



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
Departamento de Engenharia de Construção Civil

PAULO EDUARDO BARBOSA

**CONTRIBUIÇÃO À INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO E
PROCEDIMENTO DE REABILITAÇÃO DE POSTE DE
CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO UTILIZADO
EM TELEFONIA CELULAR**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Doutor em Engenharia

São Paulo
2007

PAULO EDUARDO BARBOSA

**CONTRIBUIÇÃO À INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO E
PROCEDIMENTO DE REABILITAÇÃO DE POSTE DE
CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO UTILIZADO
EM TELEFONIA CELULAR**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Doutor em Engenharia

Área de atuação:
Engenharia de Construção Civil e
Urbana

Orientador:
Prof. Dr. Paulo Helene

São Paulo
2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 31 de Outubro de 2007

Autor

Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Barbosa, Paulo E.

Contribuição à Inspeção, Diagnóstico e Procedimento de Reabilitação de Poste de Concreto Centrifugado Utilizado em Telefonia Celular / Paulo E. Barbosa – São Paulo, 2007.

167p.

Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Concreto 2. Reabilitação 3. Fibras de carbono 4. Reforço 5. Pré-moldados I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil. II. T

Ao meu pai e melhor amigo
Carlos Eduardo Barbosa (*in memoriam*).

Tudo é uma questão de manter
A mente quieta, a espinha ereta
E o coração tranquilo

Walter Franco

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Paulo Helene, profissional por quem tenho grande admiração. Seria muito pouco agradecê-lo apenas pela orientação desse trabalho considerando tudo o que com ele aprendi. Muito obrigado pelo exemplo e pelos ensinamentos que hoje fazem com que eu me sinta engenheiro.

Ao Dr. Leonel Tula e ao Prof. Tulio Nogueira Bittencourt pela participação no exame de qualificação e pelas considerações que muito contribuíram ao presente trabalho.

Ao Aldo Clementi, pela iniciativa de buscar soluções técnicas para evitar o desmonte desses postes de concreto, tornando possível o desenvolvimento desta tese, bem como pela confiança depositada na solução proposta.

Ao Eng. José Francisco Halcsik, pela amizade que fizemos ao longo desses anos de convivência e pela competência e bom senso que ele apresenta na área civil do mercado de telecomunicações.

Agradeço ao Prof. Ari de Paula Machado pela disponibilidade, discussões e ensinamentos fundamentais nos meus primeiros passos com a fibra de carbono.

Ao Laboratório de Estruturas da USP de São Carlos, principalmente ao Prof. João Bento de Hanai e Toshiaki Takeya, pela paciência e contribuição na execução do estudo experimental desta tese.

Aos amigos da pós-graduação Eliana, Humberto, Tatiana Cervo, Fernanda, Patrícia Bauer, Charles, Luciana, Gerusa, Evandro, Tonhão, Tatiana Tuchiya, Tiago, Thomas, Clóvis, Rui, Andréia, Maira, Maurício, Patrícia Neves, Carine, Salomon, Ademir. Em especial, agradeço aos meus queridos Marcelo e Manolo, pela saudável e verdadeira amizade que sempre tivemos.

Aos funcionários do departamento e do CPqDCC, por toda ajuda prestada: Fátima, Engrácia, Paulinho, Reginaldo, Renata, Dorval, Adilson, João, Rogério, Patrícia e Edson.

À BASF Construction Chemicals, fornecedora de toda a fibra de carbono utilizada nesta tese, principalmente ao gerente comercial, Eng. José Eduardo Granato, sempre presente com competência e bom humor.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) que me concedeu bolsa no primeiro ano do meu doutorado.

A todos da PhD^{esign}, pela convivência diária. Em especial à Fernanda, pela amizade conquistada dia após dia nessa empreitada que abraçamos e pela competência de sua participação neste e em muitos outros trabalhos.

Muito obrigado à minha querida Ivie por ter entrado na minha vida, deixando-me conviver diariamente com a doçura presente em todos os seus gestos e palavras.

