

Análise do ensaio de esclerometria de reflexão em concretos de diferentes tipos

* Charles Nícolhas Moura Bueno ^a, (<https://orcid.org/0000-0002-6799-1510>, charles.bueno@acad.ufsm.br)
Allison Irassoquy de Freitas ^b, (allisonirassoquy@hotmail.com)
Robson Walter dos Santos ^b, (<https://orcid.org/0000-0002-9477-0481>, robson.waltersantos@gmail.com)
Rogerio Cattelan Antochaves De Lima ^c, (<https://orcid.org/0000-0001-6622-2210>, rogerio@ufsm.br)

^a Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, Brasil.

^b Engenheiro Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus Santo Ângelo-RS, Brasil.

^c Professor Doutor em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, Brasil.

Resumo

O ensaio de esclerometria de reflexão permite verificar a resistência de elementos de concreto “in situ”, sendo classificado como um ensaio não destrutivo. Tendo em vista que este método geralmente é utilizado em obras construídas em concreto convencional (CC), o objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência deste método de ensaio em diferentes tipos de concretos, como o concreto de alto desempenho (CAD) e o concreto leve (CL). Para esta avaliação foram moldados traços para os respectivos tipos de concretos e o traço referência sendo o concreto convencional, e comparados os resultados com o ensaio de compressão axial que é o ensaio mais usual para medir a resistência do concreto. Após avaliar os resultados concluiu-se que o método de ensaio de esclerometria torna-se impreciso quando se trata de concretos de altas resistências, para o concreto leve (CL) há muita variação nos resultados individuais, porém a média das resistências final torna-se aceitável, sendo o concreto convencional (CC) o que menos variou os resultados individuais e também na média final.

Palavras Chave – Esclerometria de reflexão, Método não destrutivo, Concreto Leve, Concreto de Alto Desempenho.

Abstract

The reflection sclerometry test allows verifying the strength of concrete elements "in situ", being classified as a non-destructive test. Considering that this method is generally used in works built with conventional concrete (CC), the objective of this research was to validate the efficiency of this test method in different types of concrete, such as high performance concrete (CAD) and lightweight concrete (CL). For this evaluation, samples of the respective types of concrete were molded, being the reference sample the conventional concrete, comparing the results with the axial compression test, which is the most usual test to measure the strength of concrete. After evaluating the results, it was concluded that the sclerometry test method is imprecise when dealing with high-strength concrete. For lightweight concrete (LC) there is much variation in the individual results; however, the final average of the strengths is acceptable, being conventional concrete (CC) the one with the least variation, both in the individual results and in the final average

Keywords – Reflex Sclerometry, Non destructive method, Lightweight Concrete, High Performance Concrete.

1. Introdução

O concreto é o material mais consumido no mundo depois da água, as obras de engenharia em sua maioria utilizam este material por suas diversas características que atendem demandas arquitetônicas e de engenharia, tais como moldabilidade, resistência, durabilidade, baixo custo e

fácil obtenção. O controle tecnológico deste material deve ser rigoroso para fazer com que atenda aos requisitos mínimos de projeto, desde sua dosagem correta, escolha dos materiais, execução da mistura, posterior lançamento, moldagem, adensamento, cura e controle da resistência. A confirmação que o concreto utilizado na execução da estrutura atingiu a resistência estipulada em projeto, é feita a partir do ensaio de compressão axial geralmente aos 28 dias, em corpos de prova cilíndricos de acordo com a ABNT NBR 5739.

Porém quando acontece alguma falha neste processo podem ocorrer diversos problemas na estrutura, o mais danoso é o não alcance da resistência estipulada em projeto, podendo levar a estrutura a ruína. Para isso, desenvolveram-se diversos métodos de ensaios para verificar a resistência do concreto “in situ”, (ESCOBAR, C.J et al 2008). Um ensaio que está bem difundido é o ensaio de extração de testemunhos, que se trata da retirada de corpos de prova da estrutura de concreto com equipamento apropriado, para posterior execução do ensaio de compressão axial e verificação da resistência, entretanto este ensaio por ser destrutivo causa danos a estrutura e também tem seu custo elevado. Ensaios não destrutivos foram estudados para sanar este inconveniente. O ensaio de esclerometria de reflexão veio para auxiliar na verificação da resistência do concreto “in situ” sem causar nenhum dano a peça ensaiada.

