibliográfica que reuniu os principais pressupostos teóricos relacionados ao tema deste estudo. A pesquisa de campo revelou os resultados do estudo investigativo do sub solo.

A seguir, são apresentados os resultados em forma de relatórios técnicos das sondagens do sub solo, através da metodologia de percussão SPT.

A prática brasileira de projetos de fundações está intimamente relacionada aos ensaios SPT. Milititsky (1986) citado por Lobo (2005) define a engenharia de fundações brasileira como sendo a “Geotecnia do ensaio SPT”. Com isto, difundiu-se, no Brasil, a prática de relacionar resultados deste ensaio diretamente com a capacidade de carga de estacas.

Os métodos tradicionalmente empregados na prática brasileira, baseiam-se em correlações estatísticas entre medidas de N_{spt} e a capacidade de carga de estacas. Embora estes métodos constituam ferramentas valiosas à engenharia de fundações, é importante reconhecer que, devido à sua natureza estatística, a validade está limitada à prática construtiva regional e às condições específicas dos casos históricos utilizados em seu estabelecimento (SCHNAID, 2000). Desse modo, observa-se a necessidade de se incorporar à engenharia brasileira de fundações um método racional de análise baseado nos conceitos de energia, para a previsão da capacidade de carga de estacas obtido diretamente, a partir de resultados de ensaios SPT.

Figura 11 - Laudo de Sondagem SPT nas cotas de implantação das torres da UTM


TECNOSEF Sondagens e Fundações Ltda.

TEC-02903/2014

Belo Horizonte, 18 de março de 2014.

A
 GREEN METALS SOLUÇÕES AMBIENTAIS S.A.
 A/C DR. HELDER ABDON E/OU SR. CARLOS ABEL
 RUA DESEMBARGADOR JORGE FONTANA, Nº 80 - SALA 1.107 - B. BELVEDERE - F: 3269.0010
CEP: 30320-670 - BELO HORIZONTE - MG

**REF.: OBRA À RODOVIA MUNICIPAL 202 - KM. 07 - (ESTRADA DE LIGAÇÃO
 BRUMADINHO/CASA BRANCA) - ZONA RURAL - BRUMADINHO - MG.**

Prezados Senhores,

Estamos lhes apresentando nosso relatório referente às sondagens de simples reconhecimento do subsolo (S.P.T), realizadas na obra em epígrafe.

Foram executadas 11 (onze) perfurações, revestidas com tubos de 2.1/2", totalizando 177.34 metros lineares de terreno sondado.

Durante a execução das mesmas, foram observadas as resistências oferecidas pelo terreno a cravação de barrilete amostrador do tipo Terzaghi-Peck de 1.3/8" e 2" de diâmetro interno e externo, respectivamente.

Os resultados dessas medidas (S.P.T. - Standard Penetration Test), são expressos em números de golpes de um peso de 65kg, com altura de queda 75cm, necessários a penetração de 30cm do amostrador, após uma penetração inicial de 15cm.

Estes números são índices de consistência (solo coesivos) ou da compactidade (solos não coesivos) do terreno atravessado.

Todos os dados obtidos neste serviço estão representados nos perfis anexos.


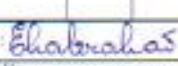
Colocando-nos ao seu inteiro dispor para quaisquer esclarecimentos adicionais, firmamo-nos

Atenciosamente,


 Tecnosef Sondagens e Fundações Ltda
 Engº Evaldo Hostalácio Abrahão
 Diretor Técnico
 CREA 34006/D


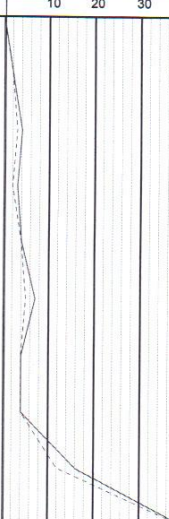
Fonte: Green Metals (2013)

Tabela 5 - Relatório de resultados de SPT no furo sp 05.

TECNOSEF Sondagens e Fundações Ltda									
SONDAGEM A PERCUSSÃO				Ø 2. 1/2"					
AMOSTRADOR = 2" x 1.5" MARTELO = 65KG				ALTURA DE QUEDA = 75CM					
FLURO No. SP 05				COTA: 843.05M		INÍCIO: 18/03/2014		TÉRMINO: 18/03/2014	
Prof.	Classificação	Camadas	N. A.	Resistência a penetração - SPT standard penetration test					
				I	F	10	20	30	
-0,37m	Aleto argilo-arenoso, com materiais diversos, cor variegado	1		2	2				
	Argila silto-arenosa, cor marrom, muito mole a mole	2		3	4				
		3		4	4				
-3,62m	Site areno-argiloso, cor variegado (rosa, branco e amarelo), pouco compacto a foto	4		7	8				
		5		4	4				
-5,90m	Site arenoso, solo proveniente da decomposição da rocha matriz "in situ", cor variegado (amarelo, cinza e branco), medianamente compacto a muito compacto. (solo residual)	6		7	10				
		7		15	19				
		8		19	30				
		9	-5,03m	58/23	35/08				
-8,69m	IMPENETRÁVEL À PERCUSSÃO E NA BROCA DE LAVAGEM LIMITE DE SONDAGEM OBS.: LAVAGEM POR TEMPO: DE 05:00 À 05:10 MINUTOS = 0.00M. DE 05:10 À 05:20 MINUTOS = 0.00M. DE 05:20 À 05:30 MINUTOS = 0.00M.								
Data: 18/03/2014		Contido: 		Eng: 		Golpes			
Escala: 1/100		Relatório No: TEC-02903/2014		Des. No: 05		Início			
						Fim:			
GREEN METALS SOLUÇÕES AMBIENTAIS S.A. - A/C DR. HELDER ANDON - OBRA À RODOVIA MUNICIPAL 209 - KM. 07 - ESTRADA DE LIGAÇÃO BRUMADINHO/CASA BRANCA - ZONA RURAL - BRUMADINHO - MG.						Obs.: O nível d'água foi encontrado à profundidade de 5,08m, na data da sondagem.			