Finalizo falando do início de tudo, ou seja, de quem me deu a formação necessária para eu hoje aqui estar. Não tenho palavras para expressar tudo o que meus pais, Carlos e Leila, meus avós, José Paulo e Lídia e meu irmão Carlos significam pra mim, nem muito menos para dizer a importância deles em todas as minhas conquistas. Quero que saibam que os amo muito.

RESUMO

Postes tubulares pré-moldados de concreto armado foram instalados no Brasil pelas empresas de telefonia móvel ao implantar ou ampliar áreas de cobertura do sistema a partir de 1996. A grande maioria desses postes, da ordem de duas mil unidades, foi fabricada por uma mesma empresa, pelo processo de centrifugação. As alturas desses postes variam de 20 a 60 m.

Alguns desses postes colapsaram depois de três ou quatro anos de utilização, tendo-se conhecimento de quatro deles, nos estados de São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul. Todos os colapsos conhecidos desses postes, ocorreram com ruptura na emenda entre o módulo tubular 1, engastado ao solo, e o seguinte módulo.

Após extenso trabalho de investigação e diagnóstico do problema, levado a cabo em 40 postes demolidos e estocados na cidade de Santana do Parnaíba/SP, ficou demonstrado que o problema patológico mais relevante encontrado era a emenda entre módulos. O diagnóstico apontou fadiga da emenda por traspasse devido ao excesso de armadura, com taxas variando de 8,5% a 18,2%. Essas taxas efetivas de armadura superaram em muito o limite máximo permitido por norma e recomendável do ponto de vista de transmissão de esforços nessa região.

O objetivo principal desta tese é demonstrar que é possível aproveitar esses postes, sem necessidade de sua substituição, através de um procedimento de reforço, original e seguro, que corrija as deficiências iniciais do projeto. Várias alternativas foram propostas pelo meio técnico aos proprietários desses postes para solução do problema, mas nenhuma conseguiu satisfazer às necessidades operacionais, econômicas e técnicas requeridas. A solução estudada minuciosamente nesta tese, consiste, sucintamente, em preencher o fuste do poste na região do traspasse com graute de elevada resistência mecânica e realizar confinamento passivo com uma camada de fibra de carbono, reduzindo as taxas de armadura a níveis adequados e assegurando confinamento da emenda.

Essa solução foi ensaiada em laboratório, utilizando-se postes já removidos, ou seja, em escala real, de forma a comprovar a eficiência do reforço proposto. Todos os ensaios com módulos de postes não reforçados mostraram ruptura por falha na transferência de esforços na região do traspasse de armaduras, apresentando mecanismo de ruptura muito próximo ao encontrado na prática, em postes que colapsaram. Todas as rupturas ocorridas em postes reforçados na região do traspasse com a solução proposta ocorreu por flexão no domínio III, sem nenhuma deterioração por fadiga da região do traspasse de armaduras, comprovando a eficiência do reforço proposto.

O custo da reabilitação desenvolvida nesta tese é, em média, de um terço à metade do valor da substituição do poste por uma torre metálica, o que a torna uma alternativa altamente atrativa para as empresas do setor, contribuindo para a solução de um grave problema nacional de engenharia (ciência aplicada).

ABSTRACT

Precast reinforced concrete posts were installed in Brazil by mobile telephone companies when implanting and enlarging service areas of the system starting in 1996. The great majority of these posts were manufactured by a single company, using a centrifugal process. Approximately two thousand units of posts were produced of heights ranging between 20m [60 ft] and 60 m [197 ft].

Some of those posts collapsed after three or four years of use, reportedly being known of four cases, located in the states of São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro and Rio Grande do Sul. All of the known collapses happened with rupture in the reinforcement development length between the first module (the one fixed to the ground) and the second module.

After an extensive investigation work and diagnosis of the problem, carried out in 40 dismantled posts that had been previously stocked in the city of Santana do Parnaíba/SP, it was demonstrated that the most relevant problem found was in the development length of the reinforcement between the modules. The diagnosis pointed the fatigue due to the elevated reinforcement area at the joint area, which ranged between 8,5% to 18,2%. Those rates exceed considerably the maximum limit allowed by standards in order to guarantee adequate conditions for stress transfer in that area.