O concreto modernizou-se, com o passar do tempo, com o advindo de novas tecnologias de softwares de cálculo estrutural e os projetos de arquitetura tornando-se cada vez mais ousados, o concreto teve que atingir novos parâmetros de desempenho, o CAD (concreto de alto desempenho) surgiu nos anos 70 e a partir daí estudos de dosagem, microestrutura, uso de aditivos superplastificantes, e materiais cimentícios suplementares como a sílica ativa no CAD vem sendo desenvolvidos para cada vez mais melhorar as características deste concreto e assim atender as necessidades dos projetistas. Surgiu também o CL (concreto leve) que tem como sua principal característica a baixa massa específica por conta da utilização de agregados leves como a argila expandida em substituição a brita comum, aumentando sua performance no que tange a transferência de calor em relação ao concreto convencional, segundo ANGELIN A.F, 2014 quanto maior o teor de argila expandida no concreto menores são os valores de condutividade térmica. Além de propriedades térmicas também é ótimo para utilização em locais onde necessita-se de baixo peso na estrutura.

Em virtude da existência de diferentes tipos de concreto como o CC (concreto convencional), o CAD (concreto de alto desempenho), o CL (concreto leve) e o aumento da utilização destes concretos especiais na construção civil, a pesquisa tem como objetivo principal avaliar a resposta e confiabilidade do ensaio de esclerometria por reflexão quanto ao parâmetro do ensaio de resistência à compressão axial para estes diferentes tipos de concretos. Portanto, foram moldados nesta pesquisa traços de CC, CAD e CL e realizados ensaios esclerométricos de reflexão conforme a ABNT NBR 7584 em corpos de provas prismáticos de 150 mm x 150 mm x 500 mm para cada tipo de concreto, correlacionando os resultados com o ensaio de compressão axial em corpos de prova cilíndricos de 100 mm x 200 mm de acordo com a ABNT NBR 5739, e avaliando a eficiência do ensaio não destrutivo de esclerometria em diferentes tipos de concreto.

2. Ensaio de Esclerometria de Reflexão

O método de ensaio não destrutivo idealizado em 1948 pelo engenheiro suíço Ernst Schmidt, consiste em medir a dureza superficial do concreto. No Brasil a ABNT NBR 7584:2012 define que o método consiste basicamente em determinar a energia de impactos da massa-martelo sobre uma superfície de concreto, parte desta energia de impacto se transforma em deformação plástica na área de ensaio e a outra parte se conserva elasticamente provocando o retorno do martelo. Quanto mais dura for a superfície de ensaio menor será a energia convertida em deformação plástica e consequentemente maior será o retorno ou reflexão do martelo.

THOMAZ, 2007 define o esclerômetro de reflexão como sendo um equipamento que tem uma massa martelo acoplada em uma mola que quando o operador comprime este equipamento contra a peça ensaiada, a massa-martelo é liberada e acerta um pistão que está em contato com o concreto, parte da energia do impacto se converterá em deformação e a outra fará com que essa massa-martelo retorne. A porcentagem que essa massa-martelo retornou em relação a deformação ocorrida no concreto vai gerar o índice esclerométrico.

Conforme a norma ABNT NBR 7584:2012 o esclerômetro deve ser verificado antes de sua utilização ou após 300 ensaios realizados na mesma inspeção. Para esta verificação utiliza-se de uma bigorna de aço de aproximadamente 16 kg com resistência conhecida de 500 MPa e que forneça índices esclerométricos de 80. Devem ser efetuados 10 impactos sobre a bigorna sendo que nenhum dos índices esclerométricos podem distarem mais ou menos 3 do índice esclerométrico médio, se isso ocorrer o aparelho não pode ser utilizado e deve ser ajustado.

