

# **MELHORAMENTO DE SOLO COM ESTACA DE BRITA GRADUADA E ENSAIOS DE PROVA DE CARGA ESTÁTICA ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SINOP - MT**

JHONATTAN TORRES DE MACENA<sup>1</sup>  
THIAGO MANTOVANI TONIAL<sup>2</sup>

**RESUMO:** Nos últimos anos, a região norte do estado de Mato Grosso vem apresentando crescimento populacional e industrial, com destaque para a cidade de Sinop-MT. Dessa forma, acarretando em um aumento na ocupação de solo, assim como cargas maiores neles aplicadas devido a indústrias e armazéns. O solo de Sinop é considerado um solo de baixa resistência, com características de solo tropical. Um dos ensaios geotécnicos utilizados para determinar essa característica é o SPT (Standard Penetration Test). A estaca de brita graduada tem como finalidade aumentar a resistência de solos moles e arenosos, atuando na redução de compressibilidade do solo, recalque e drenagem. O método de execução consiste em perfuração do solo sem a retirada de material, através de bate-estaca tipo Strauss e pilão com ou sem tubo de encamisamento. O material granular é introduzido no fuste e compactado através de energia gerada pelo apiloamento até o total preenchimento da estaca. O processo de execução da estaca proporciona redução do índice de vazios, devido a compactação do solo na abertura do fuste e do material granular. O objetivo com este trabalho foi acompanhar a execução e seu tempo duração, apresentar o método construtivo, acompanhar a realização do ensaio de carga de prova estática e verificar o recalque obtido através dos dados fornecido pela empresa. A sua execução se torna viável devido ao seu método de execução ser simples e a fácil mobilidade dos equipamentos, e o custo de execução. O sistema de estaca de brita graduada é algo a ser estudado para ser gerado um dado sobre o melhor método de execução e recalques, visando que esse sistema pode trazer uma redução significativa no custo da execução de uma obra.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adensamento de solo, Estaca, coluna de brita, vibro-deslocamento

## **CASE STUDY IMPROVEMENT OF SOIL WITH GRADUATED GRAIN PILE AND STATIC LOAD TESTING IN THE MUNICIPALITY OF SINOP – MT**

**ABSTRACT:** In the last few years, the northern region of the state of Mato Grosso has been showing population and industrial growth, especially the city of Sinop-MT. Thus, resulting in an increase in land occupation, as well as greater loads applied to them due to industries and warehouses. Sinop soil is considered a low resistance soil, with characteristics of tropical soil.

---

<sup>1</sup> Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: [jhoanttan.torres.macena@gmail.com](mailto:jhoanttan.torres.macena@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Mestre em Matemática, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitário, R. Carine R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: [thiago\\_tonial@hotmail.com](mailto:thiago_tonial@hotmail.com)

One of the geotechnical tests used to determine this characteristic is the SPT (Standard Penetration Test). The purpose of the graded crushed pile is to increase the resistance of soft and sandy soils, acting in the reduction of compressibility of the soil, settlement and drainage. The execution method consists of drilling the soil without removing material, using a Strauss pile driver and pestle with or without jacketing pipe. The granular material is introduced into the shaft and compacted through energy generated by the removal until the pile is completely filled. The process of executing the pile provides a reduction in the void index, due to the compaction of the soil in the opening of the shaft and of the granular material. The objective with this work was to monitor the execution and its duration, present the constructive method, monitor the performance of the static proof load test and verify the repression obtained through the data provided by the company. Its execution becomes viable due to its simple execution method and the easy mobility of the equipment, and the cost of execution. The graded crushed pile system is something to be studied to generate data on the best method of execution and settlement, aiming that this system can bring a significant reduction in the cost of executing a work.

**KEYWORDS:** Soil density, Gravel column pile, vibration displacement

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a região norte do estado de Mato Grosso vem apresentando crescimento populacional e industrial, com destaque para a cidade de Sinop-MT. Dessa forma, acarretando em um aumento na ocupação de solo, assim como cargas maiores neles aplicadas devido a indústrias e armazéns. O solo de Sinop é considerado um solo de baixa resistência, com características de solo tropical. Um dos ensaios geotécnicos utilizados para determinar essa característica foi o SPT (Standard Penetration Test), que demonstra a baixa capacidade de suporte e tensão admissível do solo chegando a 50 kN/m<sup>2</sup> (TEIXEIRA & GODOY, 1998).

Assim como na região litorânea, onde o solo é arenoso e com baixa capacidade de suporte, é muito utilizada para resolver problemas como este, o uso de estacas de brita graduada na execução de fundações diretas, com a técnica do vibro-deslocamento, pois este método aumenta a capacidade de carga do solo e reduz os possíveis recalques das fundações (GUSMÃO, 2002).

Com o passar dos anos e com as novas tecnologias, surgiram inúmeros tipos de melhoramento para solos de baixa resistência. A execução de fundações em terrenos com essas características pode aumentar significativamente o custo final da execução da obra. As fundações profundas possuem custos mais elevados do que fundações superficiais, sendo em algumas situações mais vantajosas realizar o melhoramento do solo para execução de fundações superficiais, ao invés da troca do tipo de fundação (JUNIOR, 2007).

