



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND: CORRELAÇÃO DE ENSAIO À COMPRESSÃO AXIAL
COM ESCLEROMETRIA**

Rogério Alves

Lajeado, junho de 2017.



Rogério Alves

**RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND: CORRELAÇÃO DE ENSAIO À COMPRESSÃO AXIAL
COM ESCLEROMETRIA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rafael Mascolo

Lajeado, junho de 2017.

Rogério Alves

**RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND: CORRELAÇÃO DE ENSAIO À COMPRESSÃO AXIAL
COM ESCLEROMETRIA**

Prof. Me. Rafael Mascolo - orientador
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. Débora Pedroso Righi
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. Márlon Augusto Longhi
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, junho de 2017.

RESUMO

O concreto de cimento Portland vem sendo um dos materiais mais consumidos no mundo, estando presente nas mais variadas estruturas. Sua principal propriedade é sua elevada resistência à compressão, a qual é utilizada como balizamento da sua qualidade. A resistência à compressão pode ser verificada submetendo corpos de prova, moldados no ato da concretagem à ensaio de compressão axial. Porém, em grande parte das situações este resultado não representa a real resistência do concreto empregado na estrutura, devido às operações realizadas, como lançamento, adensamento e cura. Ou seja, ele mede a resistência potencial do concreto, fazendo com que seja necessário verificar a resistência do concreto empregado na estrutura, a chamada resistência efetiva do concreto. Para isso existem duas classes de ensaios, os destrutivos, como por exemplo o ensaio de extração de testemunhos do concreto, e também os ensaios não destrutivos, que causam um dano mínimo ou desconsiderável na estrutura e permitem a realização de inúmeras repetições sem comprometimento estrutural, como por exemplo, o ensaio de esclerometria. Esta pesquisa busca avaliar e relacionar os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, medida em corpos de prova padronizados, em testemunhos extraídos de um molde estrutural desenvolvido especificamente para esta pesquisa, e de esclerometria. Os resultados dos ensaios destrutivos, de rompimento de corpos de prova padrão e de testemunhos extraídos, foram muito próximos, comprovando a eficiência e conhecimento prévio sobre os ensaios, onde os coeficientes de correção para minoração dos efeitos que a extração causa nos testemunhos, se mostram adequados e imprescindíveis para utilização do ensaio. Sobre a esclerometria, foi possível verificar que o tipo e teor de cimento utilizados no concreto têm interferência na dureza superficial e que o ensaio se mostra adequado principalmente para avaliação da uniformidade do concreto empregado na estrutura. Quanto à utilização do método não destrutivo para obtenção da resistência à compressão do concreto, o mesmo se mostrou adequado, porém não apresentou precisão nos valores apresentados, se comparado aos demais ensaios. Contudo, a partir dos dados obtidos foi possível propor novas correlações entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão do concreto, possibilitando o uso do esclerômetro com maior precisão.

Palavras-chave: Concreto. Ensaios não destrutivos. Extração de testemunhos. Esclerometria.

ABSTRACT

Portland cement concrete has been one of the most consumed materials in the world, being present in the most varied construction structures. Its main characteristic is its high compressive strength, which is used as a parameter for its quality. The compressive strength can be verified by applying the axial compression test to concrete test specimens molded in the field. However, in most situations this result does not represent the actual resistance of the concrete used in the structure, due to the operations performed, such as pouring, compaction and curing. That is, it measures the potential strength of the concrete, making it necessary to verify the resistance of the concrete used in the structure, the so-called effective strength of the concrete. In order to do this, there are two classes of tests, the destructive, such as the concrete core testing, as well as non-destructive tests, which cause minimal or negligible damage to the structure and allow numerous repetitions without hazarding the structure, such as the sclerometer test. This study aims to evaluate and compare results obtained in the axial compression test, made in standardized test specimens, in samples extracted from a structural mold specifically developed for this study, with results obtained through the sclerometer test. The results of destructive tests, such as crushing standard specimens and extracted samples were very similar, proving the efficiency and prior knowledge about these tests, where the correction coefficients for the reduction of the effects that the extraction causes in the samples are shown adequate and essential for the use of the test. On the sclerometer test, it was possible to verify that the type and content of cement used in the concrete interfere in the surface hardness and that the test is mainly suitable to evaluate the uniformity of the concrete used in the structure. Regarding the use of the non-destructive method to obtain the compressive strength of the concrete, it was adequate, but it did not show accuracy in the values, when compared to the other tests. However, from the obtained data it was possible to suggest new correlations between the sclerometric index and the compressive strength of the concrete, allowing the use of the sclerometer with greater accuracy.

Keywords: Concrete. Non-destructive testing. Core extraction. Sclerometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Clínquer, matéria prima do cimento Portland.....	21
Figura 2 - Equipamentos do ensaio de abatimento.	25
Figura 3 - Processos para ensaio de abatimento.	26
Figura 4 - Curva de distribuição normal, ou curva de Gauss.	29
Figura 5 - Representação gráfica da curva de Gauss.	30
Figura 6 – Esquema, resistência efetiva e potencial do concreto.....	32
Figura 7 - Corte da seção longitudinal do esclerômetro de reflexão de Schmidt.....	35
Figura 8 - Esclerômetro de reflexão de Schmidt.	36
Figura 9 - Esquematização do procedimento do ensaio esclerométrico.	37
Figura 10 - Exemplo de curva para obtenção da resistência à compressão.	39
Figura 11 - Exemplificação da distância que deve ser seguido na realização dos impactos.....	41
Figura 12 - Exemplo de pedra de carborundum que é comercializada junto ao esclerômetro de reflexão.....	42
Figura 13 - Exemplo de curva de correlação da posição do equipamento com o valor de resistência.	44
Figura 14 - Fluxograma resumo de materiais e métodos.	48
Figura 15 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo.	51

Figura 16 - Modelo de placa confeccionada para a realização dos ensaios.	54
Figura 17 - Forma para concretagem das placas.....	55
Figura 18 - Adensamento do concreto recém lançado.....	56
Figura 19 - As seis placas prontas.	56
Figura 20 - Corpos de prova moldados.	57
Figura 21 - Demarcação do local para realização da esclerometria e marcas deixadas pelo impacto do martelo de teste.	58
Figura 22 - Extração sendo realizada e testemunhos já extraídos.....	59
Figura 23 - Prensa utilizada realizando o rompimento de um CP padrão.	60
Figura 24 - Verificação da carbonatação do concreto.	61
Figura 25 - Resistência à compressão dos CP's moldados com cimento CP-IV.....	63
Figura 26 - Resistência à compressão dos CP's moldados com cimento CP-V.....	64
Figura 27 - Resistência à compressão de todos os CP's moldados.....	65
Figura 28 - Resistência à compressão dos testemunhos extraídos das placas com cimento CP-IV.	68
Figura 29 - Resistência à compressão dos testemunhos extraídos das placas com cimento CP-V.	70
Figura 30 - Resistência à compressão de todos os testemunhos extraídos.	71
Figura 31 - Correlação entre IE e resistência à compressão fornecida pelo fabricante do esclerômetro.....	72
Figura 32 - Estimativa de resistência à compressão das placas de concreto moldadas com cimento CP-IV.....	74
Figura 33 - Estimativa de resistência à compressão das placas de concreto moldadas com cimento CP-V.....	75

Figura 34 - Resistência à compressão de todos os traços, medida por esclerometria.	76
Figura 35 - Resistência à compressão medida em cada tipo de ensaio realizado nos traços com cimento CP-IV.....	79
Figura 36 - Novas correlações propostas para concretos produzidos com CP-IV. ...	81
Figura 37 - Resistência à compressão medida em cada tipo de ensaio realizado nos traços com cimento CP-V.....	83
Figura 38 - Novas correlações propostas para concretos produzidos com CP-V.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela que correlaciona a classe de agressividade do ambiente com a relação água/cimento.	23
Tabela 3 - Valor do desvio padrão em relação à condição de preparo do concreto..	31
Tabela 4 - Equações desenvolvidas por diversos autores correlacionando o IE com a resistência à compressão do concreto (f_c).	38
Tabela 5 - Valores para o coeficiente k_1	46
Tabela 6 - Valores para o coeficiente k_2	47
Tabela 7 - Caracterização do agregado graúdo quanto a sua massa.....	50
Tabela 8 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo.....	51
Tabela 09 - Nomenclatura adotada para cada traço de concreto.....	52
Tabela 10 – Traços unitários utilizados e abatimento atingido.....	53
Tabela 11 - Resistência à compressão dos CP's moldados com cimento CP-IV.....	62
Tabela 12 - Resistência à compressão dos CP's moldados com cimento CP-V.....	63
Tabela 13 - Resistência à compressão de todos os CP's moldados.....	65
Tabela 14 - Resistência à compressão de testemunhos extraídos das placas moldadas com cimento CP-IV.....	67
Tabela 15 - Resistência à compressão dos testemunhos extraídos das placas com cimento CP-IV.....	68

Tabela 16 - Resistência à compressão de testemunhos extraídos das placas moldadas com cimento CP-V.....	69
Tabela 17 - Resistência à compressão dos testemunhos extraídos das placas com cimento CP-V.....	70
Tabela 18 - Resistência à compressão de todos os testemunhos extraídos.....	71
Tabela 19 - Resumo dos resultados dos índices esclerométrico obtidos.....	73
Tabela 20 - Estimativa de resistência à compressão das placas de concreto moldadas com cimento CP-IV.....	74
Tabela 21 - Estimativa de resistência à compressão das placas de concreto moldadas com cimento CP-V.....	75
Tabela 22 - Resistência à compressão de todos os traços, medida por esclerometria.	76
Tabela 23 - Resistência à compressão medida em cada tipo de ensaio realizado nos traços com cimento CP-IV.....	78
Tabela 24 - Correlações propostas e valor de R ² obtido.....	81
Tabela 25 - Resistência à compressão medida em cada tipo de ensaio realizado nos traços com cimento CP-V.....	82
Tabela 26 - Correlações propostas e valor de R ² obtido.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- cm – Centímetros
- CP – Corpo de prova
- CP's – Corpos de prova
- DMC – Dimensão máxima característica
- END – Ensaio não destrutivo
- f_c – Resistência à compressão individual de cada um dos corpos-de-prova
- f_{cd} – Resistência de cálculo do concreto à compressão
- f_{ck} – Resistência característica do concreto à compressão
- f_{cm} – Resistência média do concreto à compressão
- $f_{ci,ext}$ – Resistência corrigida do testemunho de concreto
- $f_{ci,ext,inicial}$ - Resistência não corrigida do testemunho de concreto
- IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto
- IE – Índice esclerométrico
- K_1 – Coeficiente que depende da relação h/d do testemunho
- K_2 – Coeficiente em função do efeito do broqueamento no testemunho

K_3 – Coeficiente que depende da direção do lançamento do concreto

K_4 – Coeficiente que depende da umidade do testemunho

mm - Milímetros

MPa - Mega Pascal

N – Newton

NBR – Norma Brasileira

R – Valor de rebote

S ou S_c - Desvio padrão

UNIVATES - Unidade Integrada do Vale do Taquari de Ensino Superior

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa e relevância da pesquisa.....	15
1.2 Objetivo geral	16
1.3 Objetivos específicos.....	16
1.4 Delimitação do trabalho.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Concreto.....	18
2.1.1 Componentes	19
2.1.2 Propriedades no estado fresco.....	24
2.1.3 Propriedades no estado endurecido	26
2.1.4 Resistência potencial e efetiva	31
2.2 Classificação dos ensaios.....	33
2.2.1 Ensaios não destrutivos	33
2.2.2 Ensaios destrutivos - Extração de testemunhos de concreto	44
3 MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1 Materiais.....	49
3.1.1 Caracterização dos materiais.....	49
3.1.2 Dosagem do concreto.....	52
3.2 Métodos.....	53
3.2.1 Produção do concreto	54
3.2.2 Desenvolvimento das placas de concreto e corpos de prova	55
3.2.3 Realização dos ensaios	57
4 RESULTADOS.....	62
4.1 Resistência mecânica à compressão de corpos de prova moldados	62
4.2 Resistência mecânica à compressão de testemunhos extraídos das placas	66
4.3 Esclerometria.....	72
5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS.....	78

6 CONCLUSÃO	86
REFERÊNCIAS.....	88
APÊNDICES	92

1 INTRODUÇÃO

O concreto tem sido ao longo dos anos o material de construção mais utilizado do mundo, e também o segundo produto mais consumido pelo homem, perdendo apenas para a água (ISAIA, 2007). Com o impacto desta informação, pode ser refletido sobre o quanto o concreto é importante.

O vasto uso do concreto se deve as suas diferentes propriedades, onde em seu estado fresco apresenta consistência e trabalhabilidade, sendo capaz de adequar-se aos mais diversos formatos. Em seu estado endurecido, apresenta resistência mecânica, resistência à ação da água, das intempéries e durabilidade (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

Além do avanço dos estudos sobre suas propriedades físicas e químicas, devem ser também desenvolvidas e combinadas boas técnicas para análise da qualidade do concreto empregado nas obras. Pelo fato de que quando o concreto é lançado na estrutura não há conhecimento das suas propriedades finais, apenas uma avaliação do estado fresco, a qual leva em conta o abatimento da mistura, mas não a resistência mecânica à compressão. Então, é preciso ter métodos adequados para verificar a qualidade do concreto no estado endurecido.

Para verificar a qualidade do concreto utilizado em uma estrutura existente, comumente são utilizados ensaios que envolvem a extração de testemunhos de concreto, que para Repette (1991) é o método que proporciona maior confiabilidade para estimar a resistência direta do concreto empregado na estrutura. Por outro lado para Neville e Brooks (2013), pelo fato deste método causar danos na estrutura, o mesmo só deve ser utilizado quando os ensaios não destrutivos não forem apropriados.

Outro fator que limita as extrações de testemunhos é a esbeltez das estruturas. Com a evolução da tecnologia do concreto, se consegue atingir resistências mecânicas mais elevadas, e conseqüentemente, podem ser realizadas estruturas mais esbeltas, o que limita a extração de testemunhos. Contudo, para Bottega (2010) o concreto é um material heterogêneo, sendo necessária para uma avaliação precisa, uma considerável gama de testemunhos para uma avaliação adequada do concreto empregado na estrutura.

Desta forma os ensaios não destrutivos (END) se mostram muito eficientes, visto que podem ser realizados em diversos pontos da estrutura, e com o número de ensaios necessário para ter a precisão e confiabilidade assegurada. Além disso, estes ensaios se mostram viáveis do ponto de vista econômico (LORENZI et al., 2016). Outro ponto importante, segundo Evangelista (2002), como o próprio nome já diz, os END não causam nenhum dano na estrutura ou deixam apenas pequenas deformações que podem ser facilmente reparadas logo após a conclusão do ensaio. São ensaios que não comprometem a estrutura por mais esbelta que seja por não ser necessária a remoção de testemunhos, mantendo a total integridade dos elementos ensaiados.

Avaliando tais fatores este trabalho tratará principalmente da avaliação da resistência do concreto medido pelo método da dureza superficial, esclerometria. Para isso serão realizados ensaios de rompimentos de corpos de prova padrão, moldados no ato da concretagem de uma estrutura modelo, extração de testemunhos e medição da dureza superficial da estrutura concretada. Os resultados serão analisados para verificar se as resistências obtidas por compressão axial se mostram coerentes com as obtidas no método do esclerômetro. Sendo encontradas divergências nos ensaios, será proposta uma nova correlação entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão para o aparelho utilizado, visando estimular e possibilitar o uso de ensaios não destrutivos.

1.1 Justificativa e relevância da pesquisa

Como as edificações estão ficando cada vez mais esbeltas cresce ainda mais a demanda por uma rigorosa qualidade do concreto, desta forma, é preciso ter bem

definidos os procedimentos de controle e aceitação deste produto. Contudo, quando nos deparamos com a necessidade de avaliar o concreto já empregado em uma estrutura existente, o método mais usado hoje é o da extração de testemunhos, que causa danos a estas estruturas. Então, se faz necessário desenvolver melhor as técnicas de ensaio que não danifiquem as estruturas, os ensaios não destrutivos.

Desta forma, o método do esclerômetro pode suprir esta necessidade. Tanto da verificação da integridade da estrutura, uniformidade, resistência e aceitação definitiva de um determinado lote de concreto, sanando possíveis dúvidas sobre sua qualidade. Além disso, é um método com um custo de execução mais em conta, visto que pode ser utilizado em uma amostra maior e em mais partes da edificação.

Mas, para isso, é preciso desenvolver uma pesquisa adequada sobre o método, conhecendo todas as suas vantagens e limitações. Assim, no final, buscase desenvolver uma correlação adequada para que o uso do esclerômetro de reflexão possa ser feita de forma confiável.

