



## PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

# UTILIZAÇÃO DO ENSAIO DE ULTRASSONOGRRAFIA PARA A INVESTIGAÇÃO DE PATOLOGIA ESTRUTURAL

Rodrigo Moysés Costa (1); Ubirajara Alvim Camargos (2)

(1) *Professor Doutor, Departamento de Engenharia da Escola de Engenharia de Itaúna, Universidade de Itaúna*

email: [rodrigo@moyses.com.br](mailto:rodrigo@moyses.com.br)

(2) *Especialista em Estruturas, Alvim Camargos Engenheiros Associados*

email: [uac.bh@terra.com.br](mailto:uac.bh@terra.com.br)

**Palavras Chaves:** ultrassonografia, deformações, colapso, concreto

Muitas obras civis são reiniciadas após vários anos de paralisação e alguns engenheiros não verificam as condições em que se encontram as estruturas e fundações recebidas. Esse trabalho relata um caso típico na cidade de Belo Horizonte, do ponto de vista do ensaio de ultrassonografia, em que poucos dias antes da entrega do edifício aos seus condôminos, três pilares e as principais vigas do Pilotis se romperam, gerando deformações verticais de mais de 15 centímetros, quase levando o prédio ao colapso.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem vivido um bom momento. Assim como em outras capitais, Belo Horizonte passa por uma forte expansão nesse setor e, obras que outrora foram desativadas, atualmente estão sendo gradativamente retomadas. No entanto, por motivos variados, nem todos os cuidados necessários estão sendo tomados nas fases anteriores à da reativação dessas obras. Não tem sido raro o surgimento de construções executadas utilizando estruturas com sérios problemas executivos. É nesse contexto que se insere este artigo. Uma construção paralisada no nível do pilotis, adquirida por um grupo empreendedor que retomou a construção, sob a administração de um engenheiro civil da área de construção. Entretanto, pouco ou nenhum cuidado foi tomado antes da aquisição da parte já construída.

O edifício é constituído por 6 pavimentos, sendo um nível inferior de garagem, um pilotis e 5 níveis destinados a apartamentos. Os condôminos da segunda fase de construção contrataram um engenheiro estrutural para elaborar modificações no projeto inicial, tendo em vista a intenção de pequenas alterações no projeto arquitetônico. Esse profissional fez uma verificação sintética, avaliando simplesmente a consistência da capacidade de cargas das fundações (tubulões à céu aberto, comum na região) com as cargas obtidas em seu cálculo

estrutural. As informações referentes à geometria e profundidades dos tubulões foram fornecidas pelo primeiro empreendedor, por meio de uma simples planilha.

Além disso, durante toda a obra (duas fases de construção), não foi executado nenhum controle tecnológico do concreto. O fato é que, a poucos dias da data de entrega dos apartamentos aos condôminos, um pilar do Pilotis e dois do nível de Garagem se romperam, assim como vigas do Pilotis e Garagem (figuras 1, 2 e 3), ocasionando uma acentuada deformação na região central da edificação e a manifestação de trincas no concreto de vigas, lajes e alguns pilares.



Figura 1 : Viga teto pilotis



Figura 2 : Viga teto pilotis



Figura 3 : Viga piso garagem

Nas vistorias realizadas na edificação, notadamente nos níveis abaixo do Pilotis, foram verificadas várias não-conformidades nas estruturas de concreto armado, desde simples falhas de concretagem, passando por cortes intencionais em barras de aço, até a falta de estribos em trechos de pilares (figuras 4 a 9).



Figura 4 : Armaduras de pilar soltas e junta de concretagem com papel - saco de cimento



Figura 5 : Viga com estribos cortados e dobrados e falta de espaçadores para armaduras



Figura 6 : Brocas, bicheiras e falhas de concretagem e armadura exposta do pilar



Figura 7 : Pilar com trechos com seção descontínua



Figura 8 : Viga com estribos cortados e dobrados e armadura de pilar também dobrada



Figura 9 : Junta de concretagem com saco de cimento e ferragens de viga e pilar dobradas

## 2. DAS PRIMEIRAS AÇÕES

O Condomínio contratou um engenheiro da área de recuperação e patologia das construções para coordenar as atividades técnicas para a estabilização das deformações e revitalização do edifício. Imediatamente foram escoradas as estruturas até o teto do Pilotis, utilizando peças de madeira roliça de eucalipto, em função da facilidade de seu manuseio, tendo em vista a grande declividade do terreno abaixo das lajes da garagem. Após a instalação do escoramento, todas as fissuras e/ou trincas visíveis foram colmatadas com massa PVA com o objetivo de possibilitar detecção de possíveis evoluções em suas aberturas (figuras 11 a 18).



