

ESTIMATIVA DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO POR MEIO DE MÉTODOS COMBINADOS DE END

Thaís Mayra de Oliveira⁽¹⁾

(1)Universidade Federal de Juiz de Fora, thaismayra@yahoo.com.br

Resumo

Os resultados de uma curva de calibração entre um ensaio não destrutivo (END) e um ensaio de compressão podem sofrer distorções devido a dimensão, tipo e quantidade de agregado, fator água cimento, teor de cimento, idade do concreto dentre outros. A combinação de dois ou mais métodos de END podem melhorar a acurácia destes ensaios e minimizar sensivelmente os erros.

Variações nas propriedades do concreto influenciam os resultados dos ensaios, principalmente de maneiras opostas, o uso de um único método pode não ser suficiente para estudar e avaliar esta propriedade.

Porém, para que estas combinações sejam justificáveis é necessário que seja observado aumento considerável na precisão dos resultados, garantindo a viabilidade econômica destes testes.

Foram estudados quatro tipos distintos de ensaios não destrutivos como: ultrassom, esclerometria, penetração de pinos e arrancamento (pull-off), e uma possível correlação entre eles. Observou-se que qualquer tipo de combinação pode ser feita, desde que os métodos meçam propriedades diferentes do concreto e, que a combinação entre os ensaios de ultrassom e esclerometria é a mais adequada devido às características complementares dos ensaios.

Palavras-chave: END, Resistência à compressão, Correlação.

Abstract

The results of a calibration curve between a non-destructive testing (NDT) and a compression test can be distorted due to size, type and amount of added factor, cement water, cement content, age of the concrete and others. The combination of two or more methods END can improve the accuracy of the test and substantially minimize errors.

Variations in the properties of concrete influence the results of the tests, mainly in opposite ways, using a single method may not be sufficient to examine and evaluate this property. However, for these combinations are justifiable it must be observed considerable increase in accuracy of results, ensuring the economic viability of these tests.

We studied four different types of non-destructive tests such as ultrasound, sclerometry, penetration resistance and pullout (pull-off), and a possible correlation between them. It was observed that any combination can be made, since measuring methods other than the specific properties and that the combination of ultrasonic testing and is most suitable sclerometry due to complementary features of the tests.

Keywords: NDT, Compressive strength, Correlation.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para melhorar a acurácia de ensaios não destrutivos podem ser feitas combinações de dois ou mais métodos, que minimizam sensivelmente os erros ocorridos em resultados com distorções quando uma curva de calibração é feita entre um ensaio não destrutivo e um ensaio de compressão.

Segundo Evangelista (2002), o uso de um único método pode não ser suficiente para estudar e avaliar esta propriedade, pois, variações nas propriedades do concreto influenciam os resultados dos ensaios, principalmente de maneiras opostas.

A qualidade do concreto é avaliada, utilizando métodos não destrutivos combinados, através de medidas e correlação entre dureza superficial, densidade, constantes elásticas e previsão de resistência à compressão. (MALHOTRA (1994)).

Qualquer tipo de combinação pode ser feita, desde que os métodos meçam propriedades diferentes do concreto.

Conforme Rilem NDT 4 (1993) para que a combinação seja vantajosa:

- a) cada método deve fornecer informação sobre diferentes propriedades que influenciam a resistência do concreto;
- b) cada método deve ser apropriado para ensaiar elementos de tamanhos e formas diferentes;
- c) os ensaios devem ser rápidos;
- d) os métodos em questão devem fornecer a resistência com níveis similares de acurácia;
- e) os ensaios não devem afetar a desempenho estrutural do elemento a ser ensaiado.

Neste trabalho serão analisadas as combinações do ensaio de ultrassom com os outros três métodos, a saber: esclerometria, penetração de pinos e tração direta, uma vez que estes últimos se baseiam em propriedades inerentes a superfície da peça, sendo assim eles podem ser afetados de maneira parecida pelos mesmos fatores.

2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS NO CONCRETO

Os métodos destrutivos fornecem resultados excelentes, porém inutilizam os materiais ensaiados, impossibilitando ensaios *in situ*, e podem conter disparidades entre os corpos de prova e os utilizados na construção. Assim houve a necessidade de se desenvolver novos métodos que possibilitassem o controle e monitoramento das estruturas em utilização, os ensaios não destrutivos.

No caso de estruturas de concreto, que é um material heterogêneo com diversas fases (água, pasta de cimento, vazios, agregados de diferentes tamanhos, armaduras), os resultados podem divergir muito e devem ser analisados com muita cautela.

