

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

TIAGO BRASIL FONTANA

**ENSAIO NÃO DESTRUTIVO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO SOB TENSÃO**

**Alegrete
2015**

TIAGO BRASIL FONTANA

**ENSAIO NÃO DESTRUTIVO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO SOB TENSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel.

Orientador: Prof. D.SC. Ederli Marangon

Coorientador: Eng^o Marcelo Dias Oliveira

**Alegrete
2015**

TIAGO BRASIL FONTANA

**ENSAIO NÃO DESTRUTIVO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO SOB TENSÃO**

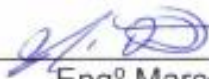
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 26 de janeiro de 2015.

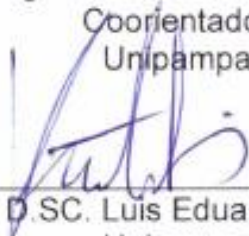
Banca examinadora:



Prof. D.S.C. Ederli Marangon
Orientador
Unipampa



Engº Marcelo Dias Oliveira
Coorientador
Unipampa



Prof. D.S.C. Luis Eduardo Kostas
Unipampa



Prof. Mestre. Magnos Baroni
Unipampa

Dedico este trabalho à toda minha família que me apoiou desde o início de minha trajetória acadêmica, me incentivando a ser uma pessoa melhor.

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Ederli Marangon pela ajuda a escolha do tema e orientação do trabalho.
Aos Marcelo Oliveira Dias e aos técnicos do Laboratório Materiais de Construção Civil, a todos os colegas de curso de engenharia civil pelo convívio durante toda vida acadêmica, e finalmente, mas não menos importante a minha namorada Joice pelo seu apoio.

“As grandes ideias surgem da observação dos pequenos detalhes”.

Augusto Cury

RESUMO

A partir da necessidade de encontrar métodos para utilização de tecnologias na construção civil gera-se muitas pesquisas científicas, que buscam alternativas para viabilizar o uso e aplicação de equipamentos, especificamente para análise pericial do comportamento de uma estrutura em concreto. A pesquisa visa determinar a resistência à compressão do concreto, pelo esclerômetro de reflexão, um ensaio não destrutivo, sob tensão. O objetivo foi determinar a resistência à compressão de corpos-de-prova, pelo índice esclerométrico, através de carregamentos à compressão impostos pela máquina de ensaios mecânicos, aumentando a carga gradativamente. O esclerômetro de reflexão é um equipamento que não possui uma acurácia de resultados definida, mas dependendo do modo que é empregado é possível conseguir resultados satisfatórios. Utilizou-se concretos de 30 e 35 MPa, que foram moldados em corpos-de-prova no formato cúbico 10x10x10 cm, posteriormente quatro corpos-de-prova foram ensaiados na máquina de ensaios à compressão até ruptura, que foi determinado a tensão máxima. Tensão esta que foi utilizada para ensaiar outros quatro corpos-de-prova, na qual foram aplicados patamares de carregamentos de forma progressiva (0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da tensão de ruptura), cada patamar foi estabilizado para que o ensaio com o esclerômetro de reflexão fosse executado. Os índices esclerométricos resultaram em resistência a compressão, foi comparada nas equações desenvolvidas das curvas geradas pelos autores (EVANGELISTA, 2002; MACHADO, 2005; PALACIOS, 2012). Os resultados comprovam que a medida aumenta resistência à compressão do concreto, aumenta o índice esclerométrico, ocorrendo nas duas misturas dos respectivos concretos de 30 e 35 MPa, nas suas idades de 28 e 56 dias.

Palavras-Chave: esclerometro de reflexão; corpo-de-prova; resistência à compressão.

ABSTRACT

From the need to find methods for using technology in construction is generated many studies seeking alternatives to allow the use and application equipment, specifically for expert analysis of the behavior of a concrete structure. The research aims to determine the strength of the concrete compression, rebound hammer by reflection, a non-destructive test, under voltage. The objective was to determine the compressive strength of the test piece bodies, the rebound rate through the compressive loads imposed by the testing machine, gradually increasing the load. The reflection rebound hammer is a device that does not have a defined accuracy of results, but depending on the mode that is used is possible to achieve satisfactory results. We used concrete 30 and 35 MPa, which were molded into body-of-proof in cubic format 10x10x10 cm, later four bodies-specimens were tested in compression testing machine to break, which was given the maximum voltage. This tension that was used for testing other four bodies-of-test, in which were applied levels of progressively shipments (0%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50% of rupture stress), each level was stabilized to the test with the reflection rebound hammer was executed. The rebound indices resulted in compressive strength was compared in the equations developed curves generated by the authors (EVANGELISTA, 2002; MACHADO, 2005; PALACIOS, 2012). The results show that the strength of the concrete increases as the compression ratio increases rebound occurring in the two respective concrete mixtures of 30 and 35 MPa at their ages of 28 and 56 days.

Keywords: esclerometer reflection; body of the test piece; compressive strength.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Máquina ensaios mecânicos, utilizada para aplicação de patamares de carregamento e ruptura de corpos-de-prova | 21 |
| Figura 2 - Máquina ensaios mecânicos, utilizada para a ruptura de corpos-de-prova | 22 |
| Figura 3 – Componentes do equipamento esclerômetro de reflexão..... | 23 |
| Figura 4 - Materiais constituintes do esclerômetro: a) Bigorna; b) Pedra de desbaste; c) Esclerômetro de reflexão..... | 24 |
| Figura 5 – Esquema de operação do equipamento esclerômetro de reflexão. | 25 |
| Figura 6 – Ábaco no corpo do aparelho | 26 |
| Figura 7 - Materiais utilizados para as misturas do concreto..... | 32 |
| Figura 8 - Equipamentos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa | 33 |
| Figura 9- Ensaio de abatimento: a) Mistura M-1; b) Mistura M-2 | 35 |
| Figura 10 – Projeto e construção das fôrmas para a moldagem do concreto | 36 |
| Figura 11 – Máquina utilizada na ruptura do corpo-de-prova | 37 |
| Figura 12 – Carregamento x tempo..... | 38 |
| Figura 13 - Ensaio de esclerometria em corpo-de-prova sob tensão | 39 |
| Figura 14 – Calibragem do esclerômetro na bigorna e limpeza da superfície com a pedra de desbaste..... | 40 |
| Figura 15 – Abatimento das misturas M-1 e M2..... | 41 |
| Figura 16- Evolução de f_c com a idade | 42 |
| Figura 17 – Evolução do Índice esclerométrico efetivo com o patamar de carregamento (MPa) aos 28 dias..... | 44 |
| Figura 18– Evolução do Índice esclerométrico efetivo com o patamar de carregamento (MPa) aos 56 dias..... | 46 |
| Figura 19 – Curva de correlação dos respectivos autores. | 48 |

| | |
|---|----|
| Figura 20– Gráfico da obtenção da resistência à compressão pelo índice esclerométrico e comparação entre as curvas (IE x f_c) propostas por autores, correspondente a mistura M-1 aos 28 dias. | 52 |
| Figura 21 – Gráfico da obtenção da resistência à compressão pelo índice esclerométrico e comparação entre as curvas (IE x f_c) propostas por autores, correspondente a mistura M-1 aos 28 dias. | 52 |
| Figura 22– Gráfico da obtenção da resistência à compressão pelo índice esclerométrico e comparação entre as curvas (IE x f_c) propostas por autores, correspondente a mistura M-1 aos 56 dias. | 53 |
| Figura 23– Gráfico da obtenção da resistência à compressão pelo índice esclerométrico e comparação entre as curvas (IE x f_c) propostas por autores, correspondente a mistura M-2 aos 56 dias | 53 |
| Figura 24 – Determinação do coeficiente de impacto (k) | 58 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Composição das misturas M-1 e M-2 | 34 |
| Tabela 2 – Resistência à compressão | 41 |
| Tabela 3 – Resultados dos índices esclerométricos do concreto M-1 aos 28 dias ... | 43 |
| Tabela 4 – Resultados dos índices esclerométricos do concreto M-2 aos 28 dias ... | 43 |
| Tabela 5 – Resultados dos índices esclerométricos do concreto M-1 aos 56 dias ... | 45 |
| Tabela 6 – Resultados dos índices esclerométricos do concreto M-2 aos 56 dias ... | 45 |
| Tabela 7 – Resistência à compressão usando os IE médios obtidos nesta pesquisa com as equações dos autores para mistura M-1 aos 28 dias | 49 |
| Tabela 8 - Resistência à compressão usando os IE médios obtidos nesta pesquisa com as equações dos autores para mistura M-2 aos 28 dias | 49 |
| Tabela 9 - Resistência à compressão usando os IE médios obtidos nesta pesquisa com as equações dos autores para mistura M-1 aos 56 dias | 49 |
| Tabela 10 - Resistência à compressão usando os IE médios obtidos nesta pesquisa com as equações dos autores para mistura M-2 aos 56 dias | 50 |
| Tabela 11 – IE obtidos pelas equações dos autores para a resistência máxima desse estudo | 51 |
| Tabela 12 – Ensaio de ruptura de CPs para a mistura M-1, aos 28 dias | 59 |
| Tabela 13 - Ensaio de ruptura de CPs para a mistura M-2, aos 28 dias | 59 |
| Tabela 14 - Ensaio de ruptura de CPs para a mistura M-1, aos 56 dias | 60 |
| Tabela 15 - Ensaio de ruptura de CPs para a mistura M-2, aos 56 dias | 60 |
| Tabela 16 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 28 dias, CP 5..... | 61 |
| Tabela 17 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 28 dias, CP 6..... | 62 |
| Tabela 18 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 28 dias, CP 7..... | 63 |

| | |
|--|----|
| Tabela 19 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 28 dias, CP 8..... | 64 |
| Tabela 20 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 28 dias, CP 3..... | 65 |
| Tabela 21 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 28 dias, CP 1 | 66 |
| Tabela 22 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 28 dias, CP 3..... | 67 |
| Tabela 23 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 28 dias, CP 4..... | 68 |
| Tabela 24 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 56 dias, CP 12..... | 69 |
| Tabela 25 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 56 dias, CP 18..... | 70 |
| Tabela 26 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 56 dias, CP 19..... | 71 |
| Tabela 27 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 56 dias, CP 24..... | 72 |
| Tabela 28 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 56 dias, CP 1 | 73 |
| Tabela 29 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 56 dias, CP 4..... | 74 |
| Tabela 30 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 56 dias, CP 5..... | 75 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CP – corpo-de-prova

CPs – corpos-de-prova

CV – coeficiente de variação

fc – resistência à compressão

fcj – resistência à compressão adquirida em uma determinada idade

fc28 – resistência à compressão aos 28 dias

fc56 – resistência à compressão aos 56 dias

IE – índice esclerométrico médio

IEef – índice esclerométrico efetivo

IE_{nom} – índice esclerométrico nominal indicado pelo fabricante

k – coeficiente de correlação

n – número de impactos na bigorna

σ - desvio padrão

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 Contextualização da pesquisa..... | 16 |
| 1.2 Contextualização do problema da pesquisa | 17 |
| 1.3 Objetivo geral | 17 |
| 1.4 Objetivos específicos | 17 |
| 1.5 Justificativa | 18 |
| 1.6 Estrutura do trabalho | 18 |
| 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA | 19 |
| 2.1 Propriedades do concreto | 19 |
| 2.1.1 Concreto fresco..... | 19 |
| 2.1.2 Concreto endurecido | 20 |
| 2.2 Resistência à compressão do concreto | 20 |
| 2.3 Ensaio destrutivo..... | 20 |
| 2.4 Ensaio não destrutivo | 22 |
| 2.4.1 Ensaio de esclerometria de reflexão | 23 |
| 2.4.2 Método de ensaio | 24 |
| 2.4.3 Fatores influentes na determinação da resistência a compressão do concreto pelo ensaio de esclerometria | 27 |
| 2.4.4 Vantagens e desvantagens da aplicação do índice esclerométrico...29 | |
| 2.4.5 Acurácia | 30 |
| 3 METODOLOGIA | 31 |
| 3.1 Materiais | 31 |
| 3.2 Equipamentos | 32 |
| 3.3 Dosagem..... | 34 |
| 3.4 Propriedades do concreto | 34 |
| 3.4.1 Concreto fresco..... | 34 |
| 3.4.2 Concreto endurecido | 36 |
| 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS | 41 |
| 4.1 Ensaio de abatimento de tronco de cone | 41 |
| 4.2 Resistência à compressão..... | 41 |
| 4.3 Resistência à compressão x Índice esclerométrico | 42 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.... | 54 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| REFERÊNCIAS..... | 55 |
| ANEXO A..... | 58 |
| ANEXO B..... | 59 |
| ANEXO C..... | 61 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização da pesquisa

A necessidade de se realizar uma avaliação pericial, da resistência à compressão do concreto *in loco*, deve-se ao fato de se promover, através das tecnologias existentes, uma forma eficaz de verificação da integridade do material (PEREIRA, 2010; PALACIOS, 2012).

A resistência à compressão é a propriedade do concreto que melhor o avalia mecanicamente. Normalmente os ensaios em geral de resistência à compressão são realizados aos 28 dias em corpos-de-prova cilíndrico e/ou cúbicos. A execução destes ensaios comprova se a resistência de projeto está sendo atendida (EVANGELISTA, 2002; MACHADO, 2005; PALACIOS, 2012).

Existem vários tipos de ensaios para verificar a resistência à compressão, entre elas as técnicas destrutivas e as técnicas não destrutivas. Os ensaios destrutivos são representados pela extração de testemunhos e rompimento de corpos-de-prova pela máquina de ensaios mecânicos. Os ensaios não destrutivos podem ser representados pelo esclerômetro de reflexão e velocidade de onda ultrassônica. A vantagem dos ensaios não destrutivos é a versatilidade, tornando propício o uso *in loco*, e sem colocar em risco a integridade da estrutura, o que tem incentivado busca por pesquisas (EVANGELISTA, 2002; MACHADO 2005; PEREIRA, 2010).

Dentre os ensaios não destrutivos, o esclerômetro de reflexão será objeto de estudo deste trabalho. O índice esclerométrico é uma unidade adimensional, obtido pelo equipamento. Este verifica a dureza superficial do concreto, que promove a detecção de modificações na morfologia durante a vida útil. (MACHADO, 2005).

O ensaio de esclerometria é normatizado no Brasil pela ABNT 7584 (2012). É caracterizado por ser um ensaio barato, prático e de fácil manuseio. (EVANGELISTA, 2002). A resistência à compressão, determinada pelo índice esclerométrico avalia o comportamento de uma estrutura (corpo-de-prova padrão), sujeito a uma carga de compressão, submetido pela máquina de ensaios mecânicos, que simula um carregamento em uma estrutura edificada em concreto.

1.2 Contextualização do problema da pesquisa

Segundo Evangelista (2002), Machado (2005), Pereira (2010), Melquiades (2011), Ferreira (2011) e Palacios (2012), este ensaio apresenta demasiada variação de resultados, tornando-o pouco preciso, o que pode ocorrer devido tanto a fatores externos, como a fatores internos. Os fatores externos, são tais como o manuseio, irregularidades superficiais, geometria da superfície e idade da estrutura. Quanto a fatores internos pode ocorrer variabilidade de resultados com teor de umidade, tipo de agregado, tipo de cimento e carbonatação do concreto.

1.3 Objetivo geral

Determinar a resistência à compressão pelo índice esclerométrico (IE) de corpos-de-prova sob tensão (patamares de carregamentos) e comparar os índices esclerométricos com as curvas de correlação elaboradas por Evangelista (2002) Machado (2005) e Palacios (2012).

1.4 Objetivos específicos

- estudar a variação do índice esclerométrico para concretos com resistência à compressão de 30 e 35 MPa;
- comparar os valores do índice esclerométrico com a variação do carregamento dos corpos de prova a cargas de 0% 10%, 20%, 30%, 40% e 50% referentes a carga de ruptura;
- avaliar a resistência à compressão através do índice esclerométrico usando as equações de Evangelista (2002), Machado (2005) e Palacios (2012).

1.5 Justificativa

A execução do ensaio de esclerometria para determinação da resistência à compressão sob tensão visa verificar o comportamento de uma estrutura já carregada. A leitura do IE é feita em cada patamar de carga. As tensões sequentes aplicadas simulam o carregamento de compressão de uma estrutura edificada em concreto sendo verificada pelo esclerômetro.

