

Viabilidade Técnico Econômica da Estaca RAP Modificada

Tales Moreira de Oliveira

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, talesciv@gmail.com

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil

Lucélia Aparecida Bicalho

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, luceliaapbicalho@gmail.com

Saymon Henrique Batista

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, saymon.hb1992@gmail.com

Rafael Luan Lima de Sá

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, rlls2007@gmail.com

Nathália Candian de Souza

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, nathcandian@hotmail.com

Wimara Rúbia Sá Gomes

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, wimamarubia@gmail.com

Ana Gabriela Vilela

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, abilverissimo@gmail.com

Juliana de Paula Rezende

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, jupaulaprod@gmail.com

Willian de Oliveira Maia

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, willianmaia_sbs@oi.com.br

Yuri Philippe Pinto da Costa

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, yuri577@gmail.com

RESUMO: A estaca granular compactada do tipo RAP - Rammed Aggregate Piers - consiste em uma técnica de melhoramento de solos utilizada tanto para solos granulares como para solos coesivos e, tem como objetivo o aumento da capacidade de carga geotécnica do solo, a melhoria geral da estabilidade das estruturas relativa à interação solo-estrutura e a redução e a aceleração dos deslocamentos provenientes do adensamento. Sua aplicação, quando usada em simultâneo com uma fundação do tipo superficial, proporciona um aumento na capacidade de carga do solo, além de reduzir o recalque primário, se comparado apenas com o emprego de uma fundação rasa para as mesmas condições de carga e tipo de solo. A Estaca RAP Modificada proposta constitui-se em uma execução simplificada da estaca RAP que foi alterada para ser construída com pequeno diâmetro, cerca de 15 cm, empregando escória de aciaria como material granular e é executada utilizando o martelo SPT como elemento de compactação. Tendo como principal objetivo a aplicação em fundações de edificações de médio a pequeno porte. Este trabalho visa prestar um estudo da viabilidade econômica da estaca RAP Modificada, através do dimensionamento de diferentes modelos de fundações normalmente empregados no Brasil em situação geotécnica hipotética, aos

quais poder-se-ia também aplicar a técnica proposta (RAP Modificada). A estaca RAP Modificada para pequenos diâmetros obteve um bom custo, mostrando ter aplicação viável e vantajosa.

PALAVRAS-CHAVE: Viabilidade Econômica, Estaca Granular, Melhoramento de Solo.

1 INTRODUÇÃO

Com a constante densificação das áreas urbanas, verifica-se que as áreas possíveis de serem construídas tendem a apresentar características geológicas geotécnicas inferiores àquelas já ocupadas, (CRISTELO, 2001; SOARES, 2002). Neste contexto a geotecnia tem recorrido às técnicas de melhoramento dos solos, entre outras também possíveis de aplicação, para construção das fundações. Muitas pesquisas são realizadas no âmbito deste cenário, porém poucas são as pesquisas que envolvam edificações de médio a pequeno porte, principalmente pelo fato de que este padrão construtivo tende a abarcar menor aporte financeiro, (DUARTE, 2012).

Além dos sistemas de fundações comumente utilizados, caso das estacas pré-moldadas, estacas escavadas tipo hélice contínua, broca e sapatas estaqueadas, também se insere neste contexto as estacas ou colunas de brita como possibilidade de solução geotécnica para os terrenos menos competentes. Entretanto, este último difere-se dos demais pela forma de atuação e melhoramento do solo (ROCHA, 2012). Contudo, cabe relatar que dentre as diversas possibilidades de soluções para o melhoramento dos terrenos, a melhor escolha deve-se, por exemplo: à forma de aplicação, ao tipo de solo a se tratar, à característica geotécnica do solo objeto de melhoramento, à localização, às técnicas construtivas disponíveis e à relação custo-benefício, dentre outros fatores. Considera-se que no âmbito do melhoramento ou reforço do solo de fundação os objetivos mais comuns são: reduzir e acelerar os deslocamentos provenientes do adensamento, aumentar a capacidade de carga geotécnica e melhoria geral da estabilidade das estruturas em relação à interação solo estrutura. (SOARES, 2005). Desse modo, e de acordo com o objetivo a se alcançar com a utilização das estacas de brita, a técnica empregada pode ser classificada

como tratamento, reforço ou melhoramento do solo.

