



# Estudo de Caso de Soluções de Fundações para a Ponte Malhada Localizada em Rio Largo-AL

Victor Leonardo Acioli Barros

Engenheiro civil, Instituto Brasileiro de Educação Continuada, Maceió, Brasil, victor\_acioli@hotmail.com

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Professor associado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Fernando Feitosa Monteiro

Doutorando, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, engffmonteiro@gmail.com

Natan Lima de Oliveira

Graduando em engenharia civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, natan.lima.oliveira06@aluno.ifce.edu.br

**RESUMO:** O presente trabalho visa comparar diferentes soluções de fundações para reconstrução da Ponte Malhada localizada em Rio Largo-AL, que conecta o povoado do Munguba à Usina Leão. Um dos critérios utilizados para escolha é a velocidade de execução, em virtude do caráter emergencial, visto que enchentes causaram a completa destruição de tal ponte. Para isso, foram realizadas sondagens SPT no local, indicando subsolo constituído majoritariamente por argila siltosa com ocorrência de areia e solo arenoso mais resistente em torno dos 14 metros de profundidade. Ao avaliar diferentes soluções, tais como estacas pré-moldadas de concreto, estacas metálicas e tubulões, verificou-se que a utilização de estacas metálicas compostas por perfis laminados e retilíneos, para esse caso de estudo, mostrou-se mais adequada, visto que permite um espaço livre maior, dando mais celeridade à execução dos blocos de coroamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fundações, Pontes, Estacas Metálicas, Estacas pré-moldadas, Tubulões.

**ABSTRACT:** The work compares different foundations solutions for the reconstruction of the Ponte Malhada located in Rio Largo-AL, which connects the village of Munguba to the Leão Power Plant. One of the ways used to choose is agility in the execution, due to the emergency character, since floods caused the complete destruction of such a bridge. For this, SPT surveys were carried out at the site, indicating basement consisting basically of silt clay with sand occurrence and more resistant soil around 14 meters deep. It was compared the solutions in precast concrete stakes, metal stakes and caisson, concluding that the use of metal stakes composed of laminated and rectilinear profiles, for this case study, was more adequate, since it allows a free space larger, giving more speed to the execution of the crowning blocks.

**KEYWORDS:** Foundations, Bridges, Metal Stakes, Precast Stakes, Caisson.

## 1 Introdução

O presente trabalho relata um estudo de caso sobre a reconstrução da Ponte Malhada localizada em Rio Largo - AL, sobre o rio Mundaú, ligando o povoado do Munguba à Usina Leão. Esta ponte ficou praticamente destruída após as enchentes, já que devido à força das águas ocorreu a ruptura do conjunto solo-estaca. Devido ao caráter emergencial da obra, foi realizado um levantamento dos quantitativos necessários para a construção de uma nova ponte em curto espaço de tempo. As análises geotécnicas baseadas em sondagens a percussão com *Standard Penetration Test* (SPT), indicaram que tal subsolo constitui-se basicamente por argila siltosa com ocorrência de areia, e solo arenoso mais resistente em torno dos 14 metros de profundidade. A partir da investigação geotécnica, partiu-se para as análises da melhor solução de fundação à ser adotada.



## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Tipos de Fundações

A fundação é uma das primeiras etapas construtivas de uma edificação, sendo esta destinada a receber as cargas advindas da superestrutura, transferindo assim, estes esforços para o solo. As fundações podem ser caracterizadas como superficiais ou profundas, sendo diferenciadas pela forma de transferência de carga ao terreno. No caso das fundações superficiais, a transferência ocorre pela base, não havendo contribuição lateral de resistência, enquanto que as fundações profundas transmitem as cargas ao terreno, em sua maioria, pela atrito lateral, com contribuição menor da resistência de ponta. O principal tipo de fundações profundas consiste da utilização de estacas, que podem ser de diferentes materiais e metodologias executivas.