1.6 Estrutura do trabalho

No capítulo um, faz-se uma introdução ao tema do presente trabalho, identificam-se os diversos ensaios não destrutivos e apresenta-se uma breve descrição das suas possíveis aplicações. Também neste capítulo se apresentam os objetivos e descreve-se a sua estruturação.

O capítulo dois se refere à revisão bibliográfica, onde se explica as propriedades do concreto relacionando-as aos ensaios de compressão de corpos-de-prova e descreve de forma detalhada o ensaio de esclerometria sujeito a experimentação laboratorial. Indicam-se à sua aplicação comum dos métodos, vantagens, limitações dos ensaios e acurácia.

No capítulo três, aborda-se a metodologia aplicada nos ensaios laboratoriais efetuados, detalhando-se as técnicas e os instrumentos empregados, assim como as relações e equações utilizadas.

A apresentação da pesquisa e análise de resultados faz-se no capítulo quatro. Aqui os valores obtidos nos diferentes ensaios aparecem sobre a forma de quadros e gráficos acompanhados da respectiva análise.

No capítulo cinco, passa-se às considerações finais do trabalho que incidem na crítica aos ensaios realizados e outras observações, terminando com recomendações para estudos futuros.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo foram abordadas as referências usadas para desenvolver o trabalho, com base nas propriedades do concreto, resistência à compressão, ensaios destrutivos, ensaios não destrutivos relacionando as vantagens das aplicações, desvantagens e acurácia dos resultados.

2.1 Propriedades do concreto

O concreto é um material poroso, possuindo uma estrutura heterogênea e complexa. Para atender a resistência à compressão de projeto, o concreto deve ser produzido, obedecendo a um controle tecnológico que pode ser analisado nas propriedades no estado fresco e endurecido (ISAIA, 2007; MEHTA e MONTEIRO, 2008; BAUAER, 2008).

2.1.1 Concreto fresco

O concreto no estado fresco, depois de misturado encontra-se em estado elástico e ainda é possível adensá-lo. As propriedades do concreto neste estado são consistência, textura, trabalhabilidade, integridade de massa, poder de retenção de água e massa específica. Estas determinações são obtidas de acordo com o especificado na NBR 12655 (ABNT, 2006).

A trabalhabilidade é uma das principais propriedades do concreto fresco, pois é por meio desta propriedade que identifica-se a capacidade que a mistura possui de ser utilizada com facilidade sem que ocorra segregação da mistura. Os fatores que afetam a trabalhabilidade podem ser intrínsecos e extrínsecos. Fatores intrínsecos: consistência, traço do concreto, granulometria do concreto e forma do grão do agregado. Fatores extrínsecos tipo da mistura (manual ou mecanizada), tipo de transporte, tipo de lançamento, tipo de adensamento e dimensões da fôrma. As causas principais que contribuem para que o concreto não apresente um desempenho desejado é segregação e a exsudação (ISAIA, 2007; MEHTA e MONTEIRO, 2008; BAUAER, 2008).

2.1.2 Concreto endurecido

No estado endurecido já é possível identificar a estrutura do concreto. Um elemento sólido heterogêneo, ao qual pode ser observado a olho nu, que sua macroestrutura divide-se entre pasta cimento e agregados. Entretanto, ao observar em microscópio constata-se que o concreto possui microestrutura definida pela adição de mais um componente que é a fase de transição, justamente por obter características diferentes da pasta e do agregado. Dependendo da forma como está distribuída a microestrutura, o concreto, durante a vida útil, pode ocorrer variação de temperatura e umidade ambiente (ISAIA, 2007; MEHTA e MONTEIRO, 2008; BAUAER, 2008).

Além disso, o concreto obtém propriedades tais como massa específica e capacidade de resistir a esforços mecânicos (a resistência à compressão do concreto é dez vezes maior que a resistência à tração, e esta, na flexão é duas vezes a tração simples). Durante a vida útil pode ocorrer diversos tipos de retração, deformações e fluência (ISAIA, 2007; MEHTA e MONTEIRO, 2008; BAUAER, 2008).

2.2 Resistência à compressão do concreto

A dosagem do concreto é definida quando é estabelecido à resistência característica (f_{ck}). O concreto produzido deve-se submeter à cura aos 28 dias, posteriormente, ensaiados por um método destrutivo ou não destrutivo, o que determina a resistência à compressão (f_{cj}). Desta forma, é possível verificar-se atendimento às exigências de projeto (MACHADO, 2005).

Entretanto, ainda podem-se ensaiar corpos-de-prova monitorando-os em idades de cura de 7, 21, 28 e 56 dias, assim como idades superiores aos 56 dias dependendo do objetivo do estudo (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.3 Ensaio destrutivos

Existem vários tipos de ensaios destrutivos, entre eles destaca-se o ensaio de ruptura de corpos-de-prova pela máquina de ensaios mecânicos (prensa de ensaio). O ensaio é executado até a ruptura do corpo-de-prova para obter a resistência à

compressão, ou seja, o máximo carregamento que o corpo-de-prova possa resistir NBR 5739 (ABNT, 2007). A prensa de ensaios apresenta programas computacionais para romper o corpo-de-prova, e ainda, programas capazes de estabilizar o carregamento em um determinado patamar, repetindo este processo de modo sequencial sendo aplicada carga a vários patamares, até a ruptura do corpo-de-prova (EMIC, 2014).

A Figura 1 mostra a máquina de ensaios mecânicos, onde são aplicados patamares de carregamento e ruptura dos corpos-de-prova, a carga máxima é de 200kN.

Figura 1 - Máquina ensaios mecânicos, utilizada para aplicação de patamares de carregamento e ruptura de corpos-de-prova



Fonte: EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaios LTDA

Na Figura 2 mostra a máquina de ensaios mecânicos, os corpos-de-prova são aplicados carga até a ruptura podendo chegar a carga máxima de 1500kN.

Figura 2 - Máquina ensaios mecânicos, utilizada para a ruptura de corpos-de-prova



Fonte: EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaios LTDA.

2.4 Ensaios não destrutivos

Os ensaios não destrutivos são técnicas consolidadas e que servem para realizar a avaliação do comportamento de uma estrutura existente. A execução dos ensaios possibilita a sondagem qualitativa dos materiais utilizados no concreto, diminuindo dúvidas sobre o processo de fabricação (MACHADO, 2005; PEREIRA, 2010).

Os ensaios podem ser executados sem a ocorrência de perdas ou danos estruturais, pois não há remoção de amostras, causando somente algumas marcas dos golpes executados (EVANGELISTA, 2002; FERREIRA, 2011)

Além disso, é possível realizar um número maior de ensaios, pois o número de pontos da aplicação do ensaio pode variar, conseqüentemente, uma investigação mais abrangente da estrutura em estudo. Os resultados possuem disponibilidade imediata. Segundo, Machado, 2005 eles proporcionam:

A determinação do valor da resistência à compressão do concreto (f_{ck}) implica no carregamento de corpos-de-prova até a sua ruptura, não devendo-se esperar que este valor seja medido, e sim avaliado de maneira aproximada por meio de ensaios não destrutivos (MACHADO, 2005, p.6).

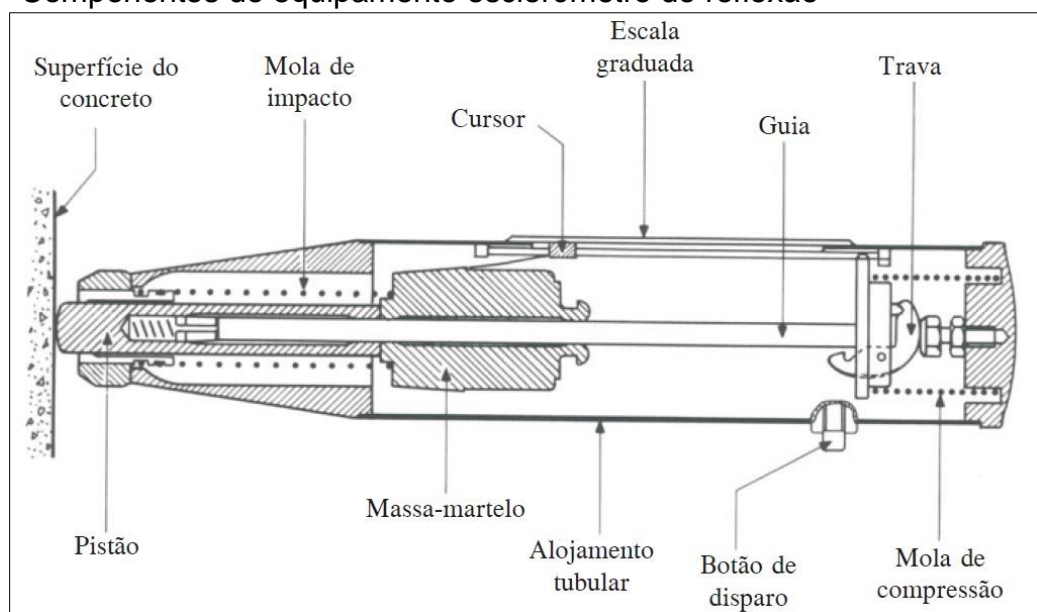
Estes ensaios podem ser empregados em estruturas novas, nas idades cura de 7, 14, 21, 28 dias, sendo possível monitorar a evolução da resistência durante a vida útil, também podem ser utilizados em estruturas mais antigas, já existentes, edificadas, objetivando avaliar a integridade e a capacidade resistente à solicitações (EVANGELISTA, 2002; PEREIRA, 2010).

2.4.1 Ensaio de esclerometria de reflexão

O esclerômetro de reflexão avalia a dureza superficial do corpo-de-prova e é prescrita pela NBR 7584 (ABNT, 2012). O valor da leitura do índice esclerométrico por meio de correlações é aplicado na verificação da uniformidade e na estimativa da resistência à compressão do concreto.

O esclerômetro é um equipamento leve, simples de operar e barato. Com esse instrumento é possível avaliar a uniformidade da resistência mecânica do concreto *in loco*, com danos praticamente nulos à superfície do material (EVANGELISTA, 2002). Porém, os valores obtidos nem sempre são precisos, pois dependem da uniformidade da superfície, da condição de umidade, da carbonatação superficial e da rigidez do elemento estrutural (PEREIRA, 2010). O equipamento e seus componentes são ilustrados na Figura 3.

Figura 3 – Componentes do equipamento esclerômetro de reflexão

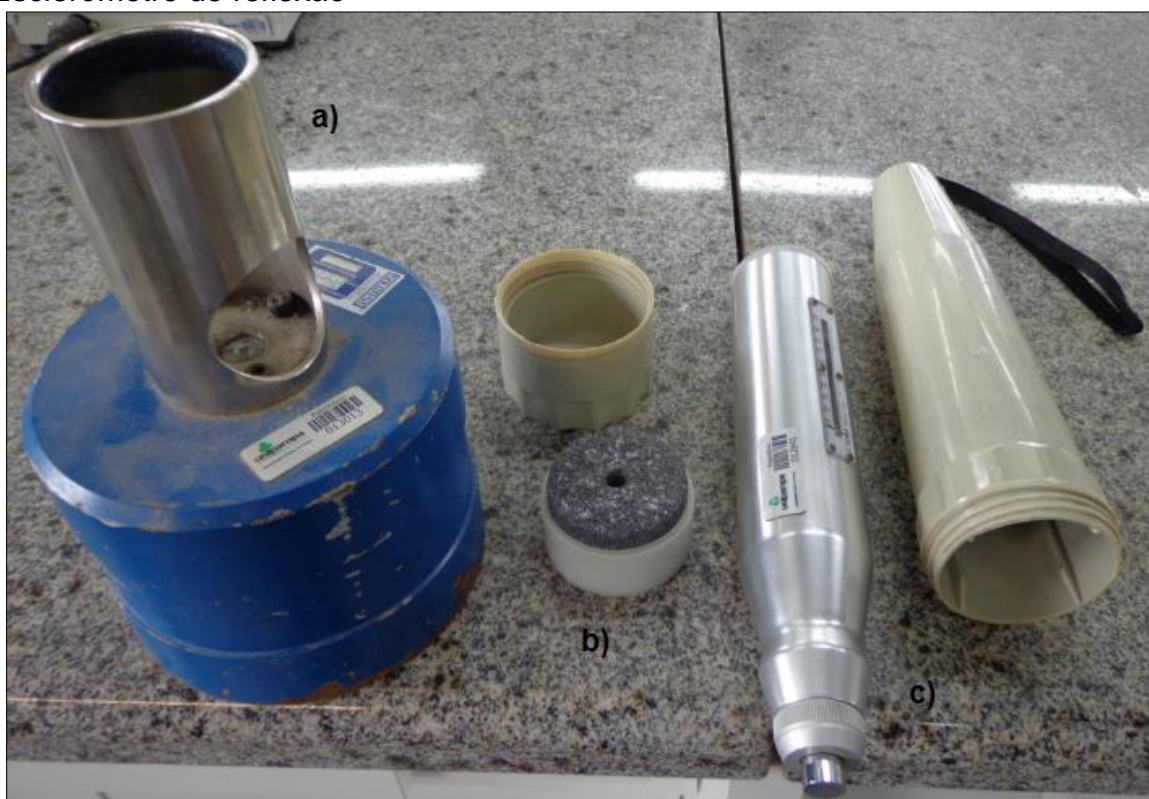


Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

2.4.2 Método de ensaio

O ensaio é realizado por meio do esclerômetro de reflexão de Schmidt, é constituído por uma pedra de desbaste, bigorna e o corpo do equipamento. Na Figura 4 mostra os materiais que são constituídos o ensaio.

Figura 4 - Materiais constituintes do esclerômetro: a) Bigorna; b) Pedra de desbaste; c) Esclerômetro de reflexão



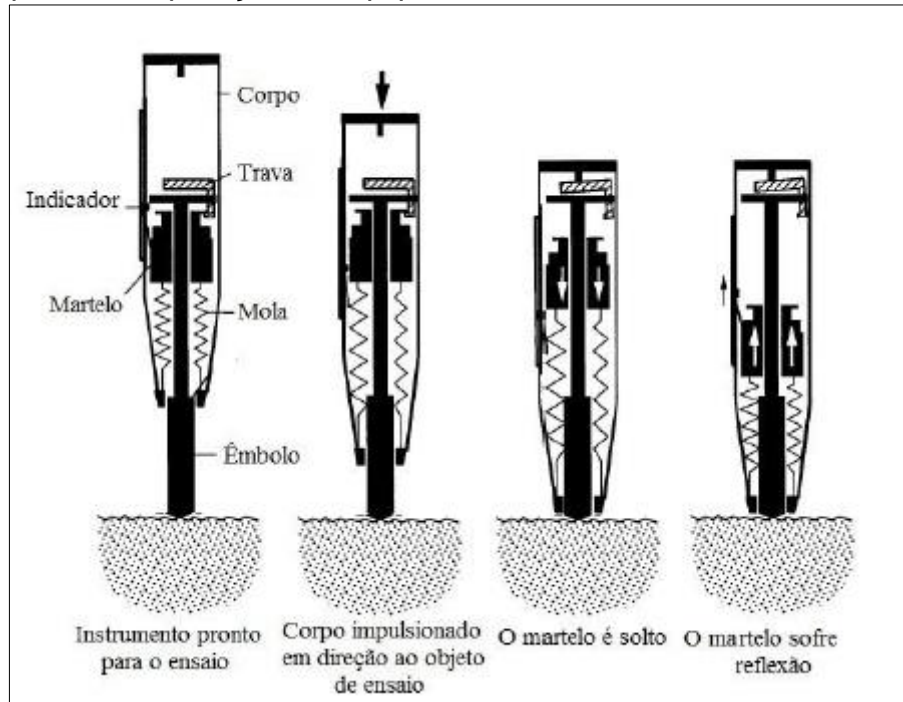
Fonte: Elaboração própria

O método de ensaio consiste no uso do equipamento, esclerômetro reflexão, que constitui um martelo controlado por mola que transmite uma carga a um êmbolo, que causa um impacto a superfície, avaliando a dureza superficial de uma estrutura ensaiada (NBR 7584, 2012).