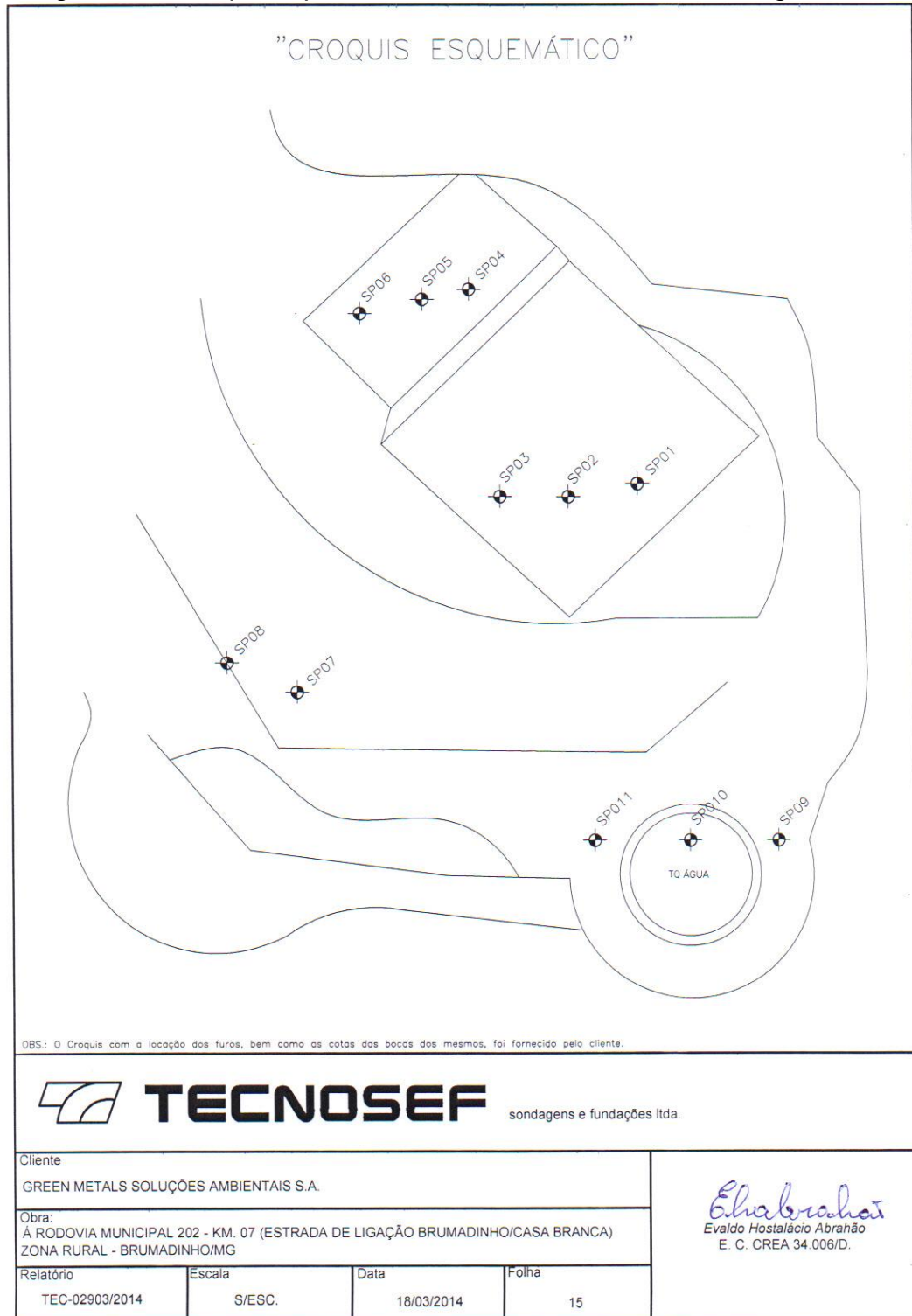
Fonte: Green Metals (2013)

Tabela 6 - Relatório de resultados de SPT no furo SP 02.

<div> TECNOSEF</div> <div>Sondagens e Fundações Ltda</div>									
<div><div>SONDAGEM A PERCUSSÃO</div><div>Ø 2. 1/2"</div></div>									
<div>AMOSTRADOR ø ext. 2" ø int. 1.3/8" MARTELO - 65KG ALTURA DE QUEDA - 75CM</div>									
<div>FURO No: SP 02 COTA: 849.656M INÍCIO: 27/02/2014 TÉRMINO: 27/02/2014</div>									
Prof.	Classificação	Camadas	N. A.	Resistência a penetração - SPT standard penetration test					
				I	F	10	20	30	
	Argila silto-arenosa, cor marrom, muito mole a mole.	<div><div>1</div><div>2</div><div>3</div></div>		2	2				
		<div><div>4</div><div>5</div><div>6</div></div>		3	4				
-3,28m		<div><div>7</div><div>8</div><div>9</div></div>		2	3				
		<div><div>10</div><div>11</div><div>12</div></div>		4	4				
	Silte arenoso (com pedregulhos finos), solo proveniente da decomposição da rocha matriz "in situ", cor variegado (amarelo, cinza e branco), fofo a muito compacto.	<div><div>13</div><div>14</div><div>15</div></div>		5	7				
	(solo residual)	<div><div>16</div><div>17</div><div>18</div></div>		4	4				
		<div><div>19</div><div>20</div><div>21</div></div>		4	4				
		<div><div>22</div><div>23</div><div>24</div></div>		12	16				
		<div><div>25</div><div>26</div><div>27</div></div>		35/12					
-10,08m	IMPENETRÁVEL À PERCUSSÃO E NA BROCA DE LAVAGEM LIMITE DE SONDAGEM OBS.: LAVAGEM POR TEMPO: DE 00:00 À 00:10 MINUTOS = 0.02M. DE 00:10 À 00:20 MINUTOS = 0.01M. DE 00:20 À 00:30 MINUTOS = 0.00M.	<div><div>28</div><div>29</div><div>30</div></div>	-9,84m	40/06					
Data: 19/03/2014 Conferido: Eng.: Des. No: 02				Golpes iniciais finais					
Escala: 1/100 Relatório No: TEC-02903/2014									
GREEN METALS SOLUÇÕES AMBIENTAIS S.A. - A/C DR. HELDER ABDON - OBRA À RODOVIA MUNICIPAL 202 - KM. 07 - ESTRADA DE LIGAÇÃO BRUMADINHO/CASA BRANCA - ZONA RURAL - BRUMADINHO - MG.				Obs.: O nível d'água permaneceu estável no período de 24:00 horas.					