Desde 1970 uma variação deste tipo de fundação é comumente usada no nordeste brasileiro (GUSMÃO, 2005), visando o melhoramento de solos arenosos, por meio da execução de estacas compactadas que geram uma densificação do solo ao redor do elemento construído. Este tipo de fundação também pode ser usado no melhoramento de solos moles.

Diferentes nomenclaturas tem sido utilizadas para designar as estacas granulares compactadas, desde o seu uso mais expressivo a partir dos anos de 1950 (STUEDLEIN, 2008), estando este nome relacionado ao processo construtivo conforme os exemplos a seguir: a) Estacas de areia e brita; b) Método com encamisamento (*Cased-borehole method*); c) Método vibro-composto; d) Com recurso de um “parafuso sem fim”; e) Vibrosubstituição; f) Método GESC (geossintéticos envolvendo estacas de brita, por vezes com ligantes no material de enchimento) e f) Método das estacas de agregado apiloados – RAP (*Rammed Aggregate Pier*), patenteada pela Geopier.

Visando determinar a viabilidade técnica de uma estaca RAP modificada, fez-se o dimensionamento de diferentes modelos de fundações comumente empregados no Brasil para uma situação geotécnica hipotética, em que a aplicação da estaca em questão fosse plausível. Para o estudo da viabilidade econômica, buscou-se no mercado o custo de implantação das diferentes soluções e comparou-o ao custo da estaca RAP modificada para a situação geotécnica hipotética estudada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A estaca RAP modificada, fora aqui denominada de Mini-RAP, trata-se de uma nova proposta, ainda em estudo, pelas Universidades Federal de Viçosa e São João Del Rei (Campus

Alto Paraopeba) onde a estaca é executada com um pequeno diâmetro, cerca de 15 cm, bem inferior aos normalmente empregados para a RAP Geopier®. Inicialmente ela é escavada até a profundidade de projeto podendo ser perfurada por um trado manual ou por um trado mecânico portátil, sendo o furo preenchido por escória de aciaria, em camadas sucessivas de 30 cm de altura compactada. A compactação se faz por meio de um apiloamento da escória utilizando-se do martelo do SPT de 65 kg, aplicando cerca de 17 golpes (por camada), sendo equivalente a uma energia de compactação compatível ao Proctor intermediário, conforme pode ser vislumbrado na Figura 1. Existe também a possibilidade de realizar a compactação utilizando martelo mecânico elétrico.

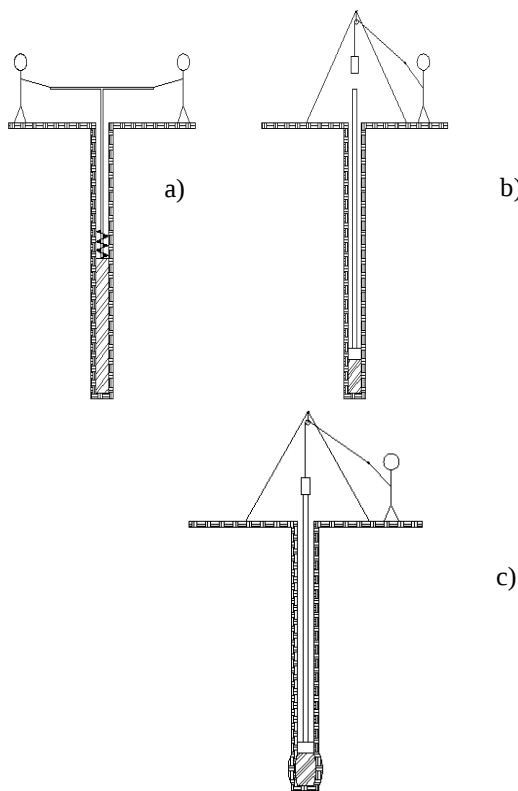


Figura 1. Esquema de escavação e compactação, a) escavação com trado, b) preenchimento com escória, c) compactação.

2.1 Campo Geotécnico

Para o desenvolvimento dos objetivos propostos, buscaram-se dados de uma obra pública, que aqui não será nomeada por questões de sigilo, da qual obteve acesso aos dados geotécnicos e ao projeto de fundação e

que para o pilar mais carregado (P24, 25x40 cm) apresenta uma carga de 60 tf. Este pilar foi utilizado para o desenvolvimento dos estudos de fundação neste trabalho. O solo no entorno foi caracterizado como siltoso pouco argiloso com areia fina de cor variegada, sem presença de nível d'água.