O equipamento é posicionado de modo que o operador deve pressionar o êmbolo (componente localizado em uma das extremidades do aparelho) contra superfície de concreto. O êmbolo e o martelo estão sendo empurrados para o interior do aparelho. Dessa forma, a trava libera o martelo que impõe uma energia de impacto no êmbolo transmitindo à superfície de concreto. A energia refletida volta com mesma intensidade, movimentando o martelo, até que seja medida no leitor

(localizado corpo do equipamento), o impacto refletido (NBR 7584, 2012). Na Figura 5 é possível visualizar como ocorre o ensaio de esclerometria.

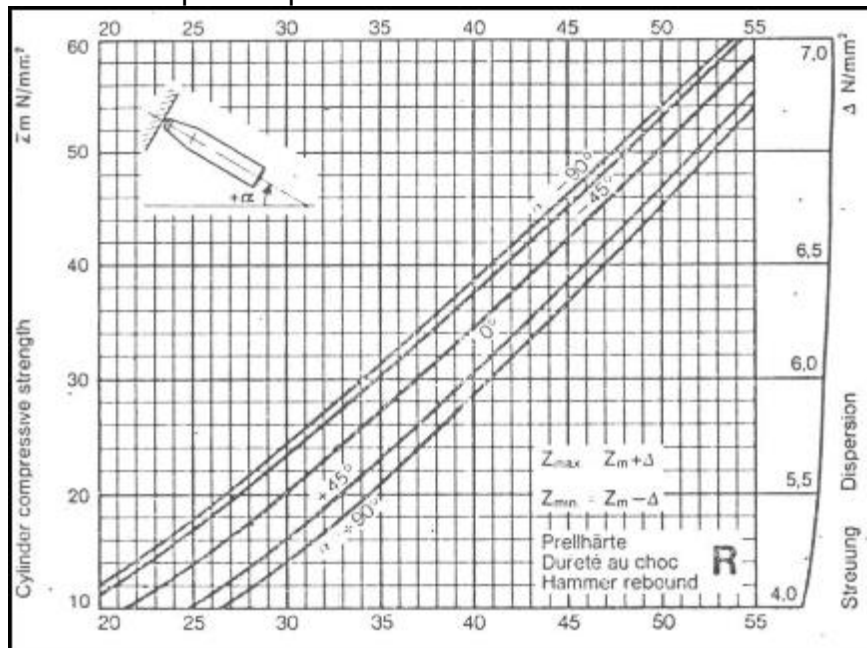
Figura 5 – Esquema de operação do equipamento esclerômetro de reflexão



Fonte: ACI 228.1R-03, 2003

A leitura da energia de impacto é denominada índice esclerométrico (IE) e possui unidade de medida adimensional. Na parte externa do corpo do aparelho localiza-se um ábaco, da relação do índice esclerométrico, com a resistência à compressão levando em consideração a posição do equipamento no ensaio (NBR 7584, 2012). Na Figura 6 é possível visualizar a ábaco no corpo do aparelho para determinar a resistência à compressão.

Figura 6 – Âbaco no corpo do aparelho



Fonte: Fabricante Schimit

Para que a obtenção dos resultados da dureza superficial apresente melhor acurácia, é preciso que equipamento seja calibrado na bigorna, obtendo a leitura de 10 índices esclerométricos da NBR 7584 (ABNT, 2012).

Os índices esclerométricos obtido na bigorna, mais o número destes impactos e o índice esclerométrico nominal obtém-se o coeficiente de correlação de impacto 'k'. Este coeficiente correlaciona o índice impacto, corrigindo o índice esclerométrico, sendo dependente das variáveis encontrada na bigorna, conforme a equação 1 (NBR 7584, 2012).

$$k = \frac{n \cdot I_{Enom}}{\sum_{i=1}^n I_{Ei}} \quad \dots(1)$$

Em que:

k - é o coeficiente de correção do índice de impacto;

n - é número de impactos na bigorna de aço;

I_{Enom} - é o índice esclerométrico nominal, informado pelo fabricante;

I_{Eef} - é o índice esclerométrico médio efetivo;

Após, obtido o k, a próxima etapa é limpar a superfície do corpo-de-prova com pedra de desbaste. Em seguida é possível ensaiar o corpo-de-prova com

esclerômetro. O número de pontos a ser impactado deve ser no mínimo 9 pontos, para obter resultados mais precisos, que recomenda calcular a média de todos os pontos, desprezar todo valor de índice esclerométrico individual que esteja afastado mais de 10% do valor médio obtido e calcular novamente a média aritmética. O índice esclerométrico efetivo é obtido pelo coeficiente de impacto k e média dos índices esclerométricos. Conforme podemos verificar na Equação 2:

$$IE_{ef} = k \cdot IE \quad \dots(2)$$

IE_{ef} - índice esclerométrico médio efetivo;

k - coeficiente de correção do índice de impacto;

IE - índice esclerométrico médio;

2.4.3 Fatores influentes na determinação da resistência a compressão do concreto pelo ensaio de esclerometria

O ensaio permite obter informações até uma profundidade de concreto de no máximo 5 cm, de forma que fenômenos como a carbonatação, a rugosidade ou a umidade na superfície afetam os resultados. Tais resultados podem sofrer influência pelo tipo de aparelho e pela posição de realização do ensaio. Ainda existem outros fatores influenciadores nesta correlação dos índices esclerométricos com a resistência à compressão (massa específica, estado de tensão, proximidade entre a área de ensaio e uma falha no concreto, esbeltez do elemento estrutural, temperatura do esclerômetro e do concreto, consumo de cimento, tipo de cura, superfícies calcinadas por altas temperaturas/incêndio). Tais fatores são prejudiciais tanto ao concreto, quanto ao ensaio, porque pode haver uma dispersão de grande resultados de um ponto, para outro, inviabilizando o ensaio (EVANGELISTA, 2002; MACHADO, 2005; PEREIRA, 2010).

Existem fatores que estão ligados ao concreto no estado fresco que influencia na determinação da dureza superficial, do que no concreto no estado endurecido, podendo existir fatores intrínsecos e extrínsecos (MACHADO, 2005; PEREIRA, 2010; PALACIOS, 2012).

Relação água cimento

Para Mehta e Monteiro (2008) a relação água cimento influi diretamente em outros fatores que diminui a resistência bem como o aumento da porosidade do concreto, tanto matriz de cimento, como zona de transição entre cimento e agregado graúdo.

Agregado

A composição granulométrica, forma geométrica dos agregados, porosidade, massa específica, determinam as propriedades do concreto no estado fresco. Tais características podem afetar a resistência do concreto, bem como sua dureza e módulo de elasticidade e conseqüentemente, influenciam várias propriedades do concreto endurecido que contenha o agregado (ISAIA, 2007; BAUAER, 2008).

Cimento

É possível comparar a matriz de concreto por meio de parâmetros como tipo de cimento para uma determinada aplicação desde um cimento, alta resistência à compressão inicial ao tipo de cimento mais comum, a idade e porosidade (ISAIA, 2007; BAUAER, 2008).

Teor de ar incorporado ao concreto

O teor de ar incorporado está diretamente relacionado com a relação água/cimento, este contribui para o aumento da porosidade obtido pelo emprego de aditivos, ou adensamento inadequado ocasionando perda de resistência do concreto. Conforme aumenta a porosidade, o ar incorporado, analisando mecanicamente, tende a uma ação negativa quanto à resistência, mas existem produções de concreto com baixo consumo de água e de cimento, que podem atribuir-se a trabalhabilidade e compacidade da mistura (ISAIA, 2007; MEHTA e MONTEIRO, 2008; BAUAER, 2008).

Umidade do concreto

Os corpos-de-prova que encontram-se úmidos podem reduzir os valores dos índices esclerométricos. Caso estiver apresentando apenas umidade superficial, os resultados praticamente não sofrem efeitos, por isso é recomendável executar o ensaio de esclerometria em corpos-de-prova secos. Segundo a norma NBR 7584 (ABNT, 2012) a diferença pode chegar variação dos índices esclerométricos até 20% de um concreto úmido para um concreto seco.

Carbonatação do concreto

De acordo com a norma NBR 7584 (ABNT, 2012) a carbonatação pode superestimar os índices esclerométricos, recomendando-se o uso de fatores corretivos minimizam tal efeito.

2.4.4 Vantagens e desvantagens da aplicação do índice esclerométrico

Vantagens

É um ensaio econômico, por não envolver grande investimento inicial na aquisição do equipamento. A portabilidade é outra importante característica e não necessita de fonte de alimentação de energia, podendo executar o ensaio em qualquer lugar. O equipamento provoca pequenas marcas à superfície de ensaio, não comprometendo a integridade da estrutura (EVANGELISTA, 2002; MACHADO, 2005; PEREIRA 2010; FERREIRA, 2011; PALACIOS, 2012).

Desvantagens

A pouca precisão dos resultados obtidos, caso seja ensaiado um número reduzido de pontos, possibilitando-o somente para uma avaliação qualitativa (EVANGELISTA, 2002; MACHADO, 2005; PEREIRA 2010; FERREIRA, 2011; PALACIOS, 2012).

Os resultados nem sempre são fáceis de interpretar, exigindo bastantes leituras para ter alguma viabilidade, ou o cruzamento com resultados de outras técnicas. Além disso, os resultados são também dependentes de uma boa calibração do aparelho (EVANGELISTA, 2002; MACHADO, 2005; PEREIRA 2010; FERREIRA, 2011; PALACIOS, 2012).

2.4.5 Acurácia

A acurácia da resistência estimada fica em torno +15 a +20 % desde que os corpos-de-prova sejam ensaiados em condições iguais, também sejam moldados e curados em condições idênticas para consolidar as curvas de correlação (MALHOTRA, 1984).

Segundo Facaoaru (1984), a acurácia é definida da seguinte maneira:

- a) 12 a 18% - quando estão disponíveis corpos de prova ou testemunhos e a composição do concreto,
- b) 15 a 20% - quando estão disponíveis apenas os corpos de prova ou testemunhos,
- c) 18 a 28% - quando se conhece apenas a composição do concreto,
- d) acima de 30 % - quando apenas dados auxiliares são conhecidos, mas com a condição de que a idade do concreto não seja maior do que um ano.

O estudo realizado por Hobbs e Tchoketch (2006) apresenta em seus resultados que o índice esclerométrico é maior em, aproximadamente, duas unidades nas medições realizadas nas superfícies dos corpos-de-prova moldados em fôrmas de madeira em comparação aos moldados em formas plásticas, para uma mesma resistência do concreto. Assim, esta variação é constante e significativa, segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012) a presença de umidade superficial podendo ser responsável por variações nos índices esclerométricos de até 20%.

3 METODOLOGIA

Para esse fim, foi realizada a moldagem de corpos de prova com dois tipos de concretos que apresentam resistências à compressão de 30 MPa (M-1) e 35 MPa (M-2). Após a moldagem dos corpos de prova, os mesmos permaneceram em processo de cura por 28 e 56 dias. Posteriormente, a cada idade de cura realizou-se os ensaios para a verificação da resistência à compressão e do índice esclerométrico nas idades citadas.

O ensaio de esclerometria foi realizado com o monitoramento da carga da máquina de ensaios mecânicos que foi estabilizada a determinados patamares, referenciadas à carga de ruptura para ser analisado o índice esclerométrico.

3.1 Materiais

Os materiais que compõe as misturas apresentadas neste trabalho foram caracterizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Unipampa campus Alegrete.

Os materiais apresentam as seguintes características: a areia é média fina com o módulo de finura 1,44 e massa específica 2640 kg/m³; a brita é comercializada como brita 1, e possui dimensão máxima característica de 19 mm, módulo de finura de 5,67 e massa específica 2800 kg/m³; o cimento usado foi o cimento Portland CP IV, com massa específica 2720 kg/m³. A Figura 7 mostra os materiais utilizados para a produção do concreto.

Figura 7 - Materiais utilizados para as misturas do concreto



Fonte: Elaboração própria

3.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados foram: a betoneira para produção dos concretos; o tronco de cone de Abrams para verificar a trabalhabilidade; máquina de ensaios mecânicos da marca EMIC PC150 que tem capacidade para 1500 kN; e a Máquina Universal de Ensaios microprocessada EMIC modelo DL20000 que tem capacidade para 200kN, ambas para ensaiar os corpos-de-prova à compressão e o esclerômetro de reflexão. Na Figura 8 é possível identificar os respectivos equipamentos:

Figura 8 - Equipamentos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa



a) Betoneira



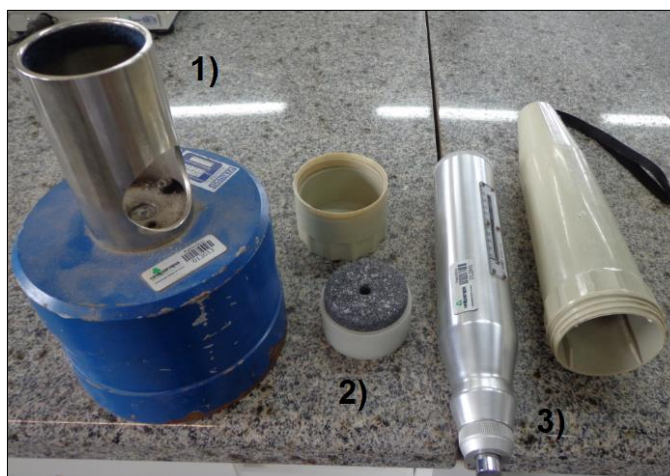
b) Tronco de cone para abatimento



c) Máquina ensaios mecânicos EMIC PC150



d) Máquina ensaios mecânicos EMIC DL2000



e) Equipamento de esclerometria: 1) Bigorna; 2) Pedra de desbaste; 3) Esclerômetro de Reflexão

Fonte: Elaboração própria

3.3 Dosagem

Neste trabalho as moldagens foram realizadas para os concretos de resistência à compressão aos 28 dias, referentes à mistura M-1 de 30 MPa e da mistura M-2 de 35 MPa. O traço M-1 foi obtido pelo método de dosagem proposto por Campiteli (2004). O traço M-2 foi determinado através do método IPT/EPUSP, dosado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Unipampa campus Alegrete. Os traços dos concretos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição das misturas M-1 e M-2

| Mistura | M-1 | M-2 |
|------------------|---------------------------|---------------------------|
| Materiais | (kg/m³) | (kg/m³) |
| Cimento | 381,65 | 371,39 |
| Areia | 751,86 | 787,34 |
| Brita | 1045,73 | 1069,6 |
| Água | 201,36 | 184,21 |

Fonte: Elaboração própria

3.4 Propriedades do concreto

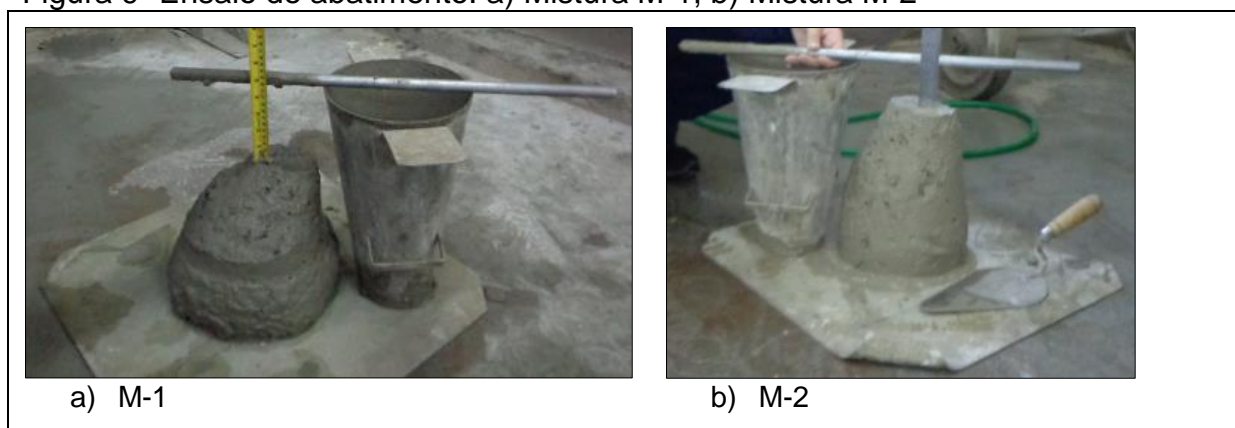
3.4.1 Concreto fresco

As misturas dos materiais ocorreram no Laboratório de Materiais Construção Civil da Unipampa campus Alegrete. Os materiais depois de secos em estufa foram pesados de modo que se enquadrassem nas respectivas dosagens M-1 e M-2. Em seguida os materiais foram misturados na betoneira na seguinte ordem: colocou-se a brita; dois terços da água de amassamento; misturaram-se esses materiais por 1 minuto; logo em seguida colocou-se o cimento; misturou-se mais 1 minuto; após colocou-se toda areia, misturando por mais 1 minuto; em seguida foi adicionado o restante da água e a mistura ocorreu por mais 3 minutos.