Fonte: Green Metals (2013)

Figura 12 - Croqui esquemático do local dos furos de sondagem SPT



Fonte: Green Metals (2013)

3.2 Dimensionamento

É possível obter os valores da constante elástica. A Tabela 7 apresenta os valores para a constante elástica de solos argilosos e arenosos. (TERZAGHI, 1955

apud DÓRIA; LIMA, 2008). Os valores de kv em uma placa quadrada de 1 pé (ks1) são os seguintes:

Tabela 7 - Módulo de reação do solo ks1 em kgf/cm².

Argilas	Rija	Muito Rija	Dura
Qu (kgf/cm ²)	1 – 2	2 – 4	> 4
Faixa de valores	1,6 – 3,2	3,2 – 6,4	> 6,4
Valor proposto	2,4	4,8	9,6
Areias	Fofa	Méd. Compacta	Compacta
Faixa de valores	0,6 – 1,9	1,9 – 9,6	9,6 – 32
Areia acima N. A.	1,3	4,2	16
Areia submersa	0,8	2,6	9,6

Fonte: Terzaghi, 1955 citado por Dória e Lima (2008).

Estes valores apresentados na literatura, através de ensaios de placa, devem ser corrigidos, de acordo com a forma e a dimensão da placa. Este coeficiente é uma resposta do solo a um carregamento aplicado por uma determinada estrutura e não uma propriedade do solo apenas.

Com um método desenvolvido pelo engenheiro civil responsável por este estudo, apresenta-se a discretização das cargas em 308 elementos unitários representando cada metro quadrado do radier estaqueado da torre 1 (Figura 12). Neste trabalho, foi dispensado o cálculo da torre 2, pois, suas cargas são bem inferiores e proporcionais à sua área total de radier e quantidade de estacas. Para a torre 1, a profundidade média das estacas foram de 8 metros, conforme relatório de sondagem SPT do furo SP 02 (Tabela 6) e 7 metros, conforme o relatório de sondagem SPT 05 (Tabela 5).

Como ponto de partida para os cálculos, são apresentados os parâmetros mínimos do presente estudo, no tocante à resistência do solo e das estacas. A seguir, os valores mínimos nas respectivas tabelas. Não foi considerada a contribuição de resistência das estacas causado pelo atrito lateral.

Tabela 8 - Valor de resistência das estacas por unidade (carga de ponta).

ESTACA ESCAVADA COM BROCA MECÂNZADA				
DIÂMETRO	Área - M²	CAPACIDADE DE CARGA – MPA	Kg/m²	CAPACIDADE/ ESTACA - TON
40 CM	0,12566	5	509858,11	64,069

Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

Tabela 9 - Valor de resistência do Radier/solo por Área de influência.

ÁREA DE INFLUÊNCIA DE CADA PILAR	RESISTÊNCIA DO SOLO	RESISTÊNCIA DO RADIER/Pilar - TON
3,87434 m ²	10000 Kg/m ²	38,7434

Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

Tabela 10 - Distribuição do peso próprio do radier.

RADIER ESTAQUEADO	RADIER - PESO PRÓPRIO			
	ÁREA m²	VOLUME m³	γ - KG/ M³	TON/M²
	308,00	246,40	2500,00	2,00
ABSORÇÃO DE PESO PRÓPRIO PELO RADIER TON/M²				1,00
ABSORÇÃO DO PESO PRÓPRIO POR ESTACA - UNIT.				1,00

Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

Figura 13 - Distribuição das tensões considerando estacas e radier trabalhando em conjunto

2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	20,6	2	6,87	2	8,25	2	33	2	8,25	1	2	20,9	2
2	2	6,87	2	1	1	8,25	1	8,25	1	2	10,5	2	2
2	11,2	1	6,87	2	8,21	2	2	2	1	2	2	10,5	2
2	2	11,2	2	1	1	16,4	3	16,4	2	2	21,4	2	2
2	44,8	2	11,2	2	1	3	65,7	3	13,1	2	2	42,7	2
2	2	11,2	2	1	1	16,4	3	16,4	2	1	21,4	2	2
2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	10,7	2	14,2	2
2	13,2	2	1	8,78	1	2	2	2	1	1	2	2	2
2	2	17,6	1	1	1	17,5	3	17,5	2	2	20,8	2	2
2	52,7	2	1	1	14	3	69,8	3	1	1	2	41,6	2
2	2	17,6	2	1	1	17,5	3	17,5	2	1	20,8	2	2
2	13,2	2	2	2	14	2	2	2	14	1	2	2	2
2	2	2	19,2	2	1	1	6,98	1	1	1	2	22	2
2	3	32	2	1	1	1	1	1	2	2	29,3	2	2
2	96	3	24	1	16	1	3,49	1	14,7	2	2	88	2
2	3	32	2	1	1	1	1	1	2	2	29,3	2	2
2	32	2	2	2	9,7	1	1	1	14,7	2	2	22	2
2	2	2	16	2	2	1	1	1	2	1	2	17,6	2
2	2	7,2	2	1	2	19,4	2	19,4	2	2	11	2	2
2	14,4	2	7,2	2	12,9	2	38,8	2	12,9	2	2	22	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

LEGENDA	
	CARGA DO PILAR
	CARGA NA ESTACA
	CARGA NA ESTACA
	CARGA NO RADIER

Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

Para a execução das estacas, admitindo que a contribuição do radier já é suficiente para absorver 50% da carga, considerou-se a utilização de estacas de 40cm de diâmetro, sem a necessidade de armadura, exceto na ligação com o bloco. No entanto, como parâmetro de possíveis transferências de cargas dinâmicas e futuras ampliações da capacidade da produção da UTM, foram adotados 6 (seis) metros de armadura em todas as estacas, independentemente de sua profundidade.

O projeto exigiu a utilização de concreto de 25 MPA, no entanto, os cálculos levaram em conta uma resistência 5 vezes menor, ou quase duas vezes menor, se considerado o máximo exigido na NBR-6122/2010 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) que preconiza 15 MPA como o f_{ck} máximo de projeto.

Tabela 11 - Determinação do coeficiente de segurança.

