

# AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE ESTACAS DE BETÃO PELO MÉTODO DE DIAGRAFIA SÓNICA ENTRE FUROS

## CONCRETE PILE INTEGRITY EVALUATION BY CROSSHOLE METHOD

Mota, R. – *Assistente de Investigação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

Fialho Rodrigues, L. - *Investigador Coordenador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

### RESUMO

Faz-se no presente artigo uma descrição dos princípios e condições de ensaio do método de diagrafia sónica entre furos, para avaliação da integridade de estacas de betão. São apresentados casos de obra em que o método permitiu detectar defeitos de construção, conduzindo nuns casos à recuperação das estacas, e noutros ao seu abandono e posterior substituição. Em alguns casos é feita uma comparação com resultados obtidos através do método sónico de eco, com o qual, na maioria das situações, não foi possível detectar qualquer das anomalias identificadas pelo método de diagrafia sónica. Com a crescente preocupação com o controlo de qualidade das obras, aumentará certamente a importância do método de diagrafia sónica entre furos na avaliação da integridade de estacas, barretas e outras estruturas de betão.

### ABSTRACT

In the present paper one present the cross-hole sonic test principles and test conditions to perform the integrity evaluation of concrete piles. Case studies where this method managed to detect construction defects are presented. In some of the situations it permitted to recover piles and in others they where abandoned and replaced by new ones. In some piles there was also performed the low-strain integrity test, which couldn't detect any of the defects identified by the cross-hole test. With the growing interest in quality control, certainly it will increase the importance of the cross-hole sonic test to evaluate the integrity of piles, barrettes and other concrete structures.

## 1. INTRODUÇÃO

O objectivo do método de diagrafias sónicas é verificar a continuidade e homogeneidade do betão de estacas, paredes moldadas e barretas. Para o efeito as estruturas são previamente equipadas com tubos metálicos dispostos verticalmente, ao longo dos quais são descidas duas sondas – uma emissora e outra receptora de ondas de compressão, sónicas e ultrasónicas (frequências até 100 kHz).

Num conjunto de aproximadamente 850 estacas ensaiadas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) nos últimos anos, em dezena e meia de obras no país e no estrangeiro, o método permitiu verificar que em 8 estacas (<1%) o betão que as constituía não possuía as devidas condições de homogeneidade e integridade, tendo sido necessário proceder-se à sua substituição. Várias outras estacas onde se obtiveram registos com significativas anomalias acústicas foram recuperadas, devido a estas ocorrerem a pequena profundidade, sendo assim de fácil acesso. Algumas destas estacas foram igualmente sujeitas a ensaios pelo método sónico de eco.

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO DO MÉTODO

O método de diagrafias sónicas consiste numa investigação contínua, ao longo da estrutura (estaca, barreta ou paredes moldadas) da velocidade de propagação das ondas de compressão no betão,  $c$ , entre dois tubos de auscultação separados entre si de uma distância  $L$ , que pode ser dada pela seguinte expressão:

$$c = \frac{L}{t}$$

onde  $t$  é o tempo de percurso entre as sondas.

Se se considerar que o betão é um meio isotrópico e elástico para o caso das ondas sónicas, pode-se relacionar o tempo de percurso entre as duas sondas, com a densidade,  $\rho$ , e as constantes elásticas do meio –  $E$  (módulo de Young) e  $\nu$  (razão de Poisson):

$$t = L \left[ \frac{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}{E(1-\nu)} \right]^{-1/2}$$

Considerando que os tubos se encontram na vertical, a distância  $L$  entre eles mantém-se constante, pelo que o tempo  $t$ , conseqüentemente, a velocidade de propagação das ondas sónicas no meio, apenas dependerá das propriedades do meio.

Num betão homogéneo, a velocidade de propagação das ondas de compressão é constante e da ordem de 4 000 m/s. Ela diminui rapidamente perante anomalias do tipo inclusão de terreno, fissuras, segregações, etc., afectando assim a forma e amplitude do sinal recebido e registado sob a forma de variação do tempo de percurso entre sondas com a profundidade.