Após o termino da mistura a trabalhabilidade foi determinada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone que consiste em colocar uma massa de concreto dentro do tronco de cone em 3 camadas, executando 25 golpes com uma haste de adensamento em cada uma das camadas, conforme a norma NBR NM 67 (ABNT

1998). A Figura 9 mostra uma imagem dos ensaios de abatimento das misturas M-1 e M-2.

Figura 9- Ensaio de abatimento: a) Mistura M-1; b) Mistura M-2



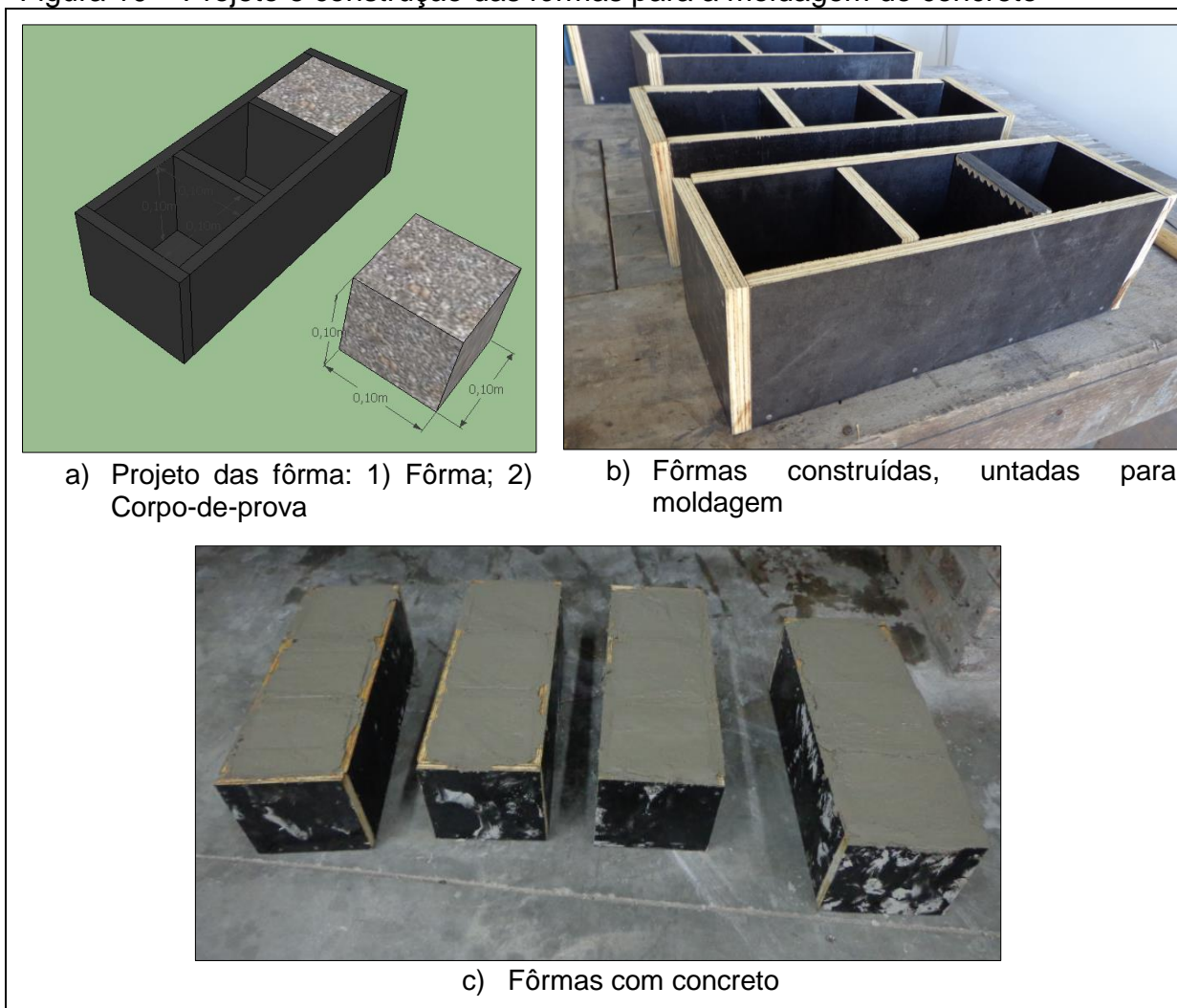
Fonte: Elaboração própria

As amostras foram moldadas em duas camadas, sendo que em cada camada foram aplicados 12 golpes com a haste de adensamento. Após a moldagem, os corpos-de-prova permaneceram nas formas por 24 horas, e depois, foram desmoldados e colocados imersos em água para a cura, até as idades de 28 e 56 dias, idades essas de ensaio.

A moldagem ocorreu em corpos-de-prova de dimensões 10x10x10 cm. Esta dimensão foi escolhida, porque a máquina de ensaios mecânicos EMIC DL20000 possui um limite máximo de carga de 200 kN. Dessa forma, o maior carregamento que pode ser usado é de 50% da carga de ruptura, que para um concreto de 35 MPa é de 175 kN (< 200 kN). Por isso foi usado esta dimensão para os corpos-de-prova. Dessa forma, esta máquina de ensaios mecânicos foi usada apenas para aplicações de patamares de carregamentos, a ruptura dos corpos-de-prova ocorreu na EMIC PC150, que possui uma capacidade de carga superior ao carregamento máximo dos concretos das misturas M-1 e M-2.

As fôrmas foram confeccionadas com chapa de compensado adquirida no comércio local. A Figura 10 mostra a perspectiva e fôrmas que foram usadas no experimento.

Figura 10 – Projeto e construção das fôrmas para a moldagem do concreto



Fonte: Elaboração própria

3.4.2 Concreto endurecido

Os ensaios de verificação da resistência à compressão e do índice esclerométrico (IE), foram executados nos corpos-de-prova nas idades de cura de 28 e 56 dias.

3.4.2.1 Ensaio de verificação da resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi executado na máquina de ensaios EMIC PC 150C, na qual foram rompidos 4 corpos-de-prova (CPs) conforme

prescrição da norma NBR 5739 (ABNT, 2007). Na Figura 12 observa-se um corpo-de-prova na máquina de ensaio.

Figura 11 – Máquina utilizada na ruptura do corpo-de-prova



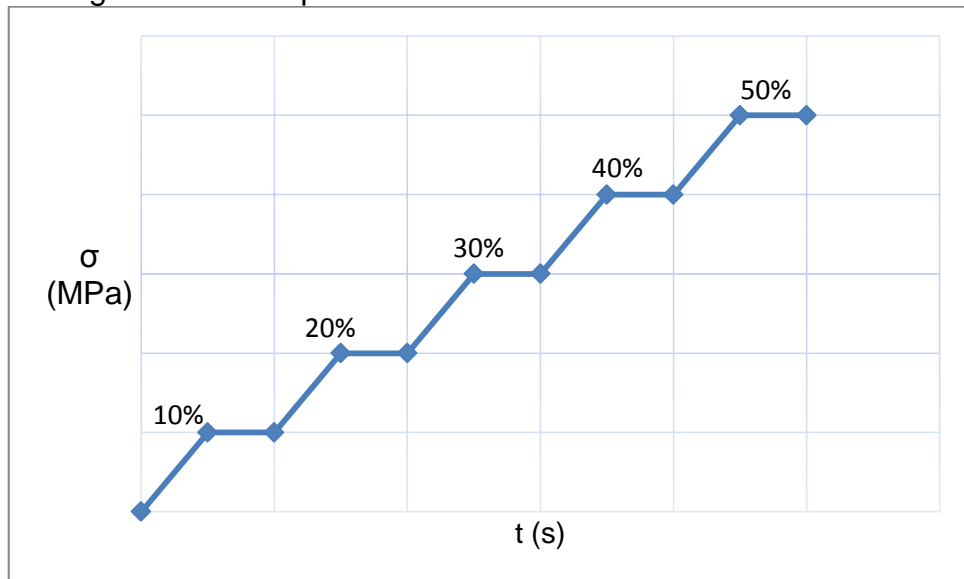
Fonte: Elaboração própria

Dessa forma, foi obtida a carga e a tensão máxima, a qual serviu de base para determinação dos patamares correspondentes para o ensaio de IE.

3.4.2.2 Ensaio de esclerometria nos corpos-de-prova sob tensão

Para os ensaios de IE sob carga, os testes foram realizados na máquina EMIC DL 20000. Os patamares de carregamentos utilizados foram 0%, 10%, 20% 30% 40% e 50% da carga de ruptura. Na Figura 12 é possível verificar um exemplo dos patamares de estudo.

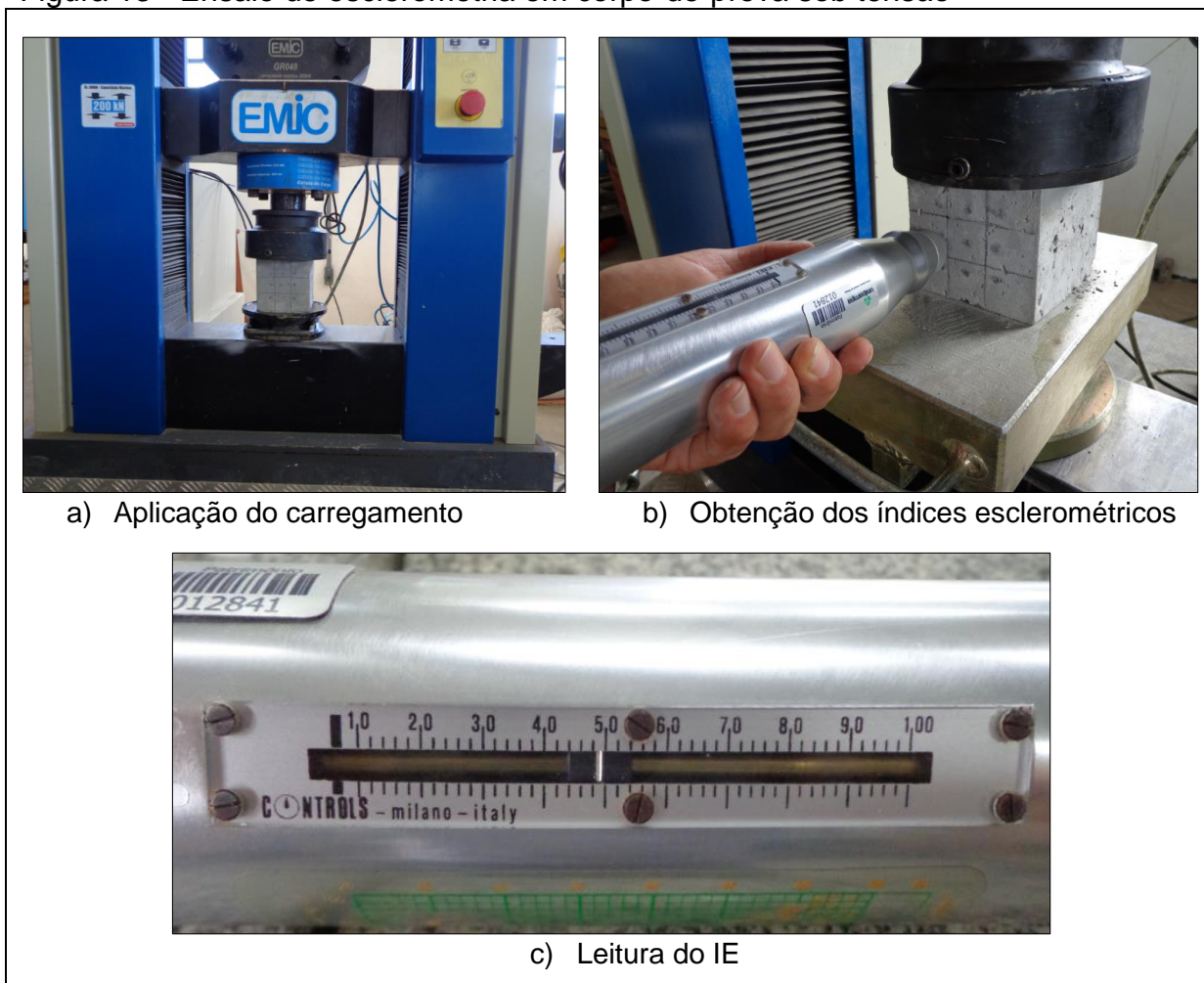
Figura 12 – Carregamento x tempo



Fonte: Elaboração própria

A carga de ruptura usada como parâmetro de referência na EMIC DL 20000 é carga média da ruptura dos 4 corpos-de-prova. A cada patamar carregado foi estabilizado o carregamento para execução do ensaio de esclerometria. Após serem obtidos os índices esclerométricos, em um determinado patamar é acionada a máquina de ensaios mecânicos para elevar o carregamento até o próximo patamar, e então é repetido os ensaios de IE. O processo é repetido até o patamar de 50% da carga de ruptura. Na Figura 13 mostra como foi determinado o índice esclerométrico sob carga.

Figura 13 - Ensaio de esclerometria em corpo-de-prova sob tensão



Fonte: Elaboração própria

O ensaio de esclerometria deve seguir algumas recomendações da norma NBR 7584 (ABNT, 2012) antes da execução do ensaio, para que possa-se ter IE mais preciso. Primeiramente, foi preciso fazer uma limpeza na superfície do corpo-de-prova com a pedra de desbaste, a fim de que a superfície estivesse apta para o ensaio. O esclerômetro de reflexão foi calibrado na bigorna, na qual foram aplicados e anotados os valores de 10 golpes, conforme prescreve a norma. Dessa forma, obtém-se o coeficiente de impacto 'k' apresentada na equação 1. Na Figura 14 é ilustrado o esclerômetro sendo calibrado na bigorna e a limpeza da superfície do CP, com a pedra de desbaste.

Figura 14 – Calibragem do esclerômetro na bigorna e limpeza da superfície com a pedra de desbaste



Fonte: Elaboração própria

O ensaio esclerometria foi realizado em 9 pontos, nos quais foram descartados os pontos mais dispersos. Este descarte ocorreu conforme prescreve a norma NBR 7584 (ABNT, 2012) que recomenda calcular a média de todos os pontos, e desprezar todo valor de índice esclerométrico individual que esteja afastado mais de 10% do valor médio obtido e calcula-se novamente a média aritmética. Após, foi calculado o índice esclerométrico efetivo (IEef) conforme apresentado na equação 2. Os valores de 'k' obtidos para os ensaios referentes a cada tipo de concreto nas idades de 28 e 56 dias. O fator de correção 'k' foi de 0,95 para os ensaios na idade de 28 dias e de 0,96 para idade de 56 dias. Todos os valores encontram-se no Anexo A. Os autores Evangelista et al (2002) definem de forma usual da nomenclatura, para referir-se ao IEef como sendo IE, os valores corrigidos pelo 'k'.

Os IE serão comparados com as equações obtidas pelos autores Evangeslista (2002), Machado (2005), Palacios (2012).

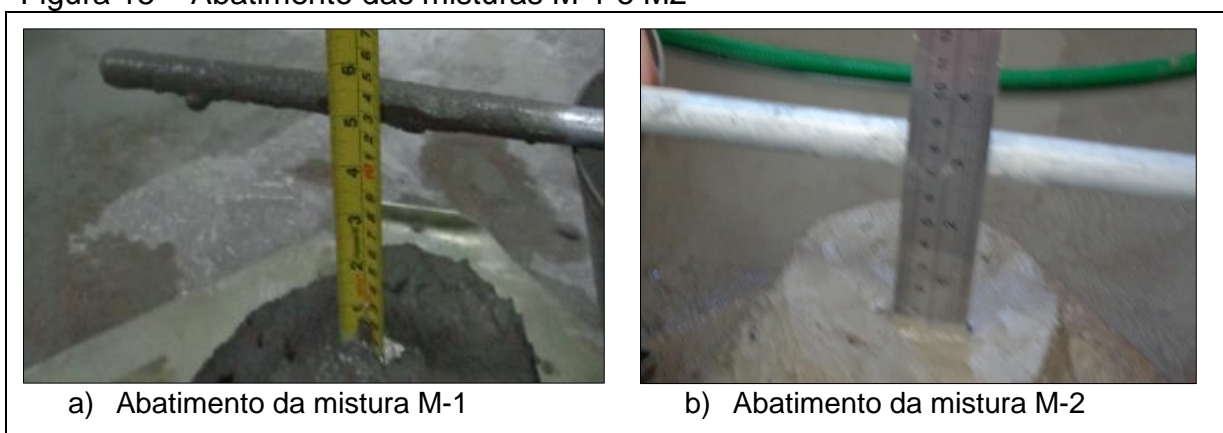
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentadas as análises e discussões dos resultados obtidos nos ensaios.