A NBR 7584:2012 ainda indica que a área de ensaio deve ser preparada por meio de lixamento com prisma ou disco de carborundum através de movimentos circulares e toda poeira ou pó devem ser removidos a seco. A área de impacto deve ser dividida em 16 pontos, sendo que os impactos devem ser uniformemente distribuídos sobre a área de ensaio e nenhum impacto deve ser repetido sobre o mesmo ponto, a norma aconselha a desenhar-se um quadriculado com a área de ensaio definida, sendo que cada ponto deve distar no mínimo 30 mm um do outro.

De acordo com NEVILLE, 2013 não existe uma relação única entre a dureza e resistência a compressão do concreto, porém podem ser determinadas experimentalmente para um dado concreto. Esta relação depende muito da condição da superfície do concreto, portanto o ensaio de esclerometria é válido como uma medida de uniformidade e qualidade do concreto.

Em consonância com a NBR 7584:2012 para obtenção dos resultados deve-se calcular a média aritmética dos valores individuais (impactos) dos índices esclerométricos de uma única área de ensaio, desprezando todo índice esclerométrico que se afastar mais de 10% do valor médio obtido e calcular uma nova média aritmética. Sendo que para ser válido o ensaio, o índice esclerométrico médio final deve ser feito com no mínimo cinco valores individuais.

3. Tipos de Concretos avaliados

3.1. Convencional (CC)

O Concreto convencional é um material composto da mistura de cimento Portland com areia, brita e água (MEHTA & MONTEIRO, 2014), considerado como um material compósito constituído

essencialmente por três fases, uma matriz de pasta de cimento, outra de agregados e a zona de transição entre matriz e agregado.

Para MEHTA & MONTEIRO, 2014, a zona de transição na interface, é o elo mais fraco da corrente e é considerada como a fase limitante da resistência do concreto. Neste tipo de concreto utilizam-se de relações água/cimento altas o que gera alto teor de vazios capilares, que nas primeiras idades de hidratação podem ter entre 3 e 5 μm , assim limitando a resistência do concreto.

De acordo com AİTCIN, 2000, a superfície de ruptura de um corpo de prova de concreto convencional desenvolve-se geralmente na argamassa ou na interface entre a argamassa e as partículas do agregado (zona de transição).

MEHTA & MONTEIRO, 2014 classificam o concreto de resistência moderada de resistência à compressão axial entre 20 MPa a 40 MPa. De acordo com esta classificação, o concreto de resistência moderada classifica-se como o concreto convencional para fins estruturais.

No Brasil a ABNT NBR 8953:2015 classifica os concretos estruturais pela sua resistência em classes, a classe de resistência do grupo I que vai do C20 que tem 20 MPa até C50 que tem 50 MPa, é a que classifica o concreto convencional para fins estruturais.

3.2. *Concreto de Alto Desempenho (CAD)*

Para NEVILLE, 2013 o concreto de alto desempenho (CAD) pode ser entendido não somente como um concreto de alta resistência, mas também como um concreto que atende diversos outros parâmetros como alta durabilidade (baixa permeabilidade) e alto módulo de elasticidade. Ainda segundo o autor o CAD é muito denso e tem seus poros de tamanhos reduzidos.

Incorporações de materiais cimentícios suplementares melhoram significativamente a reologia do CAD, e também muitas vezes até a resistência. A cal liberada pela hidratação do cimento Portland pode ser lixiviada para fora da estrutura não colaborando com a durabilidade da peça, mas que ao adicionar pozolanas ao concreto, elas reagirão com a cal liberada pela hidratação do cimento formando silicato de cálcio hidratado (C-S-H) melhorando assim as características do CAD. (AİTCIN, 2000).