O concreto tem características intrínsecas, seus métodos de fabricação, em muitos casos são praticamente artesanais, são diferentes de canteiros para canteiros e dependem muito da qualificação da mão de obra. A homogeneidade só é assegurada com a análise estatística de dados e com os coeficientes de majoração ou minoração previstos em norma.

Ainda hoje, o modo usual de se testar a qualidade do concreto é através de ensaios destrutivos, pois suas heterogeneidades podem gerar distorções em END, mas quando se trata de ensaios *in situ* para a execução de ensaios destrutivos é necessária a extração de testemunhos, que podem danificar a estrutura de uma peça, mesmo que pontualmente, da qual às vezes já não se tem certeza de sua estabilidade.

Conforme Neville (1997), uma característica importante dos ensaios não destrutivos é a de que eles permitem reensaios no mesmo local, ou muito próximos de modo que podem acompanhar variações com o tempo.

Os métodos não destrutivos são convenientes para (BS1881:Part201, 1986):

- Controle tecnológico em pré-moldados ou construções em sítio;
- aceitação, ou não, de materiais fornecidos;
- esclarecimento de dúvidas a respeito da mão de obra envolvida em mistura, lançamento, compactação ou cura do concreto, transporte;
- monitoramento do desenvolvimento da resistência visando remoção de formas, duração da cura, aplicação de protensão ou de cargas, remoção de escoramento;
- localização e determinação da extensão de fissuras, vazios e falhas de concretagem;
- determinação da posição, diâmetro ou condições das armaduras;
- determinação da uniformidade do concreto;
- aumento do nível de confiança de um pequeno número de ensaios destrutivos;
- verificar a deterioração do concreto resultante de sobrecarga, fadiga, fogo, ataque do meio ambiente;
- avaliação do potencial de durabilidade do concreto;
- monitoramento de mudanças das propriedades do concreto ao longo do tempo;
- fornecimento de informações para que se verifique se é possível mudar a utilização de uma estrutura.

Esses ensaios podem ser classificados em um grupo que avalia a resistência do concreto e outro que determina outras características, como vazios, escamas, fissuras, deterioração e posição de armaduras.

Os END's não fornecem parâmetros exatos de resistência do concreto, mas é possível que se faça correlações através de curvas de calibrações de cada aparelho, para encontrar esses parâmetros.

As curvas de calibração fornecidas pelos fabricantes de aparelhos para estes tipos de ensaio são muito específicas, isto é, fornecem bons resultados para corpos-de-prova com características semelhantes às utilizadas por eles, como: tipo de agregado, temperatura ambiente, umidade, condições de cura. Por isso o ideal é que se faça uma curva de calibração para cada tipo diferente de concreto.

Para obter parâmetros de resistência confiáveis além de se fazer a curva de calibração para os diferentes tipos de métodos, é necessária que se faça uma correlação entre pelo menos dois diferentes métodos, gerando assim uma equação que fornece os dados buscados.

Porém é importante que se saiba que ainda hoje os ensaios não destrutivos, apesar de terem evoluído bastante, para o concreto ainda não substituem por completo os ensaios destrutivos.

3. COMBINAÇÕES ENTRE END

a. Método de combinação entre ultrassom e esclerometria

O tipo de combinação entre ultrassom (NBR 8802 (1994)) e esclerometria (NBR 7584 (1995)), também conhecida como SONREB, é o mais utilizado, pois os ensaios são mais rápidos, de fácil execução, não são considerados caros e seus resultados garantem boa confiabilidade.

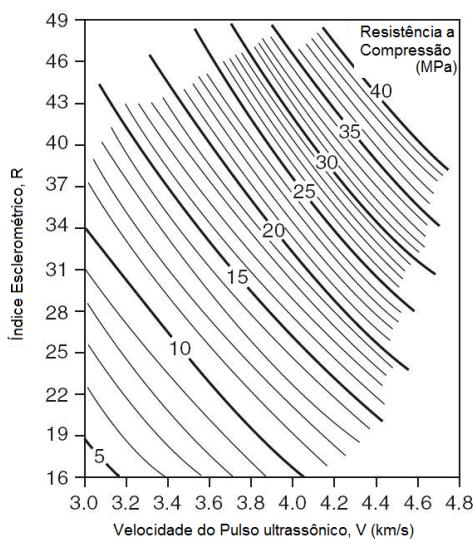
Estes ensaios medem grandezas diferentes, por isso a utilização da combinação deles é bastante interessante. Assim, a influência de fatores que agem de maneira diferenciada em cada ensaio é minimizada.

