

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS Uni-ANHANGUERA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DETERMINAÇÃO DA CORRELAÇÃO DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO COM A DUREZA SUPERFICIAL
OBTIDA POR ESCLEROMETRIA**

THIAGO FERREIRA DIAS

GOIÂNIA
Maio/2019

THIAGO FERREIRA DIAS

**DETERMINAÇÃO DA CORRELAÇÃO DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO COM A DUREZA SUPERFICIAL
OBTIDA POR ESCLEROMETRIA**

Trabalho Final de Curso 2 apresentado ao Centro Universitário de Goiás - Uni-ANHANGUERA, sob orientação do Professor Mestre Luiz Frederico de Souza Fleury, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

GOIÂNIA
Maio/2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

THIAGO FERREIRA DIAS

DETERMINAÇÃO DA CORRELAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM DUREZA SUPERFICIAL OBTIDA POR ESCLEROMETRIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para obtenção do bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás Uni-ANHANGUERA, defendido e aprovado em 27 de maio de 2019 pela banca examinadora constituída por:



Prof. Me. Luiz Frederico de Souza Fleury
Orientador



Prof. Dr. Flávio Roldão de Carvalho Lelis
Membro



Prof. Fernando Pinheiro Camilo
Membro

RESUMO

A resistência à compressão, além de ser uma das principais propriedades das estruturas de concreto, também é relacionada a outras características, como no caso da dureza superficial, características estas diretamente proporcionais: quanto maior a resistência a compressão maior será sua dureza superficial. Para obter informações precisas destas qualidades faz-se necessário determinar metodologias viáveis em custo, tempo, praticidade e versatilidade. Nesse sentido, a esclerometria mostra-se como um método alternativo à extração de testemunhos e outros mais onerosos e complexos que exigem bastante reparação de danos, com maior custo e dispêndio de tempo. Contudo, a ausência de uma curva que correlaciona o valor de resistência à compressão de um elemento de concreto com sua dureza superficial, obtida por esclerometria, torna o método com limitado alcance prático. O objetivo desse trabalho foi determinar a dureza superficial, com ensaios de esclerometria em corpos-de-prova cilíndricos, de idades e resistências variadas, conhecidas a partir da realização de ensaio de resistência à compressão, visando a determinação de uma correlação gráfica entre os valores obtidos. Observou-se que com o aumento das resistências à compressão os corpos de prova tiveram acréscimo na dureza superficial. Verificou-se que a taxa de variação da dureza superficial em função da resistência à compressão do concreto, nas condições do ensaio é de aproximadamente 0,4587, ratificando o entendimento de que esta propriedade do concreto endurecido está intrinsecamente ligada à sua resistência à compressão.

PALAVRAS-CHAVE: Corpos-de-prova. Esclerômetro. Índice esclerométrico.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 MATERIAIS E MÉTODOS	6
2.1 Materiais	6
<i>2.1.1 Materiais Constituintes do Concreto</i>	<i>6</i>
<i>2.1.2 Instrumentos e Equipamentos</i>	<i>7</i>
2.2 Métodos	7
<i>2.2.1 Dosagem</i>	<i>7</i>
<i>2.2.2 Preparo do Concreto</i>	<i>8</i>
<i>2.2.3 Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone</i>	<i>8</i>
<i>2.2.4 Moldagem, Adensamento e Cura</i>	<i>9</i>
<i>2.2.5 Ensaio de Esclerometria</i>	<i>9</i>
<i>2.2.6 Ensaio de Compressão Axial</i>	<i>11</i>
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	13
3.1 Resultados	13
3.2 Discussões	15
4 CONCLUSÕES	17
REFERÊNCIAS	18
APÊNDICE A	

1 INTRODUÇÃO

A determinação da resistência do concreto é fundamental para conhecer o desempenho das estruturas, seja em pequenas idades, durante o período de execução das estruturas, para identificar a resistência mínima adquirida para as fases posteriores ou para a verificação da uniformidade das peças estruturais, seja anos depois da estrutura pronta, para identificar se a peça sofre perda de eficiência, realizando o acompanhamento do desempenho da mesma (MOHAMAD et al., 2015).

Isaia (2017), Neville (2016), Mehta e Monteiro (2014), Evangelista (2002) e Petrucci (1982) concordam que a resistência a tensões de compressão é a propriedade mais desejada nas estruturas de concreto e característica unânime requerida nos projetos. Afirmam também que as demais propriedades do concreto endurecido são diretamente proporcionais à resistência à compressão, como é o caso da dureza superficial.

Segundo Evangelista (2002), corpos-de-prova ensaiados representam apenas parte da resistência de um elemento estrutural, normalmente em virtude de divergências no lançamento, adensamento, moldagem e cura, sendo necessário um método de investigação eficaz, rápido, economicamente viável e de fácil aplicação.