4.1 Ensaio de abatimento de tronco de cone

O ensaio de abatimento apresentou, 10,5 cm para mistura M-1 e de 7,5 cm para mistura M-2 conforme mostra a Figura 15.

Figura 15 – Abatimento das misturas M-1 e M2



Fonte: Elaboração própria

4.2 Resistência à compressão

A Tabela 2 apresenta os resultados médios da resistência à compressão, o desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (CV). Todos os dados na íntegra estão no Anexo B.

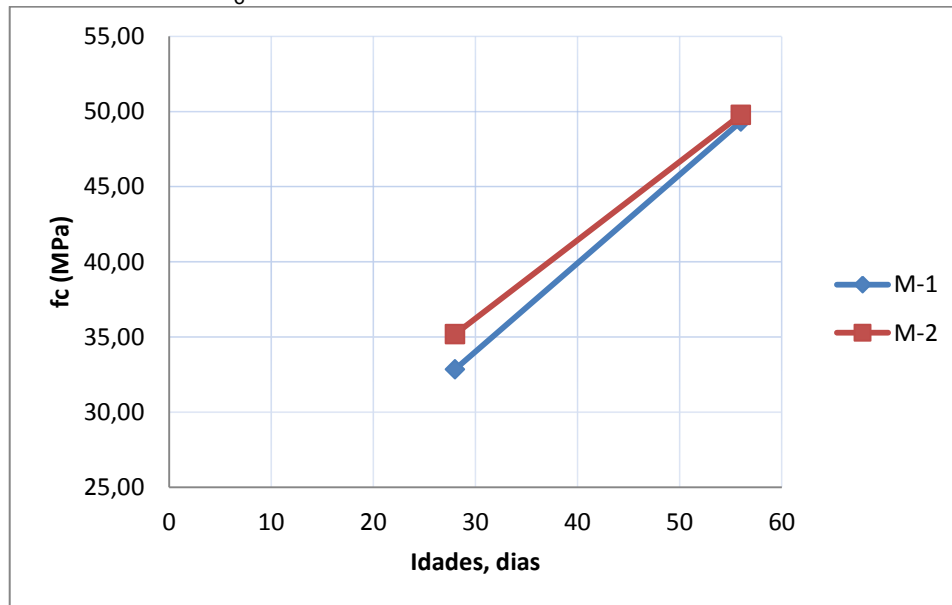
Tabela 2 – Resistência à compressão

| | f_{c28} (MPa) | σ (MPa) | CV (%) | f_{c56} (MPa) | σ (MPa) | CV (%) |
|------------|-----------------|----------------|--------|-----------------|----------------|--------|
| M-1 | 32,85 | 2,33 | 7,11 | 49,32 | 3,40 | 6,89 |
| M-2 | 35,19 | 3,66 | 10,29 | 49,78 | 3,99 | 8,02 |

Fonte: Elaboração própria

O gráfico da Figura 16 mostra a evolução da resistência à compressão ao longo das idades de cura. A mistura M-1 teve um aumento de 50,14%, enquanto a mistura M-2 apresentou um aumento de 41,46% da resistência à compressão de 28 para 56 dias, respectivamente.

Figura 16- Evolução de f_c com a idade



Fonte: Elaboração própria

4.3 Resistência à compressão x Índice esclerométrico

A Tabela 3 e a Tabela 4, com base no Anexo C, apresentam os resultados médios dos IE aos 28 dias de idade, obtidos para as misturas M-1 e M-2, respectivamente. Os dados médios foram obtidos para os corpos-de-prova em repouso, ou seja, sem carregamento, identificado como 0%. Os demais dados referentes aos patamares da carga de ruptura.

Tabela 3 – Resultados dos índices esclerométricos do concreto M-1 aos 28 dias

| | | M-1 | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| CP Nº | | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| | Tensão (MPa) | | | | | | |
| | | 0 | 3,29 | 6,57 | 9,86 | 13,14 | 16,43 |
| | IE | | | | | | |
| 1 | | 26,82 | 36,92 | 39,22 | 41,09 | 42,96 | 45,55 |
| 2 | | 23,35 | 37,46 | 40,71 | 42,60 | 43,87 | 44,97 |
| 3 | | 23,35 | 34,35 | 38,25 | 39,29 | 41,47 | 43,55 |
| 4 | | 22,72 | 38,44 | 41,66 | 43,08 | 44,12 | 44,50 |
| Média aritmética | | 24,06 | 36,79 | 39,96 | 41,51 | 43,10 | 44,64 |
| σ (MPa) | | 1,86 | 1,74 | 1,52 | 1,71 | 1,20 | 0,85 |
| CV (%) | | 7,75 | 4,74 | 3,80 | 4,12 | 2,78 | 1,89 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4 – Resultados dos índices esclerométricos do concreto M-2 aos 28 dias

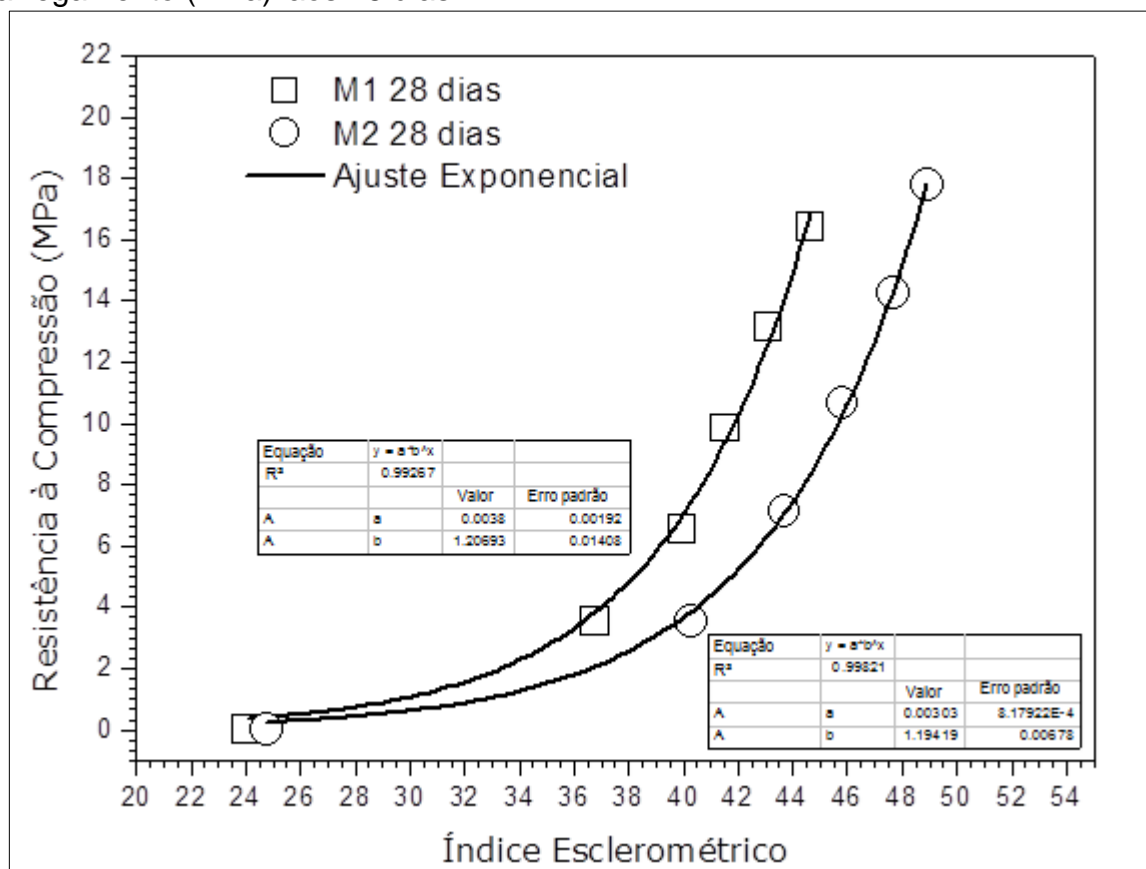
| | | M-2 | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| CP Nº | | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| | Tensão (MPa) | | | | | | |
| | | 0 | 3,56 | 7,12 | 10,68 | 14,24 | 17,79 |
| | IE | | | | | | |
| 1 | | 22,65 | 40,27 | 46,35 | 47,35 | 48,47 | 49,95 |
| 2 | | 27,38 | 40,95 | 42,59 | 45,95 | 46,94 | 47,62 |
| 3 | | 24,00 | 40,00 | 41,63 | 44,76 | 48,45 | 48,73 |
| 4 | | 25,00 | 39,88 | 44,20 | 45,20 | 47,00 | 49,33 |
| Média aritmética | | 24,76 | 40,27 | 43,69 | 45,82 | 47,71 | 48,91 |
| σ (MPa) | | 2,00 | 0,48 | 2,06 | 1,13 | 0,86 | 0,99 |
| CV (%) | | 8,07 | 1,19 | 4,72 | 2,47 | 1,80 | 2,03 |

Fonte: Elaboração própria

Nota-se na Tabela 3 e 4 que os valores do coeficiente de variação de 7,75% e 8,07%, são valores baixos, o que demonstra uma boa confiança dos dados obtidos.

A Figura 17 mostra o gráfico da evolução do índice esclerométrico em relação aos patamares de carregamento em tensão.

Figura 17 – Evolução do Índice esclerométrico efetivo com o patamar de carregamento (MPa) aos 28 dias



Fonte: Elaboração própria

Observa-se que o IE para as misturas M-1 e M-2 foram praticamente iguais, 24,06 e 24,76 respectivamente, quando comparados para a idade de 28 dias e 0% de carga. Na Figura 17 é possível observar que com o acréscimo de carga ou tensão há um aumento do IE. Percebe-se, que o aumento do IE é mais significativo para o primeiro patamar, ou seja, de 0% à 10% de carga. Para a mistura M-1 o aumento do índice esclerométrico do primeiro patamar é de 52,9%, enquanto que para a mistura M-2 é de 62,64%. Já o aumento do IE do primeiro patamar para o segundo foi de aproximadamente 8,6% para as duas misturas. A evolução do IE para os demais patamares foi de aproximadamente 3,5%, tanto para a mistura M-1 como para a mistura M-2. Dessa forma, é possível observar que o IE aumenta com o aumento da carga aplicada, pelo menos até o patamar referente a 50% da carga de ruptura.

Com os dados obtidos do IE foi possível realizar um ajuste exponencial através da equação: $y = a \cdot b^x$. Assim, foi possível obter um alto valor de correlação para o ajuste realizado. As constantes 'a' e 'b', são diferentes para as misturas M-1 e

M-2, assim como 'x', que representa os valores de IE. Além disso, a correlação (R^2) para os dados utilizando a equação foi de 0,99 para ambas as misturas M-1 e M-2.

As Tabelas 5 e 6, com base no Anexo C, apresentam os resultados médios do IE aos 56 dias de idades obtidos para as misturas M-1 e M-2.

Tabela 5 – Resultados dos índices esclerométricos do concreto M-1 aos 56 dias

| M-1 | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| CP Nº | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| | Tensão (MPa) | | | | |
| | 0 | 4,93 | 9,86 | 14,80 | 19,73 |
| | IE | | | | |
| 1 | 27,53 | 38,47 | 41,70 | 46,24 | 51,61 |
| 2 | 25,81 | 40,94 | 43,97 | 45,40 | 47,47 |
| 3 | 25,17 | 42,60 | 45,69 | 47,60 | 50,34 |
| 4 | 25,81 | 36,46 | 37,70 | 43,17 | 46,04 |
| Média aritmética | 26,08 | 39,62 | 42,26 | 45,60 | 48,86 |
| σ (MPa) | 1,01 | 2,71 | 3,45 | 1,86 | 2,56 |
| CV (%) | 3,88 | 6,83 | 8,17 | 4,07 | 5,24 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6 – Resultados dos índices esclerométricos do concreto M-2 aos 56 dias

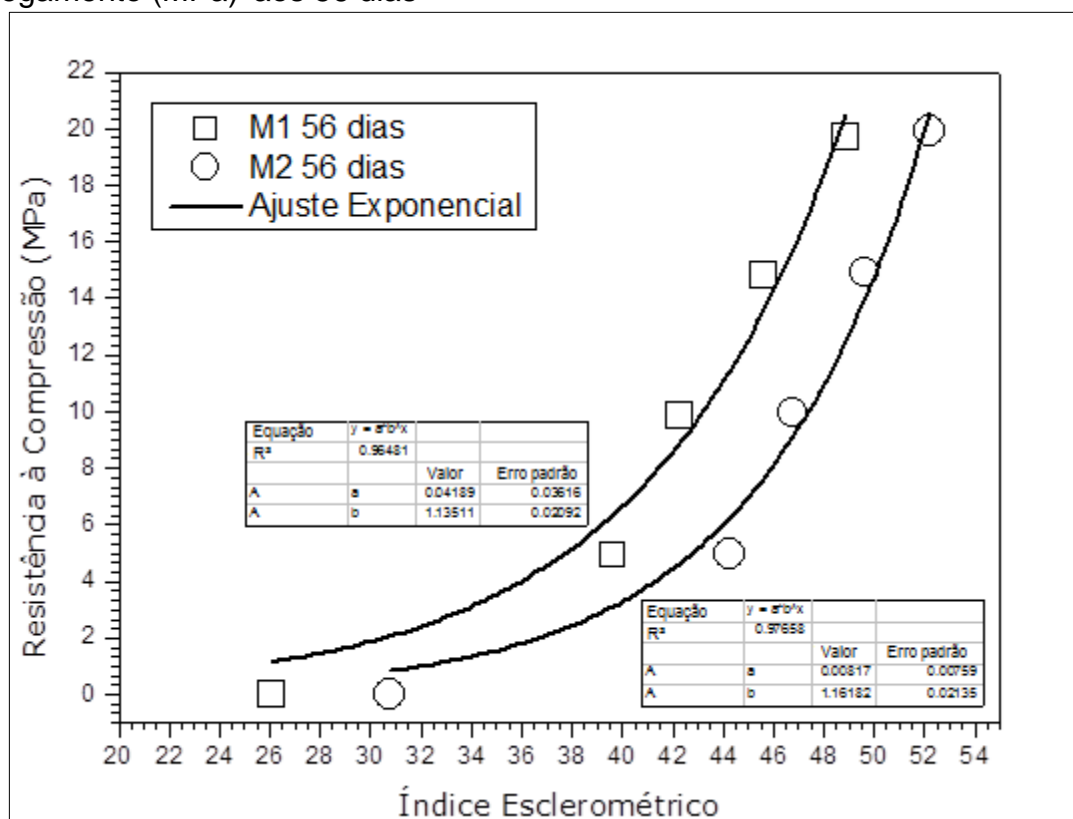
| M-2 | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| CP Nº | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| | Tensão (MPa) | | | | |
| | 0 | 4,98 | 9,96 | 14,93 | 19,91 |
| | IE | | | | |
| 1 | 29,25 | 43,20 | 46,20 | 48,90 | 51,29 |
| 2 | 30,97 | 42,60 | 45,08 | 48,00 | 50,30 |
| 3 | 32,14 | 47,00 | 49,00 | 52,00 | 55,00 |
| Média aritmética | 30,79 | 44,27 | 46,76 | 49,64 | 52,20 |
| σ (MPa) | 1,46 | 2,39 | 2,02 | 2,10 | 2,48 |
| CV (%) | 4,73 | 5,39 | 4,32 | 4,22 | 4,75 |

Fonte: Elaboração própria

Nota-se nas Tabelas 5 e 6 que os índices esclerométricos foram maiores que aqueles obtidos aos 28 dias de idade. É também possível observar nas tabelas que os coeficientes de variação são baixos, comprovando a qualidade dos resultados. Verifica-se que os IE para a idade de 56 dias apresentaram uma diferença de 18% entre M-1 e M-2 0% de carga.