1.2 Objetivo geral

O objetivo principal é correlacionar resultados de resistência mecânica de concreto a partir de ensaio não destrutivo, do tipo esclerometria, com ensaio destrutivo, por compressão axial de corpos de prova moldados no momento da execução da estrutura e extraídos da mesma.

1.3 Objetivos específicos

Os objetos específicos são:

- a) Avaliar a influência do tipo de cimento na dureza superficial medida por esclerometria;
- b) Avaliar a influência da idade do concreto na dureza superficial medida por esclerometria;
- c) Avaliar a influência de diferentes resistências mecânicas do concreto na dureza superficial medida por esclerometria;

- d) Analisar a resistência à compressão axial de amostras de concreto - corpos de prova - em diferentes idades;
- e) Analisar resistência á compressão axial de amostra de concreto extraídas de peças maiores em diferentes idades;
- f) Verificar a dureza superficial de concretos via esclerometria em diferentes idades (7, 14, 28, 63 e 91 dias);
- g) Dosagem de concretos com de três faixas de resistência, obtidas através da alteração da relação de água/cimento;

1.4 Delimitação do trabalho

Este estudo estará limitado ao concreto produzido na região do vale do Taquari-RS, com agregados comercializados na região, para os concretos com classes de 20 a 50 MPa. Foram também definidos e padronizados dois tipos de cimento para o estudo, o CP-IV e o CP-V-ARI.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para possibilitar o avanço em um determinado assunto é necessário, antes de mais nada, estar inteirado sobre o que já foi apontado por outros autores, suas sugestões, e as limitações encontradas por eles em suas pesquisas (Vianna, 2001). Então, esta fase tem como objetivo trazer referências por meio de pesquisa bibliográfica, para melhor das propriedades, usos e características fundamentais do concreto e seus ensaios.

2.1 Concreto

De acordo com Petrucci (1998) o concreto é um material de construção constituído pela mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água, deve oferecer condições de plasticidade que facilitem as operações de manuseio e com o tempo, através das reações entre aglomerante e água, coesão e resistência. Neville e Brooks (2013) complementam que atualmente o concreto pode ser produzido com variados tipos de cimento além de outros tipos de aglomerantes, aditivos, polímeros e fibras.

Concreto de cimento Portland: material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água) (NBR 12655, ABNT, 2015).

Para Isaia (2007) o concreto é o material estrutural e de construção civil mais importante da atualidade. Mesmo que o concreto seja um dos mais recentes materiais de construção de estruturas, Isaia (2007) considera-o como uma das

descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida.

Segundo Mehta e Monteiro (2014) o consumo atual de concreto no mundo fica na ordem de 19 bilhões de toneladas métricas por ano. Isaia (2007) conclui que o concreto se tornou o material mais consumido pelo homem depois da água.

Mehta e Monteiro (2014) citam três motivos pelos quais o concreto é tão utilizado como material de engenharia, sendo os dois primeiros também citados por Pedroso (2009). O primeiro é a resistência do concreto perante a ação da água, conforme os autores, esta capacidade do concreto faz dele um material ideal para construção de estruturas para controle, armazenamento e transporte da água. O segundo motivo citado é a facilidade com a qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos através de uma variedade de formas e tamanhos, isso porque o concreto fresco é de consistência plástica, que favorece o fluxo do material para o interior das formas.

Ainda, conforme Mehta e Monteiro (2014) o terceiro motivo é o baixo custo, e a rápida disponibilidade do material para uma construção, sendo que os principais componentes do concreto são relativamente baratos e facilmente encontrados em todos os lugares do mundo.

2.1.1 Componentes

Os componentes do concreto são descritos por Petrucci (1998) e Isaia (2007) como sendo água mais cimento, dando a este composto o nome de pasta, adicionando a esta pasta agregado miúdo, obtém-se argamassa, sendo nesta adicionado agregado graúdo se chega ao concreto, desta forma se tem os principais componentes do concreto.

Cimento

Segundo Neville e Brooks (2013) foram provavelmente os romanos os primeiros povos a utilizarem um cimento hidráulico para produção de um concreto, sendo o cimento hidráulico descrito pelos autores como um material que através da

ação da água endurece. A reação do cimento com a ação da água, e o concreto não apresentar alterações por estar em contato com a água mesmo que ao longo do tempo, foram às características mais importantes para o seu uso como material de construção. Este cimento utilizado pelos romanos, ainda segundo os autores, parou de ser usado, sendo que somente em 1824 foi patenteado o até então utilizado Cimento Portland.

O fato do cimento Portland não necessitar de outros materiais tais como pozolanas para reagir, bem como para desenvolver sua propriedade de resistência perante a exposição à água o faz ser então, um cimento hidráulico (Mehta e Monteiro, 2014). Desta forma, quando falarmos neste trabalho de cimento hidráulico estaremos falando do cimento Portland, que será assim tratado daqui para frente.

Para definição do que é o cimento Portland, Bauer (2008) e Mehta e Monteiro (2014) dizem que é um produto que pode ser obtido pela pulverização de clínquer. Petrucci (1998) define o cimento Portland de mesma maneira, apenas em outras palavras, definindo-o como sendo um produto obtido pela moagem do clínquer. No entanto, para Bauer (2008) neste produto ainda pode ser adicionado outras substancias que possam facilitar o seu uso bem como melhorar suas propriedades.

Cimento Portland: aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante essa operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a essa mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores indicados nas normas específicas (NBR 12655, ABNT, 2015).

Diante destas informações precisamos agora trazer a definição do que é este produto denominado clínquer, que depois de moído ou pulverizado se transforma no cimento Portland. A figura 1 traz uma amostra física do que é a matéria prima clínquer.

Figura 1 - Clínquer, matéria prima do cimento Portland.



Fonte: Farenzena, (2011).

Para Bauer (2008) e Mehta e Monteiro (2014) o clínquer é uma matéria prima granular formado através da calcinação de uma mistura de silicatos de cálcio hidráulicos e sulfato de cálcio natural. Sendo que, segundo Mehta e Monteiro (2014) na moagem do clínquer pode ser adicionado até 5% de calcário para fabricação do cimento Portland.

Agregados

De acordo com Petrucci (1998) o agregado é compreendido como sendo um material granular, normalmente inerte, sem um volume ou uma forma definida e com características apropriadas para os seus mais variados usos na engenharia. Bauer (2008) complementa esta definição dizendo que é um material não coeso, dos mais diversos tamanhos ou granulometrias e reafirma que influência química do agregado é praticamente nula.

Vindo de encontro a estas definições Neville e Brooks (2013) dizem que na realidade, os agregados não são de fato inertes, sendo que as suas propriedades físicas, químicas e térmicas certas vezes interferem nas características do concreto, no que se diz respeito a sua resistência, estabilidade dimensional, desempenho estrutural e também a sua durabilidade. O autor ainda completa afirmando que em torno de três quartos do concreto é preenchido por agregados, desta forma não há como tratá-lo de forma inerte, sendo sua procedência e qualidade de extrema importância.

É possível então perceber certa divergência entre os autores quanto real influência dos agregados no concreto, o que fica visível também é que conforme passa o tempo e estes materiais vão sendo mais bem estudados, maior importância vão ganhando. Desta forma, para Mehta e Monteiro (2014) os agregados eram tratados como materiais inertes e de simples enchimento pelo fato deles não terem grandes reações químicas quando em contato com a água. No entanto, com um melhor entendimento do seu papel junto ao concreto, a tradicional visão do agregado como meio inerte de simples enchimento tem sido cada vez mais questionada.

Quanto à classificação dos agregados, Petrucci (1998), Bauer (2008) e Fusco (2008) concordam que, a principal forma de classificação para uso no concreto é quanto a sua granulometria, onde os agregados podem ser divididos em miúdo e graúdo. Mas de acordo com Petrucci (1998) e Bauer (2008) os agregados também podem ser classificados conforme sua origem, em artificiais e naturais.

No que se refere à classificação dos agregados quanto à origem, podemos denominar de naturais, aqueles que já se encontram na forma particulada e em condição de uso na natureza, sem precisar passar por processos de aperfeiçoamento, por exemplo, cascalho e areia (Petrucci, 1998 e Bauer, 2008). Já os artificiais são aqueles que de alguma maneira sofrerão algum processo realizado pelo homem para se adequar ao uso na engenharia, por exemplo, pedra britada (PETRUCCI, 1998).

Quanto à classificação granulométrica, Bauer (2008) classifica de forma genérica as areias como sendo agregado miúdo, britas e cascalhos como agregado graúdo. A NBR 7211 (ABNT, 2009) classifica como sendo miúdo o agregado que os grãos passam na peneira de 4,75mm de abertura da malha. A mesma norma também classifica os agregados graúdos como sendo aqueles que os grãos ficam retidos na peneira de 4,75mm e passam na peneira com abertura de 75mm.

Para Neville e Brooks (2013) é possível economizar, financeiramente, utilizando uma maior quantidade de agregados e diminuindo o consumo de cimento nos traços de concreto. Porém, esta economia deve ser balanceada com as propriedades requeridas de modo a manter a qualidade necessária para o concreto sem abrir mão da resistência almejada.

Água de amassamento

Sobre a qualidade da água de amassamento, Petrucci (1998) e Fusco (2008) afirmam que para produção do concreto pode ser utilizada toda água que seja considerada potável. E os dois autores também concordam que a água não pode conter um grau de impurezas elevado que possam prejudicar as reações do cimento.

Já para Neville e Brooks (2013) este critério de que toda água que é considerada potável para o homem pode ser utilizada no concreto não pode ser considerado como absoluto. Pois esta água pode não ser adequada para o amassamento se tiver com altos teores de potássio e sódio. O autor ainda conclui dizendo que normalmente a água potável pode ser utilizada, mas outras águas, consideradas como não potáveis, também servem para o amassamento.

Para Petrucci (1998) a qualidade da água não é o que traz maiores danos ao concreto, segundo ele, o excesso é o que oferece mais riscos e traz maiores prejuízos. Desta forma a NBR 6118 (ABNT, 2014) faz uma correlação entre a classe de agressividade do ambiente com a qualidade do concreto, limitando a relação de água/cimento nos traços do concreto. A tabela 1 é uma adaptação da NBR 6118 (ABNT, 2014) que faz esta correlação descrita acima.

Tabela 1 - Tabela que correlaciona a classe de agressividade do ambiente com a relação água/cimento.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade do ambiente			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA*	≤ 65	≤ 60	≤ 55	≤ 45
	CP**	≤ 60	≤ 55	≤ 50	≤ 45

* Concreto Armado

** Concreto Protendido

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.1.2 Propriedades no estado fresco

Para Neville e Brooks (2013) o estado fresco do concreto é a partir de sua produção até o seu lançamento nas formas. Neste estado o concreto deve apresentar algumas propriedades para ser considerado adequado nesta condição, sendo elas: consistência da mistura de tal maneira que o concreto possa ser adensado com as ferramentas disponíveis, e coesão suficiente para que ele possa ser transportado e lançado nas formas sem sofrer segregação, ou seja, neste estado o concreto deve apresentar uma trabalhabilidade adequada ao fim a que se destina. Bauer (2008) complementa dizendo que, ainda no estado fresco deve-se ter em vista o estado endurecido, pois neste estado a mistura deve se apresentar homogênea e com o mínimo de vazios.

Para Isaia (2007) consistência pode ser definida como menor ou maior capacidade do concreto se deformar quando for solicitado pela sua própria massa. De forma mais simplificada, Mehta e Monteiro (2014) definem a consistência como sendo a facilidade do concreto escoar, e a coesão como a resistência à segregação e à exsudação.

A consistência do concreto, de acordo com Isaia (2007), pode ser medida através do ensaio do abatimento do tronco de cone, que é um método de ensaio muito utilizado e normatizado pela NBR NM 67/1998. Conforme a ABESC (2007) este ensaio é o principal meio para controlar a trabalhabilidade do concreto na obra, expressa pelo abatimento, sendo que o que o consagrou como ensaio mais utilizado foi à simplicidade da execução.

O equipamento para realização do ensaio consiste em um tronco cone oco, com dimensões internas de 200 mm na base inferior, 100 mm na base superior e 300 mm de altura. Uma placa metálica para ser usada como base para o molde com dimensões superiores ou iguais a 500 mm de lado e uma haste para adensamento com 16 mm de diâmetro e 600 mm de altura (NBR NM 67, ABNT, 1998). Na figura 2 são mostrados os equipamentos utilizados no ensaio.

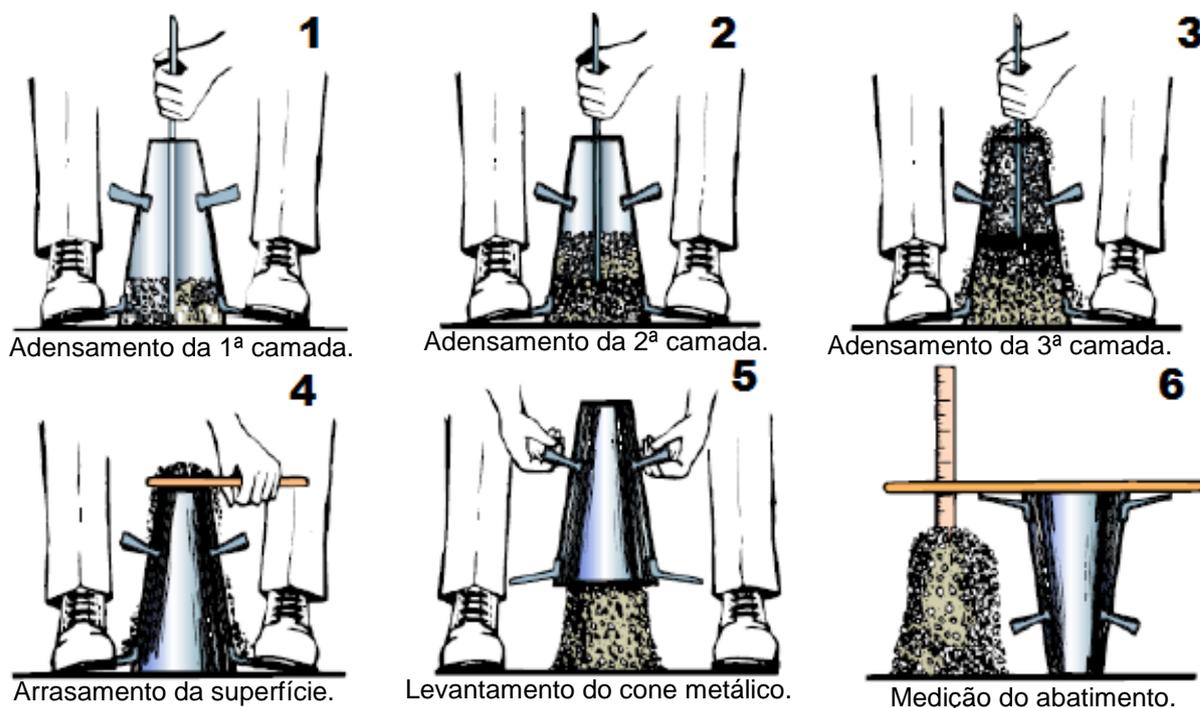
Figura 2 - Equipamentos do ensaio de abatimento.



Fonte: Autor, (2016).

O ensaio se inicia colocando o cone sobre a base metálica, em seguida se preenche o cone com concreto em 3 camadas de igual espessura, adensando cada camada com 25 golpes através da haste metálica. Após o adensamento da última camada deve ser removido o excesso de concreto de cima do cone com a haste, então, o cone é lentamente removido para que o concreto sofra o abatimento. A medida do abatimento é a diferença de altura entre o topo do cone até a superfície do concreto (NBR NM 67, ABNT, 1998). A figura 3 ilustra os procedimentos envolvidos no ensaio de abatimento do tronco de cone descritos acima.

Figura 3 - Processos para ensaio de abatimento.



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Mehta e Monteiro (2014).

Sobre a importância do estado fresco do concreto, Mehta e Monteiro (2014), citam que a trabalhabilidade é uma das características mais importantes deste estado e que afeta diretamente a viabilidade da construção. Para os autores, por mais controlado que sejam os processos de cura e dosagem do concreto, uma mistura não lançada e adensada adequadamente, possivelmente não irá atingir as propriedades esperadas de durabilidade e resistência.

2.1.3 Propriedades no estado endurecido

Sobre o concreto no estado endurecido, para Neville e Brooks (2013) uma resistência à compressão adequada é considerada como principal exigência deste estado, sendo que isso se deve ao fato da resistência ser uma propriedade que pode ser medida com facilidade e também é uma maneira fácil de certificar que o concreto empregado na obra atende as especificações contratadas. No entanto, a preocupação com a resistência à compressão do concreto no estado endurecido é ainda mais ampla, pois várias outras propriedades estão diretamente ligadas com

ela, tais como: impermeabilidade, durabilidade, resistência à tração e a sulfatos, entre outras.