A extração de testemunhos apresenta desvantagem por ser onerosa, demandar grande logística, interferir na estrutura pronta e no fato da extração, muitas vezes, acontecer em peças menos nobres, como as lajes e não serem em quantidades capazes de representar todo o elemento estrutural a ser investigado (MACHADO, M. D.; SHEHATA, L. C. D.; SHEHATA, I. A. E. M., 2009).

Em sua pesquisa, Palhares et al. (2015) afirmam que a esclerometria é o ensaio não destrutivo (END) que correlaciona a dureza superficial com a resistência à compressão do concreto, de forma a não causar danos na estrutura, podendo ser realizada durante seu funcionamento, e que permite maior quantidade de ensaios em diversos pontos da peça, podendo assim, universalizar os resultados obtidos.

Assim, o objetivo deste trabalho pautou-se em apresentar a correlação da resistência à compressão do concreto com a dureza superficial obtida pelo método do esclerômetro de reflexão de Schmidt.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A seguir serão apresentados os principais materiais empregados desde os agregados, as normas, caracterização dos agregados, dosagem, manipulação, preparo e controle do concreto, moldes, adensamento, cura, desmoldagem, reticulação dos corpos-de-prova, ensaios destrutivo e não destrutivo (END) e cálculos.

2.1.1 *Materiais Constituintes do Concreto*

Adotou-se para os ensaios, quatro classes de concreto, C20, C25, C30 e C35, para ambos os traços de resistências, foram usados o cimento Portland composto CPII-F-32, com adição de 11 a 25% de material carbonático, da fabricante InterCement Brasil sob marca registrada Cauê, amplamente comercializado na região em sacos de 50 kg e certificado quanto a porcentagem de adição, requisitos físicos, reológicos e mecânicos, tempo de pega, finura e expansividade, pela NBR 16697/2018 (ABNT, 2018).

O agregado miúdo escolhido, foi adquirido em sacos de 25 kg na cidade de Goiânia, classificado como areia natural de rio, extraído, embalado e comercializado na região metropolitana de estudo. Após o ensaio de granulometria o agregado miúdo ficou classificado como areia grossa, apresentando Módulo de Finura igual a 3,342, atendendo o determinado pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

O agregado graúdo foi adquirido no mesmo comércio que o agregado miúdo, também em sacos de 25 Kg, bastante característico da região, neste caso o Gnaisse extraído de jazidas naturais e britado industrialmente, com dimensão máxima característica de 9,5 mm, comercialmente conhecido como brita 0, atendendo o especificado pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

Em relação a água de amassamento, foi observado o recomendado por Neville (2016), que afirma que este elemento não deva ter substâncias orgânicas indesejáveis ou conter constituinte inorgânicos em quantidades excessivas, isentas de alcalinidade desde que não tenha gosto salobro. A água utilizada no amassamento e também na câmara de umidade saturada, foi a mesma da rede interna que serve as dependências do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, distribuída pela concessionária local, sendo atendida a

recomendação da NBR 15900-1 de utilização de água de abastecimento público, sem a realização de ensaios específicos, pois esta não possui histórico que inviabilize o consumo para a produção de concreto (ABNT, 2009).

2.1.2 Instrumentos e Equipamentos

Para a realização dos ensaios e manipulação segura dos materiais adotados foram empregadas diversas ferramentas da construção civil, disponibilizadas pelo Laboratório de Técnicas Construtivas do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA (LTC), como: girica, pá, colher de pedreiro, espátula, baldes, vassoura e equipamentos de proteção individual (EPIs), sendo: óculos para proteção dos olhos contra impactos de partículas volantes, capacete contra impactos sobre o crânio, protetor auditivo, luvas contra agentes abrasivos, calçados para proteção dos pés (BRASIL, 1978).

Para o controle tecnológico foram adotados os seguintes instrumentos e equipamentos laboratoriais: paquímetro com precisão de 0,001 mm, balança de mesa com precisão de 0,01 g, balança com precisão de 0,1 g, retífica de eixo horizontal com disco diamantado, esclerômetro de reflexão 2.207 Joules (J), proveta graduada, prensa hidráulica com capacidade de 1000 KN e precisão de $\pm 1\%$, betoneira estacionária com capacidade de 400 litros, haste metálica de adensamento, moldes metálicos de corpos-de-prova, molde padrão do tronco-cônico, régua de aço em milímetros, computador e tabelas eletrônicas.

2.2 Métodos

2.2.1 Dosagem

Contemplando os materiais de construção comumente comercializados na cidade de Goiânia, foram dosados quatro famílias com resistências de cálculo a compressão do concreto, respectivamente 20, 25, 30 e 35 MPa, segundo método de dosagem racional e experimental da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP/ACI), com parâmetros de Classe de Agressividade Ambiental I – fraca e Condição de Preparo do Concreto A, com desvio padrão de 4 MPa (ABNT, 2014, 2015).