The main objective of this dissertation is to demonstrate that it is possible to use the posts without need of their substitution, through a reinforcement procedure, original and safe, that corrects the initial deficiencies of the project. Several alternatives were proposed by the technical community for the solution of the problem, but none of them could satisfy the operational, economical and technical needs requested by the owners of the posts. The proposed solution consists in filling the section of the posts in the joint area with a high mechanical strength grout and a layer of carbon fiber reinforcement in order to accomplish passive confinement, therefore reducing the reinforcement rates to appropriate levels.

This solution was tested in laboratory, using real scale posts already removed in order to confirm the efficiency of the proposed reinforcement procedure. All of the tests with non reinforced posts showed rupture due to failure of stress transfer in the joint area, presenting a very close rupture mechanism to the one found in practice in the posts that collapsed. All of the ruptures occurred in the reinforced posts were due to flexure in the Section III domain without any deterioration of the joint area, proving so the efficiency of the proposed reinforcement.

The rehabilitation cost of the solution developed on this dissertation varies, on average, between a third and a half of the cost of replacing the structure for a metallic tower, thus providing an attractive alternative for the companies in this business, contributing to the solution of a serious national problem of engineering (applied science).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA	1
1.2. OBJETIVO DESTA TESE	7
1.3. CONCEPÇÃO E ORIGINALIDADE DA TESE	8
1.4. CONTEÚDO DESTA TESE.....	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1. INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS	10
2.2. ADERÊNCIA E EMENDAS POR TRASPASSE	14
2.3. ANÁLISE ESTRUTURAL DOS POSTES DE CONCRETO	34
2.4. COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRA	48
3. INSPEÇÃO REALIZADA PARA DIAGNÓSTICO	52
3.1. INSPEÇÃO PRELIMINAR DOS POSTES	52
3.2. SELEÇÃO, DESCRIÇÃO E RESULTADOS DOS ENSAIOS	54
3.3. HETEROGENEIDADE DO CONCRETO CENTRIFUGADO	66
3.4. INSPEÇÃO DAS EMENDAS POR TRASPASSE.....	68
3.5. RESUMO DOS RESULTADOS DA INSPEÇÃO	71
3.6. DIAGNÓSTICO.....	71
4. PROJETO DE REFORÇO	75
4.1. REFORÇO À FLEXÃO	75
4.2. REFORÇO DAS EMENDAS POR TRASPASSE	97
5. ENSAIO DAS EMENDAS POR TRASPASSE	104
5.1. INTRODUÇÃO	104
5.2. CARACTERÍSTICAS DOS SEGMENTOS UTILIZADOS	104
5.3. REFORÇO DOS MÓDULOS	105
5.4. ESTIMATIVA DA CAPACIDADE RESISTENTE DAS SEÇÕES	107
5.5. METODOLOGIA GERAL DO ENSAIO.....	108
5.6. RESULTADOS DO ENSAIO PILOTO (CP 1).....	113
5.7. RESULTADOS COM SEGMENTOS NÃO REFORÇADOS (CP 2).....	116
5.8. RESULTADOS COM SEGMENTOS REFORÇADOS (CP 3)	120
5.9. RESULTADOS COM SEGMENTOS MISTOS (CP 4).....	124
5.10. ANÁLISE DOS RESULTADOS	128

6. PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO DO REFORÇO (PROTÓTIPO).....	134
7. DURABILIDADE E MANUTENÇÃO.....	145
7.1. AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DA SOLUÇÃO	145
7.2. RECOMENDAÇÕES PARA MANUTENÇÃO.....	152
7.3. RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO DE NOVOS POSTES	156
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	157
8.1. CONCLUSÕES QUANTO AO DIAGNÓSTICO.....	157
8.2. CONCLUSÕES QUANTO À SOLUÇÃO.....	158
8.3. TRANSFERÊNCIA DE RESULTADOS AO MEIO TÉCNICO	159
8.4. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	160
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	161

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