Quanto à durabilidade das estruturas de concreto, Bauer (2008) descreve que esta propriedade está relacionada com o ambiente ao qual o concreto está exposto, sendo que sua vida útil pode ser maior ou menor dependendo das ações atuantes na estrutura, ações que podem conduzir a deterioração total da estrutura. No entanto, segundo o autor, estas ações podem ser quase sempre amenizadas, dando a estrutura maiores condições de sobrevivência.

Sobre a permeabilidade, Mehta e Monteiro (2014) citam que ela tem grande importância para os processos de degradação físico e químicos que atuam no concreto. Esta propriedade está relacionada com a porosidade, assim, uma redução da porosidade reduzirá também sua permeabilidade. Segundo os autores, isso é possível utilizando um consumo adequado de cimento, uma relação de água/cimento reduzida e processos de adensamento e cura apropriados.

Outra importante propriedade do concreto endurecido é a porosidade, também conhecida como volume de vazios que ficam no sólido após a cura, sendo, esta propriedade fundamental para a resistência do concreto. O volume de vazios está diretamente relacionado com a relação água/cimento, consequentemente interligado com a resistência (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Resistência mecânica à compressão

Conforme Mehta e Monteiro (2014) a resistência de um material pode ser definida como sua capacidade de resistir a um determinado esforço de tensão sem se romper. Quando se fala em concreto, a resistência à compressão axial é a propriedade que mais interessa os engenheiros bem como os projetistas de estruturas. Isso se deve ao fato de que esta propriedade está diretamente ligada à qualidade do concreto num todo, então se relaciona a qualidade do concreto e as demais resistências e propriedades diretamente com a sua resistência à compressão (ISAIA, 2007, MEHTA E MONTEIRO, 2014, NEVILLE E BROOKS, 2013, FUSCO, 2008 e PINHEIRO 2007).

Embora, muitas vezes outras características tais como impermeabilidade, estabilidade de volume e durabilidade, por exemplo, acabem sendo propriedades

mais relevantes em determinados casos, para Neville e Brooks (2013) conseguindo atingir uma boa resistência à compressão provavelmente se terá as demais propriedades atendidas de forma satisfatória.

Segundo Neville (1997) para obtenção da resistência característica à compressão do concreto adota-se como referência a idade de 28 dias. O autor conclui dizendo não haver uma explicação científica para determinação da resistência aos 28 dias de idade, de forma que esta data ficou definida em virtude do lento ganho de resistência do concreto somado a necessidade de medir sua resistência com o cimento já hidratado. Outra explicação para a definição desta idade é o fato de ser uma data múltipla de uma semana, ou seja, o vigésimo oitavo dia coincidiria com o dia da semana da concretagem, portanto dia útil com dia útil.

A determinação de um valor para a resistência do concreto é realizada pelos ensaios de rompimentos de corpos-de-prova submetidos à compressão. As dimensões, formas, tipo e tempo de cura e forma de moldagem são padronizados (Isaia, 2007 e Pinheiro, 2007). Para fins de desenvolvimento trabalho, de agora em diante corpos-de-prova serão tratados apenas pela sua abreviatura CP.

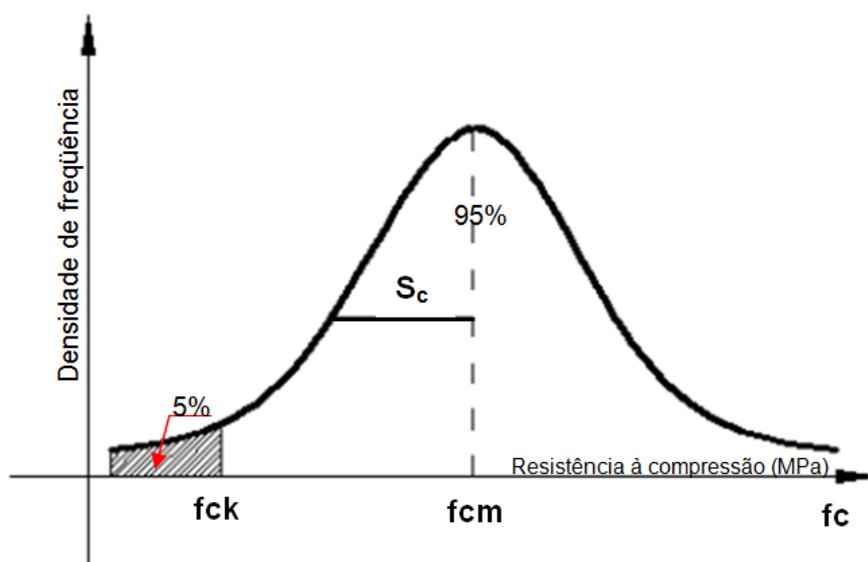
Helene e Terzian (1993), Isaia (2007) e Pinheiro (2007) denominam a resistência obtida no ensaio de compressão corpos-de-prova como f_c , então podemos dizer que f_c é o valor individual, para cada um dos corpos-de-prova.

Conforme descrito por Isaia (2007), num mesmo lote de concreto o valor de f_c para vários CP's não será o mesmo devido às muitas variáveis envolvidas. Desta forma, segundo o próprio autor e de acordo também com Helene e Terzian (1993) e Pinheiro (2007) a partir dos valores de f_c é possível calcular um valor médio para a amostragem de CP's.

Para Pinheiro (2007) este novo valor é denominado de Resistência média do concreto à compressão, ou simplesmente f_{cm} . Então f_{cm} é obtido fazendo uma simples média aritmética dos valores de f_c encontrados. Helene e Terzian (1993), Isaia (2007) e Pinheiro (2007) concluem dizendo que quanto mais rigoroso for o controle dos CP's na obtenção do valor de f_c , maior será a precisão do cálculo para a obtenção de f_{cm} .

Segundo Pinheiro (2007) após um numeroso ensaio de CP's pode ser realizado um gráfico contendo os valores de f_c obtidos nos ensaios, pela quantidade de CP's rompidos. A curva obtida no gráfico é denominada de Curva de Gauss ou curva de distribuição normal da resistência do concreto. A figura 4 mostra a distribuição normal da resistência à compressão do concreto, ou curva de Gauss.

Figura 4 - Curva de distribuição normal, ou curva de Gauss.



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Helene e Terzian (1993, p. 108).

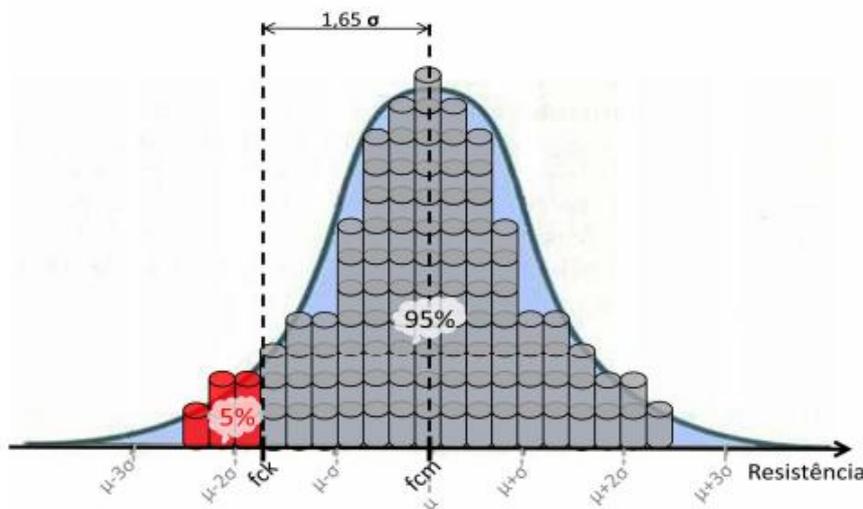
Segundo Helene e Terzian (1993) e Pinheiro (2007) a partir da curva de Gauss pode ser finalmente obtido o valor da resistência característica à compressão do concreto. Fusco (2008) e Isaia (2007) definem o valor da resistência característica do concreto (f_{ck}) como sendo a área em que 95% dos corpos de prova possuem $f_c \geq f_{ck}$.

Sendo o f_{ck} definido por Helene e Terzian (1993) como:

Resistência característica do concreto à compressão é o valor referencia que adota o projetista como base de cálculo. Está associada a um nível de confiança de 95%. Chama-se também resistência característica especificada ou de projeto. A esse valor é aplicado o coeficiente de minoração para a obtenção da resistência de cálculo f_{cd} do concreto à compressão.

A figura 5 ilustra de forma mais clara a representação gráfica da curva de Gauss com nível de confiança de 95% para determinação da resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}).

Figura 5 - Representação gráfica da curva de Gauss.



f_{ck} – resistência característica à compressão (para nível de confiança de 95%), é o valor referência adotado para o projeto;

f_{cm} ou f_{cj} – resistência média do lote, também utilizada como resistência de dosagem a “j” dias de idade, normalmente 28 dias.

Fonte: Mascolo (2012).

O valor de f_{ck} , segundo Pinheiro (2007) pode ser obtido através da equação 01, onde s_c é o desvio padrão e o valor de 1,65 representa a área na distribuição normal onde 5% dos CP's que possuem $f_c < f_{ck}$.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s_c \text{ (equação 01)}$$

Quando o concreto é produzido com os mesmos materiais, equipamentos e processo de execução, o valor do desvio padrão (S_c) pode ser determinado obtendo-se no mínimo 20 resultados consecutivos de resistência em um intervalo de 30 dias. No entanto, o valor adotado para o desvio padrão do concreto nunca pode ser inferior a 2 MPa (NBR 12655, ABNT, 2015).

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015) quando não se conhece o desvio padrão específico para o traço de concreto que está sendo aplicado, deve ser utilizado os valores estipulados pela norma, onde estes valores variam de acordo com a condição de preparo do concreto. A tabela 3 mostra a variação dos valores de desvio padrão estipulados pela NBR 12655 (ABNT, 2015) para determinadas condições de preparo, sendo elas:

Condição A, esta condição pode ser definida para todas as classes de resistência do concreto, onde o cimento e os agregados são quantificados em massa, a água medida tanto em volume como em massa, e sua quantidade é ajustada conforme a umidade presente nos agregados (NBR 12655 - ABNT, 2015).

Condição B, limitada as classes de resistência de C10 a C20, onde os agregados são medidos em volume e combinados com a sua massa, o cimento é medido em massa e a quantidade de água é determinada em volume (NBR 12655 - ABNT, 2015).

Condição C, limitada as classes de resistência de C10 e C15, os agregados são quantificados em volume, a quantidade de cimento é determinada em massa e a água utilizada no amassamento é medida em volume e corrigida em função da consistência apresentada pelo concreto (NBR 12655 - ABNT, 2015).

Tabela 2 - Valor do desvio padrão em relação à condição de preparo do concreto.

Condição de preparo do concreto	Desvio padrão (MPa)
A	4,0
B	5,5
C	7,0

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 12655 (ABNT, 2015).

A seguir será discutida a diferença entre as resistências efetiva e potencial do concreto à compressão.

2.1.4 Resistência potencial e efetiva

Quando falamos de resistência à compressão do concreto é importante diferenciarmos a resistência efetiva da resistência potencial.

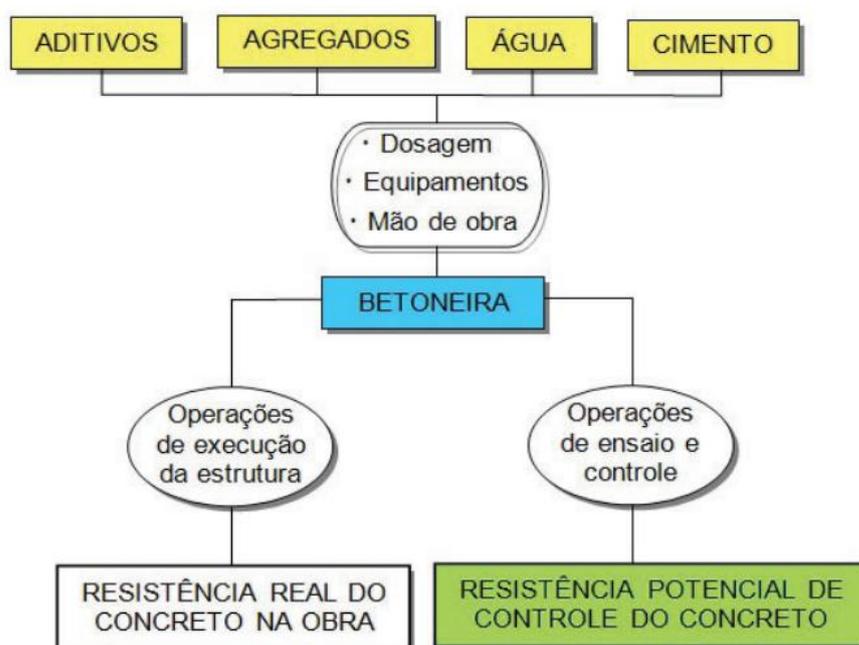
Para Cremonini (1994) a resistência potencial do concreto é aquela obtida no rompimento dos corpos de prova. Segundo o autor é a máxima resistência que se pode obter considerando que os CP's ensaiados estarão em condições ideais de cura, temperatura, adensamento e ensaio.

Quanto à resistência efetiva do concreto, Helene e Pacheco (2013) descrevem como sendo a resistência real do concreto que está empregado na obra,

com todas as variações encontradas nas obras, como diferenças de temperatura, formas de adensamento, cura e manuseio do concreto. Os autores concluem dizendo que normalmente a resistência potencial do concreto é superior a resistência efetiva justamente por conta destas variáveis.

A figura 6 mostra um diagrama que discrimina em que fase inicia a diferença entre as resistências efetivas e potenciais à compressão do concreto.

Figura 6 – Esquema, resistência efetiva e potencial do concreto.



Fonte: Helene e Pacheco (2013)

Segundo Zanardo (2015) o fato de nos deparamos com divergências nas resistências obtidas nos corpos de provas moldados no ato da concretagem, com a resistência real obtida na estrutura, se faz necessário ensaios adicionais para averiguação do real estado da estrutura. O autor descreve que este fato também ocorre em concretos usinados, que por mais rigoroso que seja o processo de dosagem do concreto, na obra as variáveis são as mesmas.

2.2 Classificação dos ensaios

Segundo Lorenzi et al. (2016) o constante monitoramento é um procedimento necessário nas estruturas de concreto, para que possa ser detectado de forma preventiva um possível problema na estrutura, no que diz respeito a resistência e qualidade do concreto empregado. A verificação preventiva permite a utilização de métodos mais econômicos de reparo de uma possível patologia.

Ensaio para controle da resistência do concreto, segundo Repette (1991), estão divididos em dois grupos conforme os danos causados na estrutura, ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos, onde o autor descreve os ensaios destrutivos como sendo aqueles que causam algum dano para a estrutura devendo esta ser reparada após o ensaio. Já os ensaios não destrutivos são aqueles que não afetam a peça ensaiada, sendo desnecessária a realização de reparos no local após o ensaio. Estes ensaios serão discutidos a seguir.

2.2.1 Ensaio não destrutivos

Os ensaios não destrutivos (END) se mostram muito eficientes, visto que podem ser realizados em diversos pontos da estrutura e com o número de ensaios necessário para ter a precisão e confiabilidade assegurada. Além disso, estes ensaios se mostram viáveis do ponto de vista econômico (LORENZI et al., 2016).

Ensaio não destrutivos, segundo Evangelista (2002), são aqueles que não causam nenhum dano na estrutura ou deixam apenas pequenas deformações que podem ser facilmente reparadas logo após a conclusão do ensaio. São ensaios que não comprometem a estrutura por mais esbelta que seja por não ser necessária a remoção de testemunhos, mantendo total integridade dos elementos ensaiados.

