

INOVAÇÃO EM FUNDAÇÕES COM ESTACA METÁLICA

Diana Csillag, coordenadora executiva do CICS, Centro de Inovação em Construção Sustentável, conversou com o **Prof. Nelson Aoki**, engenheiro civil e professor da Escola de Engenharia de São Carlos USP e com **Eng. Heber Campos**, gerente regional de vendas da Tuper S/A. A conversa tratou da pesquisa desenvolvida em parceria entre a Escola de Engenharia de São Carlos, a Poli USP e a TUPER sobre estacas tubulares metálicas com conexão rápida, testadas no edifício do CICS LIVING LAB, no campus da cidade universitária de São Paulo.



Prof. Nelson Aoki
Crédito foto - Autor



Eng. Heber Campos
Crédito foto - Autor

CICS: O que esta nova solução de emenda rápida trouxe de inovação na área de Fundações?

Prof. Nelson Aoki: Conforme (Golombek,1970)ⁱ as estacas pré-moldadas e protendidas de concreto eram emendadas com a luva de conexão de aço tipo CEIET que eram simplesmente encaixadas externamente sobre o elemento cravado e no elemento sucessivo e, muitas vezes providos de reforço com concreto armado lançado posteriormente no trecho emendado. Nesta época começou a ser utilizado uma nova solução com bons resultados, que era a emenda com anel de

conexão tipo SCAC, na qual o anel de aço de mesmo diâmetro externo já era colocado na fabricação dos elementos estruturais de concreto centrifugado. A emenda era efetuada por solda dos anéis justapostos de elementos consecutivos. Outro tipo de emenda era a luva de conexão de aço tipo SOBRAF de encaixe simples e soldado ou de ligação entre estacas mistas de concreto e estaca de madeira permanentemente submersas.

No caso de estacas metálicas a emenda por solda era usual e a preocupação na época era a influência da solda sobre a corrosão de estacas metálicas, que era e continua a ser

tema controverso até os dias de hoje, porque diferenças de materiais envolvidos podem provocar a corrosão galvânica.

A emenda de conexão rápida da Tuper foi certamente inspirada na emenda de peças de aço com **luvas externas prensadas ou rosqueadas**, muito usadas na construção civil. Um caso típico de aplicação deste conceito de conexão em estacas de aço é a emenda, utilizada desde a década de 1980 nas estacas de aço de pequeno diâmetro na Finlândiaⁱⁱ, constituída por uma luva externa cônica rosqueada que se baseia no atrito entre as partes em contato. A alternativa de emenda com luva prensada em estacas tubulares de aço de pequeno diâmetro, por exemplo 339mm, exigiria equipamentos complexos de alto custo e tempo considerável na execução do processo de conexão.

Inovando nesta área, o engenheiro mecânico Frank Bollmann, inventor, tuneleiro, ambientalista, político e empresário de sucesso, brindou o meio técnico de fundações com a emenda rápida por **luva de pressão interna**, cujos ressalto externos comprimem e unem as superfícies internas das pontas dos tubos cravados e a cravar. A energia de compressão necessária para realizar a conexão entre a luva e os tubos é proporcional à força dos impactos necessários para vencer a resistência de atrito entre a luva e os tubos a serem conectados. A partir do momento em que as duas superfícies das pontas dos tubos entram em contato direto, a onda de compressão é transmitida entre as duas superfícies que se amoldam e proporcionam a continuidade material devido à ductilidade do aço. Se as tensões de compressão forem maiores que as de escoamento do aço a seção se amolga sem prejuízo da continuidade estrutural. No caso de ocorrência de tensões de tração durante a cravação ocorrem deformações correspondentes no intervalo de tempo de

milissegundos que devem ser resistidos pelo atrito lateral desenvolvido entre as superfícies dos ressalto da luva de emenda e as faces internas dos tubos.