### 3. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Num dos tubos, cheio com água, é descida uma sonda de emissão de vibrações ultra-sónicas, enquanto no segundo tubo, igualmente repleto de água, é descida uma sonda de recepção, permanecendo ambas sempre à mesma cota. À medida que as sondas vão ascendendo o sinal recebido é visualizado num ecran e simultaneamente arquivado em memória, para posterior impressão da diagrafia obtida. Na figura 1 é apresentado um esquema do método de ensaio. À profundidade a que ocorre uma anomalia acústica pode ser efectuada uma inspecção mais detalhada com outra escala vertical ou com as sondas colocadas a níveis diferentes.

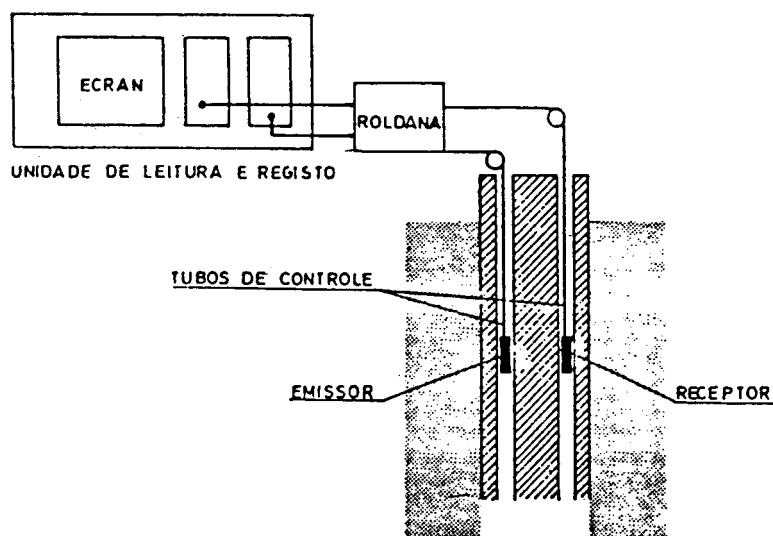


Fig. 1 – Esquema do método de ensaio.

A aquisição de bons resultados de um ensaio depende de uma cuidadosa sequência de trabalhos, necessária para obviar a introdução de anomalias no processo. Assim, as regras mais importantes a observar são as seguintes:

- a) Os tubos devem ser metálicos, para obter uma melhor aderência betão/tubo, e possuir um diâmetro interno compreendido entre 35 e 60 mm;
- b) O número dos tubos varia com o diâmetro da estaca:
  - $\varnothing < 0,60 \text{ m} = 2 \text{ tubos}$
  - $0,60 < \varnothing < 1,20 \text{ m} = 3 \text{ tubos}$  dispostos segundo um ângulo de  $120^\circ$
  - $\varnothing \geq 1,20 \text{ m} = 4 \text{ tubos}$  no mínimo (fig. 2);

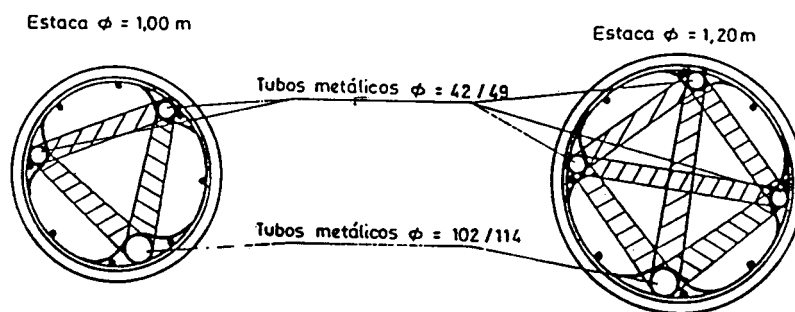


Fig. 2 - Disposição dos tubos nas estacas. (Apenas as zonas sombreadas são investigadas).