A região do extremo norte do estado de Mato Grosso, por ser uma região em grande desenvolvimento ainda se encontra limitada por técnicas para execução de fundações profundas, tendo que recorrer a municípios e em muitos casos de outros Estados, além de demandar de um grande mão de obra na sua execução, o que por sua vez pela lei da demanda e procura aumenta ainda mais o custo e atrasa o andamento do empreendimento (CHILÓ & CRISPIM, 2016).

A estaca de brita é um elemento composto por material granular e não havendo a necessidade de retirada de material, podendo ter um ganho considerável de tempo na execução e entrega da obra tendo uma redução bem significativa do recalque (GUSMÃO, 2002).

O objetivo com este trabalho foi acompanhar a execução e seu tempo duração, apresentar o método construtivo, acompanhar a realização do ensaio de carga de prova estática e verificar o recalque obtido através dos dados fornecido pela empresa.

A execução da estaca de brita graduada foram baseadas no estudo da pré-norma europeia CEN/TC 288 N 269 e NBR 6122 (CEN, 2003; ABNT, 2010) projeto e execução de fundações, onde foram executadas para as bases dos tanques e armazenamento de álcool no município de Sinop-MT.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Classificação das estacas de coluna de brita**

A estaca de brita graduada e classificada pela NBR 6122 ABNT (1996) como estaca apiloada tratada também para critério de cálculo como estaca escavada. As estacas apiloadas ou estacas de brita graduadas são estacas que podem ser executadas com diversos tipos de matérias que atendem os requisitos da NBR 6122 e a resistência solicitada em projeto. Tem como objetivo diminuir os possíveis recalques que podem aparecer em fundações superficiais e também muito utilizado em solos com baixa capacidade de carga. Sua execução é muito difundida nas cidades de João Pessoa, Natal, Recife e Aracajú, onde 90% das execuções em fundações superficiais se utiliza esse método de melhoramento de solo em execução de prédios de até 20 andares (GUSMÃO FILHO, 1998).

### **2.2 Estaca de coluna de brita graduada**

Para a realização de fundações o solo deve ter capacidade de suporte e baixa compressibilidade, porém não é sempre que se encontra solos nessas condições. Uma solução que pode ser adotada para esse tipo de solo são fundações profundas, contudo se tornam inviáveis devido ao alto custo de execução.

A técnica de execução da estaca de brita graduada é conhecida como vibro-deslocamento que consiste no melhoramento geotécnico do solo a ser utilizado, reduzindo a compressibilidade e a baixa resistência a compressão. O principal fundamento dessa técnica é o deslocamento do solo provocado pelo apiloamento e a compactação do material granular. Em algumas cidades do nordeste como João Pessoa - PB, Natal – RN e Recife - PE, em que o solo da região é considerado tropical, em 90% das obras de melhoramento de solo é utilizado estaca de brita graduada, e também estaca com brita e areia ou somente areia (GUSMÃO FILHO, 1998).

Uma coluna de brita é essencialmente um sistema de reforço do solo onde a brita sofre um atrito lateral o que permite o fuste desenvolver uma capacidade superior à do solo que a envolve, interagindo com ele e partilhando uma parte apreciável da carga aplicada. Dada a sua capacidade para se adaptar às cargas aplicadas, origina uma redistribuição de esforços nas zonas sujeitas a grandes concentrações de tensões (DOMINGUES, 2006).

O modo como é realizado a execução de uma estaca de coluna de brita se diferencia conforme a tecnologia empregada, principalmente na execução da abertura do fuste, a compactação do material granular e o tipo de material que será utilizado para preenchimento da estaca.

Uma coluna de brita é essencialmente um sistema de reforço do solo onde a brita sofre um atrito lateral o que permite o fuste desenvolver uma capacidade superior à do solo que a envolve, interagindo com ele partilhando uma parte apreciável da carga aplicada. Dada a sua capacidade para se adaptar às cargas aplicadas, origina uma redistribuição de esforços nas zonas sujeitas a grandes concentrações de tensões (DOMINGUES, 2006).

O método utilizado para a execução de uma estaca de brita graduada se diferencia conforme a tecnologia empregada, principalmente na execução da abertura do fuste, a

compactação do material granular e o tipo de material que será utilizado para preenchimento da estaca.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização experimental

O projeto foi realizado pela empresa Farcon Construções e Consultoria, localizada na BR 163, entre os km 816 e 818, em Sinop/MT. Os dados obtidos foram fornecidos para análise através do trabalho de conclusão de curso.

#### 3.2 Ensaio SPT e classificação do solo

Antes de iniciar a execução da obra foram realizados ensaios de sondagem e caracterização do solo pela empresa Funsolo Construtora e Engenharia. A sondagem do solo foi executada pelo método de percussão SPT (Standard Penetration Test), com registro do índice de penetração do amostrador padrão de 34,9 mm (1" 3/8), e 50,8 mm (2"), de diâmetro interno e externo. A percussão teve o auxílio de circulação de água e protegidas por um tubo de revestimento de diâmetro nominal de 2 1/2". A extração das amostras foi feita com a cravação do amostrador anotando-se o número de golpes de um peso de 65 Kg, que cai em queda livre de 75 cm de altura, para cravar 45 cm do amostrador em 03 seções de 15 cm cada. Foram realizados 12 furos com um total de 365,40 metros executados, dispostos em toda a área da execução da obra (Figura 1).