2.2.2 Preparo do Concreto

Os procedimentos de preparação do concreto, controle e aceitação, seguiram o determinado pela NBR 12655. A mistura foi realizada em betoneira estacionária com capacidade de 400 litros, respeitando as condições de fabricação do equipamento (ABNT, 2015).

O tempo de mistura, ainda segundo Neville (1958 apud SHALON; REINITZ, 2016), não ultrapassou 120 segundos, evitando-se assim a perda de água da mistura para o meio, conservando as características de dosagem, ainda sim o tempo de mistura não foi inferior a 60 segundos (s).

2.2.3 Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone

Em todos os traços foram observados e relacionados os valores do abatimento do tronco de cone, segundo a NM 67 (ABNT, 1998).

Inicialmente, foram adotados nos cálculos o abatimento de 120 mm, a fim de melhorar a consistência para o adensamento manual. No entanto, todos os valores do *slump test* ficaram acima do determinado, pois os materiais utilizados se encontravam muito úmidos em decorrência do período chuvoso. Cada traço foi submetido a três correções na dosagem em função do *slump test*, e ainda sim, os valores permaneceram maiores que o inicial.

No entanto, as resistências de cada família do ensaio se mantiveram como planejado, apresentando inclusive, ganho de eficiência, pois o método ABCP/ACI, infere que a resistência de compressão do concreto está na relação água/cimento da pasta e não no quão fluido é a mistura, não diretamente. Ainda sim, ambas as famílias de resistências, C20, C25, C30 e C35, podem ser classificadas quanto a consistência, como S100 com abatimento entre 100 e 160 mm (ABNT, 2015).

A consistência foi verificada uma vez e corrigida outras três, em um volume experimental a fim de retificar e aproximar o máximo o valor do abatimento do tronco de cone ao disposto no cálculo da dosagem, sendo novamente aferido na primeira betonada do volume total do traço de cada família de resistência antes do lançamento nas formas dos CP's (ABNT, 2015).

2.2.4 Moldagem, Adensamento e Cura

A moldagem aconteceu em dias diferentes para cada família de resistências, com intuito de não onerar demasiadamente as condições de laboratório, sem negligenciar, por efeito do cansaço, nenhum procedimento normativo ou de segurança. Consequentemente a desmoldagem e ensaios ocorreram em condições idênticas.

Foi utilizado como desmoldante óleo mineral e o adensamento manual com haste cilíndrica de aço de superfície lisa. Logo em seguida, as amostras ficaram armazenadas em local sem influência de umidade, ao ar e sem sofrer movimentações até a pega inicial, sendo a desmoldagem 24 horas depois.

Foram moldados 100 corpos-de-prova (CP's) de concreto, cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura.

A amostragem foi organizada primeiramente em famílias de resistências, concebidos pela dosagem em laboratório, 20, 25, 30 e 35 MPa e por fim em grupos de idades com 1, 7, 14, 21 e 28 dias de cura úmida, sendo ensaiados cinco CP's por idade, a fim de se obter valores variados de resistência e consequentemente de dureza superficial, respeitando-se as mesmas condições de ensaios para cada amostra.

Após a desforma, os corpos-de-prova foram encaminhados para a câmara de umidade saturada, permanecendo até um dia antes do ensaio de esclerometria e compressão, exceto os CP's que foram submetidos aos ensaios com um dia de cura, que não passaram pela câmara úmida. Todas as fases foram realizadas cumprindo o determinado pela NBR 5738 (ABNT, 2015).

2.2.5 Ensaio de Esclerometria

Segundo Evangelista (2002) a análise estatística feita para o ensaio de esclerometria deve comparar índices aferidos em pelo menos 30 CP's de diferentes resistências. Assim, foi adotado cinco unidades para cada grupo de idades, G1 (um dia de cura), G2 (sete dias de cura), G3 (14 dias de cura), G4 (21 dias de cura) e G5 (28 dias de cura), efetivando 25 exemplares para cada família de resistências, F1 ($f_{ck} = 20$ Mpa), F2 ($f_{ck} = 25$ Mpa), F3 ($f_{ck} = 30$ Mpa) e F4 ($f_{ck} = 35$ Mpa), totalizando 100 CP's ensaiados.

O esclerômetro utilizado pertence ao Laboratório de Técnicas Construtivas do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, fabricado pela MC, modelo ZC3-A e normatizado internacionalmente pela Unidade Editor-Instituto de Pesquisa da Ciência da Construção da Província de Shaanxi – China. Todos os ensaios foram realizados com o mesmo esclerômetro.