DIMENSIONAMENTO DO RADIER	UM	CARGA APLICADA / PILAR	TON
Quantidade de estacas	75,00	Quantidade de pilares	14,00
Capacidade de carga p/ estaca	64,07 TON	Carga por pilar	70,56
Capacidade de carga do conjunto	4805,18 TON	Carga dos 14 pilares	987,86
Capacidade de carga do radier	308,00 TON	Peso próprio do radier	616,00
Capacidade do radier estaqueado	5113,18 TON	Carga total	1603,86
Capacidade de carga por pilar	365,23 TON	Carga aplicada / pilar	114,56
COEFICIENTE DE SEGURANÇA			3,19

Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

3.3 Cuidados

Para o apoio necessário às estacas estima-se uma “distribuição ideal das pressões de contato que atuam em um radier rígido, onde a pressão central é, aproximadamente, a metade da pressão média aplicada, segundo a teoria da elasticidade linear.” Desse modo, as estacas centrais precisam ser projetadas de

modo a submergir 50-70% da pressão média aplicada, conduzindo a distribuição de pressão a uma configuração semelhante àquela para um radier rígido, resultando, em recalques diferenciais bastante menores. Nota-se “que as estacas contribuirão com alguma parcela de recalque, devendo então ser projetadas para suportar mais do que aproximadamente metade da pressão de contato aplicada pelo radier ao solo.” (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, 2016, p. 39).

3.4 Planejamento

No mundo todo o Radiers estaqueados tem sido projetado de forma a “suportar uma grande variedade de estruturas e, nas últimas décadas, vêm-se destacando como uma alternativa bastante econômica em relação à fundação convencional totalmente estaqueada”, a qual

admite que toda carga estrutural é suportada apenas pelas estacas. Para tomar partido do compartilhamento de carga entre o radier e as estacas, é conveniente que se tenha disponível um método de projeto que considere, apropriadamente, os mecanismos de interação que ocorrem entre os elementos que compõem a fundação. (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, 2016, p. 39).

Nesse sentido, Souza (2014) afirma que “Embora o uso do radier estaqueado esteja muito direcionado aos edifícios mais altos do mundo, não se pode deixar de lado” os benefícios de sua “aplicação em obras especiais, ou seja, edifícios não tão altos, mas que, devido à sua complexidade, a solução em radier estaqueado tornou-se mais viável.”

Na execução das fundações das torres 1 e 2 da UTM Brumadinho, foram observados os quesitos do projeto, a disponibilidade de máquinas e os equipamentos locais, os prazos propostos e a limitação de recursos disponíveis, tanto financeiros como técnicos.

Dentro do cronograma, foi preciso fazer a contratação da empresa responsável pela perfuração das estacas, de forma que sua disponibilidade e mobilização atendesse ao dimensionamento de mão de obra da Áster construtora, observando os cuidados necessários à garantia da integridade estrutural das estacas moldadas, nos furos escavados. Entre a escavação e a concretagem não

poderia existir a incidência de chuva, pois esta poderia provocar o desmoronamento interno dos furos.

Segundo a NBR 6122/1994, a estaca tipo broca é o tipo de fundação profunda executada por perfuração com trado e posterior concretagem. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

4 EXECUÇÃO

4.1 Etapas da obra

4.1.1 *Locação topográfica*

Foi executada a marcação do corte do tipo secção plena (ou em caixão), sendo a implantação correspondente ao encaixe completo na secção transversal no terreno natural. Para controlar a execução dos cortes no terreno, foram colocados, nos pontos de “offset”, piquetes com a indicação da altura de corte nesses pontos (H_e e H_d), e, através dessas marcações, foi feito o controle da altura de escavação. A escavação prosseguiu até as imediações das alturas H_e e H_d . Fez-se, então, a nova locação do eixo, na plataforma inacabada do fundo do corte, a partir dos referidos pontos de “off-set”. Em seguida, procedeu-se ao nivelamento do terreno no eixo realocado, calculando-se as pequenas alturas de corte e elaborando-se novo serviço para acabamento da plataforma. Este acabamento envolveu um serviço de rapagem, ou seja, corte de pequena altura e de precisão na medida.

4.1.2 *Escavação do radier*

A execução da escavação exigiu uma série de trabalhos preliminares indispensáveis para permitir a utilização posterior dos equipamentos. A primeira providência foi a instalação do canteiro de obras, feito em função da dimensão da obra, da proximidade do centro urbano, do tempo de execução e das facilidades locais. Quanto à localização, foi escolhido um ponto mais próximo do local dos serviços, de fácil acesso e, com facilidade de acesso à água potável. Em seguida, a preocupação maior foi o envio dos equipamentos ao local da obra. As máquinas de esteira e outras de grandes dimensões foram transportados por veículos especiais. As unidades de pneus devidamente autorizadas circularam pelas rodovias. Foi necessária a construção de estradas de serviço e obras provisórias, de modo a permitir o acesso fácil a todos os pontos da obra. A marcação topográfica foi devidamente executada, para prevenir a possibilidade de ocorrência de erros na locação do projeto que pudessem implicar graves prejuízos. Outros serviços

importantes que precederam a escavação propriamente dita foram a limpeza da área de construção, desmatamentos e destocamentos. Para limpeza da área, foram removidas todas as obstruções naturais ou artificiais existentes, tais como: vegetação, tocos, raízes e outros obstáculos. A limpeza da área compreendeu, ainda, a remoção da camada de terra vegetal ou solo orgânico que existia na superfície, o desmatamento com corte e remoção de toda a vegetação e o destocamento com a retirada de tocos e raízes.

4.1.3 Compactação do radier

O solo natural onde foi locada a fundação das torres 1 e 2, contém, em sua constituição, partes menos espessas e mais espessas, devido à água ou ar entre as camadas. Se se construir sobre este terreno, poderá ocorrer um afundamento, porque este terreno não estava preparado para receber peso sobre a base. Para isto, foi necessário compactar o solo, para que estas irregularidades fossem retiradas e o terreno ficasse preparado para suportar a carga da edificação. Há duas formas de fazer a compactação:

a) Estática e Vibratória:

- ✓ estática: quando utilizamos uma máquina ou um objeto (rolo manual), e somente seu peso é usado como força de impacto no sentido vertical. Pode se aumentar ou diminuir a força de compactação somente com o aumento ou a diminuição do peso do objeto que está sendo empregado. Este tipo de compactação somente pode ser utilizado nas camadas superficiais, atingindo, no máximo, uma profundidade de 10 cm.
- ✓ vibratória - são utilizadas máquinas motorizadas que, além de seu peso, é adicionado um sistema vibratório. Utilizam-se, portanto, placas compactadoras com um eixo excêntrico, sendo compactadores de percussão com um sistema combinado de pistão com molas. Esta vibração ou impacto foi transmitida ao solo em uma sequência de vibrações ou golpes por minuto, resultando em um alto grau de interferência nas partículas do solo, agregando-as e solidificando o terreno.