Outro ponto importante do CAD é a baixa relação água/aglomerante que por sua vez melhora suas características, segundo NEVILLE, 2013 utilizam-se em torno de 0,25 podendo chegar até 0,20, e para poder manter a trabalhabilidade na mistura são utilizados aditivos redutores de água.

Segundo AİTCIN, 2000 melhorando a zona de transição, tornando-a mais resistente com a redução da relação água/aglomerante, a resistência e as propriedades elásticas do agregado tornam-se importantes na determinação do comportamento mecânico do concreto. Ainda de acordo com o autor, no CAD a pasta de cimento hidratada e a zona de transição podem ser tão resistentes que o elo mais fraco pode se tornar o próprio agregado e o resultado da resistência está intrinsicamente ligado a mineralogia do agregado.

Conforme DAFICO, D.A, 2001 são muitas as vantagens do uso do CAD em relação ao concreto convencional, e pode-se então dividi-las em dois grupos importantes. As vantagens no quesito melhoria das propriedades mecânicas do concreto e também no que tange a durabilidade, sendo que segundo o autor a propriedade mais buscada quando se trata de economia a longo prazo é a durabilidade.

No quesito resistência a compressão MEHTA & MONTEIRO, 2014 definem concreto de alta resistência concretos acima de 40 MPa. No Brasil, a ABNT NBR 8953:2015 define que concretos de alto desempenho são os do grupo II que vão do C55 de 55 MPa ao C100 de 100 MPa de resistência.

3.3. *Concreto Leve (CL)*

Concretos leves são usualmente diferenciados dos concretos convencionais basicamente por sua redução na massa específica e alterações nas propriedades térmicas, entretanto essas não são as únicas características importantes que justifiquem a atenção especial aos concretos leves. Ao se utilizar agregados leves na mistura, ocasiona-se mudanças significativas em diversas outras propriedades do concreto, tais como a trabalhabilidade, resistência mecânica, módulo de deformação, retração, fluência e ainda reduz a espessura da zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento. (ROSSIGNOLO, 2003).

NEVILLE, 2013 classifica os concretos leves em três grupos: os que utilizam agregados porosos leves com massa específica menor que $2,6 \text{ g/cm}^3$, os que são introduzidos grandes vazios em seu interior, geralmente chamados de concretos aerados, celulares ou porosos, e os concretos que excluem os agregados miúdos da mistura de modo que exista um grande número de vazios intersticiais, geralmente chamados de concretos sem finos.

Segundo MEHTA & MONTEIRO, 2014 o concreto leve é um concreto estrutural em todos os aspectos, porém é produzido com agregados leves celulares, de modo que sua massa específica fique em torno de dois terços da massa específica do concreto feito com agregado natural típico. Neste tipo de concreto a densidade é o principal objetivo a ser alcançado e não a resistência, por isso especificações da máxima massa específica e mínima resistência a ser obtida, são solicitadas para assegurar a qualidade estrutural deste concreto.

Os concretos leves são obtidos através da substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves, e para a ABNT NBR 8953:2015 concreto leve estrutural é todo concreto com massa específica seca inferior a 2000 kg/m^3 .

4. **Materiais e Métodos**

4.1. *Materiais*

Com o foco em avaliar o desempenho do método da esclerometria de reflexão em diferentes tipos de concretos, foram utilizados nesta pesquisa os materiais disponíveis. Não levando em consideração as marcas específicas e sim com um controle tecnológico nas moldagens e na execução dos ensaios.

4.1.1. *Cimento Portland*

O cimento utilizado para a confecção do traço de concreto convencional (CC), foi o cimento Portland CP-II Z 32. Para os traços do CAD e do CL, foi utilizado o cimento Portland CP-V ARI, por apresentar maior pureza e finura, conferindo altas resistências iniciais.

4.1.2. Areia Natural

Para ambos os traços a areia utilizada foi a areia natural média comercializada na região.