- c) Para as paredes moldadas e as barretas, o número de tubos deve estar de acordo com a regra de 2,5 metros entre tubos. Na figura 3 é apresentada a disposição para uma barreta de betão com 200 x 80 cm;

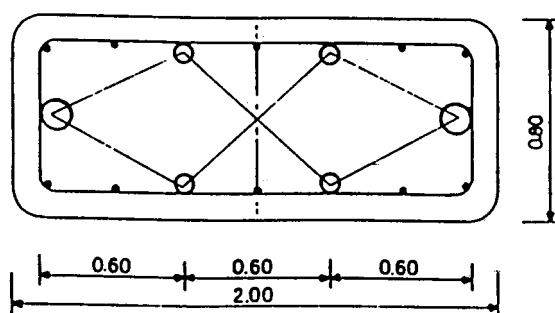


Fig. 3 - Exemplo de disposição dos tubos numa barreta de betão com 200 x 80 cm.

- d) Os tubos devem ser unidos obrigatoriamente com juntas de rosca. Em nenhum caso as ligações devem ser efectuadas com recurso à soldadura;
- e) Os tubos devem encontrar-se limpos de qualquer gordura, que pode dificultar a aderência tubo/betão. Uma má ligação entre o tubo e o betão origina uma atenuação nas ondas sonoras, provocando no registo uma variação do tempo de propagação, que pode ser interpretada como indício da presença de uma anomalia na estrutura;
- f) Os tubos devem ser obturados no seu extremo inferior com uma tampa metálica roscada, para evitar a ascensão de sedimentos ou betão. Para evitar que algo caia no interior dos tubos, obstruindo-os e inviabilizando assim o ensaio, o seu extremo superior deve ser tapado provisoriamente, de preferência com uma tampa roscada;
- g) Os tubos devem ser descidos até à base inferior da armadura;
- h) Para facilitar a colocação das sondas no mesmo plano horizontal e evitar a queda de material para o interior dos tubos no decorrer do ensaio, estes devem encontrar-se no mínimo 0,5 m acima da cabeça da estaca;
- i) A cabeça da estaca não deverá ser saneada, dado que essa acção poderá danificar os tubos e fazer descolar o betão dos tubos;
- j) Os tubos devem encontrar-se paralelos, verticais, igualmente espaçados, bem fixos à armadura e sem quaisquer obstruções;
- k) A idade mínima do betão para que o ensaio se possa realizar em boas condições é de três dias.

Se estas regras básicas não forem cumpridas podem surgir nos registos resultantes do ensaio de uma estrutura, anomalias acústicas que terão características idênticas a outras típicas de problemas estruturais das estacas. Estas anomalias podem, por outro lado, dificultar a correcta interpretação de

uma verdadeira anomalia estrutural, como por exemplo na situação de descolagem do betão, em que existe forte atenuação do sinal.

Das desvantagens deste método destacam-se a não detecção de anomalias situadas fora das zonas atravessadas pelas ondas de compressão (figura 2), nem anomalias de pequena extensão vertical, como por exemplo fissuras horizontais.

Em termos gerais considera-se que está-se perante uma anomalia acústica significativa quando a velocidade média teórica de propagação das ondas sónicas se reduz em mais de 20% ou, inversamente, quando o tempo de percurso aumenta em mais de 20%. Os valores obtidos a partir das diagrafias são valores médios teóricos, dado que parte-se sempre do princípio que os tubos se encontram verticais e igualmente espaçados ao longo da estaca, e os parâmetros medidos são a distância entre tubos na cabeça da estaca e o tempo de propagação em cada ponto ao longo da estaca por outro lado trata-se de um valor médio entre tubos, uma vez que a velocidade em cada ponto pode variar ao longo desse percurso.