Basicamente, existem solos Coesivos e Granulares. O terreno determinado para a execução das fundações citadas é do tipo coesivo. É formado por menores partículas, tais como argila, areia e lodo. Normalmente, somente se consegue um certo grau de compactação, se forem usados os compactadores de percussão (sapos) ou rolos tipo pé de carneiro. Portanto, foi utilizado o compactador do tipo sapo e a prancha vibratória já mencionada.

4.1.4 Escavação das estacas

Primeiramente, foi feita a locação, no terreno, dos pontos de execução das estacas. Através de gabarito de madeira, foram marcados os eixos das estacas. Nos cruzamentos destes eixos, ficaram os pontos de locação.

Foi usada a estaca do tipo trado mecanizado, que é uma estaca moldada no solo, escavada com trado helicoidal, acionado por perfuratriz montada sobre caminhão e concretada, lançando-se o concreto da superfície do terreno.

Foram executadas, através de torres metálicas acopladas em caminhões com guinchos, conjunto de tração e haste de perfuração, sendo esta helicoidal constituída de trados com comprimentos entre 1 e 1,5 m em sua extremidade e 40 centímetros de diâmetro. Procedeu-se o avanço através de prolongamento telescópico até a profundidade desejada. No caso da torre 1, em torno de 7 metros e na torre 2, 6 metros.

Figura 14 - Escavação das estacas do radier estaqueado da torre 1 da UTM.



Fonte: O autor (2015).

4.1.5 Concretagem das estacas

Antes do início da concretagem, procedeu-se à limpeza completa do fundo da perfuração, com a remoção do material desagregado durante a escavação. Toda a lama e água acumuladas foram removidas. O concreto foi lançado do fundo da perfuração com o auxílio de mangote e bomba lança de tubulação, para se evitar a queda e consequente desagregação do concreto. O concreto teve que apresentar $f_{ck} > 25$ Mpa, com o consumo de cimento superior a 380 kg/m^3 e consistência plástica. A armadura de todas as estacas foi no sentido longitudinal e transversal, prolongando-se até o interior do bloco do radier. Detalhamentos e dimensionamentos conforme o projeto encontram-se em anexo.

4.1.6 Fretamento da cabeça das estacas

Antes da execução do Radier, procedeu-se ao preparo das cabeças das estacas, que consistiu na limpeza de sua ferragem de topo e da área de projeção do bloco, seguidos, pela ordem do lançamento do concreto magro, da colocação da forma, da colocação da armadura e do lançamento do concreto estrutural do bloco propriamente dito. As estacas que se apresentarem com excesso de concreto, em relação à cota de arrasamento, foram desbastadas, com pequena inclinação em relação a horizontal, usando-se ponteiros. O desbaste do excesso de concreto foi levado até se atingir um concreto de boa qualidade. Nos casos de estacas que ficaram abaixo da cota de arrasamento, foi feita a recomposição com Graute de alto desempenho, aplicado nesse trecho de estaca.

4.1.7 Execução das formas do radier

A montagem das formas de borda do radier aconteceu com o cuidado de se atentar para seu nível de referência. Utilizou-se nível laser. As chapas de compensados para moldar uma estrutura de grandes dimensões, contou com um reforço das chapas, a fim de se obter um melhor rendimento, pelo aumento da inércia. Para isso, utilizaram-se reforços de madeira (ripamento justaposto), a própria chapa compensada de 1,10 x 2,20 m e, nos casos das peças de madeira, sarrafos de 1/2"x2", caibros de 2"x3", 3"x4", 2"x4", 4"x5" e pontaletes de 2"x2", 3"x3", 4"x4".

Figura 15 - Forma e Armação do radier estaqueado da torre 1 da UTM.



Fonte: O autor (2015).

4.1.8 Montagem da armação do radier

Foi construída, no início da obra, uma bancada de armador principal, constituída por pranchões de madeira apoiados sobre cavaletes e provida dos equipamentos necessários à preparação de armadura, possibilitando cortar os fios e as barras de aço na bancada, seguindo as orientações e dimensões constantes no projeto de armação.

Para racionalizar esse serviço e minimizar as perdas de material, contou-se com um plano de corte previamente elaborado, principalmente, no caso de barras com diâmetro de 12,5, 16 e 20 mm.

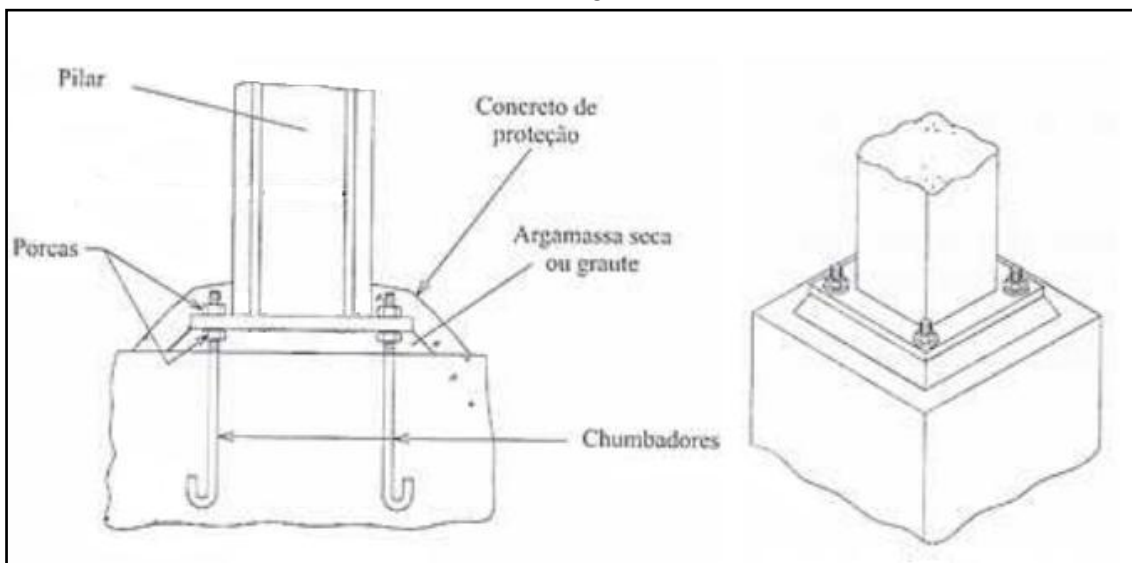
Posicionaram-se as barras da armadura principal e, em seguida, as barras da armadura secundária. Os nós foram amarrados alternadamente, com o devido posicionamento das barras da armadura negativa.