Inicialmente os corpos de prova foram retirados da câmara de umidade saturada. Em seguida, aproveitando-se da condição favorável, os CP's tiveram suas superfícies retificadas em retífica de eixo horizontal com disco diamantado e postos a secagem ao ar até o estado de superfície completamente seca, não ultrapassando para isso 24 horas (ABNT, 2012).

Após a secagem superficial, foi desenhado na face de cada CP uma matriz retangular 2x4, configurando 8 pontos de impacto, distantes 3 cm de eixo a eixo. O mesmo foi realizado na geratriz oposta (180°), totalizando 16 impactos em cada corpo de prova. Em seguida o CP foi posto na prensa hidráulica e adicionado uma carga de 1 MPa, fazendo que o CP permanecesse imóvel durante a realização da esclerometria, observando-se uma tolerância de 20% para mais, na compressão. A Figura 1, ilustra as condições do ensaio.



Figura 1 - Esclerometria em corpo de prova apoiado em prensa hidráulica com carga de 1MPa.

Os impactos esclerométricos ocorreram nas duas geratrizes dos CP's, sempre na posição horizontal e normal à superfície circular (radial), observando 3 cm de distância das extremidades e entre os pontos de aplicação. Ao findar do ensaio de esclerometria, a carga inicial aplicada (1 Mpa) não foi aliviada, sendo esta carga o ponto de partida do ensaio de compressão axial (ABNT, 2012).

2.2.6 Ensaio de Compressão Axial

Os ensaios de compressão axial iniciaram-se logo após a esclerometria de cada corpo de prova (CP). A carga inicial de 1 Mega Pascal (MPa), condicionada ao ensaio de esclerometria, foi o ponto inicial da compressão axial, observando-se a fadiga que o elemento estrutural sofreu até aquele momento, sem aliviá-la.

Adotando-se o disposto pela NBR 5739, ensaio de compressão de corpo-de-prova cilíndrico, ABNT (2018), o carregamento se deu de forma contínua, com a prensa hidráulica ligada a uma fonte de energia sem oscilações, sem choques ou cargas abruptas, com velocidade constante de 0,45 Mega Pascal por segundo (MPa/s) e tolerância de $\pm 0,15$ MPa/s, até a ruptura total, relacionando-se o valor máximo de resistência e o tipo de ruptura.

A prensa hidráulica utilizada neste procedimento, também é de propriedade do Laboratório de Técnicas Construtivas do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA (LTC), é da marca MC, fabricado pela Zhejiang Fabricação de Instrumentos Geotécnicos Co., Ltd, modelo LM-02 com dinamômetro digital.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resultados

Satisfazendo a NBR 7584 (ABNT, 2012), o índice esclerométrico adotado foi a média aritmética dos 16 impactos, de cada corpo-de-prova (CP) ensaiado, desconsiderando valores maiores e menores de dez por cento da média. Não prevalecendo novas ponderações, foi realizada a média para todos os 5 CP's da mesma idade, sendo esta o índice esclerométrico médio que compõem o eixo das ordenadas (Y) da curva de correlação. O eixo das abscissas (X), foi composto pelo valor médio das tensões últimas resistidas pelos 5 CP's da mesma idade ensaiada.

Antes de serem convertidos em tensões, as forças últimas foram corrigidas pelo fator de correção (FC) em relação a razão da altura pelo diâmetro (h/d), determinado segundo a Tabela 2 da NBR 5739 e quando os valores de FC não constavam na referida tabela, foram calculados por interpolação linear (ABNT, 2018).

Como característica de pesquisa que visa correlacionar dois índices físicos, variáveis em função do tempo, foi elaborado dois gráficos distintos demonstrando o acréscimo de resistência e de dureza superficial em função da idade dos CP's ensaiados, para cada família de resistências. As Figuras 2 e 3 mostram as evoluções tanto da resistência à compressão do concreto quanto da dureza superficial, respectivamente.