Os dados dos ensaios são obtidos conjuntamente e, posteriormente, criada uma correlação entre eles através de uma equação. Esta equação é obtida através de regressão múltipla linear.

A Rilem NDT 4 (1993) recomenda a confecção de um ábaco com curvas de iso-resistência com a velocidade de propagação nas abscissas e o índice esclerométrico nas ordenadas. Como pode ser visto na Figura 1.

Alguns fatores que influenciam os métodos de maneira diferente, como por exemplo, a umidade, que diminui o índice esclerométrico e aumenta a velocidade de propagação de ondas do ultra-som, podem ter seus efeitos minimizados quando ocorre a combinação dos métodos, aumentando a acurácia da estimativa da resistência à compressão (EVANGELISTA (2002)).

Figura 1 - Ábaco de curvas de iso-resistência.



Fonte: (RILEM NDT 4, 1993).

Um coeficiente de correção pode ser criado superpondo diferentes fatores que contribuem para alterações nos resultados do ensaio.

Machado (2005) afirma que no intuito de obter diferentes valores experimentais necessários ao traçado das curvas, a variação da resistência nas amostras a serem ensaiadas pode ser obtida variando-se os seguintes parâmetros:

- relação água-cimento;
- grau de compactação;
- maturidade do concreto (3 a 90 dias);
- condições de cura (seca ou úmida);
- proporção de material fino nos agregados (dentro da faixa de $\pm 8\%$);
- teor de cimento (dentro da faixa de $\pm 10\%$).

Além do ábaco proposto pela NDT 4 (1993) a resistência a compressão pode ser estimada através de uma equação que relate os dois métodos e que é obtida através de regressões

lineares. Como a Equação 1 apresentada por Tanigawa *et al* (1984), fatores como: relação água / cimento, idade do concreto e condições de cura, também podem ser adicionados nas equações como variáveis:

$$f_c = a + bIE + cV + d(a/c) + e(j) + f(\text{cura}) \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

a/c = relação água/cimento, em porcentagem

j = idade do concreto, em semanas

cura = condições de cura (1 para cura na água e 2 para cura ao ar).

a, b, c, d, e, f = constantes.

Importante ressaltar que cada tipo de concreto, com suas características próprias, fornecerá uma equação diferente. Conforme a Rilem NDT 4 (1993) é necessário ao menos 30 ensaios para cada intervalo de resistência de 10 MPa na curva de iso-resistência.

De acordo com Machado (2005) o método de combinação entre ultrassom e eslcerometria apresenta as seguintes vantagens:

- a) A acurácia dos resultados obtidos não é influenciada pelo teor de umidade e nem pela maturidade do concreto. Além disso, ela é influenciada de forma menos significativa pelo teor de cimento e pela graduação do agregado do que o método de propagação de ondas ultrassônicas, e de forma menos significativa pelos efeitos da carbonatação que o método do esclerômetro.
- b) Os resultados fornecem informações de toda a espessura do elemento analisado.
- c) Não há necessidade de nenhuma preparação especial antes da concretagem e não ocorrem danos ao elemento estrutural avaliado durante os ensaios.

Além disso, as variações causadas pelo concreto nos dois métodos que causam efeitos opostos são minimizadas, o que aumenta o nível de confiança da combinação.

Quando existem grandes diferenças entre a superfície e o interior do concreto, a combinação dos métodos não é recomendada. Na maioria das vezes apenas o ensaio de ultrassom é mais apropriado (RILEM NDT 4 (1993)).

b. Combinação entre ultrassom e penetração de pinos

Teoricamente esta combinação pode ser feita, pois os ensaios medem propriedades diferentes do concreto. O ensaio de ultrassom mede a densidade do corpo de prova enquanto o ensaio de penetração de pinos avalia a resistência à penetração do concreto.

A combinação destes ensaios poderiam também ser feita através de equações obtidas de regressões lineares ou com a utilização de um ábaco assim como é feito com o método SONREB.

De acordo com a Rilem NDT 4 (1993) a utilização destes dois ensaios em conjunto não apresenta melhora significativa na acurácia dos resultados apresentados por apenas um ensaio utilizado em separado.

Diversos agentes podem influenciar sensivelmente a precisão do ensaio de ultrassom como: tipo, teor, tamanho e graduação do agregado, fator água cimento, adições (caso estas

aumentem a taxa de hidratação), temperatura (no momento do ensaio), umidade e a presença de armadura, além de fatores inerentes ao uso do equipamento.