#### 2.1.2 Estaca Prensadas (Tipo Mega)

Albuquerque e Garcia (2020) descrevem que estas estacas são constituídas geralmente por elementos de concreto pré-moldado, com comprimentos da ordem de 0,5 m, que são cravados estaticamente por prensagem, por meio de macaco hidráulico que reage contra um peso. São muito empregadas para reforço de fundações já construídas, usando como reação a própria estrutura existente. São também utilizadas para fundações de obras novas quando há necessidade absoluta de serem evitadas as vibrações. Destacam-se como desvantagens seu elevado custo e longo tempo de execução.

#### 2.1.3 Estaca Raiz

É um tipo de estaca em que se aplicam injeções de ar comprimido imediatamente após a moldagem do fuste após remoção de parte do revestimento. Nesse tipo de estaca utiliza-se argamassa de cimento e areia, conforme definido pela ABNT (2019). A utilização desse tipo de estaca se faz necessária, principalmente em grandes centros urbanos, nos quais existem diversas restrições, como por exemplo, locais de difícil acesso, tolerância à vibração e ruídos (ALBUQUERQUE E GARCIA, 2020).

#### 2.1.4 Tubulão

São elementos estruturais de fundação constituídos concretando-se um poço aberto no terreno, geralmente dotado de uma base alargada. Esse tipo de tubulão é executado acima do nível d'água natural ou rebaixado, ou, em casos especiais, em terrenos saturados onde seja possível bombear a água sem risco de desmoronamentos. No caso de existir somente carga vertical, esses tipos de tubulões não são armados; recebem apenas ferragem de topo para ligação com o bloco de coroamento ou de capeamento (ALBUQUERQUE E GARCIA, 2020). Deste método destacam-se três tipos:

- a) Tubulão do tipo Chicago, onde inicialmente a escavação manual ocorre em etapas de aproximadamente 2 m, sem escoramento, contando-se com a coesão do solo. Seguida por instalação de pranchas verticais de madeira, escoradas por anéis metálicos;
- b) Tubulão tipo Gow, processo caracterizado pela cravação de um conjunto de tubos metálicos, de diâmetros consecutivos e decrescentes, sendo este indicado para solo não coesivo, devido a inviabilidade da escavação do fuste por etapas sem revestimento.
- c) Tubulão Pneumático, sendo este mais recomendado para terrenos onde a escavação deva ocorrer abaixo do nível d'água (N.A.). A metodologia consiste no uso de ar comprimido após a cravação do tubo antes da escavação de seu interior. A pressão de ar no interior da campânula e do tubulão deve ser suficiente para equilibrar o peso da coluna d'água do terreno, a fim de impedir sua entrada no interior da câmara de trabalho.

### 2.1.5 Estacas do tipo metálica

São estacas constituídas por peças de aço laminado (W) ou soldado como perfis de seção I e H, chapas dobradas de seção circular (tubos), quadrada e retangular, bem como trilhos (reaproveitados após remoção de linhas férreas), podem ser executadas abaixo do N.A., por meio de cravação à percussão, vibração ou prensadas (ALBUQUERQUE E GARCIA, 2020). As estacas metálicas são soluções econômicas para diversas situações, atendendo várias fases de construção da obra e permitindo uma fácil cravação com baixa vibração. Também são adaptáveis para terrenos resistentes, eliminando o risco de levantamento de estacas vizinhas e não oferecem problemas na sua manipulação, transporte, emenda ou cortes.

## 3 Estudo de Caso

Em Junho de 2010 ocorreram enchentes nos estados de Alagoas e Pernambuco, onde alguns municípios sofreram bastante com a destruição de casas, escolas, hospitais, ruas, prédios públicos, pontes etc. Uma das pontes que estão sujeitas a força das águas foi a Ponte Malhada, sobre o rio Mundaú (Figura 1), que dá acesso ao povoado da Utinga, e as propriedades da usina Utinga Leão localizada no Município de Rio Largo, Estado de Alagoas. Acredita-se que, fatores como a esbeltez das estacas, bem como sua exposição (Figura 2) contribuíram para a ruptura do sistema estaca-solo.