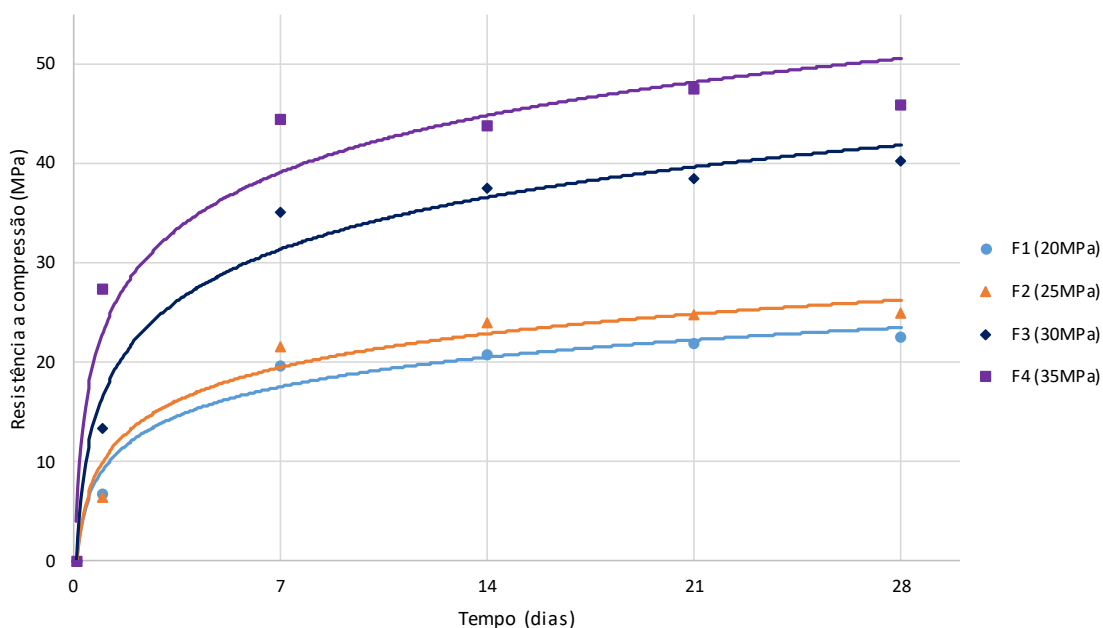


Figura 2 - Aumento de resistência a compressão do concreto em função da idade.

Foi observado que todas as amostras tiveram resultados de resistência à compressão aos 28 dias (f_{c28}) acima do valor inicial de dosagem, aumentando o intervalo de abrangência da curva de correlação.

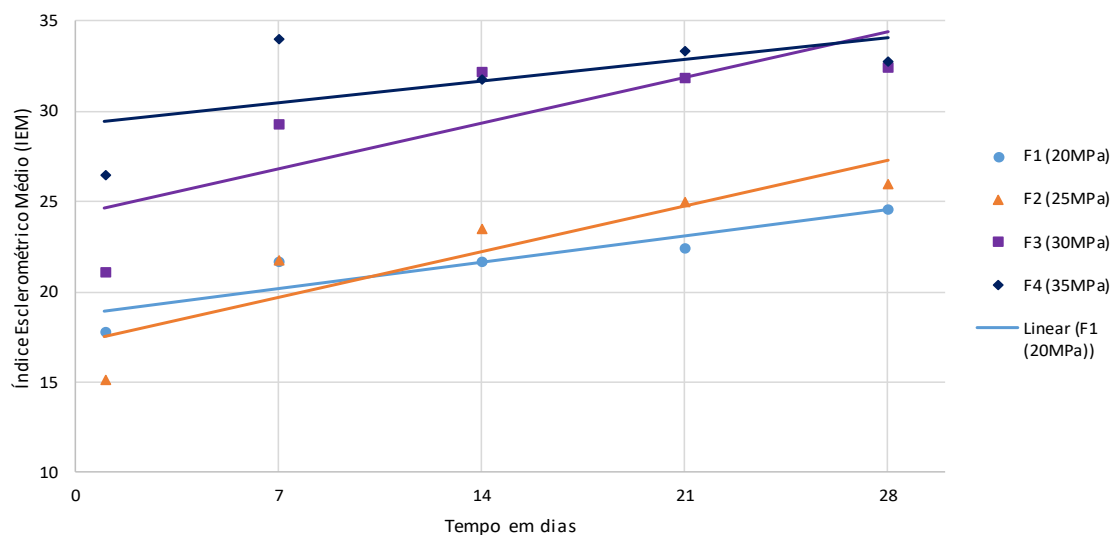


Figura 3 - Aumento da dureza superficial, obtida por esclerometria, em função da idade.

Posteriormente, os resultados parciais foram compilados em um gráfico que esboça a totalidade da pesquisa. Na Figura 4, tem-se a curva de correlação da resistência à compressão do concreto com a dureza superficial obtida por esclerometria, no intervalo de 6,55 a 47,55 MPa e 15,20 a 34,01 de dureza superficial.