A Figura 18 mostra o gráfico da evolução do IE em relação aos patamares de carregamento para os ensaios realizados aos 56 dias.

Figura 18– Evolução do Índice esclerométrico efetivo com o patamar de carregamento (MPa) aos 56 dias



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 18 o comportamento dos pontos é semelhante à Figura 17. A diferença do IE para o primeiro patamar é em média 48% em relação 0% de carga, enquanto que para os demais patamares a variação do IE é de aproximadamente 7% entre eles.

Verifica-se que o ajuste foi realizado pela mesma equação utilizada para o ajuste aos 28 dias. No entanto, o valor de correlação foi inferior. A correlação para a mistura M-1 foi de 0,96 enquanto que para a mistura M-2 foi de 0,98. Admitiu-se essas correlações como aceitáveis para o ensaio realizado.

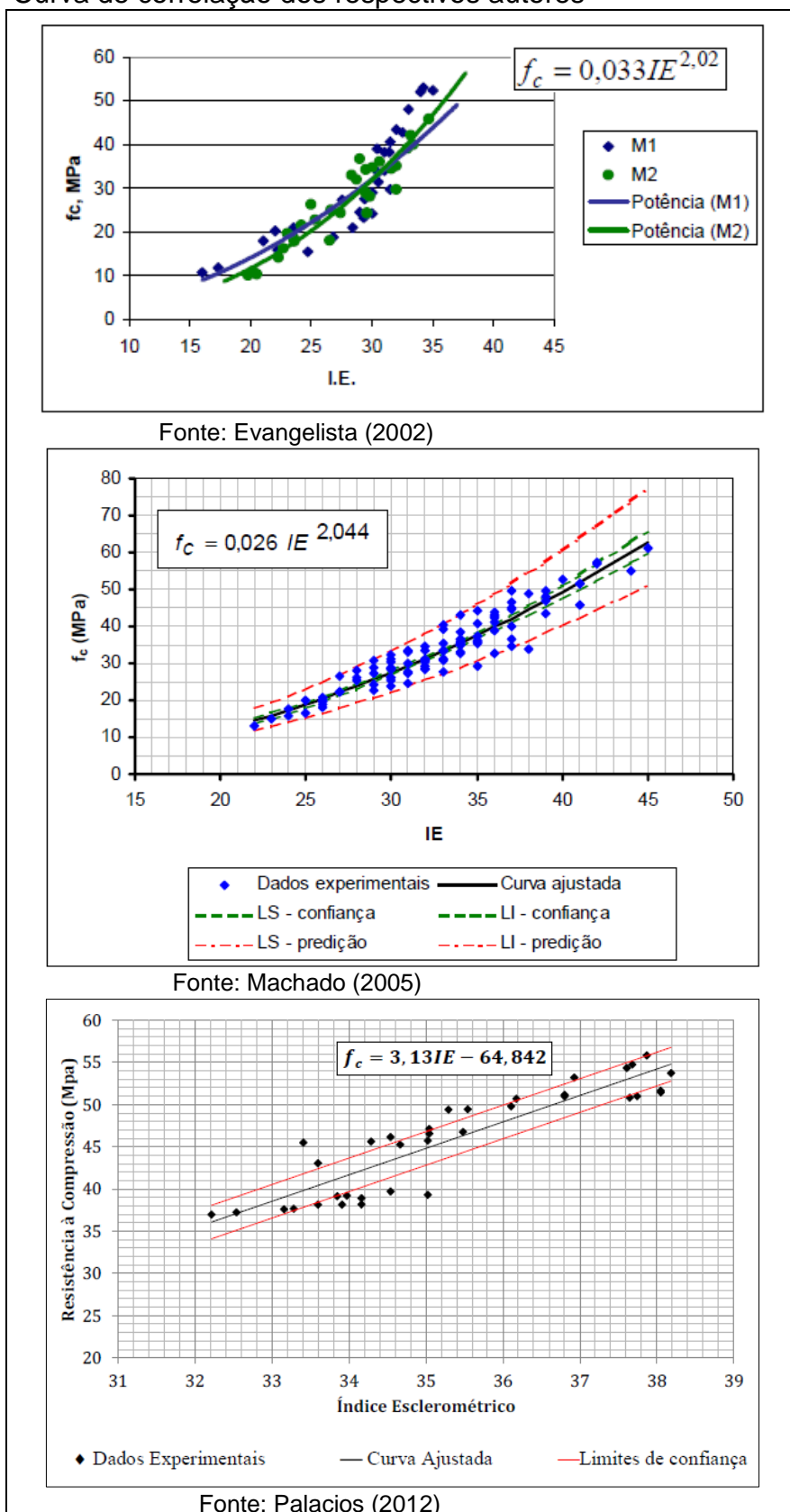
Além disso, observa-se nas Tabelas 3, 4, 5, e 6 que o índice esclerométrico aumenta com o aumento da carga aplicada no corpo-de-prova. Até o patamar de 50% de carregamento referente à carga de ruptura observa-se que a tendência é de que o IE ainda continuará aumentando.

Para entender o comportamento das misturas M-1 e M-2, foi realizada a determinação da resistência à compressão, através do IE comparando-os com as

equações desenvolvidas pelos autores Evangelista (2002) Machado (2005) e Palacios (2012).

Evangelista (2002) obteve uma equação que correlaciona a resistência à compressão com o IE igual a: $f_c=0,033IE^{2,02}$. O autor Machado (2005) obteve a equação: $f_c=0,026IE^{2,044}$. Enquanto Palacios (2012) obteve a equação: $f_c=3,13IE-64,842$. Os dados experimentais, com os ajustes as equações podem ser vistos na Figura 19. Essas equações foram obtidas para as idades de 28 dias.

Figura 19 – Curva de correlação dos respectivos autores



Fonte: Elaboração própria

Os autores Evangelista (2002) Machado (2005) e Palacios (2012) desenvolveram as equações para a determinação da resistência à compressão através de ensaios experimentais em corpos-de-prova em repouso, ou seja, sem nenhuma aplicação de carga. Com base nas equações dos autores foram geradas as Tabelas 7, 8, 9 e 10; usando os IE médios obtidos nesta pesquisa.

Tabela 7 – Resistência à compressão usando os IE médios obtidos nesta pesquisa com as equações dos autores para mistura M-1 aos 28 dias

| M-1 28 dias | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Patamares de carregamento (0%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Autores | fc (MPa) | | | | | |
| Evangelista | 20,36 | 48,02 | 56,73 | 61,28 | 66,10 | 70,96 |
| Machado | 17,32 | 41,25 | 48,83 | 52,79 | 57,00 | 61,24 |
| Palacios | 10,48 | 50,33 | 60,23 | 65,10 | 70,07 | 74,89 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 8 - Resistência à compressão usando os IE médios obtidos nesta pesquisa com as equações dos autores para mistura M-2 aos 28 dias

| M-2 28 dias | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Patamares de carregamento (0%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Autores | fc (MPa) | | | | | |
| Evangelista | 21,57 | 57,63 | 67,94 | 74,77 | 81,17 | 85,32 |
| Machado | 18,35 | 49,62 | 58,61 | 64,58 | 70,17 | 73,80 |
| Palacios | 12,65 | 61,22 | 71,91 | 78,56 | 84,50 | 88,24 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 9 - Resistência à compressão usando os IE médios obtidos nesta pesquisa com as equações dos autores para mistura M-1 aos 56 dias

| M-1 56 dias | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|
| Patamares de carregamento (0%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| Autores | fc (MPa) | | | | |
| Evangelista | 23,95 | 55,75 | 63,53 | 74,07 | 85,17 |
| Machado | 20,41 | 47,98 | 54,76 | 63,96 | 73,67 |
| Palacios | 16,78 | 59,16 | 67,44 | 77,89 | 88,11 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 10 - Resistência à compressão usando os IE médios obtidos nesta pesquisa com as equações dos autores para mistura M-2 aos 56 dias

| M-2 56 dias | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|
| Patamares de carregamento (0%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| Autores | fc (MPa) | | | | |
| Evangelista | 33,50 | 69,76 | 77,92 | 87,91 | 97,31 |
| Machado | 28,65 | 60,20 | 67,33 | 76,06 | 84,30 |
| Palacios | 16,78 | 59,16 | 67,44 | 77,89 | 88,11 |

Fonte: Elaboração própria

Conforme pode-se observar, comparando os valores de resistência à compressão usando os IE sem carga, os valores encontrados pelas equações dos autores Evangelista (2002) Machado (2005) e Palacios (2012), apresentam resistências inferiores às obtidas no ensaio de ruptura desse trabalho, para a idade de 28 dias (ver Tabela 2).

O valor encontrado com a equação de Evangelista (2002) foi de 20,36 MPa para a mistura M-1, enquanto que essa mistura apresentou resistência de 32,85 MPa, ou seja, um valor aproximadamente 60% menor. O mesmo aconteceu para a mistura M-2. Nota-se também que para as equações dos outros autores, Machado (2005) e Palacios (2012), essa diferença foi maior ainda, com diferenças superiores a 90%, tanto para mistura M-1 como para M-2.

Com o intuito de continuar a comparação foram determinados os valores de resistência para os demais patamares e nenhuma correlação pode ser obtida, tanto para a idade 28 como para 56 dias.

Com os dados das tabelas 7 a 10 foram plotados os gráficos das figuras 20 a 23. Nesses gráficos foi possível observar que os índices esclerométricos obtidos nessa pesquisa as curvas apresentam praticamente lineares. Dessa forma, foram determinados, a partir das resistências à compressão apresentados na Tabela 2, quais seriam os índices esclerométricos que deveriam ser obtidos pelas equações dos autores Evangelista (2002) Machado (2005) e Palacios (2012). Os resultados são apresentados na Tabela 11. Nota-se que os valores do IE encontram-se entre os valores obtidos entre o patamar de 0% e 10% para a idade de 28 dias e 56 dias de idade.

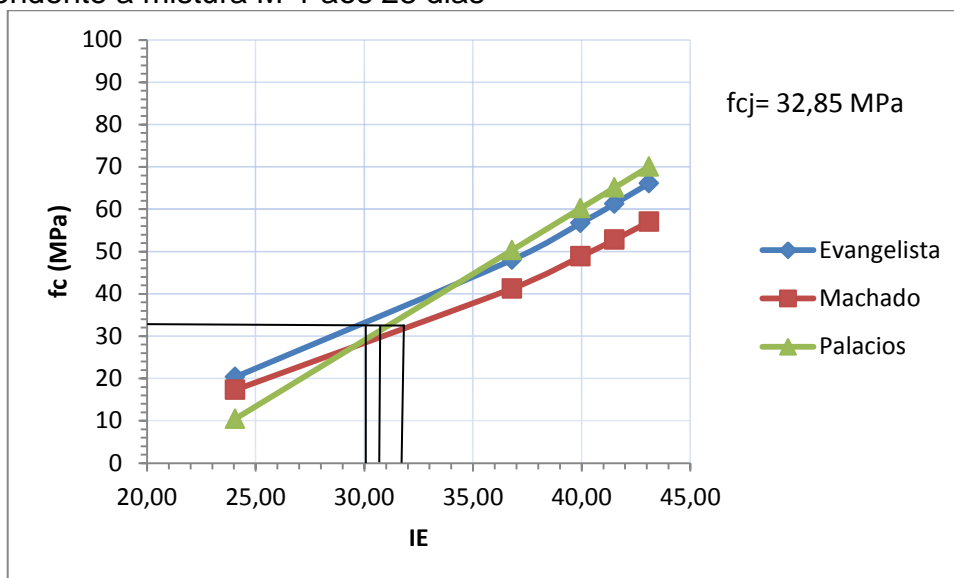
Tabela 11 – IE obtidos pelas equações dos autores para a resistência máxima desse estudo

| Mistura/idade | M-1 28 dias | M-2 28 dias | M-1 56 dias | M-2 56 dias |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Resistência à compressão (MPa) | 32,85 | 35,19 | 49,32 | 49,78 |
| Autores | IE | | | |
| Evangelista | 30,48 | 31,54 | 37,27 | 37,44 |
| Machado | 32,86 | 33,98 | 40,08 | 40,26 |
| Palacios | 31,21 | 31,96 | 36,47 | 36,62 |

Fonte: Elaboração própria

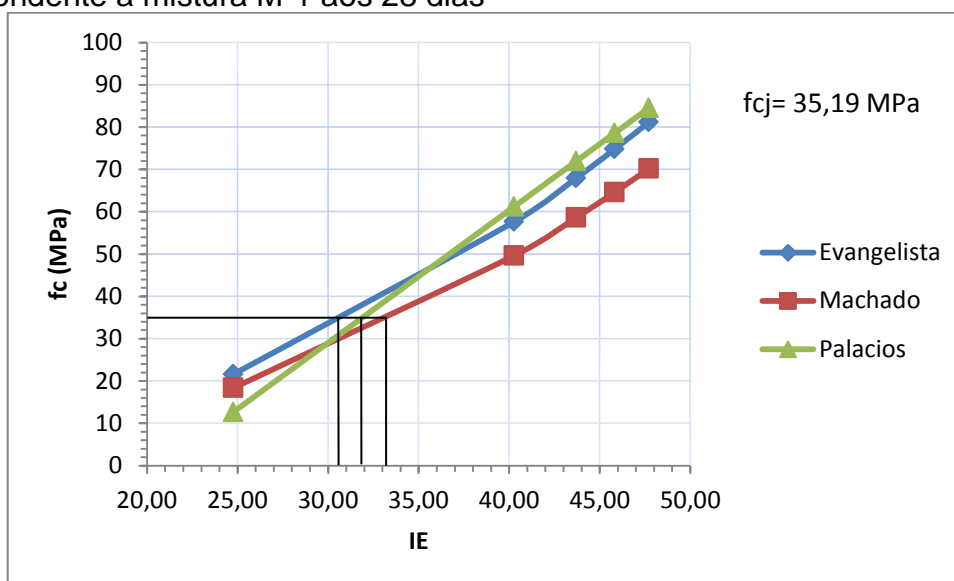
A equação de Palacios (2012), o gráficos das figuras 20 a 23 esclerométricos apresentou grande variabilidade resultados para as misturas M-1 e M-2 comparando com os autores Evangelista (2002) e Machado (2005), sendo efetiva para os resultados dos concretos acima de 35 MPa.