2.2 Modelos de Fundações Comparados

De acordo com as condições geotécnicas apresentadas em 2.1 e 3.1, verificou-se algumas possibilidades de fundações e que são constantemente empregadas no Brasil. Desta forma elencou-se os seguintes elementos de fundação: 1) Estaca tipo Broca; 2) Hélice Continua; 3) Estaca Raiz; 4) Pré-moldada de Concreto e 5) Fundação Superficial + Mini-Rap.

2.3 Metodologia

Primeiramente buscou-se os projetos de uma obra, de médio porte e que apresentasse um solo de fraca a média competência nas primeiras profundidades. Dispondo-se destes projetos desenvolveu-se o estudo da fundação do pilar mais carregado, realizando o dimensionamento da sua fundação pelos seguintes métodos: de Décourt e Quaresma (1978) para os casos de Estaca Tipo Broca, Hélice Contínua e Raiz; Monteiro (1997), baseado em Aoki e Velosso (1975) para pré-moldada de concreto; e Lawton *et al.* (1994), para Mini-RAP, considerando, assim, os cinco tipos de fundações elencados em 2.2. Após o dimensionamento buscou-se averiguar o custo médio praticado para estas fundações realizando em seguida uma comparação dos custos, visando verificar viabilidade econômica da estaca Mini-Rap, sendo que para esta finalidade também fora desenvolvida a composição de custo da estaca Mini-RAP. Os custos apresentados para todas as soluções estão desprovidos do Benefício e Despesas Indiretas (BDI), visto que este percentual é variável de acordo com a região, empresa executora, tamanho e tipo obra etc.

3 RESULTADOS

3.1 Estudo Geotécnico

Na Tabela 1 a seguir constam os dados obtidos da sondagem a percussão realizada nas proximidades do pilar escolhido conforme 2.1.

Tabela 1. Resultado do ensaio de Sondagem a percussão (SPT) realizado próximo ao pilar mais carregado.

Camada	N _{SPT} - 30cm	Tipo de Solo
1	6	
2	9	Silte pouco Argiloso Com Areia fina de médio a duro cor Variegada
3	14	
4	19	
5	26	
6	38	
7	59	-

3.2 Resultado do Dimensionamento

Na Tabela 2 é apresentado o resultado do dimensionamento geotécnico para as diferentes soluções propostas em 2.3. Já na Tabela 3, para cada tipo de fundação estudado, é apresentado sua seção, comprimento da estaca e as dimensões do bloco de coroamento e da fundação superficial (direta) tipo bloco para a Mini-Rap.

Tabela 2. Resultado do dimensionamento das diferentes propostas.

Tipo	Diâm. (cm) / Prof. (m)	Método	Qadm por estaca (tf)	Quant. Est.
Broca	40 / 5	Décourt e Quaresma (1978)	12,9	5
Hélice continua	80 / 6		62,8	1
Raiz	40 / 6		38	2
Pré-Moldada	25x25 / 5	Monteiro (1997)	46,5	2
Bloco + Mini-RAP	15 / 5	Lawton et Al (1994)	63*	5*

* Para a fundação superficial tipo bloco (145 x 145 cm) assente sobre 5 estacas Mini-RAP, obteve-se uma capacidade de carga geotécnica admissível para o conjunto igual a 63 tf e um recalque estimado de 28 mm.

Tabela 3. Tipologias e Dimensões.

Tipo de Fundação	Diâm. / Prof.	Dimensões do Bloco
Broca	40 cm / 5m	170 x 170 x 80
Hélice continua	80 cm / 6m	110 x 110 x 50
Raiz	40 cm / 6m	190 x 70 x 85
Pré-Moldada	25 x 25 / 5m	125 x 85 x 50
Bloco + Mini-RAP	15 cm / 5m	145 x 145 x 60

3.3 Estudo de viabilidade Econômica

Primeiramente foi desenvolvido a composição de custo para a estaca Mini-RAP que, conforme a Tabela 4 a seguir, apresenta um custo igual a R\$28,01 o metro, sem a inserção do BDI.