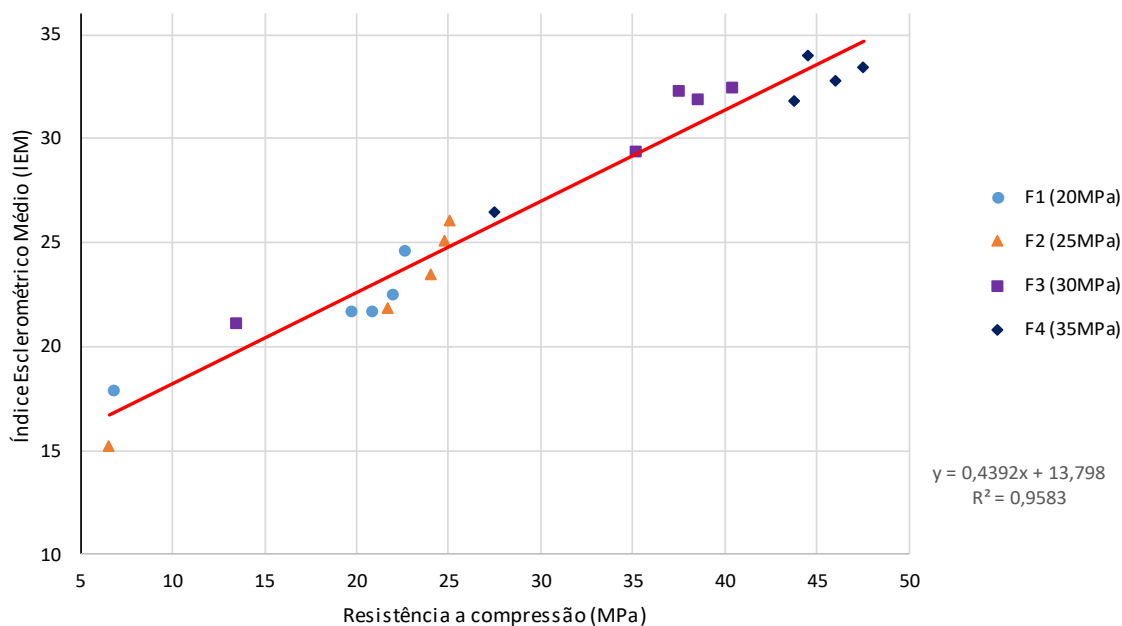


Figura 4 - Curva de correlação da resistência a compressão do concreto com dureza superficial obtida por esclerometria.

Matematicamente, o Índice Esclerométrico Médio (IEM) varia em função da Resistência à Compressão Média (f_{cm}), à taxa de 45,87%, com precisão de 95,83%. Valores intermediários podem ser facilmente determinados pelo gráfico ou através da Função Afim, representativa da linha de tendência, dada por: $y = 0,4392x + 13,798$ para todos os valores de IEM e f_{cm} extraídos em condições idênticas aos determinados no ensaio.

Observou-se, com poucas exceções, que com o acréscimo de resistência à compressão há um aumento da dureza superficial, confirmando a teoria inicial de que diversas propriedades do concreto endurecido, neste caso em especial a dureza superficial, está diretamente relacionada com a primeira (EVANGELISTA, 2002; ISAIA, 2017; MEHTA; MONTEIRO, 2014; NEVILLE, 2016; PETRUCCI, 1982).

3.2 Discussões

Parafraseando Alves (2017), dispondo-se de um gráfico como o elaborado por este estudo, com valores reais, é possível estimar a resistência de um elemento estrutural por interpolação linear de valores com considerável nível de precisão, respeitando-se as normas vigentes para os ensaios e tratamento dos dados a serem analisados.

Confirmou-se também, a afirmação de diversos autores no tocante à relação direta entre diversas propriedades do concreto endurecido, neste caso a dureza superficial, com a capacidade em resistir esforços mecânicos de compressão. Portanto, com os resultados alcançados, ficou claro que quanto maior a resistência à compressão maior será a dureza superficial do concreto.

O método da esclerometria se mostrou adequado para verificar a uniformidade de elementos de concreto, tendo em vista que o método pode ser executado ao longo de todo o elemento estrutural, sem contraindicação de quantidade de impactos, sendo observado apenas que o mesmo ponto não pode ser ensaiado novamente, já que a estrutura absorve parte da energia empregada, deformando plasticamente as primeiras camadas da sua superfície (EVANGELISTA, 2002).

Observa-se que a curva de correlação foi desenvolvida para um intervalo de resistência à compressão de 6 a 47 MPa, e com índices esclerométricos médios de 15 a 35. Para valores fora desses limites torna-se importante a expansão dos estudos, com realização

de novos ensaios, haja vista que os campos, de materiais e estruturas, são vastos e muito favoráveis às pesquisas.

Vale salientar que algumas amostras, de mesma família de resistência, tiveram resultados de resistência à compressão menores que outras amostras de maior idade, apesar do Índice Esclerométrico Médio (IEM) ter aumentado. Ao analisar essas divergências e compará-los com o tipo de ruptura, pode-se observar que o corpo de prova (CP) rompeu sem que a força tenha sido aplicada de maneira uniforme ou até fora do eixo. Como não houve variação significativa na posição do CP na prensa a explicação poderia estar no tipo de ruptura.

Conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018), a queda acentuada no valor de resistência à compressão de CP's de mesmos exemplares, cuja ruptura seja do tipo F – Fraturas no topo ou na base, ou G – Fraturas próximas ao topo, indica imperfeições de planicidade ou do capeamento, teoria esta que melhor justifica a perda de eficiência dos elementos em questão, pois os tipos de ruptura se coincidiram com o indicado pela Norma.

Nestes casos, foram desprezadas as amostras com deficiência na ruptura e os dados não foram utilizados para determinação da curva de correlação em questão. Descartando a possibilidade de falsear a inclinação da curva, pois neste caso específico o valor do índice esclerométrico médio se mostrou, proporcionalmente, muito além da resistência a compressão, enquanto este último retrocedeu.

Para pesquisas futuras é aconselhável que tenha a disposição mais quantidades de amostras de mesma família de resistências e de mesma idade, pois os valores de resistências, por serem obtidos por média aritmética de um conjunto de amostras, caso alguma delas apresente incoerências nos ensaios, poderá ser desprezada sem prejuízo ao estudo, já que este também é estatístico.

4 CONCLUSÕES

A determinação da curva de correlação da resistência à compressão do concreto com a dureza superficial é economicamente viável se comparado a outros métodos de investigação da resistência à compressão do concreto, porém trabalhoso e demanda tempo. Os métodos de controle tecnológico dos ensaios são atuais e muito acessíveis aos engenheiros e comunidade acadêmica.

A esclerometria, método conhecido há vários anos, possui vantagens em ser um método de investigação não destrutivo, podendo ser realizada várias vezes e em locais distintos do mesmo elemento estrutural, sem paralisar o funcionamento das instalações, com baixo ruído e ainda permitindo obter informações sobre a uniformidade da peça.

No entanto, a esclerometria só pode ser realizada com a finalidade de investigação da resistência à compressão após determinado a curva de correlação com elementos de materiais semelhantes. Dado o equipamento ser calibrado em elemento com propriedades diferente do concreto.

Uma vez construída a curva de correlação e de posse do esclerômetro de reflexão, sua aplicação se torna rápida e fácil. Os ensaios podem ser realizados em campo apenas com o esclerômetro, alinhando o Índice Esclerométrico Médio (IEM) com a estimativa da resistência à compressão do elemento ensaiado, com a mesma acurácia apresentada pelo gráfico ou calculado diretamente na função afim, por substituição de valores.

Ressalta-se, no entanto, que a curva de correlação determinada pelo estudo tem considerável precisão dentro dos intervalos de ensaio, tanto para a resistência à compressão do concreto quanto no Índice Esclerométrico (IE), e restringe-se a elementos de concreto produzidos com métodos e materiais semelhantes, aos adotados neste estudo em especial, com materiais de construção comumente encontrados na cidade de Goiânia e concreto sem aditivos.

Assim, espera-se que este artigo sirva de apoio teórico para novos ensaios com concreto produzidos com diferentes materiais, adições e aditivos, de outras classes de resistências e ainda para ensaios com esclerômetros de outras energias de percussão, desde que atendidas as recomendações normativas. Para ensaios futuros, deverá dispensar especial atenção ao volume de amostras e de informações colhidas, pois, nos dois casos, qualidade e quantidade são diretamente proporcionais.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. **Resistência mecânica de concreto de cimento Portland**: correlação de ensaio à compressão axial com esclerometria. 2017. 98 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIVATES, Rio Grande do Sul, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland: preparo, controle, recebimento e aceitação: procedimento. Rio de Janeiro, 2015. 23 p.

_____. **NBR 15900-1**: água para amassamento do concreto: parte 1: requisitos. Rio de Janeiro, 2009. 11 p.

_____. **NBR 16697**: cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

_____. **NBR 5738**: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015. 6 p.

_____. **NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

_____. **NBR 7584**: concreto endurecido: avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 10 p.

_____. **NBR 7680-1**: concreto: extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto parte 1: resistência a compressão axial. Rio de Janeiro, 2015. 27 p.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais: classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015. 3 p.

_____. **NBR NM 67**: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil**: e princípio de ciência e engenharia de materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2017. cap. 29 p. 905-943.

HUGHES-HALLETT, D. et al. Uma biblioteca de funções. In: HUGHES-HALLETT, D. et al. **Cálculo**: a uma e a várias variáveis. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 1. v. cap. 1, p. 2-65.

MACHADO, M. D.; SHEHATA, L. C. D.; SHEHATA, I. A. E. M. Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos. **Revista INBRACON de estruturas e materiais**, v. 2, n. 2, p. 112-123, jun./2009.

MALHOTRA, V.; CARINO, N. **Handbook on nondestructive testing of concrete**. United States of America: 2004. 2. ed.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: Microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.