O ensaio de penetração de pinos sofre influência, apenas do tipo de agregado, devido à dureza destes, e da idade do concreto, devido à carbonatação. Outros fatores que causam alteração neste ensaio são ligados ao tipo do equipamento utilizado na realização do mesmo.

Uma combinação de ensaios não destrutivos pode melhorar a estimativa da resistência do concreto quando os fatores que influenciam nos resultados atuam de maneira inversa entre os ensaios, gerando uma “compensação”.

São poucos os fatores que influem nos dois ensaios. O tipo de agregado que influencia diretamente na penetração de pinos, devido à diferença de dureza entre os diferentes tipos de agregado comumente utilizados, não gera alteração significativa na velocidade de propagação de ondas. A quantidade e o tamanho dos agregados graúdos podem afetar a velocidade de propagação de onda, mas não gera muitas discrepâncias na resistência à penetração.

A carbonatação que ocorre em peças de concreto com idade avançada pode aumentar a resistência à penetração de pinos, mas também não afeta a velocidade de propagação de ondas, pois esta não se altera significativamente com este fenômeno.

c. Combinação entre ultrassom e ensaio de tração direta (Método Pull Off)

Esta combinação não é recomendada pela Rilem NDT 4 (1993). Mas como estes dois ensaios também medem propriedades diferentes da peça de concreto ensaiada, o ultrassom mede a densidade e o ensaio de arrancamento mede a resistência a tração da peça. Logo, em teoria a utilização destes dois ensaios em conjunto pode ser feita.

O ensaio de tração direta, também conhecido como arrancamento (pull-off), tem como maior agente gerador de desacertos o tipo de agregado utilizado no concreto, pois este pode afetar diretamente a resistência à tração do concreto. Os outros motivos que podem gerar incertezas nos ensaios são ligados ao equipamento.

Para a melhora da precisão de ensaios não destrutivos (END), utilizando combinação de ensaios, o ideal é que os ensaios meçam propriedades diferentes de uma peça e que sofram alterações pelos mesmos fatores, porém de maneira inversa, o que não ocorre com uma possível combinação entre ultrassom e ensaio de tração direta.

O único fator em comum que comprovadamente exerce influência nos dois ensaios é o tipo de agregado utilizado no concreto. No ensaio de tração direta este é o fator preponderante que pode afetar os resultados dos ensaios, mas, este fator, praticamente, não afeta o ensaio de ultrassom.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os estudos apresentados, pode-se concluir que:

- As curvas de calibração fornecidas pelos fabricantes não devem ser utilizadas, pois estas podem induzir os resultados a erros, uma vez que as curvas foram feitas para concretos executados em condições possivelmente diferentes das que onde os ensaios serão feitos.
- A combinação de métodos pode ser muito eficaz dependendo do tipo de combinação e correlação utilizado. Com a combinação de métodos uma maior precisão pode ser alcançada, que não poderia ser atingida com a utilização de apenas um método.

- A combinação entre ultrassom e esclerometria é a que apresenta maior precisão devido à característica dos dois ensaios se complementarem, por isso ela é a mais estudada e utilizada, como pode ser visto os dois ensaios sofrem influências de fatores em comum de modo diferente.
- A combinação entre ultrassom e penetração de pinos não é muito vantajosa, os fatores que influenciam um ensaio praticamente não alteram os resultados do mesmo, pois somente o tipo de agregado e a idade exercem influência nos dois ensaios.
- A combinação entre ultrassom e arrancamento (pull off) também não é muito vantajosa pelo fato de que não existem fatores em comum que influenciem os dois métodos de maneira diferenciada

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7584:** Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8802:** Concreto endurecido - determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro. 1994.

BRITISH STANDARD INSTITUTION, **BS 1881: Part 201:** Guide to the use of nondestructive methods of test for hardened concrete. London. 1986.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaios Não Destruítivos.** Tese de Doutorado, COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 2002.

MALHOTRA, V.M., CARINO, N.J. **Handbook on Nondestructive Testing Of Concrete.** Ed 2, Boston, USA, CRC Press. 2004.

MACHADO, M. D. **Curvas de Correlação para Caracterizar Concretos Usados no Rio de Janeiro por Meio de Ensaios Não Destruítivos,** Dissertação de Mestrado, COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Ed 2. São Paulo : PINI. 1997.

RILEM , **NDT 4.** Recommendations for in situ concrete strength determination by combined non-destructive methods. 1993.

TANIGAWA, I., BABA, K., MORI, H. **Estimation of Concrete Strength by Combined Non-destructive Method.** In Situ/Nondestructive Testing of Concrete, Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit. 1984.