Utilizaram-se espaçadores de 50 mm, de modo a garantir o recobrimento mínimo do concreto sobre a armadura. Nos pontos nos quais a armadura negativa é notoriamente importante, houve atenção redobrada quanto ao posicionamento de “caranguejos” e calços.

4.1.9 Instalação dos insertes da torre metálica

As ancoragens são elementos plásticos, químicos ou metálicos, que permitem fixar uma peça a um tipo de material base, através de atrito ou adesão com as paredes do furo ou base de suporte. O desempenho seguro de uma ancoragem depende da seleção, do tipo e tamanho correto do fixador. Um exemplo de fixação inadequada é o caso de um compressor fixado com uma ancoragem que não suporta vibração: o compressor pode se soltar facilmente. Um fixador pode se deteriorar e perder sua capacidade de sustentação, se for escolhida a ancoragem plástica para uma aplicação de temperatura alta ou exposta a elementos úmidos. Deve-se, também, considerar a resistência à corrosão, ao se selecionar a ancoragem. No sistema de ancoragem adotado, os chumbadores foram posicionados antes da concretagem de forma definitiva. Devido ao seu posicionamento anterior à concretagem, o trabalho de locação deve ser minucioso. Por isso, a fixação na ferragem ou nas formas foi feita com gabaritos, a fim de evitar qualquer movimento durante a concretagem. A chapa de base é uma ligação que se faz por meio de chapa unida à armadura principal do radier. Através de chumbadores, seu nivelamento e prumo são regulados por meio de porca e contra porca. Após a montagem da chapa de base, entre o pilar e a fundação ficou o espaço vazio entre eles, que foi preenchido com groute, seguindo a descrição no projeto.

Figura 16 - Detalhe do Chumbador da chapa de base do apoio dos pilares – Torres 1 e 2.



Fonte: Rocha Vieira Engenharia (2016).

4.1.10 Concretagem do radier

A primeira ação a ser feita é a execução de lastro de concreto. Descrição: - camada de concreto simples, traço 1:4:8, cimento, areia e brita; espessura 5cm.

O concreto foi lançado e espalhado sobre solo firme já compactado. Como se tratava de áreas extensas, ou sujeitas à grande solicitação, foram executadas juntas, formando anéis de 4m x 4m, conforme utilização ou previsto em projeto. As juntas foram secas ou seja, executadas com a utilização de serra circular, após a cura. A superfície final ficou nivelada.

O concreto estrutural a ser empregado na execução do radier, teve a resistência indicada no projeto estrutural e obedeceu, na sua confecção e no seu emprego, as mesmas condições determinadas pelas normas para o concreto armado vigentes no país.

A concretagem foi executada após a limpeza geral do lastro, da forma e da armadura colocada. O concreto lançado seguiu as recomendações do projetista, conforme projeto estrutural. Na execução do concreto, seu abatimento (“slump”) permitiu a trabalhabilidade necessária para execução das faces laterais, através de regularização com o uso de régua vibratória e nível laser. Devido ao grande volume de concreto existente em um radier de 80 centímetros de espessura, foi necessário o uso de vibradores de imersão com mangotes.

Por determinação do contratante, foi aplicado o acabamento camurçado, executado pela empresa TECNOPISOS que procedeu ao trabalho com o uso de máquinas de polimento, no exato momento do início de pega do concreto. Em todas as etapas, foi utilizado o nível laser para aferição do perfeito nivelamento da peça.

Figura 17 - Concretagem do radier estaqueado da torre 1 da UTM



Fonte: O autor (2015).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principal objetivo narrar e compartilhar a experiência vivida pelo aluno de Pós Graduação, em uma obra com características diferentes daquelas utilizadas habitualmente, e que se mostrou repleta de situações nas quais foi necessária a busca de informações e da experiência dos professores e colegas, bem como pesquisar a literatura pertinente ao tema.

O fato do projeto e sua execução ter ocorrido paralelamente ao curso de pós graduação, proporcionou ao aluno colocar em prática os conceitos aprendidos em sala de aula, garantindo assim um laboratório complementador do curso. Enorme foi a satisfação de realizar o trabalho e contar com o apoio de colegas e professores. Como se tratou de um trabalho pioneiro, vale destacar o sucesso na aceitação do cliente na proposta apresentada de utilizar um sistema único de fundações ainda pouco difundido no país. Este fato gerou uma série de descobertas que ao longo da obra proporcionaram a criação de procedimentos inovadores.

Assim, acredita-se que os resultados obtidos nesta investigação poderão servir de subsídios para outras pesquisas futuras. Portanto, este trabalho pode ser considerado como o primeiro capítulo de uma obra literária que irá relatar muitas técnicas facilitadoras na execução deste tipo de fundações.

6 RESULTADOS

Do ponto de vista acadêmico, este trabalho é uma oportunidade ímpar de se conhecerem os conceitos, as etapas de elaboração construtiva, do planejamento das atividades, da seleção dos produtos e equipamentos utilizados na execução de fundações.

Figura 18 - Torre 1 da UTM.



Fonte: O autor (2015).

Figura 19 - Torres 1 e 2 da UTM.



Fonte: O autor (2015).

Figura 20 - Alimentador e GLP da UTM.



Fonte: O autor (2015).