Figura 10 : Escoramento sob a laje da garagem



Figura 11 : Viga da fachada com trincas



Figura 12 : Viga da fachada com trincas colmatadas



Figura 13 : Viga teto do pilotis



Figura 14 : Pilar de apoio da viga da figura 10



Figura 15 : Detalhe da viga da figura 10



Figura 16 : Pilar com fissura vertical



Figura 17 : Pilar com fissura vertical



Figura 18 : Pilar com fissuras generalizadas

Paralelamente, foi contratada uma empresa de topografia com experiência em outros casos similares para executar o monitoramento, inicialmente com frequência diária, de deslocamentos verticais e horizontais de 15 pontos instalados nas fachadas do prédio.

Logo após, foi contratada uma empresa para executar sondagens à percussão para reconhecimento do solo. Imediatamente após o recebimento dos relatórios de campo, foram

iniciadas escavações paralelas a todos os tubulões para a determinação de suas características físicas (profundidade, diâmetro e altura da base, posição em relação ao pilar que suporta).

A suspeita inicial recaiu sobre a qualidade do concreto utilizado a partir de sua coloração e granulometria de seus agregados graúdos, tendo em vista que o concreto lançado na primeira fase foi “fabricado” no canteiro de obras, que utilizou areia artificial e somente brita zero. Esses tipos de agregados requerem um rigoroso controle tecnológico, notadamente no que diz respeito ao fator água/cimento, uma vez que esses agregados utilizados requerem aditivos plastificantes para manter o consumo de água em proporções adequadas.

### 3. ENSAIOS DE ULTRASSONOGRRAFIA DO CONCRETO

Para verificar se o rompimento dos pilares poderia ser um fato isolado ou um problema sistemático, foi verificada a qualidade dos concretos de alguns elementos estruturais, assim como suas integridades físicas, através de ensaios de ultrassonografia.

A princípio, cogitou-se que o ensaio de ultrassonografia apontaria na direção de um concreto debilitado, com velocidades do pulso ultrassônico abaixo de 3,5 km/s. Os ensaios foram realizados dentro das preconizações da norma NBR 8802:1994 em pilares, em seus terços inferiores e superiores, por meio do método direto.

Conforme a tabela 1 verificou-se que os pilares rompidos, assim como os demais, apresentavam boa qualidade, isto é, boa compacidade interna.

Tabela 1: Dados obtidos dos pilares ensaiados

Pilar	Velocidade Média (km/s)	Qualidade do Concreto
P4 – subsolo	4,3	Boa
P9 – garagem	4,3	Boa
P11 – subsolo	4,1	Boa
P13 – garagem	4,1	Boa
P15 – garagem	4,0	Boa
P16 – subsolo	4,0	Boa
P16 – garagem	4,2	Boa
P18 – garagem	3,8	Boa
P25 – subsolo	4,2	Boa
P25 – garagem	4,1	Boa

Posteriormente foram extraídos testemunhos dos mesmos pilares para determinação de suas resistências à compressão, com 6,7cm de diâmetro e 13,4cm de altura, aproximadamente. Essas dimensões se deram em função do posicionamento das armaduras longitudinais nos pilares. Anteriormente a seus rompimentos, os testemunhos foram submetidos ao ensaio de ultrassonografia, pelo método direto, estando seus resultados apresentados na tabela 2 juntamente com os resultados dos ensaios de resistência à compressão.

Tabela 2: Dados obtidos dos testemunhos ensaiados

Pilar	Velocidade Média (km/s)	Qualidade do Concreto	Resistência à compressão (MPa.)
P4 – subsolo	4,0	Boa	21,3
P9 – garagem	4,6	Excelente	38,9
P11 – subsolo	4,2	Boa	23,6
P13 – garagem	4,4	Boa	22,1
P15 – garagem	4,4	Boa	16,5 (*)
P16 – subsolo	4,1	Boa	19,9
P16 – garagem	4,5	Boa	36,3
P18 – garagem	4,4	Boa	19,3
P25 – subsolo	4,2	Boa	29,2
P25 – garagem	4,6	Excelente	32,1

(\*) O valor encontrado para o testemunho do Pilar P15 deve ser desconsiderado, por estar divergente em relação aos demais

Os testemunhos apresentaram resultados caracterizando concreto de boa qualidade, coerentes àqueles das peças ensaiadas, salvo o fato daqueles extraídos dos pilares P9 e P25 da garagem, que caracterizaram um concreto de qualidade excelente ( $>4,5\text{km/s}$ ), conforme as classificações quanto à qualidade do concreto citadas por NEVILLE (1981), mencionada nas Referências bibliográficas.

#### 4. DAS INSPEÇÕES REALIZADAS

Os trabalhos de investigação realizados nas fundações detectaram que todos os tubulões foram executados com bases de diâmetro muito menores que os informados pelo empreendedor inicial – até 1,2m de diâmetro, em desacordo com valores de até 3,2m (figura 19). Vários tubulões foram executados deslocados dos eixos dos pilares (figuras 20 e 21).