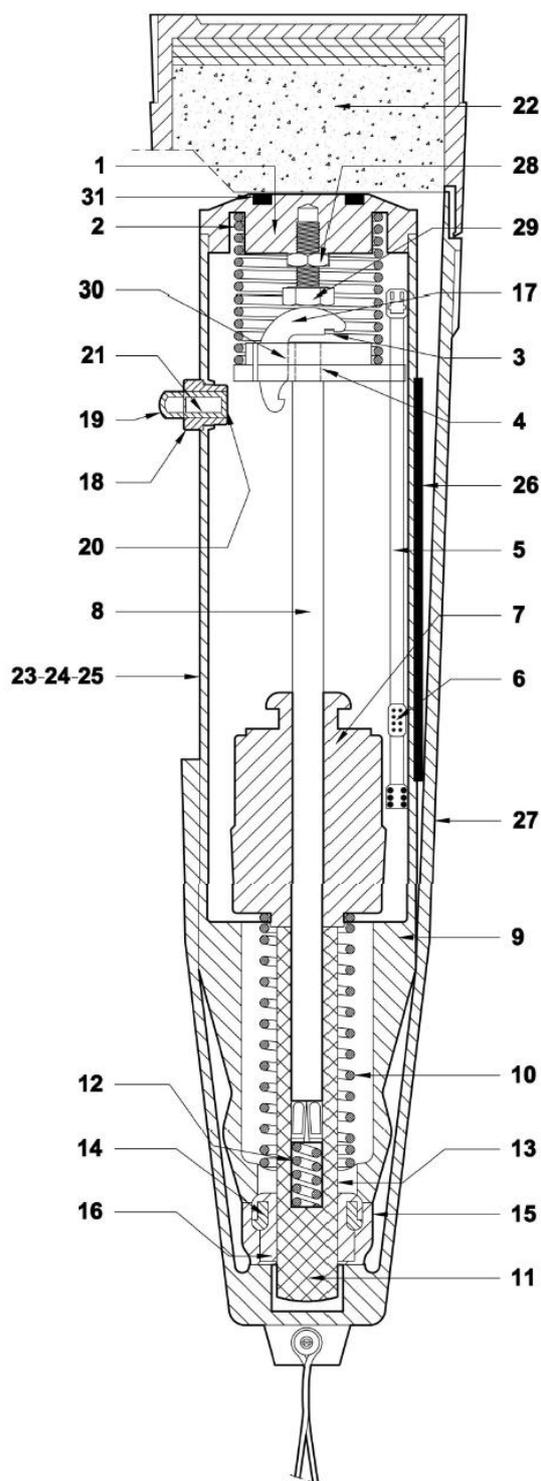
Os END são indicados para uso tanto em estruturas novas como antigas. Para estruturas antigas ou existentes, o ensaio pode ser empregado para avaliar a integridade da estrutura e sua capacidade para resistir aos esforços solicitantes. No caso de novas estruturas eles auxiliam no monitoramento do ganho de resistência

ou podem também ser empregados para sanar possíveis incertezas em relação a qualidade do concreto empregado (EVANGELISTA, 2002).

De acordo com Malhotra & Carino (2004) os END estão divididos em duas classes, sendo que na primeira estão os métodos para estimar a resistência do material, esclerometria por exemplo. Na segunda classe se encontra os métodos que verificam propriedades no interior do concreto por meio de termografia infravermelha e propagação de ondas.

O método não destrutivo de ensaio abordado neste trabalho será o método da dureza superficial, esclerometria, utilizando o esclerômetro de reflexão de Schmidt, que será descrito a seguir. A figura 7 mostra um corte da seção longitudinal do esclerômetro de reflexão de Schmidt.

Figura 7 - Corte da seção longitudinal do esclerômetro de reflexão de Schmidt.



Legenda:

- 1 - Tampa
- 2 - Mola de pressão
- 3 - Garra da mola de pressão
- 4 - Prato
- 5 - Guia do indicador
- 6 - Indicador
- 7 - Massa (martelo)
- 8 - Guia de massa
- 9 - Invólucro da massa
- 10 - Mola de percussão
- 11 - Cabeça do cilindro de comp
- 12 - Mola de amortecimento de c
- 13 - Mola do tipo manga
- 14 - Anel de pressão
- 15 - Cabeça rosca
- 16 - Selante anelar de pó
- 17 - Garra
- 18 - *Corpo do botão de fixação*
- 19 - Botão de fixação
- 20 - Pino do botão de fixação
- 21 - Mola do botão de fixação
- 22 - Pedra de carborundo
- 23 - 24 - 25 - Adesivo com o ábaco
- 26 - Escala graduada
- 27 - Invólucro de protecção
- 28 - Porca de fecho
- 29 - Parafuso de regulação
- 30 - Pino da garra
- 31 - Anel circular

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Zanardo (2015)

Método do esclerômetro

Para Zanardo (2015) o esclerômetro de reflexão é um ensaio do tipo não destrutivo, utilizado para estimar a resistência do concreto através da sua dureza superficial. O equipamento mais usado para o ensaio de esclerometria é o Martelo de Teste de Concreto de Schmidt. A NBR 7584 (ABNT, 2012) traz a mesma definição, complementando que, o ensaio fornece dados para verificação da qualidade do concreto no estado endurecido. A figura 8 mostra o esclerômetro de reflexão de Schmidt.

Figura 8 - Esclerômetro de reflexão de Schmidt.



Fonte: Autor, 2016.

Segundo Mehta e Monteiro (2014) este método pode ser facilmente utilizado e é um meio barato e rápido de se verificar a uniformidade do concreto. Medeiros e Pereira (2012) também apontam que o esclerômetro pode ser bastante utilizado em empresas que fabricam peças pré-moldadas de concreto armado, para verificar a resistência atingida pelo concreto, com o objetivo de avaliar se já pode efetuar o transporte e montagem das peças.

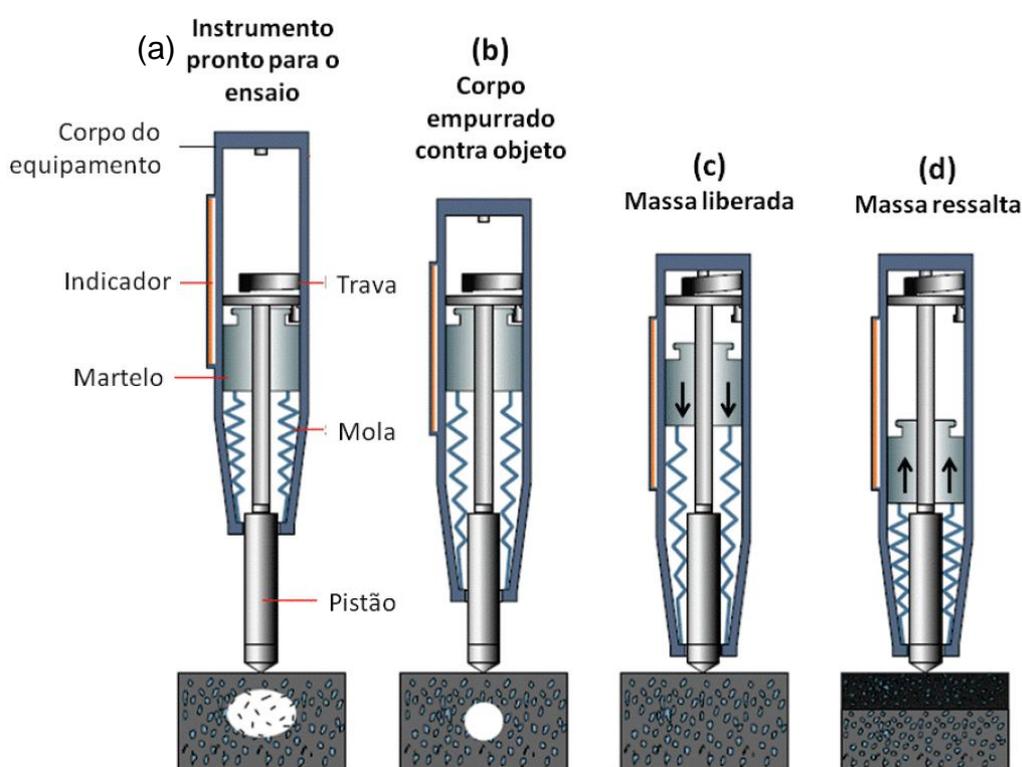
De acordo com Palacios (2012) para a realização do ensaio normalmente são moldados corpos de prova para sua execução, e para comparação do resultado moldados outros CP's para serem submetidos ao ensaio de compressão axial. No entanto, os dois ensaios podem ser realizados em um mesmo corpo de prova, realizando primeiramente o END para posteriormente submeter o CP ao ensaio de compressão axial.

O ensaio consiste em impactar uma superfície de concreto de forma padrão, com uma dada energia de impacto. Então, medir o rebote ou a reflexão do martelo

padrão após o impacto no concreto, sendo o valor do rebote denominado de índice esclerométrico (IE) (SAMANIEGO, 2014).

O índice esclerométrico (IE) é descrito pela NBR 7584 (ABNT, 2012) como sendo: “Valor obtido através de um impacto do esclerômetro de reflexão sobre uma área de ensaio, fornecido diretamente pelo aparelho, correspondente ao número de recuo do martelo”. A representação esquemática do procedimento do ensaio de esclerometria pode ser visto na figura 9.

Figura 9 - Esquemática do procedimento do ensaio esclerométrico.



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Mehta e Monteiro (2014)

A energia de impacto se divide em duas parcelas, uma na deformação provocada no local onde foi feito o ensaio, e a outra, absorvida como energia de atrito mecânico no aparelho. A última parcela é a que traz, ao final de cada impacto, o índice esclerométrico (ZANARDO, 2015).

A partir do índice esclerométrico (IE) pode ser, segundo Medeiros e Pereira (2012), estimada a resistência à compressão do concreto, através da elaboração de curvas que correlacionam os dois valores, IE e resistência à compressão. Para

Evangelista (2002) a estimativa da resistência à compressão por esclerometria apresenta confiabilidade em torno de ± 15 a $\pm 20\%$.

De acordo com Medeiros e Pereira (2012) o aparelho utilizado no ensaio de esclerometria já vem com curvas próprias que correlacionam o IE com a resistência à compressão, no entanto, conforme Samaniego (2014) e a NBR 7584 (ABNT, 2012) estas curvas levam em conta concretos preparados em outros países, utilizando agregados com características diferentes dos usados aqui. Desta forma, a norma sugere que as curvas sejam refeitas, aferindo o equipamento para o tipo de concreto utilizado para maior precisão na determinação da resistência à compressão.

Palacios (2012) em sua dissertação de mestrado sintetizou em forma de tabela algumas equações propostas por diversos autores correlacionando o valor do IE com a resistência à compressão do concreto (f_c). A tabela 4 traz algumas equações desenvolvidas por estes autores.

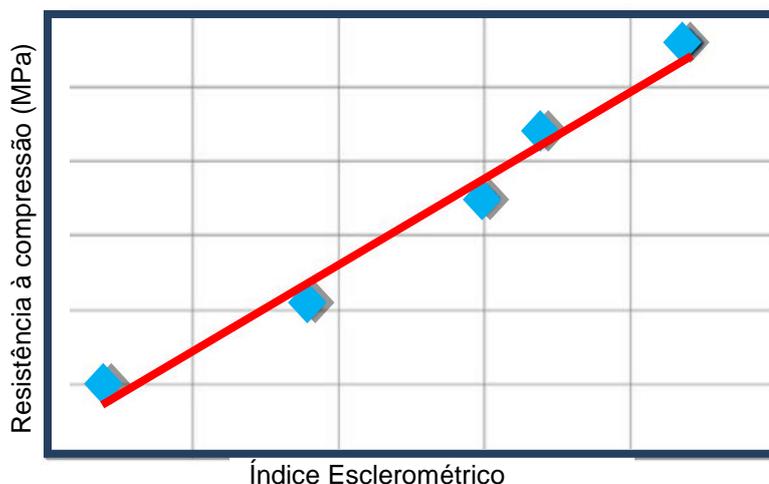
Tabela 3 - Equações desenvolvidas por diversos autores correlacionando o IE com a resistência à compressão do concreto (f_c).

Autor	Equação	Agregado graúdo	Classe de resistência (MPa)
Evangelista (2002)	$f_c = (0,033) IE^{2,02}$ $f_c = (0,007) IE^{2,477}$ $f_c = (0,0252) IE^{2,128}$	Gnaisse: 19 mm Gnaisse: 9,5 mm Traquito: 19 mm	11 – 53 MPa 10 – 46 MPa 8 – 49 MPa
Machado (2005)	$f_c = (0,026) IE^{2,044}$	Gnaisse, Sienito: 19 mm	15 – 50 MPa
Câmara (2006)	$f_c = (1,588) IE - 17,423$	Granítica	20 – 50 MPa
Aydin e Saribiyik (2010)	$f_c = (11,612) IE - 52,03$	Calcário britado	15 – 50 MPa
Qasrawi (2010)	$f_c = (1,353) IE - 17,393$	-	10 – 40 MPa
Joffily (2010)	$f_c = (2,4) IE - 39,4$	-	25 – 45 MPa

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Palacios (2012).

Na figura 10 pode ser visualizado um exemplo de curva que correlaciona o índice esclerométrico com a resistência à compressão do concreto em MPa.

Figura 10 - Exemplo de curva para obtenção da resistência à compressão.



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Medeiros e Pereira (2012).

Os ensaios não destrutivos, segundo Malhotra (1984) e também de acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012), não são considerados substitutos dos ensaios de resistência à compressão em CP's padrão. Servindo como ensaio adicional de controle, monitoramento e aceitação do concreto.

- Vantagens e limitações

Em se tratando das vantagens do método do esclerômetro de reflexão, os autores Câmara (2006) e Evangelista (2002) concordam em todos os aspectos. Eles citam em primeiro lugar a facilidade de manipular o equipamento, e que, além dele ser muito leve, o custo dos ensaios ou aquisição do equipamento são baixos. Outros pontos levantados pelos autores são a rapidez na obtenção de uma grande quantidade de resultados, considerando que os danos causados na estrutura são praticamente nulos.

Para Palacios (2012) o que mais estimula ao uso do esclerômetro é a fácil conversão do IE para a escala desejada, como resistência a compressão por exemplo. Desta forma, conforme Evangelista (2002) o método se torna atrativo para monitoramento do ganho de resistência e da uniformidade do concreto. Segundo Castro (2009) o uso deste ensaio também é recomendado para empresas que fabricam peças pré-moldadas, para acompanhamento da evolução da resistência, e

para avaliação da resistência à abrasão de pisos de concreto, visto que esta propriedade depende da dureza superficial.

De acordo com Câmara (2006) e Evangelista (2002) pequenas marcas na área ensaiada podem ocorrer, mas isso não se torna uma limitação propriamente dita, visto que este fato ocorre apenas em concretos com baixa resistência ou ainda não curados de forma adequada. Desta forma, como limitação do esclerômetro os autores se referem que os resultados apresentados no ensaio são referentes apenas a uma camada superficial de concreto, em torno de 30mm de profundidade na área ensaiada.

Segundo Câmara (2006), Evangelista (2002) e Palacios (2012) a principal limitação é a interferência que a carbonatação e o grau de saturação superficial do concreto geram na medição da dureza superficial. A saturação superficial causa redução do índice esclerométrico. Já a carbonatação gera aumento considerável da dureza superficial do concreto, por esse fato que a NBR 7584 (ABNT, 2012) sugere que para concretos com idade superior a 60 dias, seja aplicado fatores de correção do IE.

- Aplicações

Segundo Evangelista (2002) este método pode ser utilizado para verificar a qualidade do concreto em diferentes partes da estrutura sem causar danos ao concreto, como também buscar uma estimativa da sua resistência à compressão com base em curvas de correlação. Castro (2009) descreve que o ensaio de esclerometria não pode ser utilizado como substituição do ensaio de resistência à compressão axial, mas sim como complemento.

- Normatização

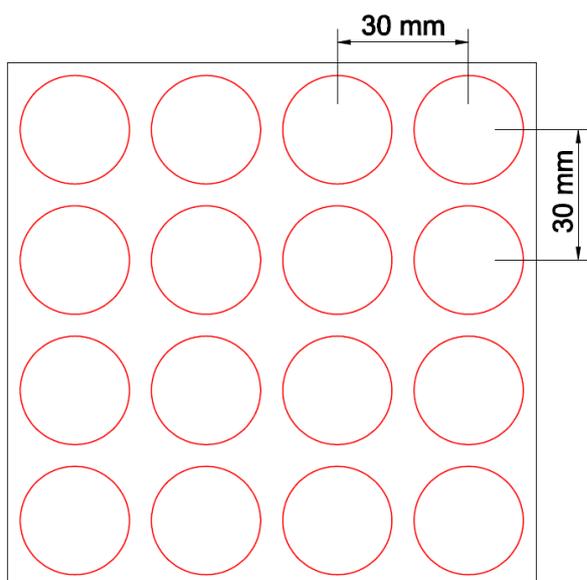
A norma que estipula as diretrizes e orienta sobre as condições adequadas para o ensaio da avaliação da resistência superficial com o esclerômetro de reflexão é a NBR 7584 de 2012. Abaixo serão descritos alguns procedimentos e condições

exigidas pela norma para a ideal execução do ensaio e melhor confiabilidade dos resultados.

Sobre o procedimento de execução a NBR 7584 (ABNT, 2012) descreve que o ensaio deve ser iniciado pela preparação da área ensaiada. Sendo que esta superfície deve estar limpa, seca e plana. Superfícies irregulares devem ser polidas até atingir uma área plana para a execução do ensaio. Ainda sobre a área do ensaio, a norma descreve que deve estar afastada em no mínimo 50 mm das arestas e estar compreendida entre 8.000 e 40.000 mm², ou seja, regiões compreendidas entre 90x90 mm e 200x200 mm respectivamente.