Tabela 4. Composição de custo da Estaca Mini-RAP*

Descrição	Un.	Rend.	Preço un.	Preço Insumo
Perfuração e colocação de materiais, com equipamento e maquinaria, para estaca escavada com trado mecânico portátil, de 15 cm de diâmetro.	m	0,407	2,54	1,03
Ajustes de hastes metálicas e Compactação de escória com uso de Martelo Mecânico de 65 kg, motor elétrico.	m	0,407	0,11	0,04
Escória beneficiada e na granulometria de projeto	kg	64,000	0,02	0,96
1 Operador de Martelo Mecânico	h	0,611	10,50	6,42
5 Ajudantes de compactação e perfuração	h	2,037	6,50	13,24
1 Engenheiro júnior	h	0,056	89,47	4,97
Meios auxiliares	%	2,000	26,66	0,53
Custos indiretos	%	3,000	27,19	0,82
			Total:	28,01

* Estaca Mini-RAP de 15 cm de diâmetro, escavada com trado mecânico portátil e compactada com martelo mecânico de motor elétrico sobre tripé de 65 kg.

Os diferentes custos obtidos por uma pesquisa de mercado em Minas Gerais são apresentados na Tabela 5, contendo insumo e execução. Entretanto, deve-se ressaltar que existe no Brasil uma grande dispersão em torno destes valores, principalmente em função das

técnicas e costumes presentes, bem como e concomitantemente de acordo com a formação geotécnica presente em cada região.

Tabela 5. Custo por metro para diferentes estacas

Tipo	Diâmetro (cm)	R\$/m
Broca	40	99.22
Hélice Contínua	80	334.96
Raiz	40	381.62
Pré-Moldada	25x25	121.80

Dispondo dos dados projetados apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 tabelou-se o custo de implantação das diferentes propostas de fundação para o pilar estudado, conforme consta na Tabela 6 abaixo:

Tabela 6. Custo de implantação das diferentes soluções propostas.

Tipo	R\$ total das estacas	R\$ Bloco de Coroamento	R\$ Fundação Direta	R\$ Total Geral
Broca	2.480,5	1.988,3	-	4.468,8
Hélice Contínua	2.009,8	520,3	-	2.530,1
Raiz	4.579,4	972,2	-	5.551,7
Pré-Moldada	1.218,0	456,9	-	1.674,9
Mini-RAP	700,2	-	555,1	1.255,3

4 DISCUSSÕES

Primeiramente ressalta-se que no caso da estaca Mini-RAP o objetivo de seu uso é melhorar as propriedades do solo circunvizinho à estaca executada, de forma a permitir a inserção de uma fundação do tipo direta, que seja capaz de suportar a carga do pilar mantendo-se os valores de seu recalque dentro da faixa admissível.

De acordo com o resultado da sondagem apresentado em 3.1, pode-se observar que os primeiros 3 metros do perfil geotécnico apresentam um N_{SPT} médio da ordem de 9,6, ou seja, um solo de média a baixa competência, possuindo ainda coesão mínima para ser furado sem o seu autofechamento. Portanto, considera-se esse perfil de solo coerente para a aplicação da estaca Mini-RAP.

De acordo com a geotecnia e carga do pilar em estudo, buscou-se averiguar a capacidade de carga dos diferentes elementos de fundações propostos, determinando-se as dimensões julgadas mais convenientes. Com estas colocações verifica-se que a solução por estaca do tipo Hélice Contínua, com necessidade de apenas uma estaca, apresentou a maior capacidade de carga geotécnica. Na solução por estaca pré-moldada, projetada para ser assentada em uma profundidade menor e também com uma seção bem inferior, apresenta uma capacidade de carga em torno de 74% da Hélice Contínua e o seu grupo (2 estacas) supera-a cerca de 48%. No que tange a Mini-RAP, como possui pequeno diâmetro já era de se esperar um resultado não tão expressivo para a sua capacidade de carga, estimada para o conjunto (5 estacas) em 4 tf que praticamente se deve ao seu atrito lateral e sendo cerca de 6% da capacidade de carga encontrada para Hélice Contínua. É conveniente relatar que um conjunto de provas de carga sobre Mini-Rap, contido em uma pesquisa em fase inicial e em andamento sobre esta, tem apresentado, para condições similares, capacidade de carga bem superior a encontrada pela aplicação do método de Lawton *et al.* (1994), que fora aqui utilizado no dimensionamento da carga admissível geotécnica. Entretanto, o maior objetivo deste modelo de estaca é gerar um melhoramento do solo, conforme já fora anteriormente discutido. Ressalta-se ainda o fato de que não se dispõe de modelos que permitam mensurar as melhoras impostas ao solo circunvizinho para este modelo de estaca (Mini-RAP), mas sendo esta análise um dos principais objetivos dos estudos em andamento sobre a Mini-RAP.