**Figura 1:** Distância dos furos



**Fonte:** Funsolo (2020)

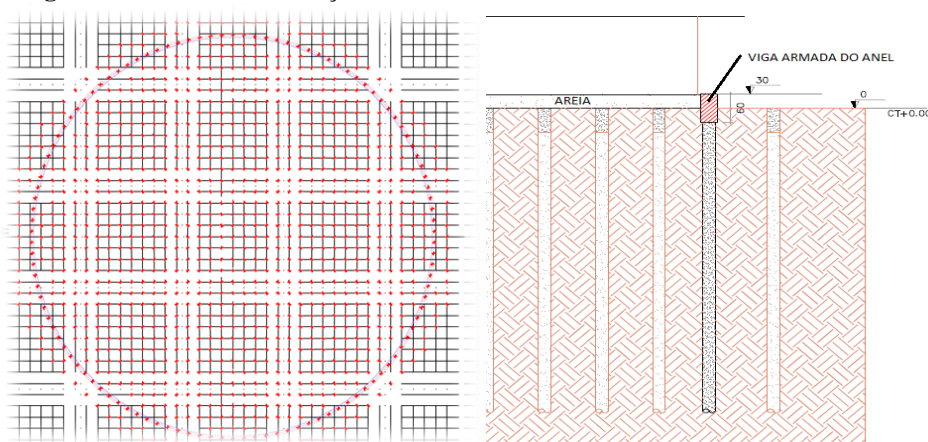
As bases para os tanques de armazenamento de álcool foram executadas nos pontos SP-04, SP-05 e SP-06. As características encontradas do solo nos pontos foram de argila silto-arenosa vermelha de 1 a 12 metros variando entre muito mole e com média com presença de pedregulho. Na camada de 13 a 30 metros, encontrou-se areia silto-argilosa de pouco compactada a muito compactada. Foi detectado através do ensaio SPT o nível de água no SP-04 e SP-06 com variação de 10,5 metros. Já no SP-05 foi detectado com 11 metros. Somente após ser realizada a investigação geotécnica do solo no local da execução das bases dos tanques de álcool foi possível determinar a profundidade da estaca de brita e o diâmetro que seria executado.

Por esse motivo, devido baixa resistência do solo, indicada pela análise anterior, foi necessário realização de melhoramento de solo nessa região, através do método construtivo de brita graduada, somente para as bases dos tanques.

### 3.3 Projeto de execução

O projeto foi executado com base em 5 tanques de armazenamento de álcool com 35,2 m de diâmetro, 17 m de altura e capacidade volumétrica de 16,5 milhões m<sup>3</sup>. Foi definido no projeto estrutural que a distribuição das estacas fosse realizada por malhas quadradas com distanciamento de centro a centro de 1 metro e estacas de reforço no entorno de toda a base do tanque (Figura 2). Para uma distribuição uniforme das cargas, foi decidido executar as estacas do anel em concreto armado.

**Figura 2:** Planta de distribuição das estacas



Fonte: Farcon construção e consultoria (2020)

### 3.4 Método de execução estaca

O equipamento utilizado para execução foi um bate-estaca tipo Strauss, tendo como vantagens o fato de ser leve e econômico. Para a execução das estacas de brita graduada foram utilizados 4 bate estacas tipo Strauss. Em cada tanque foi executado 1082 estacas de brita graduada e 114 estacas em concreto armado com diâmetro de 22 cm e comprimento de 10 metros. Foi executado um total de 5410 estacas de brita graduada e 570 estacas de concreto armado em 138 dias, uma média de 28 dias por tanque. A execução das estacas dos tanques 4 e 5 tiveram uma grande diferença em relação ao demais devido ao período de chuva ter influenciado no atraso da execução das estacas.

**Tabela 1:** Acompanhamento da execução

Item	Tempo de execução	Início	Final
TANQUE 1	24 dias	Seg 10/09/18	Qua 10/10/18
TANQUE 2	23,5 dias	Qui 04/10/18	Sáb 03/10/18
TANQUE 3	27 dias	sex 26/10/18	Sex 30/11/18
TANQUE 4	38 dias	seg 26/11/18	Ter 15/01/19
TANQUE 5	30 dias	sex 11/01/19	Seg 18/02/19

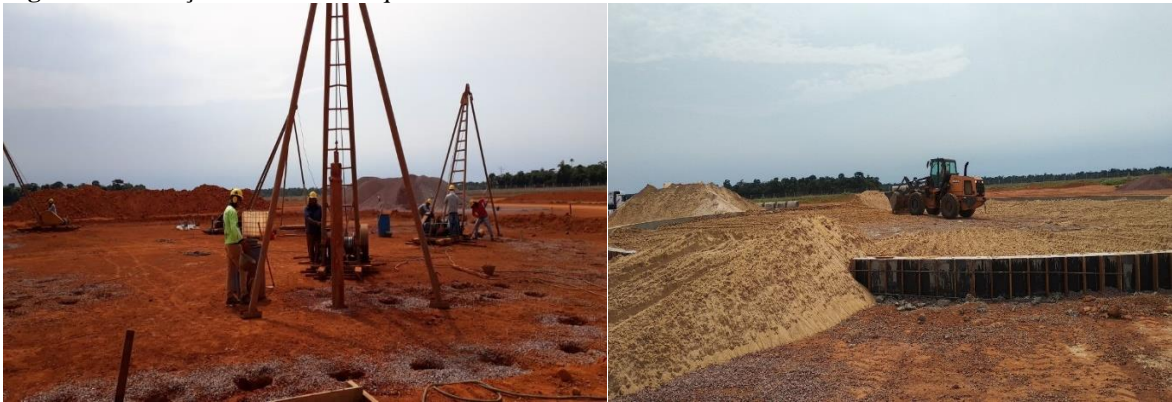
Fonte: Inpasa (2020)