4.1.3. Pedra Britada

A brita utilizada para os traços do concreto convencional (CC) e do concreto leve (CL) foi a brita 01 do tipo basáltico, proveniente da pedreira da cidade de Santo Ângelo/RS.

4.1.4. Argila Expandida

No traço do concreto leve (CL), foi utilizado o agregado leve de argila expandida, com granulometria de 2/4", apresentando um formato arredondado regular, e camada externa com pouca porosidade.

4.1.5. Aditivo Redutor de Água

O aditivo redutor de água utilizado foi o aditivo da marca Tecflow 8000, a base de policarboxilato. Esse aditivo promove a maior fluidez do concreto quando se tem uma baixa relação água/aglomerante na mistura.

4.2. Métodos

4.2.1. Concreto Convencional (CC)

Para o concreto convencional (CC) foi utilizado o traço descrito na tabela 1.

Tabela 1: Traço utilizado para o concreto convencional (CC)

Materiais	Proporção em Massa (kg)
Cimento CP-II E 32	11,60
Areia Natural	29,93
Pedra Britada 01	33,88
Água	5,80

4.2.2. Concreto de Alto Desempenho (CAD)

Para o concreto de alto desempenho (CAD) foi utilizado o traço descrito na tabela 2.

Tabela 2: Traço utilizado para o concreto de alto desempenho (CAD)

Materiais	Proporção em Massa (kg)
Cimento CP-II E 32	15,50
Areia Natural	33,17
Argila Expandida 2/4"	25,73
Água	3,48
Aditivo Superplastificante	0,100

4.2.3. Concreto Leve (CL)

Para o concreto leve (CL) foi utilizado o traço descrito na tabela 3.

Tabela 3: Traço utilizado para o concreto leve (CL)

Materiais	Proporção em Massa (kg)
Cimento CP-II E 32	16,50
Areia Natural	25,58
Pedra Britada 01	15,68
Água	4,95
Aditivo Superplastificante	0,100
Massa Específica	1800 kg/m ³

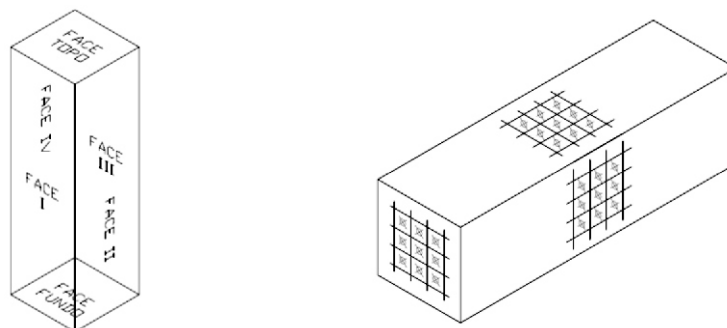
Ambos os ensaios de compressão axial e de esclerometria foram realizados no mesmo dia, ou seja, aos 28 dias de idade do concreto para ambos os traços.

Para realização do ensaio de esclerometria nos prismas de 150x150x500 mm, não foi possível fazer 16 pontos de impacto conforme a ABNT NBR 7584:2012 indica, pois para a norma deve-se distanciar pelo menos 50 mm dos cantos e aresta da peça a ser ensaiada. Portanto nos prismas de 150x150x500 mm não é possível, em função da área da face. Devido a isso, utilizou-se para realização dos ensaios a mesma NBR 7584, porém em sua versão de 1995, que indicava que em cada área de ensaio poderiam ser efetuados 9 ou 16 impactos.

O esclerômetro utilizado para fazer os ensaios foi da marca Proceq modelo SilverSchmidt (N), com energia de impacto de 2.207 N.m, conforme apresenta a figura 1.

**Fig.1. Esclerômetro da marca Proceq modelo SilverSchmidt (Fonte: autores)**

Sendo assim, para a realização dos ensaios de esclerometria nos corpos de prova prismáticos foram marcados 9 pontos sobre cada face do prisma como mostra a figura 2.