Quanto aos impactos, segundo a norma, para cada área de ensaio devem ser realizados 16 impactos distantes entre centro em no mínimo 30 mm, conforme está exemplificado na figura 11. Com os 16 valores individuais obtidos, se calcula a média aritmética, sendo o valor da média o índice esclerométrico (IE) que corresponde a uma única área de ensaio. Ainda, deve ser evitado impactos sobre bolhas, armaduras e demais áreas que não representam de fato o concreto em questão.

Figura 11 - Exemplificação da distância que deve ser seguido na realização dos impactos.



Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 7584 (ABNT, 2012).

Sobre a validação dos dados obtidos, devem ser descartados os índices individuais que se afastarem em mais de 10% da média aritmética e calcular novamente a média. Ainda, o IE deve ser obtido com no mínimo cinco resultados individuais, não sendo possível o ensaio deve ser refeito em outra área (NBR 7584, ABNT, 2012).

- Principais fatores que afetam os resultados do ensaio de esclerometria

Textura da superfície: Para Malhotra (2004 *apud* Samaniego 2014) e também de acordo com a NBR 7584 (ABNT, 2012) a textura da superfície é o fator que acarreta maior variabilidade nos resultados. Superfície irregular absorve o impacto do martelo diminuindo o valor do rebote. Tendo a necessidade de avaliar este tipo de superfície, ela deve ser polida com pedra de carborundum até atingir o alisamento adequado para o ensaio. A figura 12 é uma fotografia de uma pedra de carborundum que é comercializada junto ao esclerômetro de reflexão.

Figura 12 - Exemplo de pedra de carborundum que é comercializada junto ao esclerômetro de reflexão.



Fonte: Autor (2016).

Dimensões do elemento: Peças com tamanho reduzido podem acabar vibrando com o impacto do martelo e conseqüentemente alterando o valor do rebote. Elementos de concreto com dimensão inferior a 10 cm na direção do impacto devem ser evitadas a fim de evitar a interferência da vibração, ressonância e dissipação da energia de impacto. Havendo a necessidade de ensaiar uma peça mais esbelta na

direção do impacto, estas devem ser apoiadas em sua face oposta ao ensaio para evitar as alterações citadas acima (NBR 7584, ABNT, 2012).

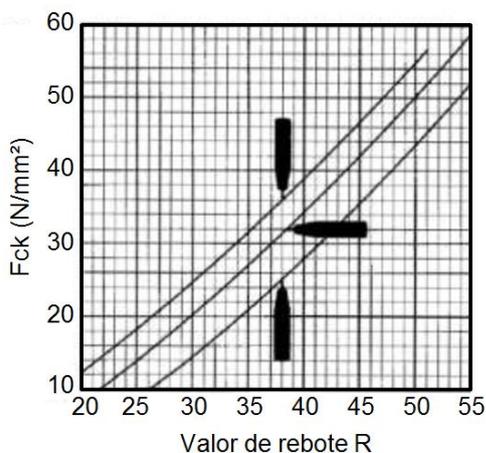
Tipo de cimento: Segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012) pelo fato da influência do tipo de cimento ser bem significativa na determinação do IE, é necessário sempre que houver alteração do tipo do cimento fazer novas correlações para determinação do índice. De acordo com Malhotra (2004 *apud* Samaniego 2014) concretos produzidos com cimento de alta alumina podem atingir índices muito superiores, até 100% maiores que os de cimento Portland comum. Já concretos feitos com cimento com alto teor de sulfato, podem apresentar índices até 50% menores do que os de cimento Portland comum.

Umidade da superfície: A umidade superficial pode provocar diminuição do valor do índice esclerométrico (NBR 7584, ABNT, 2012). Segundo Malhotra (2004 *apud* Câmara 2006) em condição de umidade o valor medido pode ser até 20% menor.

Idade do concreto: A idade do concreto influencia no resultado do ensaio em virtude das condições de cura e carbonatação. Estas situações distorcem a correlação com a resistência estabelecida em condição de norma, 28 dias. Portanto, novas correlações devem ser feitas para concreto com idade superior a 60 dias e inferior a 14 dias. O efeito da carbonatação pode causar uma grande elevação na medida do IE, em casos extremos esta diferença pode chegar a até 50%. Já para concreto com idade inferior a 14 dias pode ocorrer deformação da superfície, e conseqüentemente diminuição do índice esclerométrico (NBR 7584, ABNT, 2012).

Operação do esclerômetro de reflexão: Primeiramente o esclerômetro deve estar sempre posicionado ortogonalmente à superfície do ensaio. Outra situação é que o instrumento deve ser preferencialmente utilizado na horizontal, ou seja, aplicado em superfícies na vertical. Quando houver a necessidade de verificação de um piso ou um forro, por exemplo, o resultado deve ser corrigido de acordo com os coeficientes de correlação fornecidos pelo fabricante do aparelho. Estes coeficientes levam em conta a influência da ação da gravidade no ensaio (NBR 7584, ABNT, 2012). A figura 13 mostra um exemplo de curva de correlação do valor da resistência com a posição em que o equipamento foi utilizado.

Figura 13 - Exemplo de curva de correlação da posição do equipamento com o valor de resistência.



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Zanardo (2015).

2.2.2 Ensaios destrutivos - Extração de testemunhos de concreto

Segundo Repette (1991) o método que proporciona maior confiabilidade para estimar a resistência direta do concreto empregado na estrutura é o método de extração de testemunhos de concreto. Entretanto, para Neville e Brooks (2013), pelo fato deste método causar danos na estrutura, o mesmo só deve ser empregado quando os métodos de ensaios não destrutivos não forem apropriados.

Testemunhos são, de acordo com Filho (2007), peças com forma cúbica, cilíndrica ou prismática, extraídas de estruturas de concreto com disco ou através de corte com sonda rotativa. Os testemunhos cilíndricos, de acordo com a NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015) devem preferencialmente apresentar diâmetro maior ou igual a 100 mm. O principal objetivo da extração de testemunhos é a verificação da resistência à compressão da peça em questão, podendo ser obtido também demais informações complementares.

De acordo com Palacios (2012) a extração e rompimento de testemunhos é o método mais utilizado para avaliar a resistência à compressão do concreto quando devem ser avaliadas estruturas existentes. Para o autor e juntamente com Mehta e Monteiro (2014), o valor de resistência dos testemunhos são geralmente menores do que a resistência obtida em corpos de prova padronizados para a mesma idade de referência adotada, sendo esta diminuição atrelada não somente as condições de

adensamento e cura, mas também aos danos gerados no testemunho durante a extração, chamado de efeitos do broqueamento.

Nestes danos do broqueamento estão englobadas as micro fissuras ocasionadas no processo de extração, as possíveis ondulações que podem aparecer no testemunho ao longo de sua altura e também o efeito “parede”. O efeito parede consiste no fato de que no ato da extração do testemunho, alguns agregados possivelmente sejam cortados e com isso acabam ficando expostos, desta forma, estes agregados tendem a ser expelidos quando o testemunho for solicitado à compressão. O que não acontece em corpos de prova padrão, pois estes apresentam uma camada externa, “parede”, formada pela pasta de cimento (FILHO, 2007).

Ainda, Mehta e Monteiro (2014) citam que a resistência medida no testemunho extraído também varia de acordo com a sua posição na estrutura. Esse fato normalmente está atrelado à exsudação diferencial, desta forma, os testemunhos extraídos na base do elemento de concreto tentem a apresentar maior resistência do que os testemunhos extraídos da parte superior do mesmo elemento.

A norma que estabelece os procedimentos de extração e ensaio dos testemunhos é a NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015), e abaixo serão descritas algumas recomendações da norma para a correta realização dos ensaios, desta forma, todas as informações apresentadas na sequência foram referenciadas na NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015): Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial.

- Escolha dos locais para extração de testemunhos:

A distância para extração dos testemunhos das bordas dos elementos e das bordas de outros furos de extração, devem respeitar a medida mínima de uma vez o diâmetro do testemunho. Outro ponto que deve ser levado em conta é que a norma sugere que não sejam realizadas extrações em regiões próximas as armaduras, e o diâmetro máximo de armadura no interior do testemunho não pode passar de 10 mm, sendo vedada a utilização de testemunhos com armadura paralela à sua seção longitudinal (NBR 7680 – 1, ABNT, 2015).

Em elementos verticais como paredes e pilares que acabam sofrendo mais com o efeito da exsudação, a norma recomenda que os testemunhos sejam extraídos a no mínimo 30 cm das extremidades superior e inferior. Quando for extraído de uma mesmo pilar mais de um testemunho, os furos devem ser realizados na mesma prumada e a redução da seção transversal, ocasionada pelo furo proveniente da extração, sempre deve ser inferior a 10 % (NBR 7680 – 1, ABNT, 2015).

- Correção dos resultados obtidos:

Os resultados do ensaio de compressão axial dos testemunhos serão corrigidos através da equação 02, que leva em conta os coeficientes k_1 , k_2 , k_3 e k_4 estabelecidos pela NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015):

$$f_{ci,ext} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] \times f_{ci,ext,inicial} \text{ (equação 02)}$$

Onde, $f_{ci,ext,inicial}$ é o resultado obtido no ensaio de rompimento do testemunho submetido à compressão axial, e $f_{ci,ext}$ será o valor corrigido, valor calculado (NBR 7680 – 1, ABNT, 2015). Já os coeficientes k_1 a k_4 serão descritos em separado abaixo.

Coeficiente k_1 : representa a relação altura pelo diâmetro do testemunho (h/d), e deve ser usado sempre que o valor desta relação for diferente de 2. A tabela 5 traz os valores dos coeficientes normalizados em função da relação (h/d), sendo o valor da relação diferente dos valores da tabela, o coeficiente k_1 pode ser determinado por interpolação linear (NBR 7680 – 1, ABNT, 2015).

Tabela 4 - Valores para o coeficiente k_1 .

h/d	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,42	1,33	1,25
K_1	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07
h/d	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00	
K_1	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14	

Fonte: NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015).

Coeficiente k_2 : representa o efeito do broqueamento, e é relacionado com o diâmetro do testemunho (NBR 7680 – 1, ABNT, 2015). A tabela 6 traz os valores para o coeficiente k_2 em função do diâmetro do testemunho.

Tabela 5 - Valores para o coeficiente k_2 .

Diâmetro do testemunho (mm)	50	75	100	≥ 150
K_2	0,12	0,09	0,06	0,04

Fonte: NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015).

Coeficiente k_3 : este coeficiente varia em função da direção da extração em relação à direção do lançamento do concreto. Quando o testemunho for extraído ortogonalmente ao lançamento do concreto, por exemplo, em pilares, $k_3 = 0,05$. Se a extração for realizada paralelamente ao lançamento do concreto, por exemplo, em lajes, $k_3 = 0,00$ (NBR 7680 – 1, ABNT, 2015).

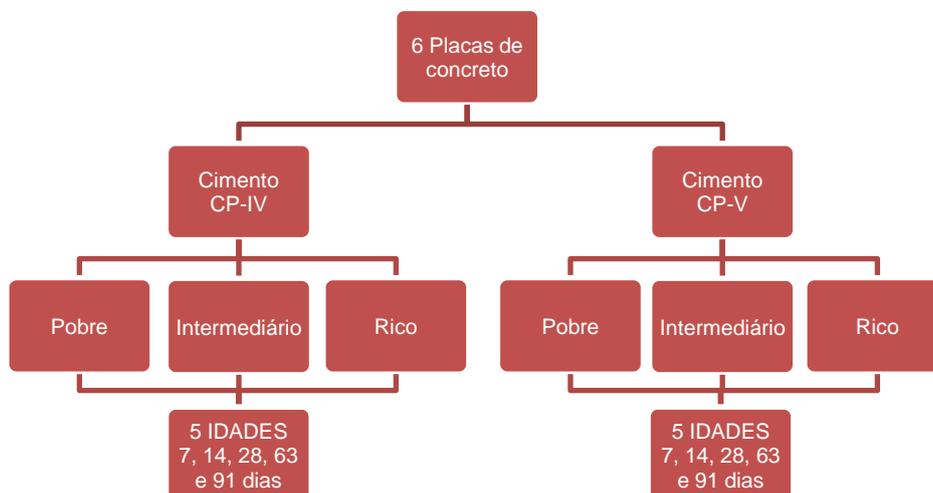
Coeficiente k_4 : está relacionado com a umidade do testemunho. Quando o testemunho for rompido estando saturado, $k_4 = 0,00$. Quando o testemunho estiver seco, $k_4 = -0,04$ (NBR 7680 – 1, ABNT, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de atingir os objetivos propostos, a metodologia aplicada foi a de experimentação por meio de ensaios, onde foi correlacionada a resistência mecânica do concreto obtida através do ensaio não destrutivo de esclerometria, com os ensaios destrutivos de compressão axial, de corpos de prova padrão moldados junto da concretagem e extraídos da estrutura concretada.

O concreto foi analisado em diferentes idades (7, 14, 28, 63 e 91 dias), e com diferentes faixas de resistência mecânica, obtidas através da alteração da relação água/cimento (A/C), onde foram realizados um traço pobre, um intermediário e um rico. Ainda, nessas idades e faixas de resistência foram avaliados dois diferentes tipos de cimento (CP-IV e CP-V-ARI). Desta forma teremos ao todo o desenvolvimento de seis diferentes traços de concreto. A figura 14 traz um fluxograma resumo dos materiais e métodos utilizados.

Figura 14 - Fluxograma resumo de materiais e métodos.



Fonte: Autor (2016).

Sabendo que a resistência à compressão é o fator principal de controle da qualidade do concreto, é preciso se ter um controle tecnológico para garantir esta propriedade. Para isso a NBR 12655 (ABNT, 2015) estabelece as formas de preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto, a NBR 5738 (ABNT, 2015) estabelece os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova, e a NBR 5739 (ABNT, 2007) estabelece os procedimentos de ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Desta forma, todos os procedimentos descritos neste trabalho seguiram os critérios estabelecidos nestas normas.

3.1 Materiais

Os agregados utilizados, tanto o gráudo como o miúdo (brita e areia), são os que estão disponíveis para aquisição na região do vale do Taquari para melhor similaridade com os concretos produzidos na região. Os mesmos foram caracterizados quanto às propriedades físicas, tais como massa específica, unitária, modulo de finura e diâmetro máximo característico.

Quanto ao cimento, foram utilizados dois tipos, o cimento tipo V, de alta resistência inicial (CPV – ARI), e o cimento do tipo IV que é o cimento mais comumente comercializado na região. A escolha desses tipos de cimento se dá pela diferença de suas propriedades e desenvolvimento de resistência durante a cura, o que traz uma maior abrangência entre os ensaios e por serem os mais comercializados na região.

As dosagens e os ensaios foram realizados junto ao LATEC (Laboratório de Tecnologia de Construção) da UNIVATES, localizado no município de Lajeado/RS.

3.1.1 Caracterização dos materiais

Para definição adequada dos parâmetros dos concretos produzidos nesta pesquisa se faz necessário caracterizar os materiais empregados, visto que os resultados obtidos são relacionados diretamente ao tipo de material, principalmente ao que se refere ao ensaio de esclerometria.

- Cimento

Os cimentos utilizados foram caracterizados quanto à sua massa específica onde o cimento CP-IV apresentou $2,59 \text{ g/cm}^3$, e o cimento CP-V $2,87 \text{ g/cm}^3$, indicando uma diferença entre ambos, o que é esperado visto que a cinza volante adicionada em até 50% no CP-IV tem massa específica menor que o clínquer.

- Agregado graúdo

O agregado graúdo é classificado segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) como sendo agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,75 mm. O agregado utilizado é de origem basáltica e é comumente comercializado na região do vale do Taquari. A tabela 7 traz as massas medidas na caracterização do agregado.

Tabela 6 - Caracterização do agregado graúdo quanto a sua massa.

Caracterização do agregado graúdo	
Massa unitária (Kg/m^3)	1402
Massa unitária compacta (Kg/m^3)	1471
Massa específica do agregado seco (Kg/m^3)	2490
Massa específica do agregado saturado superfície seca (Kg/m^3)	2575
Massa específica aparente (Kg/m^3)	2722
Absorção de água (%)	3,42

Fonte: Autor (2017).

O agregado foi classificado como brita 1, sendo que tem sua dimensão máxima característica $\text{DMC} = 19 \text{ mm}$. A tabela 8 traz a distribuição granulométrica do agregado graúdo, o módulo de finura e o DMC.

Tabela 7 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo.