A execução da estaca de brita graduada consiste na energia aplicada com queda do pilão do bate estaca tipo Strauss. O equipamento consiste de um guincho, tripé com rondana

fixa e pilão com 700 kg. A energia aplicada no solo com a queda do pilão realiza a abertura do fuste e a compactação da brita após ser introduzida no fuste. Após a abertura do fuste é introduzido 0,1 metros cúbicos de brita, valor referente ao volume de dois carinhos de mão. A compactação desse material foi realizada através da energia aplicada pela queda do pilão. Esse movimento foi repetido 10 vezes a cada introdução de material no fuste. Essa operação foi realizada até 50 cm do topo. A estaca foi finalizada utilizando concreto, de forma a evitar contaminação. Para as estacas do anel foi utilizado o mesmo procedimento para a abertura do fuste, e na sequência foi introduzida a armadura e o concreto.

Para uma melhor distribuição da carga o anel foi construído em concreto armado com altura de 60 cm por 15cm de largura, e toda a parte interna do anel foi completada com areia e compactada com rolo compressor em camadas de 20 cm, com objetivo de garantir a estabilidade e homogeneidade da base (Figura 3).

**Figura 3:** Execução da base de tanque de etanol

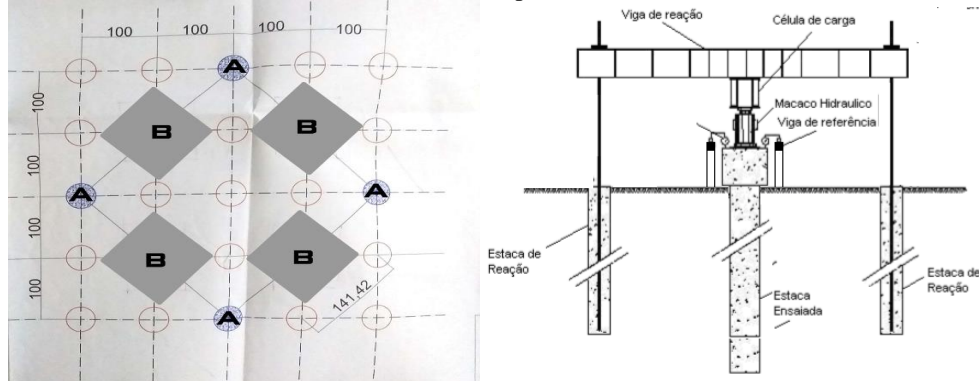


Fonte: Inpasa (2020)

### 3.5 Ensaios prova de carga e recalque

O ensaio de carga de prova foi realizado pela empresa SCCAP Engenharia onde foi ensaiado 4 estacas com bloco de concreto de 1m<sup>2</sup> de área, apoiado sobre a estaca de brita graduada. Foi utilizado pela empresa SCCAP para o sistema de reação uma viga metálica de 3,5 metros de comprimento, 0,5 metros de altura e 0,4 metros de espessura, ancorada em barras rosqueadas soldadas em barras de aço comum, concretadas no interior de estacas de tipo escavadas, sendo uma estaca em cada extremidade da viga (Figura 4).

**Figura 4:** Planta ensaio e esquema de carga de prova estática



Fonte: Farcon construção e consultoria (2020)

A-Estaca de reação

B-Bloco



A prova de carga realizada foi do tipo estática lenta a compressão, seguindo as prescrições da NBR 12131 (ABNT, 2006). O carregamento foi iniciado por uma carga de contato, passando-se a seguir a um carregamento correspondente a no máximo 20% da carga de projeto da estaca ensaiada. Os demais estágios foram incrementados também com um carregamento equivalente a no máximo 20% da carga de projeto da estaca ensaiada, sempre em relação ao estágio anterior. Após a estabilização dos deslocamentos dos últimos estágios de carga, o ensaio foi descarregado em 4 estágios monitorados de 15 minutos cada conforme descrito na NBR (Figura 5).

**Figura 5:** Ensaio de prova de carga



**Fonte:** SCCAP (2018)

Para o ensaio foi utilizado uma carga de 34 toneladas de força, carga essa que corresponde a 2 vezes a carga considerada pelo projeto, que foi de 17 toneladas força por metro quadrado de área. A tabela 2 apresenta o carregamento máximo aplicado a cada ensaio.