**Fig.2. Esquema de marcação para ensaio nos corpos de prova prismáticos (Fonte: autores)**

Para realização dos ensaios, foi anotado os valores individuais dos índices esclerométricos para cada ponto de impacto da área de ensaio, e após calculada a média aritmética dos índices, os valores

que se distanciavam para mais ou para menos de 10% da média foram descartados e novamente a média era calculada. Para ser válido o ensaio na área, a nova média calculada deve ter ao menos 5 valores de índices esclerométricos. Depois disso, associa-se os índices esclerométricos e obtêm-se os valores aproximados da resistência a compressão axial correspondente.

A figura 3 mostra a curva de correlação entre índice esclerométrico e resistência a compressão axial do concreto, fornecida pelo fabricante do esclerômetro.

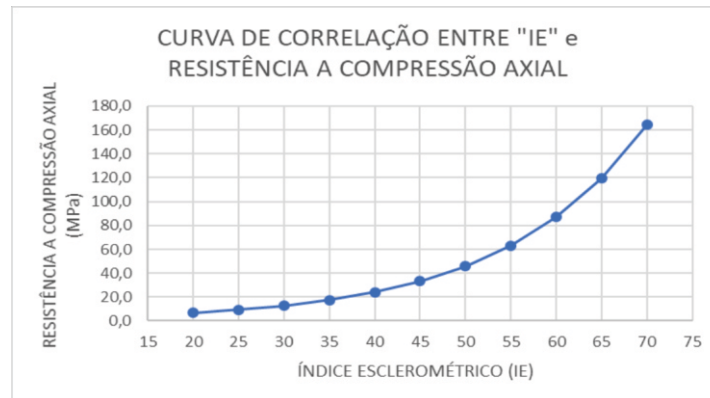


Fig.3. Curva de correlação entre o Índice Esclerométrico e a Resistência a Compressão (Fonte: Proceq)

Esta curva obedece a seguinte equação de correlação segundo o fabricante do esclerômetro:

$$Fck = a , e^{(Qxb)} \tag{1}$$

Onde Fck = Resistência característica do concreto aos 28 dias; $a = 1,8943$; $b = 0,064$; $e = 2,7080086$ e Q = Índice Esclerométrico.

5. Resultados e discussões

Na tabela 4 constam os resultados obtidos no ensaio de resistência a compressão axial nos concretos aos 28 dias de idade.

Tabela 4: Resistências a compressão aos 28 dias dos diferentes tipos de concreto

Traço	Resistência a Compressão (Mpa)
Concreto Convencional (CC)	26,90
Concreto de Alto Desempenho (CAD)	69,16
Concreto Leve (CL)	30,70

Observou-se que os resultados de resistência a compressão axial dos concretos, variou conforme o esperado, no ensaio de compressão axial seguindo a NBR 5739, o concreto convencional (CC) utilizado como referência nesta pesquisa teve média de resistências na faixa dos 25 a 30 MPa, o que já era esperado, o concreto de alto desempenho (CAD) teve sua resistência na casa dos 65 a 70 MPa, o que também é um resultado aceitável e conciso para o tipo de concreto, para o concreto leve (CL) os resultados ficaram em torno de 30 MPa.

Seguem abaixo, as tabelas com os valores correspondentes aos ensaios nos concretos convencionais (CC) para os dois prismas ensaiados da resistência à compressão axial pelo ensaio de esclerometria de reflexão ABNT NBR 7584 (Tabela 5 e 6) e da respectiva média das resistências (Tabela 7).