Figura 20 – Gráfico da obtenção da resistência à compressão pelo índice esclerométrico e comparação entre as curvas (IE x f_c) propostas por autores, correspondente a mistura M-1 aos 28 dias



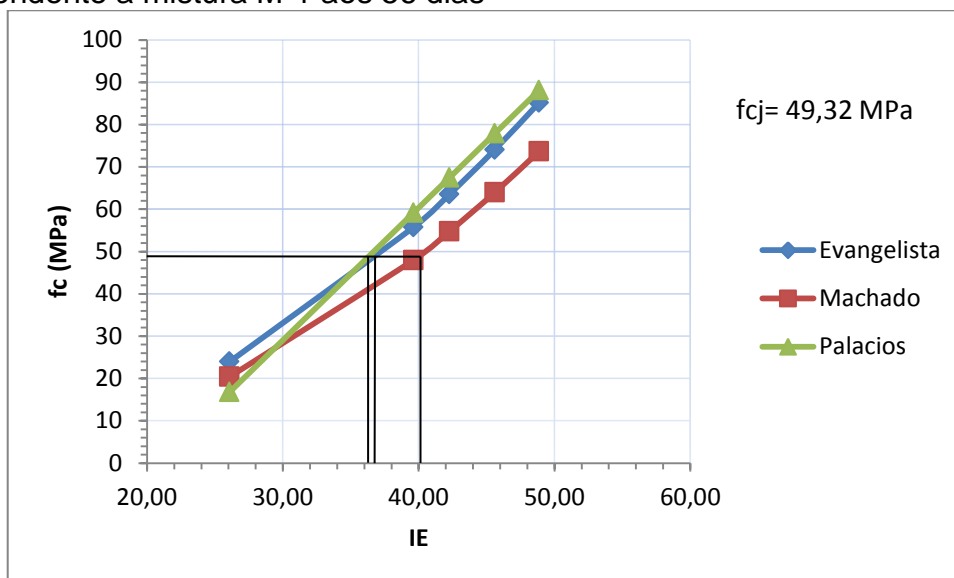
Fonte: Elaboração própria

Figura 21 – Gráfico da obtenção da resistência à compressão pelo índice esclerométrico e comparação entre as curvas (IE x f_c) propostas por autores, correspondente a mistura M-1 aos 28 dias



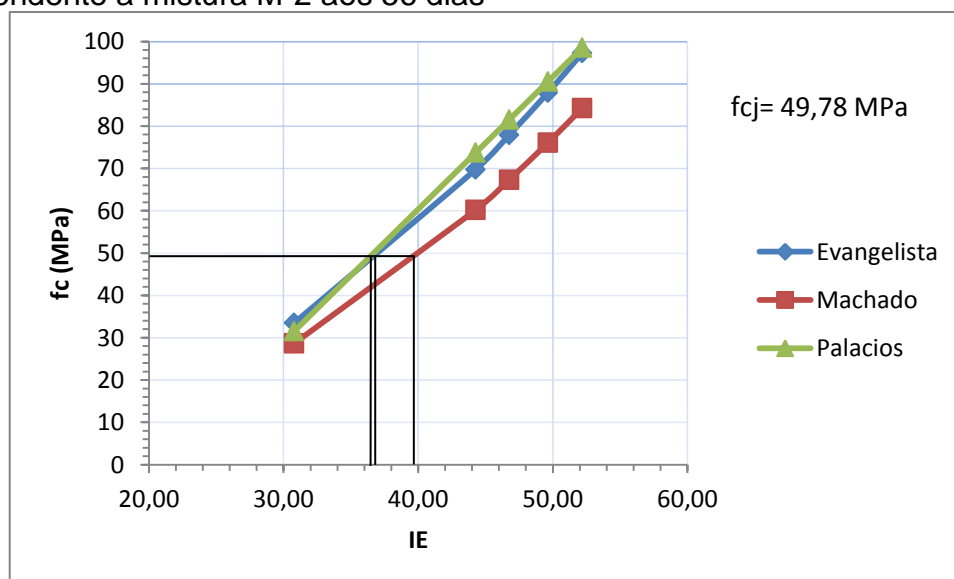
Fonte: Elaboração própria

Figura 22 – Gráfico da obtenção da resistência à compressão pelo índice esclerométrico e comparação entre as curvas (IE x fc) propostas por autores, correspondente a mistura M-1 aos 56 dias



Fonte: Elaboração própria

Figura 23 – Gráfico da obtenção da resistência à compressão pelo índice esclerométrico e comparação entre as curvas (IE x fc) propostas por autores, correspondente a mistura M-2 aos 56 dias



Fonte: Elaboração própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As conclusões obtidas no trabalho foram;

- O índice esclerométrico das misturas M-1 e M-2 foram praticamente iguais na idade de 28 dias, com valores de 24,06 e 24,76, respectivamente para 0% de carga. Com o aumento da carga o IE foi variando de 60% a 3,5%, sendo menor quanto maior a carga aplicada. O IE analisado para a idade de 56 dias apresentou uma diferença de 18% para 0% de carga e o mesmo comportamento foi observado para o IE quando a carga foi aumentando, comparado aos 28 dias de idade.
- Os IE foram crescendo conforme aumentando a carga nos corpos-de-prova. Isso aconteceu para todos os ensaios, tanto aos 28 dias de idade como para os 56 dias. A evolução do IE e a resistência à compressão foram ajustados por uma curva exponencial: $y=a.b^x$. A correlação entre os dados aos 28 dias de idade foi de 0,99, tanto para a mistura M-1 como para M-2. Para os 56 dias de idade a correlação foi um pouco menor, 0,97, o que não inviabiliza a equação utilizada.
- Na análise da resistência à compressão com as equações propostas por Evangelista (2002), Machado (2005) e Palacios (2012) foi possível detectar que as equações não foram efetivas para esses concretos, uma vez que para todos os IE analisados as resistências obtidas foram menores que as obtidas no trabalho. As diferenças chegaram a 90% quando utilizado as equações de Machado (2005) e Palacios (2012).

Recomenda-se mais estudos sobre o assunto utilizando mais misturas, tanto de resistência menor quanto maior. Além disso, sugere-se o uso de ultrassom em conjunto com os ensaios de esclerometria.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

American Concrete Institute **ACI - 228 - 1R - 03** - In place methods to estimate concrete strength, Detroit, 2003, 44 pp.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção 1**. 5^o ed. Revisada, (reimpr.). v-1. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 488p.

BRITISH STANDARD INSTITUTION, **BS 1881: Part 202**, Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer”. London, 1986.

CAMPITELI, V. C. **Concreto de Cimento Portland: Um Método de Dosagem**. Universidade Estadual de Ponta Grossa: Engenharia Civil, n.20, 2004, 16p.

EMIC. **Produtos por linha**. 2014 Disponível em:
<<http://www.emic.com.br/Produtos/Produtos+Por+Linha/4>> Acesso em: 9 de jan. de 2015, 18:30

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

FOCAOARU, I. **Romanian Achievements in Nondestructive Strength of Concrete**. *In Situ/Nondestructive Testing of Concrete*, Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit, 1984, pp.35-56.

FERREIRA, G. **Estudo Sobre Fatores Influentes nos Resultados de Ensaios Não Destrutivos em Concreto Endurecido**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2011.

HELENE, P. R. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. Ed. Pini, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1986, 47 p.

HELENE, P. R. **Fatores que afetam a resistência in situ do concreto**. Revista ALCONPAT, Volume 1, Número 1, Abril 2011, Páginas 67 - 92.

HOOBS,B.; TCHOKETCH M. **Non-destructive testing techniques for the forensic engineering investigation of reinforced concrete buildings**. *Forensic Science International*, 2007, PP.167–172.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1º ed. v - 2 São Paulo: IBRACON, 2007.

MACHADO, M. **Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos**. 294f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MAGALHÃES, A.; VEIGA, M. do R.; COSTA, D. (2003) **Diagnóstico de anomalias de revestimentos de paredes com técnicas de ensaio in situ. Avaliação da resistência mecânica**. In: 3º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa, 26-30 Maio, pp. 419-427.

MALHOTRA, V. M. **In Situ / Nondestructive Testing of Concrete - A Global Review**. *In Situ/Nondestructive Testing of Concrete*, Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit, 1984, pp. 1-16.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2008.

MELQUIADES, H. C. S. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PALACIOS, M. P. G. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, 2012.

PEREIRA, M. P. G. **Caracterização do betão através de técnicas não-destrutivas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização Materiais e Processos de Construção) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2010.

ANEXO A

A Figura 24 mostra a determinação do coeficiente de impacto 'k'.

Figura 24 – Determinação do coeficiente de impacto (k)

| Índice esclerométrico bigorna | | Índice esclerométrico bigorna | |
|--------------------------------------|------|--------------------------------------|------|
| IE 1 | 83 | IE 1 | 84 |
| IE 2 | 85 | IE 2 | 84 |
| IE 3 | 85 | IE 3 | 84 |
| IE 4 | 85 | IE 4 | 84 |
| IE 5 | 84 | IE 5 | 83 |
| IE 6 | 85 | IE 6 | 84 |
| IE 7 | 85 | IE 7 | 84 |
| IE 8 | 84 | IE 8 | 84 |
| IE 9 | 84 | IE 9 | 84 |
| IE 10 | 85 | IE 10 | 85 |
| IE nominal | 80 | IE nominal | 80 |
| K | 0,95 | K | 0,95 |
| a) k para M-1, 28 dias | | b) k para M-2, 28 dias | |
| Índice esclerométrico bigorna | | Índice esclerométrico bigorna | |
| IE 1 | 84 | IE 1 | 84 |
| IE 2 | 84 | IE 2 | 84 |
| IE 3 | 83 | IE 3 | 83 |
| IE 4 | 84 | IE 4 | 84 |
| IE 5 | 85 | IE 5 | 85 |
| IE 6 | 82 | IE 6 | 82 |
| IE 7 | 85 | IE 7 | 85 |
| IE 8 | 84 | IE 8 | 84 |
| IE 9 | 84 | IE 9 | 84 |
| IE 10 | 82 | IE 10 | 82 |
| IE nominal | 80 | IE nominal | 80 |
| K | 0,96 | K | 0,96 |
| c) k para M-1, 56 dias | | d) k para M-2, 56 dias | |

Fonte: Elaboração própria

ANEXO B

Tabelas da determinação da resistência à compressão por ruptura dos corpos-de-prova.

Tabela 12 – Resistência à compressão de CPs para a mistura M-1, aos 28 dias

| CP nº | Tipo de Ensaio | Carga (KN) | Lado A do cp | Lado B do cp | Tensão (kN/cm ²) | Tensão (MPa) |
|-------------------------|----------------|------------|--------------|--------------|------------------------------|--------------|
| 1 | esclerômetro | - | 10,22 | 10,11 | - | - |
| 2 | esclerômetro | - | 10,2 | 10,05 | - | - |
| 3 | esclerômetro | - | 10,15 | 10,03 | - | - |
| 4 | esclerômetro | - | 10,18 | 10,07 | - | - |
| 5 | ruptura | 305 | 10,24 | 10,08 | 2,96 | 29,55 |
| 6 | ruptura | 340 | 10,21 | 10,10 | 3,30 | 32,98 |
| 7 | ruptura | 356 | 10,34 | 10,13 | 3,40 | 33,98 |
| 8 | ruptura | 355,6 | 10,15 | 10,04 | 3,49 | 34,89 |
| Média aritmética | | 339,15 | 10,23 | 10,09 | 3,29 | 32,85 |
| DP | | | | | | 2,33 |
| CV | | | | | | 7,11 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 13 - Resistência à compressão de CPs para a mistura M-2, aos 28 dias

| CP nº | Tipo de Ensaio | Carga (KN) | Lado A do cp | Lado B do cp | Tensão (kN/cm ²) | Tensão (MPa) |
|-------------------------|----------------|------------|--------------|--------------|------------------------------|--------------|
| 1 | esclerômetro | - | 10,14 | 10,12 | - | - |
| 2 | esclerômetro | - | 10,18 | 10,09 | - | - |
| 3 | esclerômetro | - | 10,19 | 10,07 | - | - |
| 4 | esclerômetro | - | 10,21 | 10,11 | - | - |
| 5 | ruptura | 407 | 10,24 | 10,08 | 3,94 | 39,43 |
| 6 | ruptura | 362,78 | 10,21 | 10,10 | 3,52 | 35,19 |
| 7 | ruptura | 336,79 | 10,34 | 10,13 | 3,21 | 32,14 |
| Média aritmética | | 368,86 | 10,26 | 10,10 | 3,56 | 35,59 |
| DP | | | | | | 3,66 |
| CV | | | | | | 10,29 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 14 - Resistência à compressão de CPs para a mistura M-1, aos 56 dias

| CP nº | Tipo de ensaio | Carga (KN) | Lado A do cp (cm) | Lado B do cp (cm) | Tensão (kN/cm ²) | Tensão (MPa) |
|-------------------------|----------------|------------|-------------------|-------------------|------------------------------|--------------|
| 1 | esclerômetro | - | 10,28 | 10,43 | - | - |
| 2 | esclerômetro | - | 10,18 | 10,04 | - | - |
| 3 | esclerômetro | - | 9,68 | 10,07 | - | - |
| 4 | esclerômetro | - | 10,22 | 10 | - | - |
| 6 | ruptura | 521 | 10,28 | 9,91 | 5,11 | 51,14 |
| 17 | ruptura | 490 | 10,16 | 10,14 | 4,76 | 47,56 |
| 7 | ruptura | 521 | 10,2 | 10,27 | 4,97 | 49,74 |
| 9 | ruptura | 497,5 | 10,14 | 9,77 | 5,02 | 50,22 |
| 20 | ruptura | 480 | 10,11 | 10,04 | 4,73 | 47,29 |
| 21 | ruptura | 550 | 10,14 | 10,03 | 5,41 | 54,08 |
| 23 | ruptura | 467,5 | 10,03 | 9,83 | 4,74 | 47,42 |
| 11 | ruptura | 450 | 9,34 | 10,22 | 4,71 | 47,14 |
| Média aritmética | | 497,13 | 10,05 | 10,03 | 4,93 | 49,32 |
| DP | | | | | | 3,40 |
| CV | | | | | | 6,89 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 15 - Resistência à compressão de CPs para a mistura M-2, aos 56 dias

| CP nº | Tipo de Ensaio | Carga (KN) | Lado A do cp (cm) | Lado B do cp (cm) | Tensão (kN/cm ²) | Tensão (MPa) |
|-------------------------|----------------|------------|-------------------|-------------------|------------------------------|--------------|
| 1 | esclerômetro | - | 9,70 | 10,14 | - | - |
| 2 | esclerômetro | - | 10,14 | 10,04 | - | - |
| 3 | esclerômetro | - | 10,09 | 9,99 | - | - |
| 4 | esclerômetro | - | 10,11 | 10,44 | - | - |
| 5 | ruptura | 540 | 9,95 | 9,88 | 5,49 | 54,93 |
| 6 | ruptura | 490 | 10,05 | 10,26 | 4,75 | 47,52 |
| 7 | ruptura | 480 | 10,16 | 9,71 | 4,87 | 48,66 |
| 8 | ruptura | 502,5 | 10,05 | 9,86 | 5,07 | 50,71 |
| 9 | ruptura | 480 | 10,23 | 9,28 | 5,06 | 50,56 |
| 10 | ruptura | 479 | 10,3 | 10,19 | 4,56 | 45,64 |
| 11 | ruptura | 494 | 9,87 | 10 | 5,00 | 50,05 |
| 12 | ruptura | 490 | 9,91 | 9,86 | 5,01 | 50,15 |
| Média aritmética | | 494,4375 | 10,065 | 9,88 | 4,98 | 49,78 |
| DP | | | | | | 3,99 |
| CV | | | | | | 8,02 |

Fonte: Elaboração própria

ANEXO C

Tabelas da determinação da resistência à compressão pelo esclerômetro de reflexão.