Determinada anomalia acústica presente nos registos pode ter mais do que uma origem. Para tentar despistar a solução é necessário conjugar os resultados da interpretação das diagrafias com os elementos fornecidos pela obra sobre o processo de construção da estaca. Quando mesmo assim não seja possível identificar a origem da anomalia, e se ocorrerem significativas perdas de amplitude do sinal e do tempo de percurso, e a história construtiva da estaca o justifique, é necessário complementar a avaliação da estaca com uma investigação directa da zona anómala através de sondagem ao corpo da estaca ou inspecção visual se, quer a profundidade quer a zona da estaca em que ocorre a anomalia, o permitirem. Nos casos em que são feitas sondagens, os furos daí resultantes podem ser igualmente utilizados para executar diagrafias, o que permite apertar a malha em torno da origem da anomalia acústica. Isto porque a anomalia pode não ocupar toda a secção da estaca, mas apenas uma zona mais central ou periférica.

Em algumas estacas onde foram detectadas anomalias acústicas significativas foram também realizados ensaios pelo método sónico de eco. Tendo em conta que o método das diagrafias sónicas entre furos se aplica normalmente a estacas de grande diâmetro e elevado comprimento, a utilização do método sónico de eco mostra-se inadequada para estacas com estas características, devido à perda de resolução com o aumento do diâmetro das estacas e do seu comprimento, associada à perda de energia por atenuação. Apenas em situações pontuais em que exista uma anomalia significativa na zona superior da estaca e que ocupe grande parte da sua secção é que será possível conjugar ambos os métodos. Na secção seguinte apresentam-se dois registos obtidos em ensaios realizados em estacas onde o método de diagrafia sónica havia evidenciado uma anomalia significativa, a grande profundidade, não tendo o método sónico de eco possibilitado obter qualquer informação sobre a mesma.

#### 4. A EXPERIÊNCIA DO LNEC

Tal como já foi referido, nos últimos anos o LNEC ensaiou por este método para além de estacas, outras estruturas de betão, das quais se dá um exemplo na fotografia presente na figura 4, do ensaio de um maciço de betão com distâncias entre furos que chegaram a atingir 3,13 m.

No que respeita a estacas de fundação de diversas estruturas, foram efectuados ensaios a cerca de 850 estacas de diversos diâmetros e comprimentos, tendo sido detectadas algumas estacas com anomalias acústicas que se vieram a revelar, em alguns casos (menos de 1% do total), anomalias graves do ponto de vista estrutural, tendo sido substituídas por novas estacas.



Fig. 4 – Ensaio de um maciço de betão.

#### 4.1 - Exemplos de registos obtidos com anomalias

Os registos que a seguir se apresentam pretendem ilustrar algumas das anomalias mais comuns, como por exemplo contaminação do betão na zona da ponteira da estaca, betão lavado e betão com pouco inerte. São dados igualmente exemplos de registos com anomalias cuja origem não é qualquer defeito no betão, mas sim defeitos na metodologia de preparação da estaca para o ensaio, que provocam descolamento do betão dos tubos (metálicos ou de PVC).

##### 4.1.1 – Contaminação do betão

Uma situação que ocorre muitas vezes em obra é a da contaminação do betão, em especial na zona da ponteira das estacas. As anomalias identificadas nas diagrfias caracterizam-se por aumento do tempo de percurso e, conseqüentemente, redução da velocidade de propagação das ondas sónicas. Na figura 5 são apresentados alguns exemplos de diagrfias obtidas.

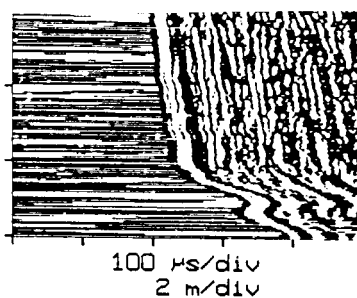


Fig. 5 – Diagrafias com anomalia acústica típica de contaminação do betão na zona da ponteira da estaca.