A verificação da resistência desta emenda à compressão, à tração e à flexão foram efetuadas nos testes físicos realizados nos laboratórios do IPT de São Paulo, e os resultados são apresentados no encontro.

Concluindo, pode-se dizer que a inovação foi a introdução de um tipo de emenda por **luva interna prensada** pela energia do martelo de cravação cuja eficiência foi comprovada na instrumentação contínua da cravação de seis estacas experimentais e nos testes de compressão, tração e flexão em laboratório especializado. Adicionalmente, a simplicidade da emenda proporciona notável redução do tempo de conexão deste tipo de estaca.

CICS: A solução de emenda rápida alterou o comportamento da estaca metálica?

Prof. Nelson Aoki: A alteração de comportamento foi positiva pois ficou demonstrado que as estacas providas de emenda rápida apresentaram carga admissível geotécnica, determinada conforme a Norma NBR 6122:2019, que excede o valor admissível estrutural. Como consequência para pequenos diâmetros é possível maximizar a carga admissível estrutural procedendo o preenchimento do tubo com concreto.

A instrumentação contínua da cravação com o Pile Driving Analyser (PDA) permitiu o registro e análise da variação do fator de integridade BTA em cada golpe do martelo ao longo de todo comprimento cravado das seis estacas metálicas que foram posteriormente submetidas às provas de carga estáticas e dinâmicas de energia crescente (DIET- Dynamic Increasing Energy Test). Constatou-se que o fator de

integridade BTA no final da cravação foi totalmente compatível com as estacas de emendas soldadas.

A análise conjunta de todos os dados de BTA medidos no final da cravação mostram que este parâmetro de controle deve ser mais pesquisado uma vez que os atuais critérios de julgamento deste valor foram baseados na cravação de estacas de concreto. Aparentemente, a pesquisa mostrou que os valores de BTA não apresentam correlação com as cargas admissíveis das estacas pesquisadas e mais pesquisas devem ser efetuadas para confirmar esta constatação.

Conclui-se que o comportamento das estacas metálicas com emenda rápida não se alterou e foi semelhante ao das estacas com emendas soldadas convencionais.

CICS: Um procedimento de controle de capacidade de carga foi desenvolvido a partir da análise dos resultados dos ensaios desta pesquisa. Qual o benefício que este procedimento pode trazer para a prática das fundações e da engenharia civil?

Prof. Nelson Aoki: A atual prática das fundações e da engenharia civil é alicerçada no conceito de fatores de segurança que se acredita prevenir o risco de ruína no estado limite último ELU e no estado limite de serviço ELS.

Sabe-se atualmente que os *fatores de segurança não medem o risco da fundação* de uma obra de engenharia civil embora exista uma relação direta entre a probabilidade de ruína e os fatores de segurança que começa a ser discutida no meio técnicoⁱⁱⁱ.

O procedimento de controle da cravação pelo método denominado (S+D) que foi pesquisado nesta obra permite a determinação com baixo custo da:

- a) Curva carga-recalque de cada estaca isolada;

- b) Carga de ruptura de qualquer estaca a partir desta curva;
- c) Curva de distribuição estatística de resistência do grupo;
- d) Determinação da resistência média e característica do estaqueamento;
- e) Carga admissível garantida na fase de execução da obra.

Na atual conjuntura só se sabe que o estaqueamento não atende à *carga admissível de projeto após a execução das fundações* que deve ser reforçada se provas de carga demonstrarem o não atendimento deste valor. Discussões e problemas na justiça resultantes de mau resultado de uma prova de carga repercutem no relacionamento entre as partes envolvidas: projetista, executor e proprietário da obra. O procedimento utilizado e pesquisado na obra do CICS-USP garante a não ocorrência deste tipo de não conformidade, uma vez que, no caso particular deste tipo de estaca pode-se determinar a carga admissível no final da execução, respeitando-se a variabilidade natural do maciço geotécnico local e as limitações do sistema de cravação com baixo custo de execução e de controle. O benefício maior para a prática de fundações é a *realização de uma fundação por estacas cravadas com a carga admissível e fator de segurança garantidos*^{iv} que possibilitam a determinação do risco geotécnico conforme previsto no escopo da norma ABNT NBR 6122:2019 – Projeto e Execução de Fundações.