Tabela 16 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 28 dias, CP 1

| CP 1 | | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 3,29 | 6,57 | 9,86 | 13,14 | 16,43 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Ponto N° | IE | | | | | |
| 1 | 21 | 40 | 39 | 55 | 47 | 59 |
| 2 | 34 | 45 | 42 | 55 | 42 | 64 |
| 3 | 27 | 38 | 43 | 59 | 45 | 39 |
| 4 | 24 | 52 | 35 | 42 | 41 | 45 |
| 5 | 29 | 39 | 47 | 42 | 45 | 36 |
| 6 | 29 | 37 | 40 | 43 | 50 | 40 |
| 7 | 30 | 40 | 43 | 45 | 54 | 45 |
| 8 | 31 | 35 | 42 | 57 | 48 | 59 |
| 9 | 32 | 40 | 41 | 45 | 45 | 49 |
| Média + 10% média | 31,17 | 42,90 | 45,57 | 47,74 | 49,91 | 52,92 |
| Média - 10% média | 25,50 | 35,10 | 37,29 | 39,06 | 40,84 | 43,30 |
| Média Aritmética | 28,33 | 39,00 | 41,43 | 43,40 | 45,38 | 48,11 |
| k | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Índice esclerométrico | 26,82 | 36,92 | 39,22 | 41,09 | 42,96 | 45,55 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 17 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 28 dias, CP 2

| CP 2 | | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 3,29 | 6,57 | 9,86 | 13,14 | 16,43 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Ponto N° | IE | | | | | |
| 1 | 16 | 33 | 40 | 35 | 49 | 39 |
| 2 | 25 | 38 | 46 | 47 | 50 | 51 |
| 3 | 25 | 35 | 46 | 41 | 40 | 37 |
| 4 | 15 | 42 | 39 | 45 | 45 | 45 |
| 5 | 28 | 39 | 42 | 45 | 55 | 56 |
| 6 | 28 | 41 | 47 | 50 | 37 | 57 |
| 7 | 24 | 42 | 42 | 49 | 45 | 48 |
| 8 | 28 | 34 | 40 | 47 | 45 | 46 |
| 9 | 40 | 40 | 45 | 35 | 44 | 39 |
| Média + 10% média | 27,13 | 43,53 | 47,30 | 49,50 | 50,97 | 52,25 |
| Média - 10% média | 22,20 | 35,61 | 38,70 | 40,50 | 41,70 | 42,75 |
| Média Aritmética | 24,67 | 39,57 | 43,00 | 45,00 | 46,33 | 47,50 |
| k | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Índice esclerométrico | 23,35 | 37,46 | 40,71 | 42,60 | 43,87 | 44,97 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 18 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 28 dias, CP 3

| CP 3 | | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 3,29 | 6,57 | 9,86 | 13,14 | 16,43 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Ponto N° | IE | | | | | |
| 1 | 16 | 36 | 34 | 36 | 40 | 34 |
| 2 | 20 | 32 | 32 | 40 | 39 | 43 |
| 3 | 28 | 41 | 39 | 45 | 51 | 56 |
| 4 | 15 | 52 | 50 | 47 | 45 | 58 |
| 5 | 22 | 35 | 40 | 47 | 35 | 48 |
| 6 | 35 | 35 | 32 | 41 | 39 | 51 |
| 7 | 23 | 37 | 42 | 40 | 51 | 44 |
| 8 | 29 | 35 | 41 | 47 | 48 | 48 |
| 9 | 30 | 35 | 40 | 35 | 47 | 42 |
| Média + 10% média | 27,13 | 39,91 | 44,44 | 45,65 | 48,18 | 50,60 |
| Média - 10% média | 22,20 | 32,66 | 36,36 | 37,35 | 39,42 | 41,40 |
| Média Aritmética | 24,67 | 36,29 | 40,40 | 41,50 | 43,80 | 46,00 |
| k | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Índice esclerométrico | 23,35 | 34,35 | 38,25 | 39,29 | 41,47 | 43,55 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 19 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 28 dias, CP 4

| CP 4 | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| porcentagem de carregamento (MPa) | 0 | 3,29 | 6,57 | 9,86 | 13,14 | 16,43 |
| | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Ponto N° | IE | | | | | |
| 1 | 23 | 34 | 42 | 50 | 49 | 54 |
| 2 | 26 | 42 | 40 | 45 | 50 | 47 |
| 3 | 19 | 42 | 45 | 54 | 55 | 51 |
| 4 | 30 | 35 | 42 | 40 | 44 | 42 |
| 5 | 25 | 37 | 47 | 44 | 38 | 39 |
| 6 | 26 | 48 | 45 | 49 | 55 | 47 |
| 7 | 20 | 41 | 38 | 44 | 43 | 43 |
| 8 | 30 | 35 | 49 | 39 | 39 | 58 |
| 9 | 34 | 41 | 47 | 37 | 47 | 53 |
| Média + 10% média | 26,40 | 44,66 | 48,40 | 50,05 | 51,26 | 51,70 |
| Média - 10% média | 21,60 | 36,54 | 39,60 | 40,95 | 41,94 | 42,30 |
| Média Aritmética | 24,00 | 40,60 | 44,00 | 45,50 | 46,60 | 47,00 |
| k | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Índice esclerométrico | 22,72 | 38,44 | 41,66 | 43,08 | 44,12 | 44,50 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 20 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 28 dias, CP 1

| CP 1 | | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 3,56 | 7,12 | 10,68 | 14,24 | 17,79 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Ponto N° | IE | | | | | |
| 1 | 24 | 47 | 40 | 45 | 55 | 52 |
| 2 | 29 | 40 | 40 | 46 | 48 | 55 |
| 3 | 31 | 40 | 46 | 47 | 47 | 55 |
| 4 | 21 | 50 | 48 | 49 | 51 | 47 |
| 5 | 31 | 42 | 51 | 48 | 55 | 53 |
| 6 | 22 | 42 | 47 | 50 | 49 | 49 |
| 7 | 25 | 43 | 50 | 59 | 52 | 56 |
| 8 | 16 | 42 | 40 | 54 | 48 | 57 |
| 9 | 15 | 50 | 50 | 54 | 53 | 48 |
| Média + 10% média | 26,16 | 46,51 | 53,53 | 54,69 | 55,98 | 57,69 |
| Média - 10% média | 21,40 | 38,06 | 43,80 | 44,74 | 45,80 | 47,20 |
| Média Aritmética | 23,78 | 42,29 | 48,67 | 49,71 | 50,89 | 52,44 |
| k | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Índice esclerométrico | 22,65 | 40,27 | 46,35 | 47,35 | 48,47 | 49,95 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 21 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 28 dias, CP 2

| CP 2 | | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 3,56 | 7,12 | 10,68 | 14,24 | 17,79 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Ponto N° | IE | | | | | |
| 1 | 23 | 40 | 39 | 52 | 54 | 50 |
| 2 | 25 | 42 | 41 | 47 | 50 | 51 |
| 3 | 29 | 42 | 55 | 54 | 45 | 55 |
| 4 | 33 | 44 | 45 | 42 | 48 | 52 |
| 5 | 33 | 49 | 47 | 55 | 52 | 53 |
| 6 | 30 | 43 | 48 | 55 | 45 | 49 |
| 7 | 29 | 44 | 42 | 52 | 48 | 56 |
| 8 | 27 | 44 | 48 | 38 | 56 | 50 |
| 9 | 34 | 45 | 42 | 32 | 51 | 40 |
| Média + 10% média | 31,63 | 47,30 | 49,19 | 53,08 | 54,21 | 55,00 |
| Média - 10% média | 25,88 | 38,70 | 40,24 | 43,43 | 44,36 | 45,00 |
| Média Aritmética | 28,75 | 43,00 | 44,71 | 48,25 | 49,29 | 50,00 |
| k | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Índice esclerométrico | 27,38 | 40,95 | 42,59 | 45,95 | 46,94 | 47,62 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 22 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 28 dias, CP 3

| CP 3 | | | | | | |
|--|-----------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 3,559 | 7,118 | 10,677 | 14,235 | 17,794 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Ponto N° | IE | | | | | |
| 1 | 29 | 41 | 48 | 52 | 51 | 59 |
| 2 | 27 | 46 | 42 | 47 | 45 | 52 |
| 3 | 24 | 48 | 45 | 43 | 47 | 55 |
| 4 | 21 | 34 | 40 | 47 | 48 | 45 |
| 5 | 27 | 43 | 50 | 56 | 55 | 47 |
| 6 | 18 | 39 | 40 | 45 | 52 | 51 |
| 7 | 30 | 41 | 41 | 45 | 55 | 51 |
| 8 | 25 | 52 | 54 | 57 | 51 | 57 |
| 9 | 23 | 42 | 55 | 48 | 48 | 51 |
| Média + 10% média | 27,72 | 46,20 | 48,09 | 51,70 | 55,96 | 56,28 |
| Média - 10% média | 22,68 | 37,80 | 39,34 | 42,30 | 45,79 | 46,05 |
| Média Aritmética | 25,20 | 42,00 | 43,71 | 47,00 | 50,88 | 51,17 |
| k | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Índice esclerométrico | 24,00 | 40,00 | 41,63 | 44,76 | 48,45 | 48,73 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 23 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 28 dias, CP 4

| CP 4 | | | | | | |
|--|-----------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 3,559 | 7,118 | 10,677 | 14,235 | 17,794 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Ponto N° | IE | | | | | |
| 1 | 19 | 39 | 45 | 48 | 50 | 51 |
| 2 | 27 | 41 | 39 | 48 | 47 | 50 |
| 3 | 25 | 38 | 47 | 45 | 48 | 49 |
| 4 | 26 | 43 | 39 | 40 | 56 | 47 |
| 5 | 22 | 41 | 41 | 54 | 43 | 40 |
| 6 | 29 | 41 | 43 | 54 | 49 | 44 |
| 7 | 19 | 49 | 50 | 65 | 49 | 53 |
| 8 | 30 | 37 | 45 | 45 | 47 | 50 |
| 9 | 25 | 39 | 39 | 40 | 43 | 49 |
| Média + 10% média | 27,50 | 43,86 | 48,62 | 49,72 | 51,70 | 54,27 |
| Média - 10% média | 22,50 | 35,89 | 39,78 | 40,68 | 42,30 | 44,40 |
| Média Aritmética | 25,00 | 39,88 | 44,20 | 45,20 | 47,00 | 49,33 |
| k | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Índice esclerométrico | 23,81 | 37,98 | 42,10 | 43,05 | 44,76 | 46,98 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 24 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 56 dias, CP 1

| CP-1 | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 4,93 | 9,86 | 14,80 | 19,73 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| Ponto N° | IE | | | | |
| 1 | 25 | 45 | 44 | 47 | 57 |
| 2 | 30 | 40 | 48 | 47 | 53 |
| 3 | 35 | 41 | 49 | 45 | 60 |
| 4 | 27 | 41 | 45 | 45 | 52 |
| 5 | 27 | 39 | 42 | 50 | 55 |
| 6 | 25 | 41 | 47 | 48 | 55 |
| 7 | 23 | 40 | 42 | 51 | 54 |
| 8 | 32 | 41 | 40 | 54 | 39 |
| 9 | 33 | 39 | 41 | 57 | 52 |
| Média + 10% média | 31,68 | 44,28 | 47,99 | 53,21 | 59,40 |
| Média - 10% média | 25,92 | 36,23 | 39,26 | 43,54 | 48,60 |
| Média Aritmética | 28,80 | 40,25 | 43,63 | 48,38 | 54,00 |
| k | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Índice esclerométrico | 27,53 | 38,47 | 41,70 | 46,24 | 51,61 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 25 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 56 dias, CP 2

| CP-2 | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 4,93 | 9,86 | 14,80 | 19,73 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| Ponto N° | IE | | | | |
| 1 | 44 | 43 | 45 | 47 | 53 |
| 2 | 25 | 36 | 35 | 46 | 55 |
| 3 | 34 | 42 | 52 | 48 | 45 |
| 4 | 18 | 45 | 45 | 45 | 51 |
| 5 | 30 | 41 | 40 | 48 | 57 |
| 6 | 39 | 44 | 50 | 52 | 37 |
| 7 | 26 | 42 | 40 | 45 | 37 |
| 8 | 27 | 35 | 45 | 42 | 49 |
| 9 | 33 | 47 | 49 | 49 | 45 |
| Média + 10% média | 29,70 | 47,12 | 50,60 | 52,25 | 54,63 |
| Média - 10% média | 24,30 | 38,55 | 41,40 | 42,75 | 44,70 |
| Média Aritmética | 27,00 | 42,83 | 46,00 | 47,50 | 49,67 |
| k | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Índice esclerométrico | 25,81 | 40,94 | 43,97 | 45,40 | 47,47 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 26 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 56 dias, CP 3

| CP-3 | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 4,93 | 9,86 | 14,80 | 19,73 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| Ponto N° | IE | | | | |
| 1 | 27 | 49 | 52 | 54 | 39 |
| 2 | 32 | 39 | 50 | 45 | 57 |
| 3 | 25 | 46 | 45 | 37 | 49 |
| 4 | 26 | 45 | 55 | 54 | 47 |
| 5 | 43 | 42 | 37 | 63 | 55 |
| 6 | 25 | 42 | 47 | 49 | 51 |
| 7 | 27 | 44 | 48 | 47 | 60 |
| 8 | 28 | 50 | 37 | 40 | 54 |
| 9 | 23 | 44 | 49 | 57 | 62 |
| Média + 10% média | 28,97 | 49,03 | 52,58 | 54,78 | 57,93 |
| Média - 10% média | 23,70 | 40,11 | 43,02 | 44,82 | 47,40 |
| Média Aritmética | 26,33 | 44,57 | 47,80 | 49,80 | 52,67 |
| k | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Índice esclerométrico | 25,17 | 42,60 | 45,69 | 47,60 | 50,34 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 27 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-1, aos 56 dias, CP 4

| CP-4 | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 4,93 | 9,86 | 14,80 | 19,73 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| Ponto N° | IE | | | | |
| 1 | 25 | 39 | 35 | 39 | 48 |
| 2 | 20 | 37 | 45 | 47 | 44 |
| 3 | 26 | 44 | 40 | 49 | 52 |
| 4 | 24 | 38 | 36 | 47 | 55 |
| 5 | 27 | 48 | 33 | 45 | 42 |
| 6 | 33 | 36 | 48 | 44 | 48 |
| 7 | 30 | 49 | 39 | 48 | 47 |
| 8 | 34 | 34 | 39 | 35 | 46 |
| 9 | 35 | 39 | 40 | 40 | 48 |
| Média + 10% média | 29,70 | 41,96 | 43,39 | 49,68 | 52,98 |
| Média - 10% média | 24,30 | 34,33 | 35,50 | 40,65 | 43,35 |
| Média Aritmética | 27,00 | 38,14 | 39,44 | 45,17 | 48,17 |
| k | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Índice esclerométrico | 25,81 | 36,46 | 37,70 | 43,17 | 46,04 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 28 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 56 dias, CP 1

| CP-1 | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 4,98 | 9,96 | 14,93 | 19,91 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| Ponto N° | IE | | | | |
| 1 | 30 | 53 | 49 | 57 | 54 |
| 2 | 32 | 51 | 44 | 47 | 58 |
| 3 | 34 | 47 | 38 | 50 | 54 |
| 4 | 30 | 48 | 50 | 48 | 45 |
| 5 | 30 | 43 | 54 | 54 | 56 |
| 6 | 31 | 47 | 49 | 55 | 46 |
| 7 | 24 | 41 | 47 | 49 | 53 |
| 8 | 33 | 40 | 57 | 60 | 48 |
| 9 | 24 | 40 | 51 | 51 | 57 |
| Média + 10% média | 33,66 | 49,72 | 53,17 | 56,28 | 59,03 |
| Média - 10% média | 27,54 | 40,68 | 43,50 | 46,05 | 48,30 |
| Média Aritmética | 30,60 | 45,20 | 48,33 | 51,17 | 53,67 |
| k | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Índice esclerométrico | 29,25 | 43,20 | 46,20 | 48,90 | 51,29 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 29 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 56 dias, CP 2

| CP-2 | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 4,98 | 9,96 | 14,93 | 19,91 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| Ponto N° | IE | | | | |
| 1 | 25 | 47 | 43 | 49 | 54 |
| 2 | 32 | 42 | 50 | 47 | 57 |
| 3 | 34 | 50 | 55 | 55 | 54 |
| 4 | 31 | 40 | 47 | 47 | 53 |
| 5 | 32 | 44 | 55 | 55 | 50 |
| 6 | 41 | 45 | 49 | 51 | 54 |
| 7 | 33 | 43 | 47 | 49 | 52 |
| 8 | 34 | 44 | 45 | 50 | 47 |
| 9 | 28 | 47 | 45 | 49 | 44 |
| Média + 10% média | 35,64 | 49,03 | 51,88 | 55,24 | 57,89 |
| Média - 10% média | 29,16 | 40,11 | 42,45 | 45,20 | 47,36 |
| Média Aritmética | 32,40 | 44,57 | 47,17 | 50,22 | 52,63 |
| k | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Índice esclerométrico | 30,97 | 42,60 | 45,08 | 48,00 | 50,30 |

Fonte: Elaboração própria

Tabela 30 – Determinação do índice esclerométrico em patamares de carregamento para M-2, aos 56 dias, CP 3

| CP-3 | | | | | |
|--|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Patamares de carregamento (MPa) | 0 | 4,98 | 9,96 | 14,93 | 19,91 |
| Patamares de carregamento (%) | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% |
| Ponto Nº | IE | | | | |
| 1 | 32 | 36 | 50 | 49 | 48 |
| 2 | 34 | 44 | 52 | 59 | 53 |
| 3 | 36 | 52 | 56 | 52 | 67 |
| 4 | 31 | 48 | 52 | 55 | 51 |
| 5 | 30 | 44 | 44 | 55 | 56 |
| 6 | 35 | 50 | 40 | 52 | 56 |
| 7 | 27 | 36 | 47 | 51 | 52 |
| 8 | 31 | 49 | 39 | 50 | 57 |
| 9 | 32 | 52 | 54 | 59 | 60 |
| Média + 10% média | 35,36 | 51,70 | 53,90 | 57,20 | 60,50 |
| Média - 10% média | 28,93 | 42,30 | 44,10 | 46,80 | 49,50 |
| Média Aritmética | 32,14 | 47,00 | 49,00 | 52,00 | 55,00 |
| k | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |
| Índice esclerométrico | 30,72 | 44,92 | 46,83 | 49,70 | 52,57 |

Fonte: Elaboração própria