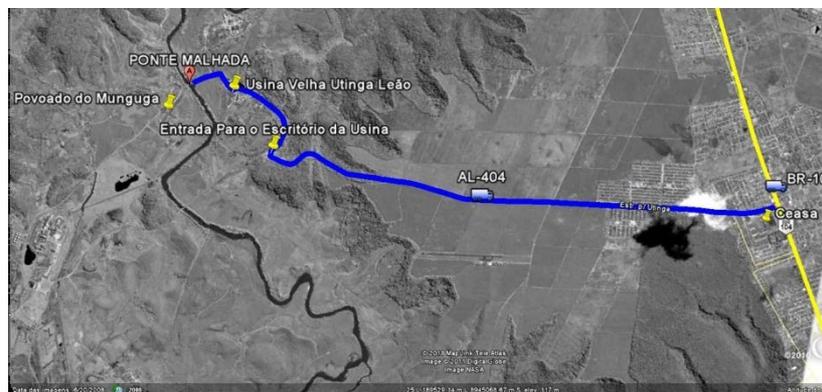


Figura 1. Localização da Ponte Malhada, (Google Maps, 2010).



Figura 2. Detalhe das estacas de fundação da ponte antiga, (BARROS, 2010).



## 4 Caracterização Geotécnica do Local

### 4.1 Resultado da sondagem

Foram realizados quatro furos de sondagem SPT, variando de 12 a 14 m de profundidade, identificando a predominância de argila siltosa com consistência variando de muito mole a média, atingindo camadas duras em torno de 10 m de profundidade. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos nos furos SP-01, SP-02, SP-03 e SP-04, respectivamente.

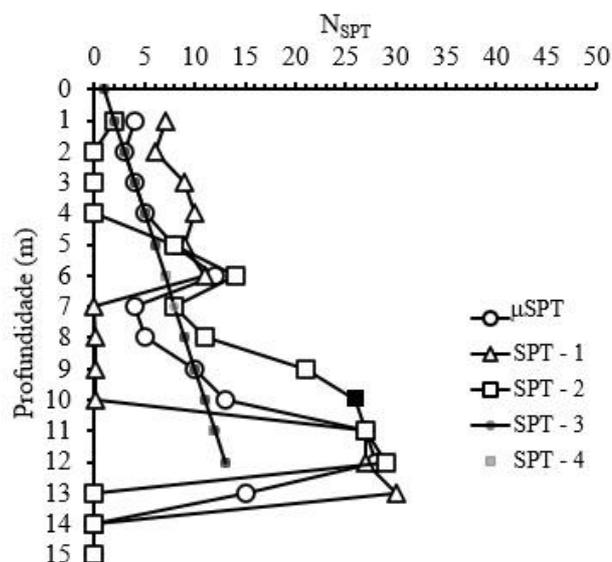


Figura 3. Resultado das sondagens SPT.

### 4.2 Definição pelo tipo de fundação

A primeira etapa do processo de definição do tipo de fundação consistiu da realização de investigações geotécnicas, tais como sondagens SPT no rio e nas cabeceiras, onde a partir do conhecimento geológico prévio da região, foi possível estimar um perfil estratigráfico representativo, identificando assim, as espessuras das diferentes camadas de solo observadas durante a realização do ensaio de sondagem à percussão do tipo SPT. Ao analisar o perfil estratigráfico representativo e os valores de índice de resistência à penetração ( $N_{SPT}$ ), verificou-se que a utilização de estacas metálicas composta por perfis laminados e retilíneos se adequariam como a solução de fundação mais adequada para as premissas de projeto indicadas. São constituídas de perfis laminados ou soldados, tubos de chapas dobradas (seção circular, quadrada ou retangular) e trilhos.