**Tabela 2:** Carga aplicada ao ensaio

CARGA APLICADA AO ENSAIO			
Prova de Carga	Carga Final do Ensaio (tf)	Carga de Projeto <sup>1</sup>	FM <sup>2</sup>
PC1	35	17	2,06
PC2	34	17	2,00
PC3	34	17	2,00
PC4	34	17	2,00

**Fonte:** SCCAP Engenharia (2019)

1-Considerando especificações do projeto de fundações

2-FM-Fator de majoração em relação a carga de projeto

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realização dos ensaios da carga de prova foi possível obter o deslocamento de cada estaca de brita graduada (Tabela 3 a 6).

Pode-se observar na tabela 3 que estaca ensaiada não respondeu de forma positiva ao ensaio se comparando com a outras estacas, mais houve um melhoramento significativo do

solo. Conforme descrito na NBR 12131 (ABNT, 2006), pois o carregamento deve ser mantido no mínimo 15 minutos ou até a total estabilização do recalque. Observou-se que o recalque da estaca PC1 não apresentou estabilização do solo tendo aumento o recalque até o total descarregamento da carga aplicada.

**Tabela 3:** Deslocamentos medidos no topo do bloco - Ensaio PC1.

Carga (tf)	Carga (kN)	Deslocamento Vertical				Média (mm)
		E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	
0	0	0	0	0	0	0
5	49,05	-5,54	-6,01	-4,21	-3,46	-4,81
10	98,1	-20	-21,98	-18,64	-15,89	-19,13
15	147,15	-42,38	-45,96	-41,6	-37,13	-41,77
20	196,2	-75,24	-80,96	-76,04	-69,14	-75,35
25	245,25	-117,58	-124,93	-118,5	-109,71	-117,68
30	294,3	-170,59	-177,95	-171,56	-162,75	-170,71
35	343,35	223,59	230,97	224,62	215,79	223,64
20	196,2	-293,56	-297,72	-260,1	-263,45	-278,71
10	98,1	-292,26	-296,87	-259,12	-262,2	-277,61
5	49,05	-291,28	-295,97	-257,95	-261,19	-276,6
0	0	-289,96	-294,62	-256,75	-259,8	-275,28

Fonte: SCCAP Engenharia (2018)

**Tabela 4:** Deslocamentos medidos no topo do bloco - Ensaio PC2.

Carga (tf)	Carga (kN)	Deslocamento Vertical				Média (mm)
		E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	
0	0	0	0	0	0	0
3	29,43	-0,92	-1	-0,88	-0,47	-0,82
6	58,86	-2,87	-3,28	-3,05	-2,62	-2,96
9	88,29	-6,27	-7,53	-7,08	-7,95	-7,21
12	117,72	-11,16	-13,77	-12,79	-12,42	-12,54
15	147,15	-17,58	-21,82	-20,32	-18,54	-19,57
18	176,58	-26,68	-32,12	-30,56	-27,28	-29,16
21	206,01	-37,75	-44,27	-42,51	-38,39	-40,73
24	235,44	-51,02	-60,52	-55,21	-52,53	-54,82
27	264,87	-70,09	-80,43	-75,19	-71,61	-74,33
30	294,3	-96,45	-110,01	-102,21	-95,95	-101,15
34	333,54	-133,95	-147	-140,37	-133,21	-138,63
25	245,25	-133,73	-146,77	-140,17	-133,02	-138,42
17	166,77	-133,25	-146,35	-139,76	-132,58	-137,98
8,5	83,39	-132,27	-145,36	-138,72	-131,72	-137,02
0	0	-129,53	-142,73	-136,63	-129,33	-134,55

Fonte: SCCAP Engenharia (2018)



**Tabela 5:** Deslocamentos medidos no topo do bloco - Ensaio PC3.

Deslocamento Vertical						
Carga (tf)	Carga (kN)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	Média (mm)
0	0	0	0	0	0	0
3	29,43	-1,97	-1,69	-1,02	-1,52	-1,55
6	58,86	-5,41	-5,42	-4,37	-4,69	-4,97
9	88,29	-10,94	-11,42	-10,3	-10,04	-10,68
12	117,72	-17,88	-18,62	-17,76	-17,09	-17,84
15	147,15	-26,21	-26,93	-26,28	-25,79	-26,3
18	176,58	-37,46	-37,28	-37,76	-37,72	-37,56
21	206,01	-50,23	-50,21	-50,95	-51,93	-50,83
24	235,44	-65,73	-64,96	-67,55	-68,84	-66,77
27	264,87	-85,26	-84,63	-87,93	-89,14	-86,74
30	294,3	-126,17	-126,31	-132,82	-134,06	-129,84
34	333,54	-178,21	-179,33	-189,92	-191,2	-184,67
25	245,25	-177,99	-179,1	-189,72	-191,01	-184,46
17	166,77	-177,51	-178,68	-189,31	-190,57	-184,02
8,5	83,39	-176,53	-177,69	-188,27	-189,71	-183,05
0	0	-173,79	-175,06	-186,18	-187,32	-180,59

Fonte: SCCAP Engenharia (2020)