Tabela 5: Resistências a compressão axial por esclerometria no prisma 01 do concreto convencional (CC)

Resistência à compressão axial por esclerometria prisma 01 (CC) (MPa)					
Topo	Lateral - I	Lateral - II	Lateral - III	Lateral - IV	Fundo
20,60	24,70	30,40	24,30	Desconsidera-se (menos que 5 pontos)	25,50

Tabela 6: Resistências a compressão axial por esclerometria no prisma 02 do concreto convencional (CC)

Resistência à compressão axial por esclerometria prisma 02 (CC) (MPa)					
Topo	Lateral - I	Lateral - II	Lateral - III	Lateral - IV	Fundo
17,90	Desconsidera-se (menos que 5 pontos)	24,00	18,40	26,00	24,40

Tabela 7: Média geral da resistência a compressão axial pelo método do esclerômetro de reflexão (CC)

Resistência a compressão axial por esclerometria no concreto convencional	
Média total de resistência à compressão axial (CC)	23,62 MPa

Analisando os resultados provenientes dos ensaios de esclerometria no concreto convencional (CC), percebe-se que o esclerômetro de reflexão tem uma boa acurácia, e os resultados de resistência à compressão axial pelo método da esclerometria de reflexão NBR 7584, para este tipo de concreto, teve uma baixa variação em relação à compressão axial NBR 5739 que ficou em torno de 12%, o que é um resultado razoavelmente baixo de variação, sendo bem aceitável e confere uma boa aproximação para concretos convencionais (CC).

As tabelas 8 e 9, apresentam os valores correspondentes aos ensaios no concreto de alto desempenho (CAD) para os dois prismas ensaiados da resistência à compressão axial pelo ensaio de esclerometria de reflexão e da respectiva média das resistências (Tabela 10).

Tabela 8: Resistências a compressão axial por esclerometria no prisma 01 concreto de alto desempenho (CAD)

Resistência à compressão axial por esclerometria prisma 01 (CAD) (MPa)					
Topo	Lateral - I	Lateral - II	Lateral - III	Lateral - IV	Fundo
91,30	113,90	108,20	82,00	107,80	110,00

Tabela 9: Resistências a compressão axial por esclerometria no prisma 02 concreto de alto desempenho (CAD)

Resistência à compressão axial por esclerometria prisma 02 (CAD) (MPa)					
Topo	Lateral - I	Lateral - II	Lateral - III	Lateral - IV	Fundo
101,90	119,50	99,90	114,10	105,90	99,10

Tabela 10: Média geral da resistência a compressão axial pelo método do esclerômetro de reflexão (CAD)

Resistência a compressão axial por esclerometria no concreto de alto desempenho	
Média total de resistência à compressão axial (CAD)	104,47 MPa

Quando observados os resultados do método de esclerometria e no ensaio de compressão axial no concreto de alto desempenho (CAD), nota-se um aumento de cerca de 51%. O resultado revela que por se tratar de um concreto de elevado módulo de elasticidade, sua dureza superficial torna-se muito alta, em decorrência da sua matriz e que acordo com THOMAZ (2007), o repique do esclerômetro tem relação direta com o módulo de elasticidade do concreto, podendo fazer com que os índices esclerométricos medidos na face de concretos de alta resistencia, apresentem-se muito elevados. Outro fator que faz com que este resultado varie bastante, é o fato de o esclerômetro não levar em consideração a zona de transição entre o agregado e a pasta, mas que no módulo de ruptura a compressão axial, tem fundamental importância. Percebe-se então, que para concretos de elevadas resistências, como no caso de concretos de alto desempenho (CAD), o método de esclerometria de reflexão torna-se inapropriado para aproximação real da resistência a compressão axial.

As tabelas 11 e 12, expressam os valores conforme realizados os ensaios no concreto leve (CL) para os dois prismas avaliados da resistencia à compressão axial, pelo ensaio de esclerometria de reflexão e da respectiva média das resistências (Tabela 13).