As estacas de aço devem resistir à corrosão pela própria natureza do aço ou por tratamento adequado, porém dispensam tratamento se estiverem inteiramente enterradas em terreno natural. As estacas metálicas são facilmente emendadas, têm elevada resistência à tração e compressão, não fissuram, não trincam e não quebram e apresentam razoável vibração durante sua cravação.

Para que a utilização de estacas metálicas fosse possível nesse caso em questão, as estacas de aço devem resistir à corrosão pela própria natureza do aço ou por tratamento adequado. Quando inteiramente enterradas em terreno natural, independentemente da situação do lençol d'água, as estacas de aço dispensam



tratamento especial. Nesse sentido, realizou-se a regularização do local por meio de terraplenagem, para possibilitar a entrada do equipamento denominado bate estaca (Figuras 3 e 4).



Figura 4. Escavadeira hidráulica realizando a regularização do terreno (BARROS, 2010).



Figura 5. Terreno regularizado para acesso do bate estaca (BARROS, 2010).

Seguido do processo de terraplenagem, iniciou-se o processo de cravação das estacas metálicas, utilizando um peso de 20 kN (Figura 6).



Figura 6. Cravação das estacas pelo equipamento (BARROS, 2010).

Ressalta-se que foram utilizados diferentes processos executivos para as estacas localizadas no início da ponte e no centro da mesma, onde as estacas encontram-se em uma condição submersa. As estacas no início da ponte foram cravadas para resistir aos empuxos solicitantes (Figura 7) enquanto as estacas centrais receberam camisas metálicas com preenchimento em concreto (Figuras 8 e 9).

Por motivos de ordem técnica e econômica, as estacas metálicas têm aumentado, apreciavelmente, sua aplicação como solução mais adequada. As principais vantagens são: Facilidade de cravação em quase todos os tipos de terreno, elevada capacidade de carga, bom trabalho à flexão, facilidade de corte e emenda, facilidade de transporte, possibilidade de reaproveitamento, particularmente em construções provisórias ou temporárias e possibilita a cravação faceando às divisas, dispensando onerosas vigas de equilíbrio.



Figura 7. Posicionamento das estacas no início da ponte (BARROS, 2010).



Figura 8. Camisas metálicas recebendo preenchimento em concreto (BARROS, 2010).



Figura 9. Camisas metálicas preenchidas de concreto (BARROS, 2010).

## 5 Considerações Finais

Com base nos dados apresentados no estudo de caso, conclui-se que o melhor tipo de fundação é aquele que suporta as cargas da estrutura com segurança e se adequa aos fatores topográficos, maciço de solos, disponibilidade de equipamento, durabilidade, aspectos técnicos e econômicos, sem afetar a integridade das construções vizinhas. Diante de peculiaridades encontradas no terreno, as análises geotécnicas baseadas em resultados de sondagens à percussão do tipo SPT, verificou-se horizontes constituídos basicamente por argila siltosa com ocorrência de areia, e um solo mais resistente em torno dos 14 metros de profundidade. Optando assim, pela utilização de fundações profundas por estacas, visto que tratava-se de uma obra de caráter emergencial, sendo necessário propor uma solução que fosse rápida e eficaz. Nesse sentido, optou-se pela utilização de estacas metálicas em perfil I, considerando sua fácil cravação, elevada capacidade de carga e rápida execução.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - GM/GD-140423/2017-6 – 12.157.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, P. J. R., K., Garcia, J. R. (2020) *Engenharia de Fundações*, 1ª ed., LTC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 376 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Barros, V. L. A. (2017) *Fundações em estacas metálicas: Estudo de caso da ponte malhada sobre o rio Mundaú – Rio Largo/AL*, Trabalho de conclusão de curso, Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica – Fundações e Obras de Terra, Universidade Paulista / UNIP, 53 p.