Figura 19 : Base de tubulão típico  $\varnothing_f=60\text{cm}$  e  $\varnothing_b=100\text{cm}$



Figura 20 : Tubulão deslocado em relação ao pilar



Figura 21 : Tubulão sem abertura de base

Três pilares se apoiavam diretamente sobre o solo, não tendo nenhum tipo de fundação ou tubulões, sendo um deles de sustentação da viga da fachada (figuras 22 a 24).



Figura 22 : Pilar apoiado sobre viga – sem fundações



Figura 23 : Encontro fraturado da viga da figura 7 (outra face)



Figura 24 : Execução de tubulão sob pilar das figuras 7 e 8

Ficou constatado ainda que três tubulões se apresentavam com uma grande trinca vertical, característica de rompimento por excesso de carga axial, inclusive o tubulão que apoiava o pilar central da viga de fachada.

Devido às deformações verticais ocorridas na área central do prédio – região da escada e elevadores – a edificação se movimentou como se houvesse uma implosão, fazendo com que os pilares da extremidade do teto do pilotis rotacionassem o suficiente para fissurar praticamente todas essas regiões.

A verificação realizada no projeto estrutural original detectou que foi elaborado com base na NB 1:1960, notadamente para os pilares, onde foi considerado simplesmente coeficiente de majoração das cargas axiais de 1,65.

Em campo, verificou-se que os trechos dos pilares existentes abaixo do piso do pilotis, tiveram suas armaduras longitudinais alteradas de Ø16mm para Ø12,5mm, mantendo o espaçamento dos estribos em 20 centímetros, em desacordo como preconizado pelas normas técnicas nacionais e internacionais, que consideram espaçamento mínimo equivalente a 12 vezes o diâmetro longitudinal, ou seja, para Ø12,5mm, 15cm.

Verificou-se ainda a existência de um pilar foi construído sobre uma viga comum, sem qualquer preocupação com sua seção geométrica e armaduras, em função do deslocamento do pilar de apoio para outra posição, em total desacordo com o projeto estrutural original (figuras 25 a 27).



Figura 25 : Tubulão deslocado em relação ao pilar



Figura 26 : Viga sobre a qual um pilar foi construído



Figura 27 : Abertura da viga das fotos ao lado

Após a limpeza dos entulhos lançados sobre o terreno da área abaixo do piso da garagem foi detectado que outro pilar se encontrava totalmente rompido, todos os três pilares no entorno da caixa de elevadores e escada.



Figura 28 : Pilar P15



Figura 29 : Pilar P15



Figura 30 : Pilar P15 após  
remoção dos entulhos



Figura 31 : Pilar P16



Figura 32 : Pilar P16



Figura 33 : Pilar P18

## 5. DECISÕES TOMADAS PARA A RECUPERAÇÃO DO PRÉDIO

Na fase final de investigações das fundações e execução dos trabalhos emergenciais, o engenheiro coordenador da fase de investigações apresentou valores estimados para a revitalização da estrutura do prédio aos proprietários e ao atual construtor, os quais consideraram como aceitável, autorizando a continuidade das obras e execução dos serviços de reforço.

Resumidamente os trabalhos consistirão de:

- a) encamisamento dos três pilares rompidos (figuras 37 e 38),
- b) execução de outro pilar sobre a viga totalmente rompida (figuras 25 a 27) e seu reforço,
- c) reforço da viga da fachada por encamisamento (figuras 11 e 12), considerando que já foi construído 2 pilares sob a mesma viga,
- d) reforço de uma viga transversal e interna através de protensão externa (figuras 13 a 15),
- e) fretagem de extremidades de todos os pilares com transição de seção geométrica – 30x30cm para 20x70cm (figuras 16 a 18),
- f) revitalização de todos os encontros de vigas com pilares da periferia do teto do pilotis que apresentarem trincas e/ou fissuras,
- g) reforço de todas as vigas que tiveram suas armaduras transversais deslocadas (figura 5),
- h) reforço de todas as extremidades de pilares onde se verifica falta de estribos e/ou armaduras deslocadas (figuras 4, 7 a 9),
- i) reforço de todas outras vigas que se apresentem com patologias estruturais,

- j) intervenções em junções de pilares e vigas que apresentarem outras deficiências construtivas,
- k) intervenções em lajes pré-fabricadas que apresentem trincas,
- l) outras providências necessárias à revitalização das estruturas.



Figura 34 : Novo pilar sobre a viga da fachada



Figura 35 : Pilar da figura 40, envolvido para cura do concreto



Figura 36 : Outro pilar novo, construído sob a viga da fachada



Figura 37 : Pilar P15 – rompido



Figura 38 : Instalação de armaduras de reforço – Pilar P18



Figura 39 : Pilar P18 já reforçado

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802:1994**: concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. ABNT: Rio de Janeiro, fev. 1994. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 1:1960**: projeto de estruturas de concreto, fev. 1960.

NEVILLE, A. M. **Properties of concrete**. 3<sup>rd</sup> ed. London: Pitman, 1981. 780p.