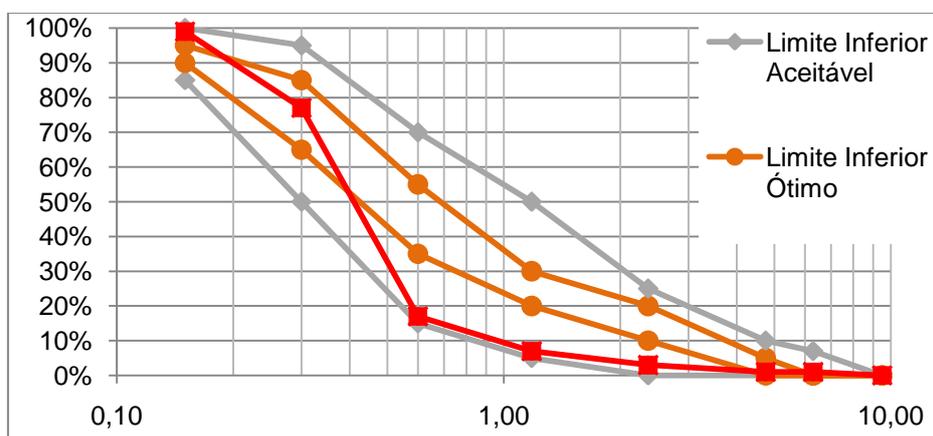
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulado
50,0	0,00	0,0%	0,0%
37,5	0,00	0,0%	0,0%
31,5	0,00	0,0%	0,0%
25,0	0,00	0,0%	0,0%
19,0	24,80	0,4%	0,4%
12,5	544,20	9,0%	9,5%
9,5	1054,00	17,5%	27,0%
6,3	1429,40	23,7%	50,7%
4,75	1465,50	24,3%	75,1%
2,36	0,00	0,0%	75,1%
1,18	0,00	0,0%	75,1%
0,600	0,00	0,0%	75,1%
0,300	0,00	0,0%	75,1%
0,150	0,00	0,0%	75,1%
0,075	0,00	0,0%	75,1%
Fundo	1501,90	24,9%	100,0%
Total	6019,80		
Módulo de finura	4,78		
Diâmetro Máximo	19 mm		

Fonte: Autor (2017).

- Agregado miúdo

O agregado miúdo é classificado segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) como sendo agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de 4,75 mm. A figura 15 ilustra a distribuição granulométrica da areia utilizada no concreto.

Figura 15 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autor (2017).

- Água de amassamento

A água de amassamento utilizada para a realização dos traços de concreto é a mesma água consumida nas dependências da Univates, proveniente da rede da rede pública de abastecimento.

3.1.2 Dosagem do concreto

Foram produzidos seis diferentes traços de concreto, fazendo três diferentes relações de A/C para cada tipo de cimento. A dosagem segue o método da ABCP.

Os traços de concreto bem como a apresentação dos ensaios doravante serão abreviadas para facilitar a interpretação dos resultados. Sendo os traços nomeados de acordo com a tabela 09 na coluna nome adotado.

Tabela 08 - Nomenclatura adotada para cada traço de concreto.

Tipo de cimento	Relação A/C	Característica	Nome adotado
CP-IV	0,70	Pobre	T1
	0,55	Intermediário	T2
	0,40	Rico	T3
CP-V	0,70	Pobre	T4
	0,55	Intermediário	T5
	0,40	Rico	T6

Fonte: Autor (2017).

Para todos os traços foi fixada a quantidade de brita utilizada, alterando as quantidades de areia e de cimento. Já quanto à quantidade de água de amassamento, foi calculada uma estimativa inicial, sendo ajustada a quantidade final de água através da realização do ensaio de abatimento de tronco de cone, que deveria estar em 100 ± 10 mm. A tabela 10 mostra a quantidade de cada material utilizado por traço de concreto, bem como o seu abatimento.

Tabela 9 – Traços unitários utilizados e abatimento atingido.

Traço	Cimento	Areia	Brita	Água	Abatimento (mm)
T1	1,00	2,14	3,77	0,70	100
T2	1,00	1,46	2,96	0,55	95
T3	1,00	0,79	2,15	0,40	90
T4	1,00	2,23	3,77	0,70	105
T5	1,00	1,56	2,96	0,55	95
T6	1,00	0,89	2,15	0,40	100

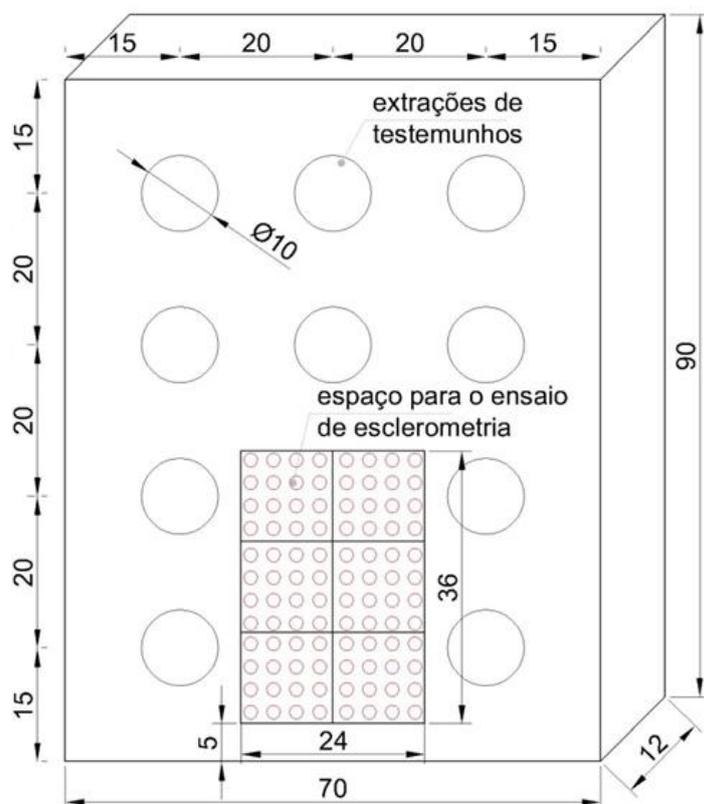
Fonte: Autor (2017).

3.2 Métodos

A variação das classes de resistência com a alteração da relação a/c tem o objetivo de verificar a influência da resistência mecânica do concreto na dureza superficial medida por esclerometria e possibilitar a montagem de uma curva de relação da resistência à compressão com o IE. De mesma forma a variação do tipo de cimento que, como visto na revisão bibliográfica, também interfere na medição do índice esclerométrico.

Para realização de todas estas verificações foram desenvolvidas 6 placas de concreto retangulares com dimensões de 70 cm de largura, 90 cm de comprimento e 12 cm de espessura, totalizando 75,6 litros de concreto por placa, com o intuito de realizar 10 extrações e os ensaios de esclerometria. As placas foram concretadas deitadas, para garantir maior uniformidade no adensamento do concreto. Ainda foram moldados 10 CP's em formas cilíndricas de diâmetro 10cm e altura 20cm para cada uma das placas. A figura 16 mostra o modelo de placa desenvolvida pelo autor para realização dos ensaios.

Figura 16 - Modelo de placa confeccionada para a realização dos ensaios.



Fonte: Autor (2016).

Como observado na figura 15 às dimensões da placa bem como as distâncias para realização dos ensaios seguem as premissas citadas pelas normas. Onde a esclerometria é realizada a mais de 5 cm da extremidade e 3cm entre eixos de impactos do martelo de reflexão. Assim como a extração de testemunhos, que respeita a distância de 15 cm de afastamento do eixo da extração até a extremidade da placa e até outro testemunho.

3.2.1 Produção do concreto

O desenvolvimento dos traços do concreto se deu no Laboratório de Tecnologias de Construção – LATEC, do Centro Universitário UNIVATES. Os equipamentos utilizados foram todos disponibilizados pelo laboratório, sendo que para mistura do concreto foi utilizada uma betoneira de 400 litros.

Para cada traço foi verificado o abatimento de tronco de cone seguindo o procedimento da NBR NM 67/1998. O abatimento previsto deveria estar entre $100 \pm$

10 mm, para isso, a água de amassamento era adicionada aos poucos, e o ensaio de abatimento realizado até que seu abatimento se enquadrasse dentro do desejado. O ensaio de abatimento de tronco de cone seguiu as diretrizes descritas da NBR NM 67/1998 e tem também seu procedimento descrito em 2.1.2 - Propriedades do concreto no estado fresco.

3.2.2 Desenvolvimento das placas de concreto e corpos de prova

Para a produção das placas foram confeccionadas formas de madeira compensada com as dimensões especificadas no modelo. A figura 17 mostra uma das formas utilizadas para confecção das placas. As formas foram molhadas para minimizar a retração do concreto pela perda de umidade, e no seu interior foi aplicado desmoldante para facilitar a desforma.

Figura 17 - Forma para concretagem das placas.



Fonte: Autor, (2017).

No centro das formas foi passado um gancho com diâmetro 6,3 mm para ser realizado o posterior içamento das placas com o auxílio de uma grua manual. A grua se fez necessária visto que o peso de cada placa ficou em torno de 182 kg, inviabilizando operações manuais com as mesmas.

No dia 09 de fevereiro de 2017 foi dado início a concretagem, sendo que todos os traços de concretos foram desenvolvidos na mesma data. Com a forma preparada foi feito o lançamento do concreto e posterior adensamento conforme ilustrado na figura 18, já a figura 19 ilustra as seis placas prontas.

Figura 18 - Adensamento do concreto recém lançado.



Fonte: Autor, (2017).

Figura 19 - As seis placas prontas.



Fonte: Autor, (2017).

Juntamente com cada placa foram moldados também 10 corpos de prova, sendo dois para cada idade, totalizando 60 unidades. Todos os CP's foram

moldados respeitando os requisitos da NBR 5738/2015 e possuem dimensões de 10x20 cm, a figura 20 mostra todos os CP's prontos ao final da concretagem. No dia seguinte à concretagem, todo o material desenvolvido foi levado para a câmara úmida, onde ficaram até a conclusão de todos os ensaios.

Figura 20 - Corpos de prova moldados.



Fonte: Autor, (2017).

3.2.3 Realização dos ensaios

No dia 16 de fevereiro de 2017, na idade de sete dias do concreto, foram realizados os primeiros ensaios. Inicialmente foi realizado o ensaio de esclerometria seguindo todas as diretrizes da norma NBR 7584 (ABNT, 2012) e tem o seu procedimento descrito em 2.2.1 - Ensaio não destrutivo – Método do esclerômetro.

Para iniciar a medição da dureza superficial foi realizada a aferição do martelo de teste. Para isso foi utilizada uma bigorna de metal fornecida juntamente com o esclerômetro, esta bigorna possui o valor do IE igual a 82, qualquer valor diferente deve ser corrigido nos índices esclerométrico medidos posteriormente. No entanto, quando medido o valor do IE encontrado na bigorna foi de 81, fazendo necessária uma correção nos índices esclerométrico medidos nas placas.

Conforme ilustra a figura 21, foi feito a demarcação da área para a realização de cada impacto, sendo que para cada idade foram realizados 16 impactos por

placa, na mesma figura ainda podem ser observadas as marcas deixadas pela batida do martelo. A face utilizada para realização dos impactos foi à face que ficou voltada para forma no momento da concretagem, o que possibilitou uma superfície mais lisa e os impactos nunca eram realizados em pontos repetidos.

O martelo de teste utilizado para realização dos ensaios é de propriedade do LATEC e foi fabricado pela PROCEQ. O modelo do aparelho é o Original Schmidt tipo N com energia de impacto de 2.207 N.m, indicado pelo fabricante para peças com dimensões iguais ou superiores 10 cm, o que justifica a espessura de 12 cm das placas.

Figura 21 - Demarcação do local para realização da esclerometria e marcas deixadas pelo impacto do martelo de teste.



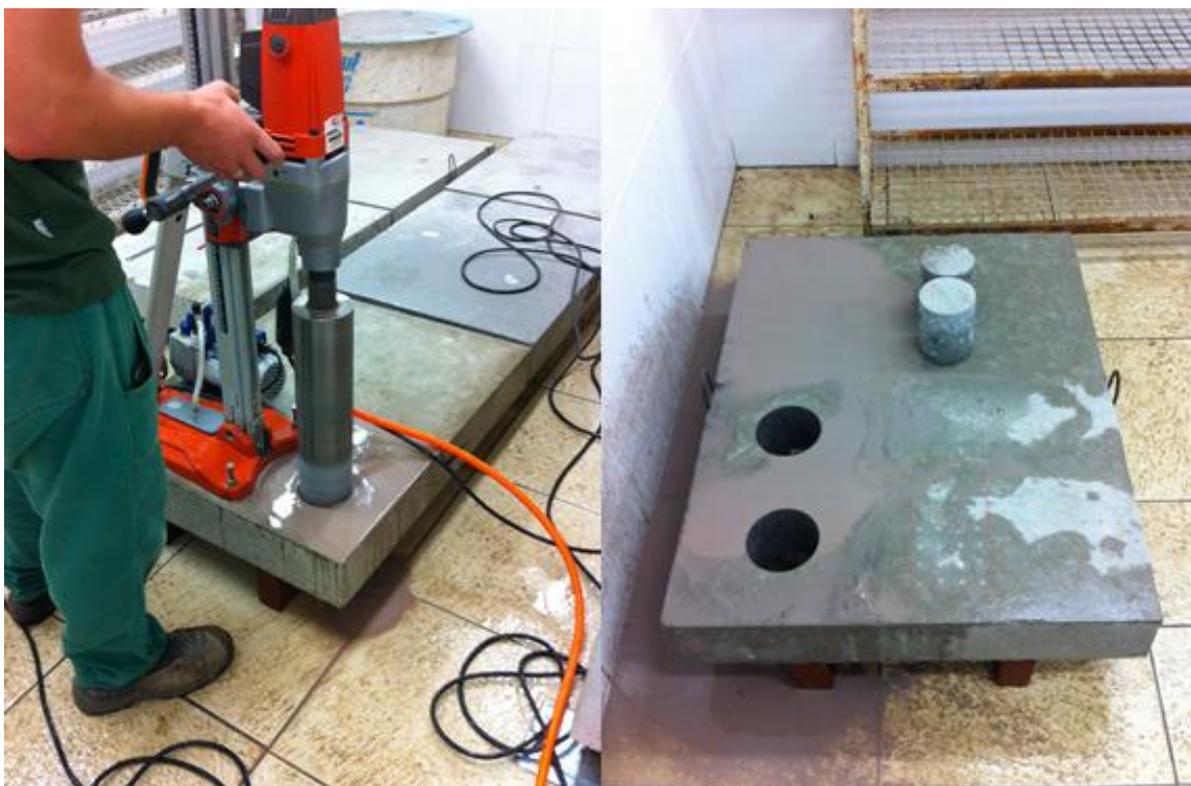
Fonte: Autor, (2017).

Posterior a esclerometria foram realizadas as extrações dos testemunhos, este procedimento seguiu as diretrizes da norma NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015) e tem seu procedimento descrito em 2.2.2 - Ensaios destrutivos - Extração de testemunhos de concreto. Foram extraídos em cada idade 2 testemunhos por placa com dimensões de 99x120 mm, a figura 22 mostra a extração sendo realizada (esquerda)

e ainda traz uma das placas com dois testemunhos já extraídos no interior da câmara úmida (direita).

O procedimento de extração era realizado em cada idade específica e o equipamento apropriado cedido pelo LATEC. A extratora utilizada foi do modelo DMS 240 da marca Husqvarna.

Figura 22 - Extração sendo realizada e testemunhos já extraídos.



Fonte: Autor, (2017).

Após as extrações foi realizada a retificação das superfícies dos testemunhos e também dos CP's moldados no ato da concretagem. A retífica usada no processo é do tipo vertical, com possibilidade de realizar os devidos ajustes para ser possível a realização da retífica dos dois tamanhos de corpos de prova utilizados.

Na sequência foram feitos os rompimentos dos testemunhos extraídos e dos CP's moldados, o equipamento utilizado foi da marca Emic modelo PC200CS com capacidade de 2000 KN, de propriedade do LATEC. A figura 23 mostra a prensa utilizada para rompimento realizando o ensaio em um CP padrão. A prensa foi devidamente calibrada pela empresa INSTRON, de acordo com o Laudo de calibração N° 16081702DF de 17 de agosto de 2016. Todos os procedimentos de

rompimento dos corpos de prova seguiram as diretrizes da NBR 5739/2015 - Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Figura 23 - Prensa utilizada realizando o rompimento de um CP padrão.



Fonte: Autor, (2017).

Como citado pelos autores Câmara (2006), Evangelista (2002), Palacios (2012) e pela própria norma NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015), a carbonatação do concreto tem um efeito direto e significativo na dureza superficial do concreto medido por esclerometria, podendo em casos extremos, elevar o IE em até 50%. Desta forma, a norma NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015) estabelece que para concretos que apresentem carbonatação deve haver outras correlações para ajustar o valor do rebote medido.

Para avaliar possíveis influências da carbonatação do concreto no IE medido nas placas, sobre os testemunhos extraídos das mesmas era realizada aspersão de fenolftaleína, que é um indicador da elevação do ph do concreto. Como pode ser observado na figura 24, após a aspersão de fenolftaleína sobre o testemunho recém extraído, toda superfície teve alteração da sua cor, indicando que não apresenta sinal de carbonatação.