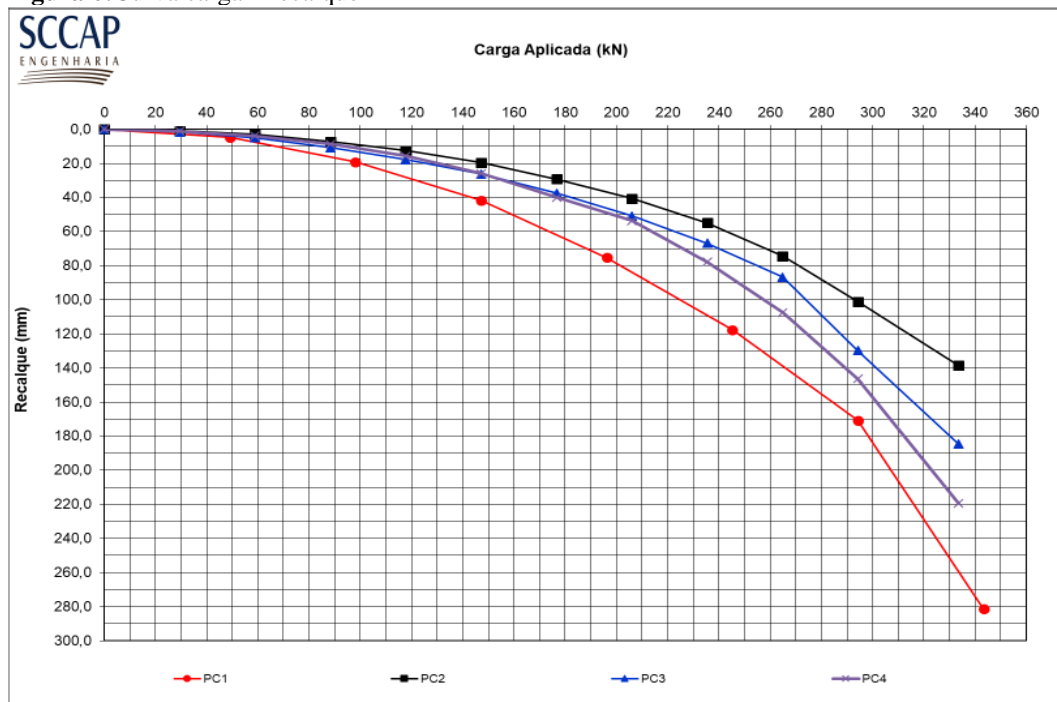
**Tabela 6:** Deslocamentos medidos no topo do bloco - Ensaio PC4.

Deslocamento Vertical						
Carga (tf)	Carga (kN)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	Média (mm)
0	0	0	0	0	0	0
3	29,43	-0,97	-1,22	-1,07	-0,94	-1,05
6	58,86	-3,25	-4,5	-4,32	-3,39	-3,87
9	88,29	-7,02	-9,52	-9,89	-7,89	-8,58
12	117,72	-13	-16,51	-18,3	-15,19	-15,75
15	147,15	-22,18	-26,26	-29,24	-25,65	-25,83
18	176,58	-35,48	-39,84	-44,12	-40,24	-39,92
21	206,01	-50,24	-53,5	-56,9	-53,87	-53,63
24	235,44	-75,47	-77,83	-80,29	-77,77	-77,84
27	264,87	-105,66	-107,25	-109,54	-107,24	-107,42
30	294,3	-143,88	-145,94	-149,11	-146,51	-146,36
34	333,54	-214,93	-218,7	-222,5	-222,27	-219,6
25	245,25	-214,78	-218,53	-222,34	-222,14	-219,45
17	166,77	-214,32	-218	-221,8	-221,64	-218,94
8,5	83,39	-213,16	-216,69	-220,59	-220,49	-217,73
0	0	-211,04	-214,41	-218,67	-218,83	-215,74

Fonte: SCCAP Engenharia (2020)

Através dos dados coletados pode-se fazer um comparativo entre as curvas carga x recalque dos 4 ensaios realizados.

**Figura 6:** Curva carga x recalque



Fonte: SCCAP Engenharia (2018)

Os ensaios PC2, PC3, PC4 apresentaram comportamentos muito bom no parâmetro rigidez, se diferenciando no trecho final onde ao atingir a carga máxima aplicada o ensaio PC1 apresentou uma maior deformabilidade em relação aos demais, não apresentando uma boa eficiência na melhoria de resistência e ganho de rigidez como descrito na tabela 3 e apresentado na figura 6. Esse fato foi relacionado a má execução do bloco. Visto que, foi executado fora da excentricidade da estaca, provando um recalque maior que a demais estacas.

Deve-se levar em conta o efeito da escala para extrapolação dos resultados, sabendo que um elemento de maior área sofre maior recalque para uma mesma tensão superficial aplicada.

Para uma maior segurança da obra foi realizado o teste hidrostático. Para isso foi marcado 10 pontos no tanque antes do início do teste que teve a duração de 12 dias, devido a escala de enchimento ter sido realizada em 4 etapas de 25%. A cada etapa realizava-se um descanso de 24h, sendo acompanhado o recalque.