Tabela 11: Resistências a compressão axial por esclerometria no prisma 01 concreto leve (CL)

Resistência à compressão axial por esclerometria prisma 01 (CL) (MPa)					
Topo	Lateral - I	Lateral - II	Lateral - III	Lateral - IV	Fundo
33,20	Desconsidera-se, (menos que 5 pontos)	29,90	Desconsidera-se, (menos que 5 pontos)	36,00	Desconsidera-se, (menos que 5 pontos)

Tabela 12: Resistências a compressão axial por esclerometria no prisma 02 concreto leve (CL)

Resistência à compressão axial por esclerometria prisma 02(CL) (MPa)					
Topo	Lateral - I	Lateral - II	Lateral - III	Lateral - IV	Fundo
41,20	Desconsidera-se, (menos que 5 pontos)	48,40	Desconsidera-se, (menos que 5 pontos)	Desconsidera-se, (menos que 5 pontos)	Desconsidera-se, (menos que 5 pontos)

Tabela 13: Média geral da resistência a compressão axial pelo método do esclerômetro de reflexão (CL)

Resistência a compressão axial por esclerometria no concreto leve	
Média total de resistencia à compressão axial (CL)	37,34 MPa

Para o concreto leve (CL), houve uma grande variância de resultados individuais de índices esclerométricos nas áreas de ensaio, fato que ocorreu pela baixa resistência do agregado leve (argila expandida). A pesar da pasta ter uma boa resistência, quando o aparelho entra em contato com um agregado, o índice esclerométrico baixa drasticamente, fazendo com que a área de ensaio fosse desconsiderada quando realizada a correlação com a curva fornecida pelo fabricante do esclerômetro. Porém, a pesar da grande variância de resultados individuais, quando feitas várias amostras de áreas de ensaio, a média final dos resultados mostra-se razoavelmente próxima do resultado do ensaio de compressão axial NBR 5739, variando em torno de 22%. Logo, para o concreto leve (CL), o ensaio de esclerometria pode ser realizado, mas deve-se levar em consideração o teor de agregado leve da mistura e cuidados na obtenção das medições com o esclerômetro. Contudo, fazendo-se várias amostragens, pode-se ter resultados mais precisos para este tipo de concreto.

6. Conclusões

Portanto, o ensaio não destrutivo de esclerometria de reflexão permite verificar a resistência de elementos de concreto "in situ". Após as avaliações dos resultados concluiu-se que o método utilizado no concreto convencional (CC) teve pouca variação nos resultados e evidencia-se que a técnica é uma boa maneira de se aproximar da resistência à compressão axial real de elementos de concreto. Enfim, conclui-se que o ensaio de esclerometria de reflexão não pode ser considerado como um parâmetro absoluto para determinação da resistência a compressão axial, devido a grande taxa de variação dos resultados para diferentes dosagens de concreto, pelo fato que a técnica não considera parâmetros como o módulo de elasticidade do material e dos agregados constituintes.

7. Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 4 p.
- [2] ESCOBAR, Celcio José; CRUZ, Darlinton Andreotti; FABRO, Gilmar. Avaliação de desempenho do ensaio de esclerometria na determinação da resistência do concreto endurecido. Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto - Cbc2008, Salvador, 2008.
- [3] ANGELIN, Andressa Fernanda. Concreto leve estrutural - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais Limeira. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Tecnologia, Limeira, 2014.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7584: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 10 p.
- [5] ESCLERÔMETRO. Notas de Aulas do Instituto Militar de Engenharia: Eduardo C. S. Thomaz, Engenheiro Civil. Disponível: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/>: Acesso:15/04/2019
- [6] NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. Tecnologia do Concreto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013. 447 p.
- [7] METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.m.. CONCRETO: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: Arte Interativa, 2014. 782 p.
- [8] AÏTCIN, Pierre-Claude. Concreto de alto desempenho. São Paulo: Pini, 2000. 667 p
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015. 3 p
- [10] DAFICO, Dario de Araújo. Estudo da dosagem do concreto de alto desempenho utilizando pozolanas provenientes da casca de arroz. 2001. 208 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- [11] ROSSIGNOLO, João Adriano. Concreto Leve de Alto Desempenho com SB para Pré-Fabricados Esbeltos - Dosagem, Propriedades, e Microestrutura. 2003. 220 f. Tese (Doutorado), Interunidades - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7584: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995. 10 p.