Figura 24 - Verificação da carbonatação do concreto.



Fonte: Autor, (2017).

No total dos ensaios, de cada uma das seis placas concretada foram extraídos 10 testemunhos, um par para cada idade de ensaio, e realizada também para cada idade a medição da dureza superficial através de 16 impactos conforme sugere a norma NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015). Desta forma, temos um total de 60 testemunhos extraídos e rompidos e 480 impactos realizados nas 6 placas moldadas. Ainda, foram moldados para cada classe de resistência, 2 corpos de prova padrão (10 cm x 20 cm) para cada uma das 5 idades, totalizando também 60 corpos de prova padrão.

4 RESULTADOS

Inicialmente serão apresentados os resultados obtidos individualmente em cada tipo de ensaio para melhor explicação das variáveis envolvidas em cada um e na sequência serão apresentados os resultados correlacionados. Os ensaios iniciaram no dia 16 de fevereiro de 2017, na idade de 7 dias do concreto, e se estenderam até o dia 11 de maio de 2017, na idade de 91 dias do concreto.

4.1 Resistência mecânica à compressão de corpos de prova moldados

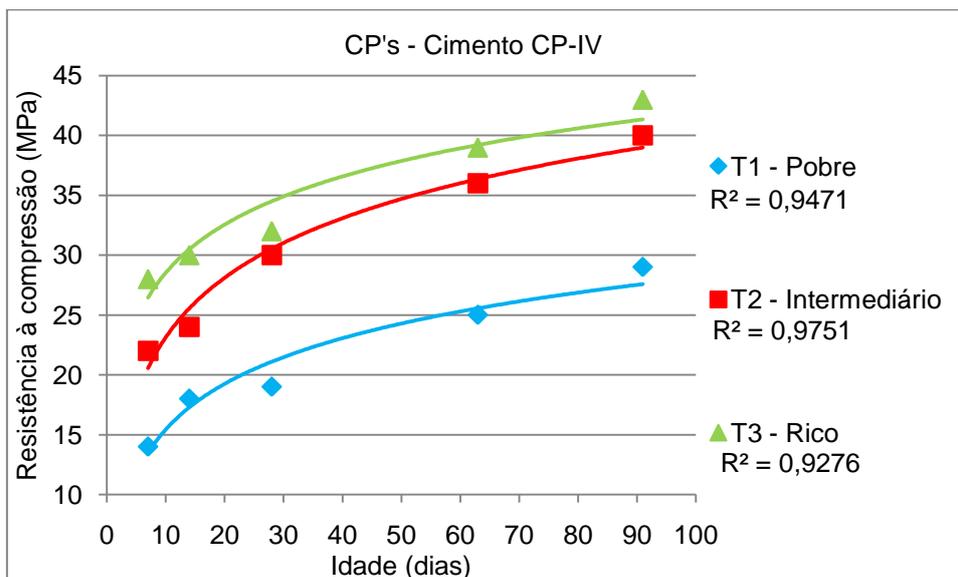
A tabela 11 traz os resultados dos corpos de prova de 10x20cm moldados no ato da concretagem com o cimento CP-IV. A figura 25 ilustra graficamente estes resultados, facilitando a interpretação dos mesmos.

Tabela 10 - Resistência à compressão dos CP's moldados com cimento CP-IV.

CIMENTO CP-IV						
Resistência à compressão (MPa)						
Traço \ Idade	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias	
T1 - Pobre	14	18	19	25	29	
T2 - Intermediário	22	24	30	36	40	
T3 - Rico	28	30	32	39	43	

Fonte: Autor, (2017).

Figura 25 - Resistência à compressão dos CP's moldados com cimento CP-IV.



Fonte: Autor, (2017).

O que pode ser observado nos resultados obtidos é o crescimento gradativo e uniforme da resistência mecânica do concreto, que é uma das características que o cimento CP-IV proporciona, ganho lento e uniforme da resistência. Outro ponto é que não houve nenhum distúrbio entre os resultados, todos seguiram uma ordem lógica.

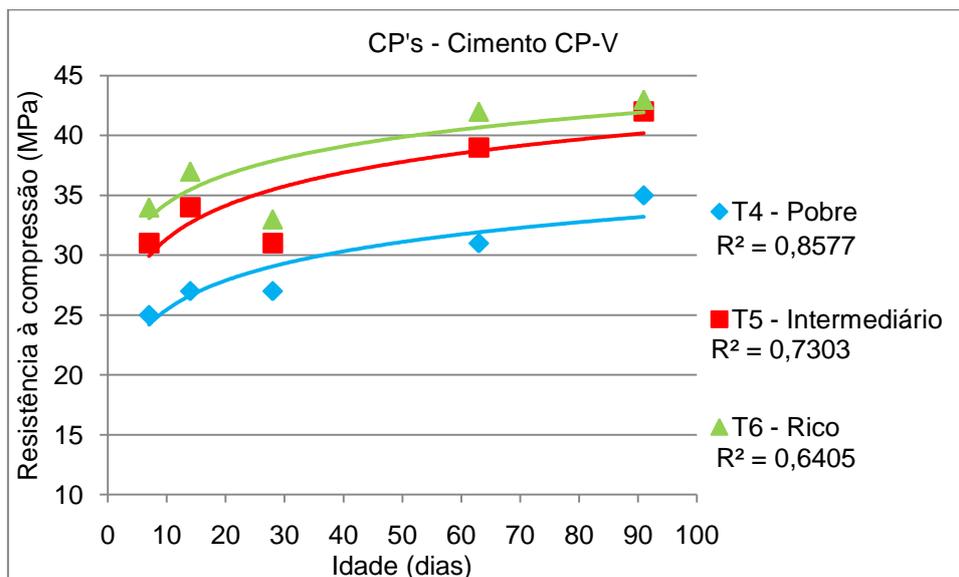
A tabela 12 traz os resultados dos corpos de prova de 10x20cm moldados no ato da concretagem com o cimento CP-V. A figura 26 ilustra graficamente estes resultados, facilitando a interpretação dos mesmos.

Tabela 11 - Resistência à compressão dos CP's moldados com cimento CP-V.

CIMENTO CP-V					
Resistência à compressão (MPa)					
Traço \ Idade	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
T4 - Pobre	25	27	27	31	35
T5 - Intermediário	31	34	31	39	42
T6 - Rico	34	37	33	42	43

Fonte: Autor, (2017).

Figura 26 - Resistência à compressão dos CP's moldados com cimento CP-V.



Fonte: Autor, (2017).

Quanto aos resultados obtidos nos corpos de prova moldados com o cimento CP-V, pode ser observado que houve um distúrbio na idade de 28 dias. O distúrbio ocorreu nos três traços, o qual não foi identificado.

Então, o que se sabe é que o resultado obtido aos 28 dias contraria a lógica do ganho de resistência do concreto. Os demais resultados foram satisfatórios e seguem a tendência de alta resistência inicial proporcionado pelo cimento em questão, além dos traços com menor A/C ter maior resistência do que os com maior A/C.

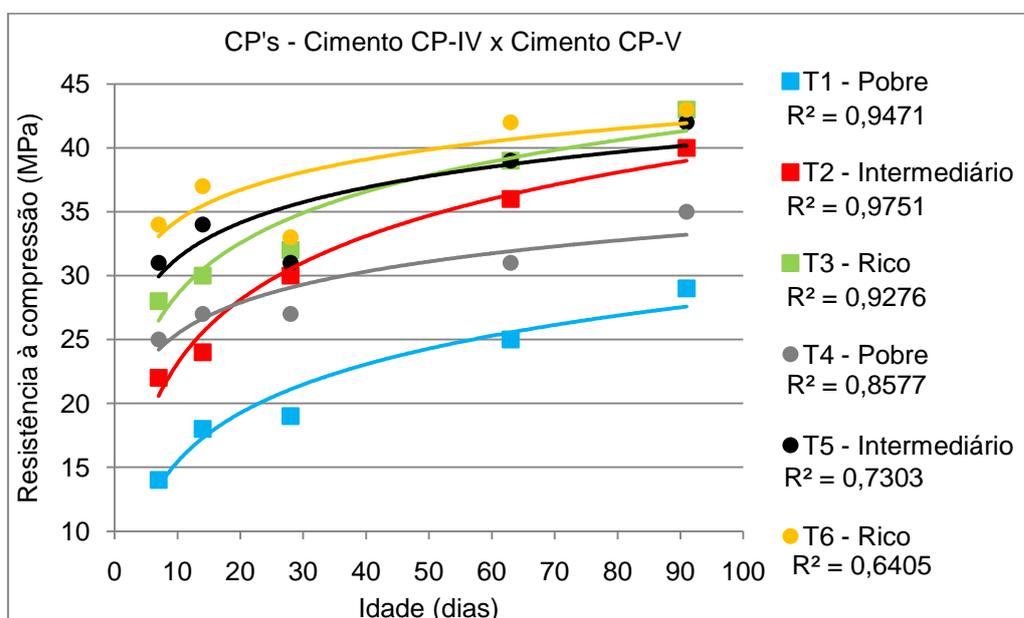
A tabela 13 traz os resultados de ambos os cimentos para ser possível uma comparação entre as resistências obtidas. A figura 27 ilustra graficamente estes resultados, facilitando a interpretação dos mesmos.

Tabela 12 - Resistência à compressão de todos os CP's moldados.

Cimento	Resistência à compressão (MPa)					
	Traço	Idade				
		7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
CP-IV	T1 - Pobre	14	18	19	25	29
	T2 - Intermediário	22	24	30	36	40
	T3 - Rico	28	30	32	39	43
CP-V	T4 - Pobre	25	27	27	31	35
	T5 - Intermediário	31	34	31	39	42
	T6 - Rico	34	37	33	42	43

Fonte: Autor, (2017).

Figura 27 - Resistência à compressão de todos os CP's moldados.



Fonte: Autor, (2017).

Comparando os resultados dos CP's dos dois tipos de cimento podemos observar que com um mesmo consumo de cimento o concreto produzido com o cimento do tipo V sempre possui maior resistência. Este fato ocorre em todas as idades, exceto na idade de 91 dias o T3 atinge a mesma resistência do T6. Pode verificar também que a curva de ganho de resistência do CP-V é mais achatada, pois ganha mais resistência em idades iniciais.

A diferença entre as resistências dos dois tipos de cimento são mais evidentes nas idades iniciais. Com a evolução da idade esta diferença vai

diminuindo gradativamente, mesmo assim, até a idade verificada pode se verificar a predominância dos traços produzidos com cimento CP-V.

Em se tratando de f_{ck} , que seria a resistência característica do concreto medida aos 28 dias de idade, mesmo com o distúrbio dos resultados do cimento CP-V nesta idade, os traços T4, T5 e T6 ainda mantiveram maiores resistências se comparados aos traços produzidos com cimento CP-IV.

4.2 Resistência mecânica à compressão de testemunhos extraídos das placas

Conforme citado por Palacios (2012), Mehta e Monteiro (2014) e Filho (2007) a resistência obtida no testemunho é normalmente inferior a real resistência do concreto em função do efeito do broqueamento. Desta forma o valor da resistência o testemunho deve ser corrigido levando em conta este e também demais fatores envolvidos, como a relação entre a altura e diâmetro do testemunho.

Segundo a NBR 7680 - 1 (ABNT, 2015) são quatro fatores que devem ser levados em consideração k_1 , k_2 , k_3 e k_4 e a resistência à compressão do testemunho determinada através da equação 02.

O que cada um dos coeficientes representa foi descrito detalhadamente em 2.2.2 – Ensaio destrutivo - Extração de testemunhos de concreto. Sendo k_1 variável em função da relação altura por diâmetro (h/d), k_2 representa o efeito do broqueamento em função do diâmetro do testemunho, logo $k_2 = 0,06$, k_3 varia em função da direção da extração em relação ao lançamento do concreto, como foi extraído paralelamente a direção da concretagem, $k_3 = 0,00$ e k_4 representa a umidade do testemunho no rompimento, como foram rompidos secos $k_4 = -0,04$. A tabela 14 traz a tensão medida, os coeficientes de correção e a tensão corrigida nos testemunhos extraídos das placas desenvolvidas com cimento CP-IV.

Tabela 13 - Resistência à compressão de testemunhos extraídos das placas moldadas com cimento CP-IV.

Testemunhos - Cimento CP-IV										
Idade	Traço	Resistência Inicial (Mpa)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	H/D	K1	K2	K3	K4	Tensão corrigida (MPa)
7 dias	T1	16	99	115	1,16	-0,0950	0,06	0,00	-0,04	15
	T2	26	99	117	1,18	-0,0900	0,06	0,00	-0,04	24
	T3	27	97	119	1,23	-0,0750	0,06	0,00	-0,04	25
14 dias	T1	20	99	117	1,18	-0,0900	0,06	0,00	-0,04	19
	T2	31	99	121	1,22	-0,0775	0,06	0,00	-0,04	29
	T3	35	99	117	1,18	-0,0900	0,06	0,00	-0,04	32
28 dias	T1	22	99	116	1,17	-0,0925	0,06	0,00	-0,04	21
	T2	35	99	113	1,14	-0,1000	0,06	0,00	-0,04	32
	T3	36	99	121	1,22	-0,0800	0,06	0,00	-0,04	34
63 dias	T1	30	99	113	1,14	-0,1000	0,06	0,00	-0,04	28
	T2	40	99	118	1,19	-0,0867	0,06	0,00	-0,04	38
	T3	45	99	120	1,21	-0,0800	0,06	0,00	-0,04	42
91 dias	T1	33	99	111	1,12	-0,1067	0,06	0,00	-0,04	30
	T2	43	99	120	1,21	-0,0800	0,06	0,00	-0,04	40
	T3	40	99	120	1,21	-0,0800	0,06	0,00	-0,04	38

Fonte: Autor, (2017).

Como pode ser observado nas tabelas 12 e 14, são de grande importância os coeficientes de correção da tensão inicialmente medida, visto à diferença que os mesmos promovem na tensão corrigida. A diminuição da tensão corrigida em relação à tensão medida se explica pelo fato do testemunho ter pouca altura. Não obtendo a relação altura sobre diâmetro (h/d) igual a 2 para 1. Logo se aplica coeficientes para corrigir esta relação, proporcionando um valor mais adequado para a tensão.

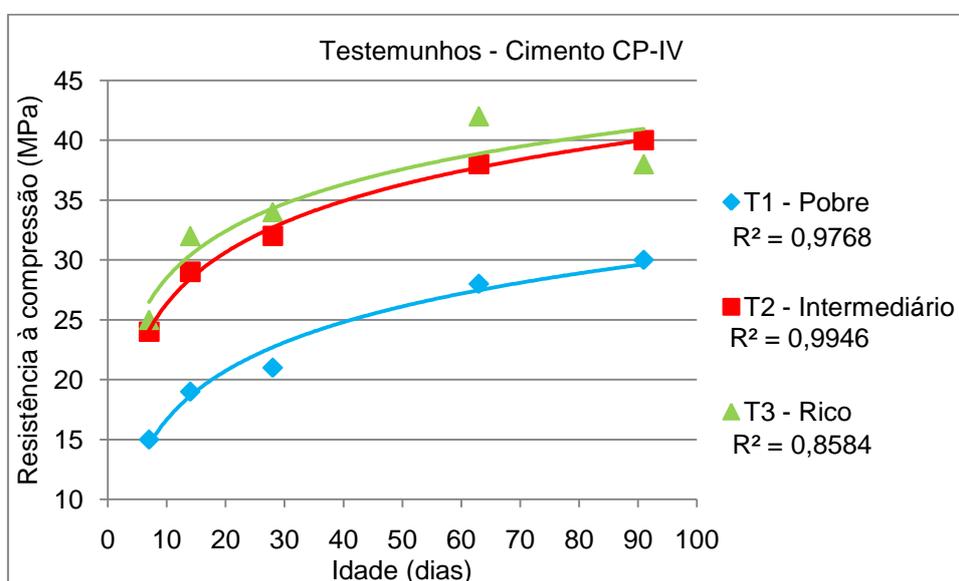
A tabela 15 traz um resumo das resistências obtidas nos testemunhos extraídos das placas com cimento CP-IV. A figura 28 ilustra graficamente estes resultados, facilitando a interpretação dos mesmos.

Tabela 14 - Resistência à compressão dos testemunhos extraídos das placas com cimento CP-IV.

Testemunhos - Cimento CP-IV					
Resistência à compressão (MPa)					
Traço \ Idade	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
T1 - Pobre	15	19	21	28	30
T2 - Intermediário	24	29	32	38	40
T3 - Rico	25	32	34	42	38

Fonte: Autor, (2017).

Figura 28 - Resistência à compressão dos testemunhos extraídos das placas com cimento CP-IV.



Fonte: Autor, (2017).