**Tabela 7:** Teste recalque hidrostático

RECALQUE TESTE HIDROSTATICO (mm)									
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10
156	171	190	198	207	172	151	145	142	143

Fonte: Inpasa (2020)

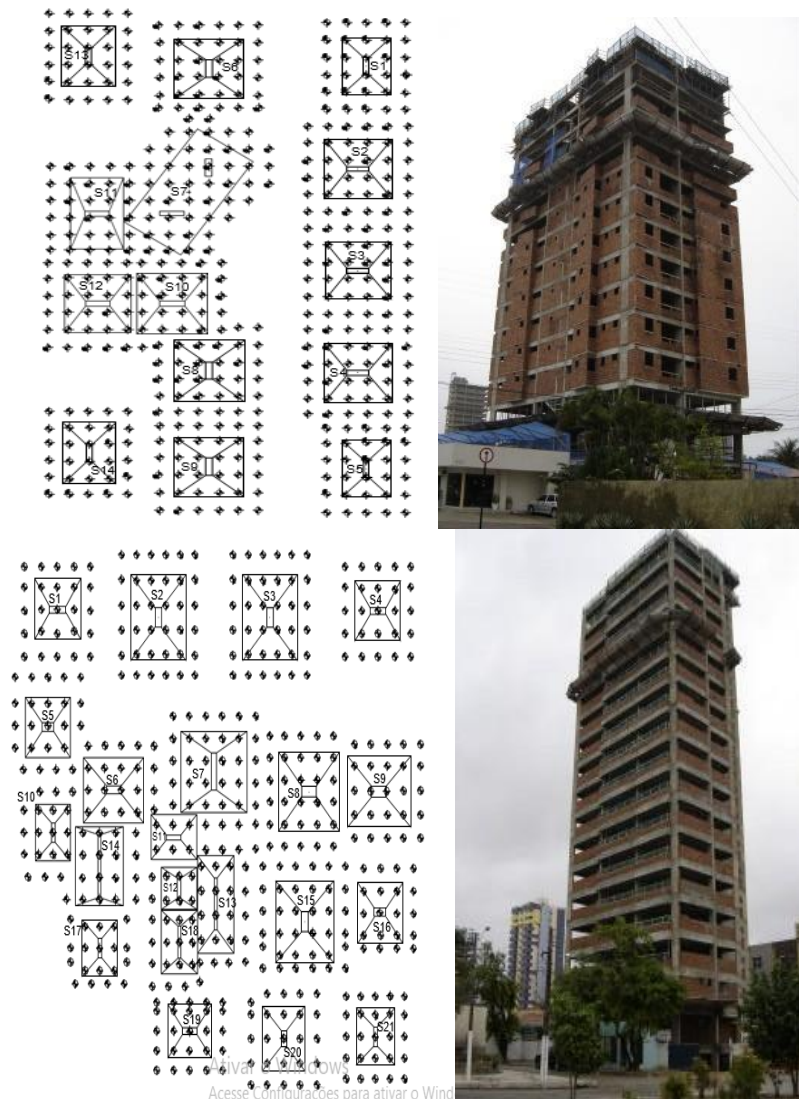
Apesar do nível de recalque medido na prova de carga terem sido altos, pode-se observar que o recalque diferencial ficou abaixo do medido no ensaio, se tratando de um tanque com uma carga de 17 mil toneladas. A sua execução se torna viável devido ao seu

método de execução ser simples e a fácil mobilidade dos equipamentos, e o custo de execução.

Comparando o método de vibro-deslocamento com estaca escavada, devido a sua classificação na NBR 6122 (ABNT, 2010), a execução da estaca de brita graduada custa R\$5,65 o metro escavado (FARCON CONSTRUÇÕES, 2020) com o material compactado, enquanto a estaca escavada custa somente a escavação R\$ 10,00 por metro (FUNSOLOS, 2020), à estaca de brita graduada torna-se mais viável a execução.

Para a redução significativa do recalque pode-se adotar os métodos utilizados em João Pessoa-PB, onde em alguns lugares a característica do solo é semelhante a de Sinop-MT e o nível da água é raso, onde segundo Soares (2005), foi utilizado estacas para melhoramento do solo na execução de prédios com até 18 pavimentos.

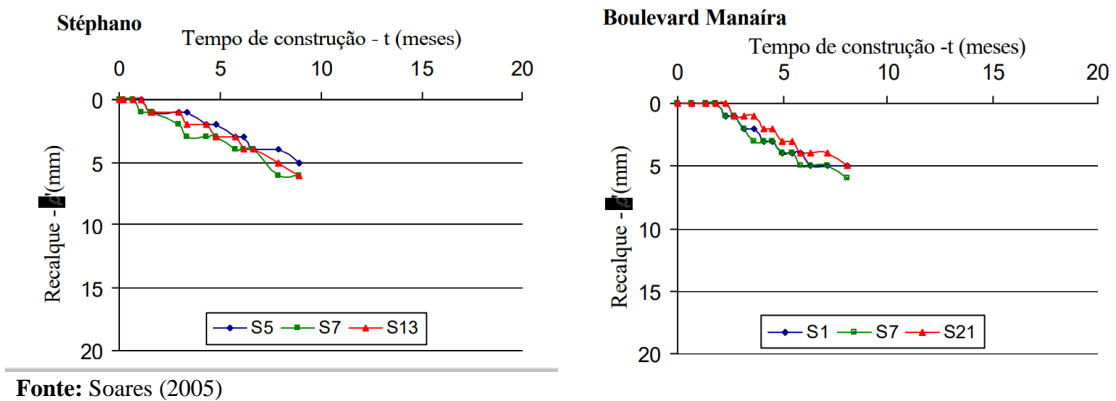
**Figura 7:** Edifícios Stéphano & Boulevard Manafra



Fonte: Soares (2005)

As estacas utilizadas se diferenciam devido aos materiais utilizados na execução que foram: brita e pó brita, com cota de 3,5 m do topo da estaca, onde o recalque médio foi 5,7 mm.