CICS: Como foi a experiência da Tuper em desenvolver esta pesquisa em conjunto com a universidade?

Eng. Heber Campos: A Tuper valoriza muito a ligação com universidades nacionais e internacionais, e acredita que um trabalho com propósito sempre pode ser feito em parceria. Com a USP não foi diferente, encontramos nesse time muitas

possibilidades de desenvolvimento e aplicação do nosso produto, e consequentemente novas soluções para o mercado. Consideramos a parceria muito produtiva.

CICS: Como vocês enxergam a aplicação desta inovação no mercado?

Eng. Heber Campos: Estamos sempre atentos às necessidades do mercado, por isso acreditamos que uma inovação como esta com certeza trará muitos ganhos para o setor da Construção Civil como um todo, beneficiando o canteiro de obras com menor risco e maior produtividade. A aplicação desta inovação está ligada a obras de finalidades diversas, especialmente aquelas que requerem fundações profundas, com a necessidade de uma maior velocidade de execução. As estacas tubulares têm apresentado uma série de vantagens para o mercado, em relação a outros sistemas de fundações. Por exemplo, quando comparadas aos sistemas de trilhos e de perfis laminados, particularmente neste último apresentam vantagens em custo, mas de uma forma geral, pela geometria (momento de inércia), capacidade de fornecimento, e também pela velocidade de execução com a utilização da conexão rápida. Quando comparadas com hélices contínuas, as estacas tubulares mostram-se eficientes por sua capacidade de gerar um menor risco

à obra, em função da previsibilidade de carga que os tubos da Tuper proporcionam. Em relação aos pré-moldados, permitem uma velocidade de execução maior, bem como de situações mais diversificadas de utilização (em situações de tração o aço se comporta melhor do que o concreto). Cabe destacar ainda, que com as estacas tubulares não há geração de resíduo, uma vez que o tubo de aço é uma estaca de deslocamento, e não escavada, não tendo necessidade de bota-fora, nem de lama bentonítica. Estamos falando de muitos metros cúbicos de solo que não são necessários movimentar de um ponto a outro dentro da obra.

CICS: Do ponto de vista do canteiro de obra, quais os benefícios da solução de emenda rápida em relação a soluções com solda?

Eng. Heber Campos: Existem muitas vantagens na utilização da emenda rápida, a principal delas é o aumento de produtividade de cravação e consequentemente redução no tempo e custo da obra. O tempo de cravação cai pela metade em alguns casos, o que impacta positivamente no cronograma da obra. Outra vantagem é a redução da mão de obra, sendo necessário apenas 2 pessoas para trabalhar na execução da fundação, gerando uma redução de canteiro, de movimentação, de refeitório, etc.

ⁱ Golombek, S. (1970) – Problemas especiais de projeto e construção de fundações em geral. Análise do estado atual. Relatório à 5ª. Sessão Técnica do IV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos. Anais do IV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Guanabara, 3 a 8 agosto de 1970. Pp. 115-167.

ⁱⁱ Uotinen, VM, Rantala, J. (2013) – Applications and Development of Modern Steel Pile Technology. 11th International Conference on Modern Buildings Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013. Procedia Engineering 57 (2013) 1173-1182.

ⁱⁱⁱ Aoki, N. (2008). Dogma do fator de segurança. Anais do SEFE VI, São Paulo, 2008, V.1, p. 9 – 42.

^{iv} Aoki, N. (2018). Aplicação de métodos probabilísticos em fundações. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – Salvador /BA, 28 de agosto de 2018. 27 pp.