MOHAMAD, G.; CARMO, P. I. O.; OLIVEIRA, M. J. D.; TEMP, A. L. Métodos combinados para avaliação da resistência de concretos. **Revista Matéria**, v. 20, n.1, p. 83-99, out./2014.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. In: _____. Cimento Portland. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. cap. 1, p. 1-61.

BRASIL. Ministério da Economia. NR 06: Equipamento de Proteção Individual: EPI. Brasília: Secretaria do Trabalho, Ministério da Economia, 1996. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-06.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2019.

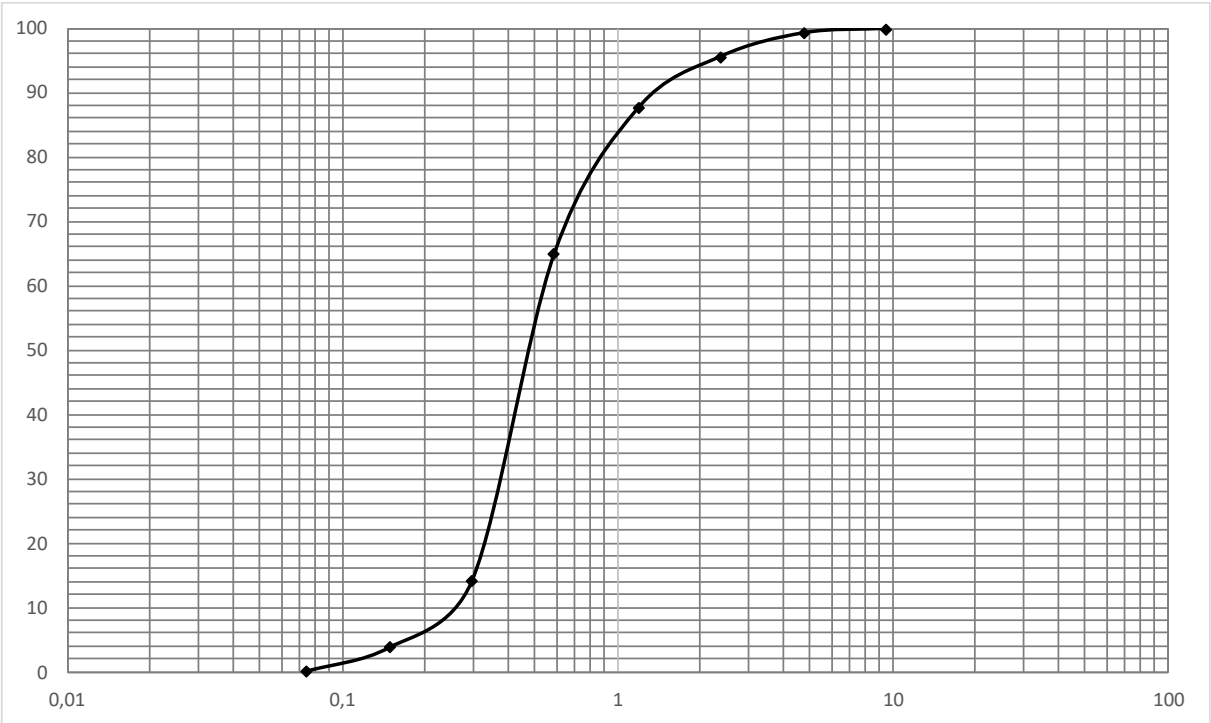
PALHARES, R. de A. et al. Análise esclerométrica de elementos de concreto armado: Uma potencial ferramenta na fiscalização de obras públicas. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CONTECC, 2015. 4 p.

PETRUCCI, E. Determinação da resistência dos concretos pelo método da dureza. In: MAGALHÃES, A. **Manual do engenheiro Globo**. Porto Alegre: Globo, 1982. cap. 6, p. 673-717.

ANEXO A. Informação de classificação dos agregados.

Agregado miúdo:

NÚMERO	PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA (g)	RETIDA NA PENEIRA (%)	RETIDA ACUMULADA (%)	PASSANTE (%)
3/8"	9,5	0	0	0	100
4	4,76	6,8	0,68	0,68	99,32
8	2,38	36,4	3,64	4,32	95,68
16	1,19	80,4	8,04	12,36	87,64
30	0,59	226,8	22,68	35,04	64,96
50	0,297	507,8	50,78	85,82	14,18
100	0,149	103,2	10,32	96,14	3,86
200	0,074	37,4	3,74	99,88	0,12
FUNDO		1,2	0,12	100	0
TOTAL:		1000	100	0	100



Módulo de Finura (MF): 3,342
Massa Específica (ρ): 2.624,7 kg/m³

Agregado graúdo:

Tipo: Gnaiss natural, britado industrialmente.
Massa Específica (ρ): 2.761,0 kg/m³
Massa Unitária (ρ_{ap}): 1.636,364 kg/m³
Diâmetro Máximo Característico (DMC): 9,5 mm