##### 4.1.2 – Betão lavado

Outra das situações mais comuns em termos de defeitos numa estaca é a de lavagem do betão, devido a circulação de água subterrânea, ou por outros motivos relacionados com o processo construtivo. A anomalia acústica é caracterizada em termos de registo por significativa perda de amplitude, associada a perda de sinal, a qual se encontra correlacionada com a presença de vazios com a conseqüente

redução da velocidade de propagação das ondas sónicas. Na figura 6 apresentam-se dois exemplos de registos obtidos em estacas com este tipo de defeito, apresentando-se nas figuras 7 e 8, respectivamente o resultado do ensaio sónico pelo método de eco à primeira destas estacas, e parte do testemunho da sondagem realizada ao corpo da estaca.

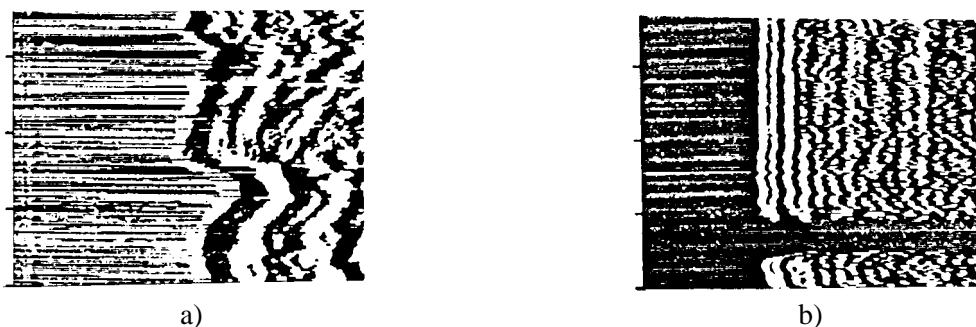


Fig. 6 – Betão lavado, por circulação de água.

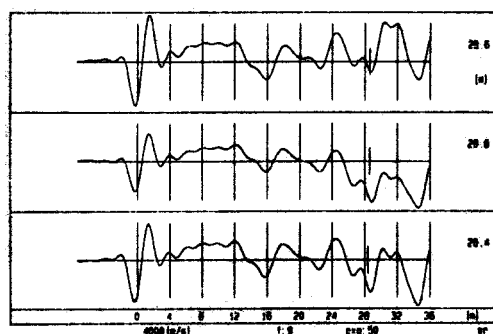


Fig. 7 - Ensaio pelo método sónico de eco da estaca apresentada na figura 6 a).

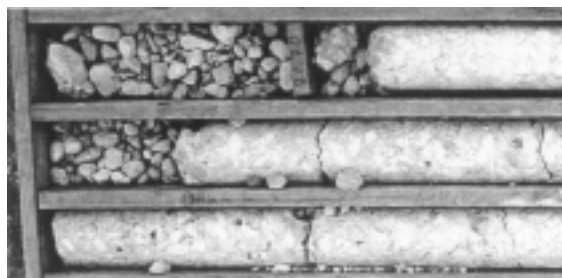


Fig. 8 – Testemunho da sondagem realizada ao corpo da estaca apresentada na figura 6 a).

#### 4.1.3 – Betão com pouco inerte

No ensaio realizado a uma estaca equipada com 4 tubos detectou-se uma região anómala a cerca de 5m de profundidade que atingia apenas três das direcções ensaiadas, todas elas com o mesmo tubo em comum. Esta anomalia era caracterizada por uma diminuição da velocidade média teórica de propagação das ondas de compressão de 4 100 m/s para 3 000 m/s.

Com base nestes resultados, e nada apontando na história construtiva da estaca para a origem da anomalia acústica, foram realizadas sondagens no centro das três direcções, que apontaram para a existência de uma zona com betão sem inerte com maior extensão numa das direcções. Dado que este material era relativamente pouco rígido, foi removido com recurso a jactos de água a alta pressão através dos furos das diversas sondagens realizadas, seladas no fim com calda de cimento injectada.

No fim do tratamento de recuperação da estaca foi realizado novo ensaio que permitiu comprovar uma melhoria do ponto de vista geofísico na zona anómala como se pode comprovar pela análise das diagrfias apresentadas na figura 9, obtidas na direcção de ensaio mais afectada. Na figura 10 apresenta-se uma fotografia de parte do testemunho de uma das sondagens realizadas numa fase intermédia do processo de recuperação da estaca, onde se destaca a região anómala “cortada” pelos jactos de água a alta pressão.