**Figura 8:** Acompanhamento recalque



## 5. CONCLUSÃO

Constatamos por meio dessa pesquisa que o melhoramento de solo viabilizou a construção de um tanque que promove elevada carga ao solo, o que seria inviável sem o melhoramento de solo. Através do melhoramento do solo foram observadas menores deformações e bem menos significativas, o que tornou a obra mais econômica.

Vale salientar que um dos aspectos que torna essa prática viável é a facilidade de aquisição dos materiais utilizados para a execução desse método, o tempo despendido é muito curto. Se solução adota fosse para as bases dos tanques fossem fundações profundas do tipo estaca hélice contínua com a mesma profundidade pode-se tomar como base o valor de execução descrito por ARAUJO et al., (2018), onde a execução da estaca custa R\$ 91,17 o metro executado, já a estaca de brita sai R\$ 13,95 valor fornecido pela empresa Farcon, comparando os métodos a estaca hélice contínua custa 85% mais cara que a estaca de brita graduada. Devido a esse baixo custo podemos observar que diversos empreendimentos na região do Nordeste utilizam desse método construtivo devido a inúmeros benefícios e o custo de execução ser baixo.

Dada a importância do sistema de brita graduada para redução significativa do custo de execução de obras, sugere-se o aprimoramento de estudos sobre esse método construtivo, através de diferentes materiais utilizados para execução. Dessa forma, garante-se a alimentação de um banco de dados sobre recalques em construções civis, através desse método construtivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12131: **Estacas - Prova De Carga Estática - Método De Ensaio**. Rio de Janeiro, RJ: 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, RJ: 1986.

CEN. (2003). **Execution of special geotechnical Works. Ground treatment by deep vibration**. CEN/TC 288 N 270.

Chiló, J. R. G.; CRISPIM, F. A. (2016). **Prova de carga em sapata associada com estaca do tipo broca**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Estado de Mato Grosso. Sinop

Domingues, T. S. S. (2006) **Reforço de fundações com colunas de brita em aterros sobre solos moles análise e dimensionamento**. Dissertação apresentada à faculdade de engenharia da universidade do porto para obtenção do grau de mestre em mecânica dos solos e engenharia geotécnica, realizada sob supervisão dos professores José leitão borges e António Silva Cardoso do departamento de engenharia civil da faculdade de engenharia da universidade do porto.

Domingues, T. S. S., (2006). **Reforço de fundações com colunas de brita em aterros sobre solos moles. Análise e dimensionamento**. In: **Dissertação de Mestrado em Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica ed. Porto**: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Domingues, T.S.S (2006). **Reforço de fundações com colunas de brita em aterros sobre solos moles. Análise e dimensionamento**. Dissertação apresentada à faculdade de engenharia da universidade do porto para obtenção do grau de mestre em mecânica dos solos e engenharia geotécnica.

Elsawy, M. B., (2010). **Highway embankment constructed on soft soil improved by stone columns with geosynthetic materials**. In: PhD Tesis ed. Essen: Duisburg - Essen University, Faculty of Engineering.

FUNSOLO CONST.E ENG. LTDA: **Sondagem á percussão**. Sinop, MT: 2018.

GUSMÃO FILHO, J. A. (1998) **Fundações do conhecimento geológico à prática da Engenharia**. Editora Universitária. UFPE. Recife, PE.

GUSMÃO, A. D.; PACHECO, J. L. e GUSMÃO FILHO, J. A. (2002). **“Caracterização Tecnológica de Estacas de Compactação para Fins de Melhoramento de Terrenos”**. 13º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo.

MACHADO, W. R.(2012). **Estudo experimental referente ao tratamento solo-cal com vistas à pavimentação em Sinop/MT**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Estado de Mato Grosso. Sinop.

Mohammed, Y., Fattah, Emad, Y. & Khudhair, (2010). **Improvement of soft clays by end bearing stone columns encased with geogrids.** *Diyala Journal of Engineering Sciences.*

ARAUJO, Wesley de Sousa. Et al. **Análise e dimensionamento de fundações profundas, visando a viabilidade econômica e segurança estrutural.** *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento.* Ano 03, Ed. 12, Vol. 08, pp. 119-143, Dezembro de 2018.

Soares, W. C (2005). **Análise de recalque de edifícios em solos melhorados com estas de compactação.** Dissertação apresentada à escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Geotecnia.

SCCAP ENGENHARIA. **Relatório técnico dos resultados das provas de carga estática a compressão, realizadas sobre o terreno de fundação dos tanques de armazenamento de álcool, sendo este terreno reforçado com estacas de brita.** Sinop, MT: 2018.

Townsend, F. C. & Anderson, J. B., (2004). **A compendium of ground modification techniques.** *Florida Department of Transportation: Technical Report*