REFERÊNCIAS

AMERICAN MARKETING ASSOCIATION - AMA. [S. l.]: AMA, 2015. DictionaryDisponível em : <http://www.marketingpower.com/_layouts/Dictionary.aspx?source=footer>. Acesso em: 06 fev. 2015.

ARAKI, Maria Sanae. **Aspectos relacionados às propriedades de solos colapsíveis do Distrito Federal**. 1997. 121f. Dissertação (Mestrado)- Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS ENTIDADES DE CRÉDITO IMOBILIÁRIO E POUPANÇA. ACEBIP. **Mercado Imobiliário dos últimos anos e perspectivas para 2015**. [S. l.]: ACEBIP, 2015. Disponível em: <<http://www.abecip.org.br/busca.asp?search=mercado+imobili%C3%A1rio#>> Acesso em: 21 mar. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

_____. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 6484**: sondagens de simples reconhecimento dos solos com SPT. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR 6118**: Concreto armado. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BARDEN, L.; McGOWN, A.; COLLINS, K. The Collapse mechanics on partly saturated soil. **Journal of Eng, Geology**; Amsterdam, p. 49-60, 1973. .

BARROS, Aidil de Jesus Paes; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. **Fundamentos de metodologia**: um guia para a iniciação científica. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BERTUCCI, Janete Lara de Oliveira. **Metodologia básica para elaboração de Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC)**: ênfase na elaboração de TCC de pós-graduação Lato Sensu. São Paulo: Atlas, 2008.

BRUMADINHO. Prefeitura de Brumadinho. **Coletânea explorando & conhecendo Brumadinho**. Brumadinho: Prefeitura, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/APOSTILA_BRUMADINHO.pdf> Acesso em: 31 jan. 2016.

CASTILLO, Danny Joel Ayala. **Uso da técnica de radier estaqueado para pequenos edifícios assentes sobre solo colapsível**. 181f. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2013.

CINTRA, José Carlos A. **Fundações em solos colapsíveis**. São Carlos: Gráfica da EESC/USP, 1998.

CORDEIRO, Ary Franck Baia. **Avaliação numérica de reforço de grupo de estacas pela introdução de estacas adicionais.** 118f. 2007. Dissertação

(Mestrado) - Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2007. Disponível em: <

<http://www.geotecnia.unb.br/downloads/dissertacoes/155-2007.pdf>> Acesso em: 31 jan. 2016.

DÓRIA, Luís Eduardo Santos. **Projeto de estrutura de fundação em concreto** do tipo radier. 93f. 2007. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007. Disponível em: <

http://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Luis%20Eduardo%20Santos%20Doria.pdf > Acesso em: 31 jan. 2016.

DÓRIA, Luís Eduardo Santos; LIMA, Flávio Barboza de. Análise de fundação tipo radier empregando o modelo de analogia de grelha. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DO CONCRETO CBC, 2008, 5., 2008. Anais... Porto Alegre: UFRS, 2008Disponível em: <

http://coral.ufsm.br/decc/ECC840/Downloads/Analogia_Grelha_Radier.pdf> Acesso em: 31 jan. 2016.

FERREIRA, Silvio Romero de Melo. **Colapso e expansão de solos naturais não saturados devidos à inundação.** Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

FUTAI, Marcos Massao. **Análises de ensaios oedométricos com sucção**

controlada em solos colapsíveis. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GONÇALVES, Rafael Leite. Estudo do comportamento de etacas apiloadas em solo colapsível da região de Londrina/PR. 2006. 166f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

GREEN METALS. Disponível em: < <http://www.greenmetals.com.br/>> Acesso em: 02 fev. 2014.

LIMA JÚNIOR, João da Rocha. **Sistemas de informação para o planejamento na construção civil:** gênese e informatização. São Paulo: EPUSP, 1990. Disponível em: < <http://www.realestate.br/dash/uploads/sistema/>

[Arquivos/bt_pcc_26_90___sistemas_de_informacao_para_o_planejamento_da_construcao_civil___genese_e_informatizacao.pdf](http://www.realestate.br/dash/uploads/sistema/Arquivos/bt_pcc_26_90___sistemas_de_informacao_para_o_planejamento_da_construcao_civil___genese_e_informatizacao.pdf)> Acesso em: 31 jan. 2016.

LOBO, Bianca de Oliveira. **Método de previsão de capacidade de carga de estacas: aplicação dos conceitos de energia do ensaio SPT.** Dissertação

(Mestrado)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7394/000543601.pdf?sequence=1>> Acesso em: 31 jan. 2016.

MARINHO, Fernando Antônio Medeiros. Investigação geotécnica para quê? **COBRAE**, v. 2, 2005. Disponível em: <http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/222204/mod_resource/content/0/Marinho%20-%20Investiga%C3%A7%C3%A3o%20-%20COBRAE2005-Final.pdf> Acesso em: 31 jan. 2016.

MARIZ, Digna de Faria. **Um estudo químico mecânico sobre o colapso de solos residuais sesquióxidos micro-agregados do planalto central**. 1993. Dissertação (Mestrado)- Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1993.

MENDONÇA, Marcos Barreto de. **Comportamento de solos colapsíveis da região de Bom Jesus da Lapa - Bahia**. 1990. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio de Janeiro COPPE, 1990.

OTTAVIANI, M. Three-dimensional finite element analysis of vertically loaded pile groups. **Geotechnique**, v. 25, n. 2, p. 159-174, 1975.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO. **Radiers estaqueados**. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2016. [Certificação digital, n. 9916418/CA] Disponível em: < http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/3957/3957_3.PDF> Acesso em: 31 jan. 2016.

RANDOLPH, M.F. & WROTH, C.P. An analysis of the vertical deformation of pile groups. **Geotechnique**, v. 29, n. 4, p. 423-439, 1979.

REGINATTO, A. Suelos Colapsibles : Prediction de la Susceptibilidad al Colapso. Proc. Reunion Argentina Mec. **Suelos Ing. Fundac.**, Cordoba, v. 1-7, p. 1-7, 1970.

RODRIGUES, Roger Augusto. **Influência do esgoto doméstico como fluido de saturação no colapso de um solo arenoso**. 2003. 130f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista, 2003.