Fig. 9 – Diagrfias obtidas numa estaca com betão com pouco inerte.  
a) Primeiro ensaio b) Último ensaio.



Fig. 10 – Parte dos testemunhos obtidos nas sondagens realizadas ao corpo da estaca.

Nas estacas em que se verificaram anomalias mais superficiais (até cerca de 10 m de profundidade) foram realizados ensaios com recurso aos furos de sondagem entretanto executados para, tal como já foi referido, restringir a localização do material anómalo. Em algumas dessas estacas o construtor utilizou os próprios furos para retirar o material anómalo, normalmente betão lavado ou betão sem inerte.

#### 4.1.4 - Descolamento do betão

No ensaio de diversas estacas obtiveram-se diagrfias com características de descolamento do betão dos tubos das quais se apresentam dois exemplos nas figuras 11 e 12. No primeiro caso temos uma estaca com 500 mm de diâmetro, equipada com três tubos em PVC, em que no ensaio se detectou uma anomalia significativa entre aproximadamente 1,5 e 2,5 m de profundidade. Esta anomalia

caracterizava-se por significativa perda de amplitude do sinal, sendo de algum modo identificável a primeira chegada da onda de compressão. Na obra em questão não havia possibilidade de realizar qualquer carotagem, o que de certo modo seria difícil dado o pequeno diâmetro da estaca, pelo que foi escavado o terreno à sua volta e foram abertos alguns buracos no seu corpo, de modo a atingir a zona afectada. A inspecção assim realizada não evidenciou qualquer problema com o betão, pelo que, tendo em conta que se identificava, embora de modo muito imperceptível, a primeira chega das ondas de compressão, correlacionou-se a anomalia com descolagem do betão dos tubos de PVC.

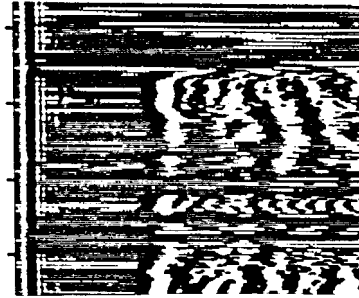


Fig. 11 – Diagrafia obtida numa estaca equipada com tubos de PVC.

Em várias situações ocorreu descolamento do betão de tubos metálicos, devido, entre outras razões, a demolição da cabeça da estaca previamente à realização das diagrafias sónicas. Na figura 12 é apresentada como exemplo uma das diagrafias obtidas. A anomalia caracteriza-se, tal como foi descrito no caso anterior, por significativa diminuição da amplitude do sinal.

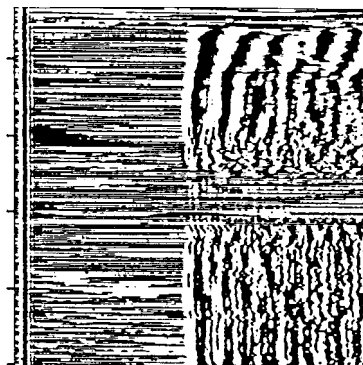


Fig. 12 - Diagrafia obtida numa estaca equipada com tubos metálicos.

## 5. CONCLUSÕES

Os exemplos atrás apresentados permitem confirmar a evidente necessidade da realização de ensaios para avaliação da integridade das fundações em betão de diversos tipos de estruturas.

O método de ensaio de diagrafia sónica entre furos permite identificar a qualidade do betão, em termos de velocidade de propagação das ondas sónicas no betão, em especial em estruturas de grande porte, para as quais o vulgarizado método de ensaio sónico de eco não permite obter resultados, devido à enorme dispersão de energia, associada às elevadas dimensões das estruturas físicas. A correcta aplicação do método pressupõe no entanto, que sejam tomados os maiores cuidados na instalação e preparação da estaca para ensaio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIRIA (1997). Integrity testing in piling practice