Quanto ao custo obtido para a solução utilizando-se a estaca Mini-RAP, pode-se verificar que a mesma apresenta cerca de 33% do menor valor apresentado pelas demais, que no caso é o da estaca Pré-Moldada. Ressalta-se que apesar de os custos estarem apresentados desprovidos de BDI, as relações entre os custos manter-se-ão praticamente as mesmas. A análise de viabilidade econômica da Mini-RAP deve estar em consenso com o número de estacas selecionadas, pois apesar de mais barato unitariamente, em função da carga demandada

pode-se ter a necessidade de executar uma quantidade tão maior de estacas (Mini-RAP), que inviabilizaria a sua aplicação, portanto justificando o seu objetivo, que é edificações de médio a pequeno porte, que demandam menor carga geotécnica e, consequentemente, um número menor de estacas. Analisando-se o custo total de implantação das proposições, pode-se observar que a Estaca Mini-RAP em relação à proposta mais cara (Broca), apresenta um custo 356% menor e que em relação à segunda mais barata (estaca pré-moldada) uma diferença de 33% que representa, aproximadamente, um valor de R\$419,57. Assim posto, observa-se que para uma condição de maior carga de pilar e para a mesma condição geotécnica, a aplicação da estaca pré-moldada tornar-se-á a mais viável, visto que ainda para este custo e solução o grupo de estaca, por uma análise simplificada, suportaria cerca de 93 tf, ou seja, a viabilidade técnica e econômica da Estaca Mini-RAP está atrelada a sua proposta inicial: atender solos de baixa a média competência e cargas oriundas de edificações de pequeno a, no máximo, médio porte.

5 CONCLUSÕES

A proposta de aplicação da estaca Mini-RAP mostrou-se viável e vantajosa desde que se respeite a sua indicação original (média a baixa carga) e solos coesivos de média a baixa capacidade geotécnica. De acordo com os resultados encontrados a estaca Mini-RAP apresentou-se como a solução mais barata sendo assim, considerada viável técnica e economicamente para a situação analisada. Nota-se também uma relevância no uso de materiais que a compõe, haja vista que a utilização de resíduo siderúrgico segue o viés do conceito de produto sustentável e ambientalmente correto com um custo para o diâmetro de 15 cm igual R\$28,01 por metro linear (sem BDI).

AGRADECIMENTOS

ARCOS engenharia, Letek Minas, VSB, DTECH/UFSJ, Grupo de Pesquisa INFRAGEO e FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

- Aoki, N.; Velloso, D. A. (1975). An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: *Pan American CSMFE*, 5., 1975, Buenos Aires. Proceeding... Buenos Aires, v. 1.
- Cristelo, N. M. C. (2001) *Estabilização de Solos Residuais Graníticos Através da Adição de Cal*, Dissertação de Mestrado em engenharia civil, Escola de Engenharia do Minho, Universidade do Minho, Portugal.
- Décourt, L; Quaresma, A. R. (1978). Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: *CBMSEF*, 6. Anais. Rio de Janeiro, v. 1.
- Duarte, L. N. (2012) *Avaliação do comportamento solo-estrutura de elementos de fundação tipo sapata estaqueada*, Tese de Doutorado, Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 150 p.
- Gusmão, A. D. (2005) *Melhoramento de Terrenos Arenosos. Geotecnia no Nordeste*, Editora Universitária, UFPE, Pernambuco, Brasil, p. 331–362.
- Lawton, Evert c., and Fox, Nathaniel S. (1994). Settlement of structures supported on marginal or inadequate soils stiffened with short aggregate piers. Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, *Geotechnical Special Publication*. Vol. 2.
- Monteiro, P. F. (1997) *Capacidade de carga de estacas – método Aoki-Velloso*, Relatório interno de Estacas Franki Ltda..
- Rocha, C. J. T. (2012) *Comparação de alguns métodos para o dimensionamento de estacas de brita: Aplicação a um caso de estudo*, Dissertação de Mestrado, Engenharia geológica (Geotecnia), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, 183 p.
- Soares, Wanessa. C. (2005) *Análise de recalques de edifícios em solos melhorados com estacas de compactação*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Soares, Wilson. C. (2002) *Estaca de compactação para melhoria de Solo*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Stuedlein, A. W., (2008). Bearing capacity and displacement of spread footings on aggregate pier reinforced clay. In: *University of Washington: ProQuest*, p. 559.