ROCHA VIEIRA ENGENHARIA. Disponível em: < <http://www.rochavieiraengenharia.com.br/>> Acesso em: 31 jan. 2016.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações na engenharia de fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

SALES, Maurício M. et al. previsões de comportamento de um radier estaqueado no Distrito Federal. [S. l.]: Cobram, 2014. Disponível em: < <http://www.cobramseg2014.com.br/anais/2002/arquivos/2002.25.pdf>> Acesso em: 31 jan. 2016.

SOUZA, Fábio Albino de. Utilização de radier estaqueado em obras especiais e edifícios altos. In: congresso brasileiro de pontes e estruturas, 7., 2014. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CBPE, 2014. Disponível em: < http://www.abpe.org.br/trabalhos/trab_63.pdf> Acesso em: 02 fev. 2016.

SAYÃO, Alberto; SIEIRA, Ana Cristina; SANTOS, Petrucio. **Manual técnico: reforços de solo**. São Paulo: MACCAFERRI, 2016. Disponível em: <

http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/maccaferri/manual_tecnico_reforco_de_solos.pdf> Acesso em: 31 jan. 2016.

SILVA, Anderson Antonio Gervásio da. **Avaliação do efeito da modificação da ponta na capacidade de carga de estacas escavadas tipo trado mecanizado**. 116f. 2014. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <
<file:///C:/Users/User/Downloads/estacas%20escavadas.pdf>> Acesso em: 31 jan. 2016.

UNIVERSIDADE FUMEC. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade Fumec**. 3.ed.rev. Belo Horizonte: FEA, 2015. 38 p.

ANEXOS - Anotações de Responsabilidade Técnica



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART

Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201400000001707367

Via do Profissional

Página 1/1

1. Responsável Técnico

VAGNER DE JESUS VIEIRA

Título profissional:
ENGENHEIRO CIVIL;

RNP: 1410503399

Registro: 04.0.0000148729

Empresa contratada:
ROCHA VIEIRA ENGENHARIA LTDA-ME

Registro: 59472

2. Dados do Contrato

Contratante: **GREEN METALS SOLUÇÕES AMBIENTAIS S.A**

CNPJ: 16.382.339/0001-30

Logradouro: **RUA DESEMBARGADOR JORGE FONTANA**

Nº: 000080

Complemento: **SALA 10107**

Bairro: **BELVEDERE**

Cidade: **BELO HORIZONTE**

UF: **MG**

CEP: 30320670

Contrato: **001**

Celebrado em: **10/03/2014**

Valor: **24.000,00**

Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PRIVADO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA DESEMBARGADOR JORGE FONTANA**

Nº: 000080

Complemento: **SALA 1107**

Bairro: **BELVEDERE**

Cidade: **BELO HORIZONTE**

UF: **MG**

CEP: 30320670

Data de início: **10/03/2014** Previsão de término: **28/03/2014**

Finalidade: **INDUSTRIAL**

Proprietário: **GREEN METALS SOLUÇÕES AMBIENTAIS S.A.**

CNPJ: 16.382.339/0001-30

4. Atividade Técnica

1 - EXECUÇÃO

Quantidade: Unidade:

DESENHO TÉCNICO, EDIFICAÇÕES, FUNDACAO

550.00 m²

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

PROJETO DESTINADO À PLANTA DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO NA ZONA RURAL DE BRUMADINHO AO LADO DO ATERRO SANIT.

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

_____, de _____ de _____

VAGNER DE JESUS VIEIRA

RNP: 1410503399

GREEN METALS SOLUÇÕES AMBIENTAIS S.A. CNPJ: 16.382.339/0001-30

9. Informações

- A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site

www.crea-mg.org.br ou www.confex.org.br

- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do

contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

VALOR DA OBRA: R\$ 24.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: CALCULO ESTRUTURAL,



CREA-MG

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

Valor da ART: **167,68**

Registrada em: **26/03/2014**

Valor Pago: **167,68**

Nosso Número: **0000000001744112**



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

CREA-MG

ART de Obra ou Serviço
14201400000001721100

Via do Profissional
Página 1/1

1. Responsável Técnico

VAGNER DE JESUS VIEIRA

Título profissional:
ENGENHEIRO CIVIL;

RNP: 1410503399

Registro: 04.0.0000148729

Empresa contratada:
ASTER CONSTRUTORA LTDA - ME

Registro: 59707

2. Dados do Contrato

Contratante: **GREEN METALS SOLUÇÕES AMBIENTAIS S.A**

CNPJ: 16.382.339/0001-30

Logradouro: **RUA DESEMBARGADOR JORGE FONTANA**

Nº: 000080

Complemento: **SALA 1107**

Bairro: **BELVEDERE**

Cidade: **BELO HORIZONTE**

UF: **MG**

CEP: 30320670

Contrato: **001/14**

Celebrado em: **17/03/2014**

Valor: **360.000,00**

Tipo de contratante: **PESSOA JURÍDICA DE DIREITO PRIVADO**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RODOVIA ESTRADA DE CASA BRANCA**

Nº: 000000

Complemento: **SEM NUMERO**

Bairro: **ALBERTO FLORES**

Cidade: **BRUMADINHO**

UF: **MG**

CEP: 35460000

Data de início: **17/03/2014** Previsão de término: **27/06/2014**

Finalidade: **INDUSTRIAL**

Proprietário: **GREEN METALS SOLUÇÕES AMBIENTAIS S.A**

CNPJ: 16.382.339/0001-30

4. Atividade Técnica

1 - EXECUÇÃO

Quantidade: Unidade:

EXECUÇÃO DE OBRA/SERVIÇO, EDIFICAÇÕES, FUNDAÇÃO

550.00

m²

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

EXECUÇÃO DE OBRA CIVIL DE CONSTRUÇÃO DE FUNDAÇÕES DE EQUIPAMENTOS DE UNIDADE DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO

6. Declarações

7. Entidade de Classe

SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

_____, de _____ de _____

VAGNER DE JESUS VIEIRA

RNP: 1410503399

GREEN METALS SOLUÇÕES AMBIENTAIS S.A CNPJ: 16.382.339/0001-30

Valor da ART: **167,68**

Registrada em: **01/04/2014**

Valor Pago: **167,68**

Nosso Número: **0000000001755423**

9. Informações

- A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.
- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-mg.org.br ou www.confed.org.br
- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

VALOR DA OBRA: R\$ R\$360.000,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: CIVIL,



CREA-MG
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732