Sobre os testemunhos extraídos das placas moldadas com cimento CP-IV, podemos visualizar uma clara regularidade nas tensões, seguindo adequadamente a lógica do ganho de resistência do concreto ao decorrer da idade. Outro ponto que pode ser observado é a diferença de resistência entre os traços (pobre, intermediário e rico), que também ficou dentro do esperado, aonde a resistência à compressão vai diminuindo conforme foi aumentado o A/C no traço.

Sobre o traço T3 (rico), na idade de 91 dias apresenta sua resistência um pouco inferior a resistência do traço T2 (intermediário) para a mesma idade. Ainda, a tensão do T3 medida aos 91 dias foi também inferior à tensão do mesmo traço aos 63 dias de idade.

Esta diminuição no valor de T3 aos 91 dias de idade pode ser explicada além da heterogeneidade do concreto, também em função dos efeitos do broqueamento e “parede”, onde estes efeitos podem ser mais significativos em alguns testemunhos do que em outros. O que vai de encontro ao pensamento de Bottega (2010), onde o autor cita que para uma avaliação precisa do concreto empregada em uma estrutura existente, é necessária uma considerável gama de ensaios.

A tabela 16 traz a tensão medida, os coeficientes de correção e a tensão corrigida nos testemunhos extraídos das placas desenvolvidas com cimento CP-V.

Tabela 15 - Resistência à compressão de testemunhos extraídos das placas moldadas com cimento CP-V.

Testemunhos - Cimento CP-V										
Idade	Traço	Resistência Inicial (Mpa)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	H/D	K1	K2	K3	K4	Tensão corrigida (MPa)
7 dias	T4	23	99	118	1,19	-0,0867	0,06	0,00	-0,04	22
	T5	32	99	118	1,19	-0,0867	0,06	0,00	-0,04	29
	T6	35	99	117	1,18	-0,0900	0,06	0,00	-0,04	32
14 dias	T4	25	99	114,6	1,15	-0,0975	0,06	0,00	-0,04	23
	T5	33	99	120,8	1,22	-0,0775	0,06	0,00	-0,04	31
	T6	37	99	116,6	1,18	-0,0900	0,06	0,00	-0,04	34
28 dias	T4	28	99	118	1,19	-0,0867	0,06	0,00	-0,04	26
	T5	35	99	118	1,19	-0,0867	0,06	0,00	-0,04	32
	T6	37	99	118	1,19	-0,0867	0,06	0,00	-0,04	35
63 dias	T4	31	99	116	1,17	-0,0925	0,06	0,00	-0,04	29
	T5	41	99	118	1,19	-0,0867	0,06	0,00	-0,04	39
	T6	43	99	120	1,21	-0,0800	0,06	0,00	-0,04	41
91 dias	T4	33	99	117	1,18	-0,0900	0,06	0,00	-0,04	31
	T5	43	99	120	1,21	-0,0800	0,06	0,00	-0,04	40
	T6	42	99	119	1,20	-0,0833	0,06	0,00	-0,04	39

Fonte: Autor, (2017).

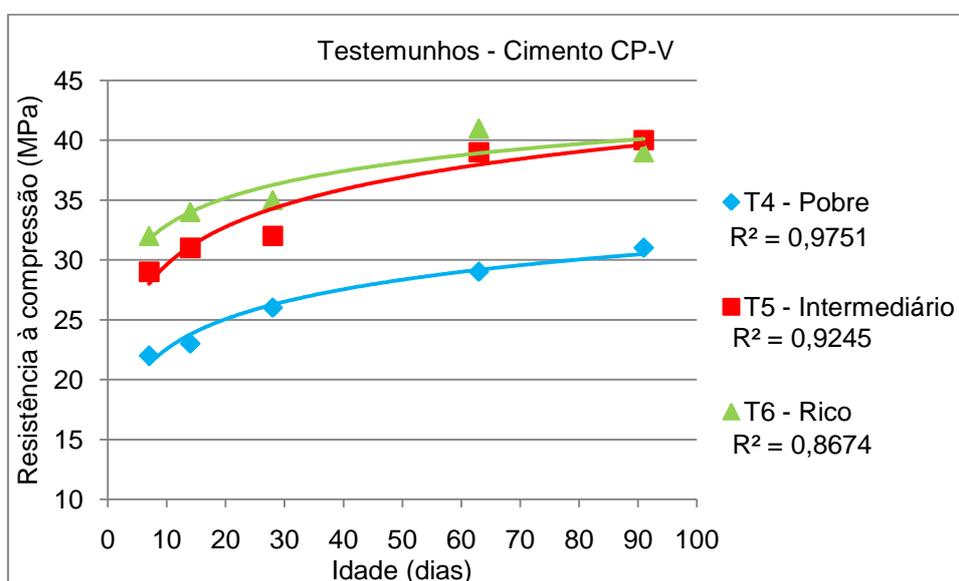
A tabela 17 traz um resumo das resistências obtidas nos testemunhos extraídos das placas com cimento CP-V. A figura 29 ilustra graficamente estes resultados, facilitando a interpretação dos mesmos.

Tabela 16 - Resistência à compressão dos testemunhos extraídos das placas com cimento CP-V.

Testemunhos - Cimento CP-V					
Resistência à compressão (MPa)					
Traço \ Idade	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
T4 - Pobre	22	23	26	29	31
T5 - Intermediário	29	31	32	39	40
T6 - Rico	32	34	35	41	39

Fonte: Autor, (2017).

Figura 29 - Resistência à compressão dos testemunhos extraídos das placas com cimento CP-V.



Fonte: Autor, (2017).

Coincidentemente com o que aconteceu com o traço rico produzido com cimento CP-IV aos 91 dias de idade, o traço rico com cimento CP-V apresentou a mesma diminuição na mesma idade, porém com uma intensidade um pouco menor. Os motivos atrelados podem ser explicados da mesma forma como justificado nos resultados com os traços de cimento CP-IV.

Os resultados obtidos também foram satisfatórios, onde se mantém a tendência de ganho de resistência ao passar da idade do concreto. Além dos traços com maior teor de cimento se manter com uma resistência superior aos traços como menor consumo de cimento.

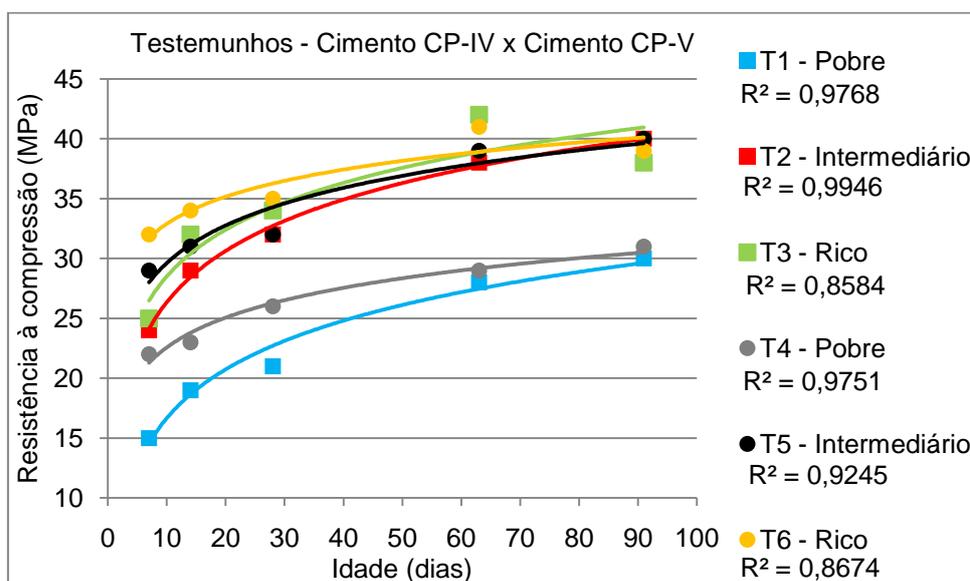
A tabela 18 traz os resultados de ambos os cimentos para ser possível uma comparação entre as resistências obtidas. A figura 30 ilustra graficamente estes resultados, facilitando a interpretação dos mesmos.

Tabela 17 - Resistência à compressão de todos os testemunhos extraídos.

Cimento	Traço	Resistência à compressão dos testemunhos (MPa)					
		Idade	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
CP-IV	T1 - Pobre		15	19	21	28	30
	T2 - Intermediário		24	29	32	38	40
	T3 - Rico		25	32	34	42	38
CP-V	T4 - Pobre		22	23	26	29	31
	T5 - Intermediário		29	31	32	39	40
	T6 - Rico		32	34	35	41	39

Fonte: Autor, (2017).

Figura 30 - Resistência à compressão de todos os testemunhos extraídos.



Fonte: Autor, (2017).

Como pode ser claramente visualizado na figura 29 os testemunhos extraídos das placas produzidas com traço pobre (T1 e T4) apresentam as menores resistências. Sendo a resistência do traço com cimento CP-IV inferior a resistência do traço com CP-V.

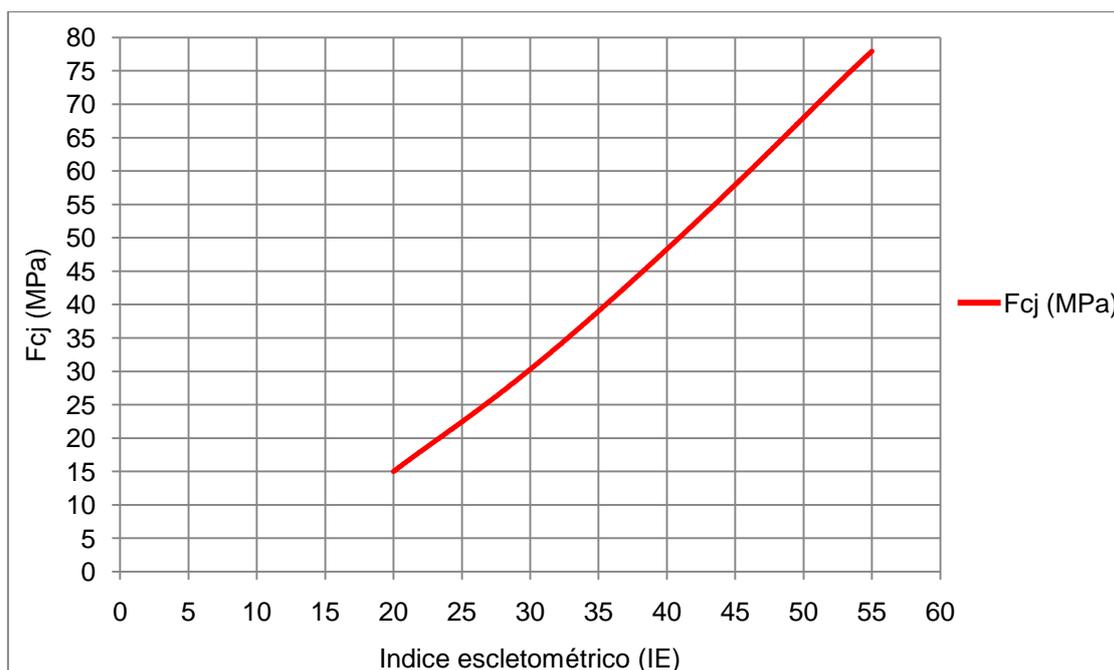
No geral, os demais traços (intermediários e ricos) se mantiveram com as resistências bastante próximas, principalmente na idade de 91 dias, quando as

resistências se aproximam bastante. No entanto, os traços com cimento CP-V se mantêm até a última idade medida com sua resistência superior aos traços com cimento CP-IV.

4.3 Esclerometria

Para iniciar a apresentação dos resultados obtidos no ensaio de esclerometria é necessário antes de qualquer coisa, apresentar a correlação entre o índice esclerométrico e resistência à compressão fornecida pelo fabricante do esclerômetro de reflexão. A figura 31 mostra a correlação fornecida pela fabricante Proceq para relacionar o IE medido com a resistência à compressão do concreto.

Figura 31 - Correlação entre IE e resistência à compressão fornecida pelo fabricante do esclerômetro.



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Proceq (2016).

Esta correlação é válida para qualquer tipo de concreto, independente do tipo e quantidade de cimento e de agregados, com idade compreendida entre 14 e 56 dias e com superfície seca (PROCEQ, 2016). Posterior a esta idade o fabricante solicita que sejam feitas as devidas correções em virtude dos efeitos da

carbonatação. Como foi verificado que o concreto em questão não apresenta carbonatação em sua superfície esta correção pode ser descartada.

Como mencionado na descrição do ensaio, o valor do índice esclerométrico se dá pela média de um conjunto de 16 valores, sendo este valor corrigido posterior a eliminação de valores que se afastam em mais de 10% da média inicial. Assim, toda a coleta de dados do ensaio bem como as médias e demais informações importantes até chegar ao valor final de cada índice esclerométrico, se encontra no Apêndice A.

Desta forma, a tabela 19 traz um resumo dos resultados dos índices esclerométrico obtidos. Os valores já foram devidamente tratados e a tabela apresenta o valor final de cada índice esclerométrico.

Tabela 18 - Resumo dos resultados dos índices esclerométrico obtidos.

		Índice esclerométrico final				
Cimento	Traço	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
	T1 - Pobre	24,00	26,00	27,00	30,00	30,00
CP-IV	T2 - Intermediário	29,00	31,00	32,00	34,00	37,00
	T3 - Rico	30,00	34,00	37,00	40,00	39,00
	T4 - Pobre	30,00	30,00	31,00	32,00	32,00
CP-V	T5 - Intermediário	31,00	31,00	34,00	36,00	39,00
	T6 - Rico	34,00	36,00	43,00	44,00	41,00

Fonte: Autor, (2017).

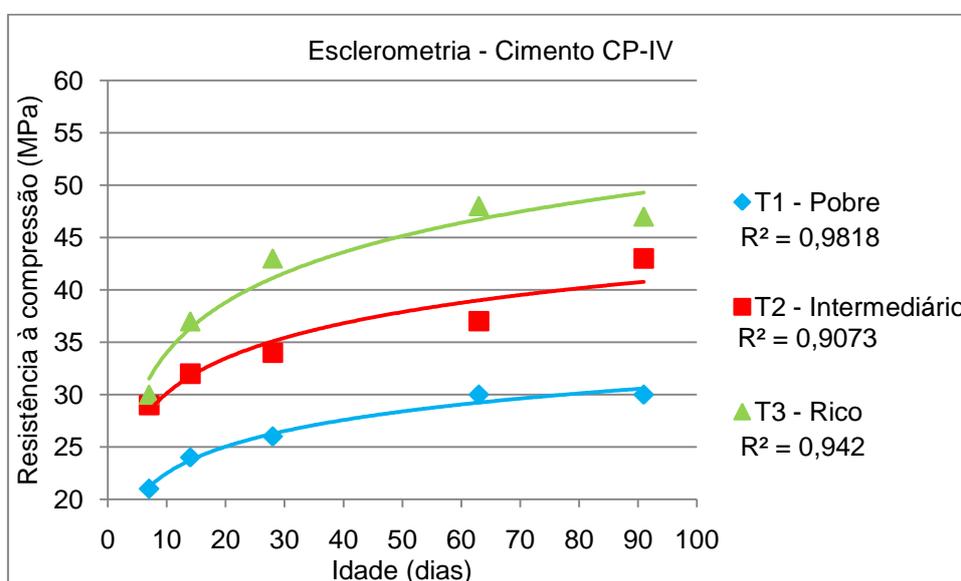
A partir da correlação fornecida pelo fabricante, através do valor do IE pode ser obtida uma estimativa para resistência à compressão do concreto. A tabela 20 traz um resumo das resistências obtidas nas placas moldadas com cimento CP-IV. A figura 32 ilustra graficamente estes resultados, facilitando a interpretação dos mesmos.

Tabela 19 - Estimativa de resistência à compressão das placas de concreto moldadas com cimento CP-IV.

ESCLEROMETRIA - CIMENTO CP-IV					
Resistência à compressão (MPa)					
Traço \ Idade	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
T1 - Pobre	21	24	26	30	30
T2 - Intermediário	29	32	34	37	43
T3 - Rico	30	37	43	48	47

Fonte: Autor, (2017).

Figura 32 - Estimativa de resistência à compressão das placas de concreto moldadas com cimento CP-IV.



Fonte: Autor, (2017).

Os valores obtidos na medição da dureza superficial das placas moldadas com cimento CP-IV seguem a tendência lógica, de ganho de resistência do concreto com o passar da idade. Além disso, é possível observar que os traços com maior teor de cimento se mantêm com a resistência superior aos traços com menores teores de cimento.

Outro ponto que pode ser observado é uma pequena diminuição na resistência superficial medida no T3 aos 91 dias. Os outros dois traços se mantêm dentro do esperado, sendo os resultados obtidos da evolução da resistência tidos como satisfatórios.

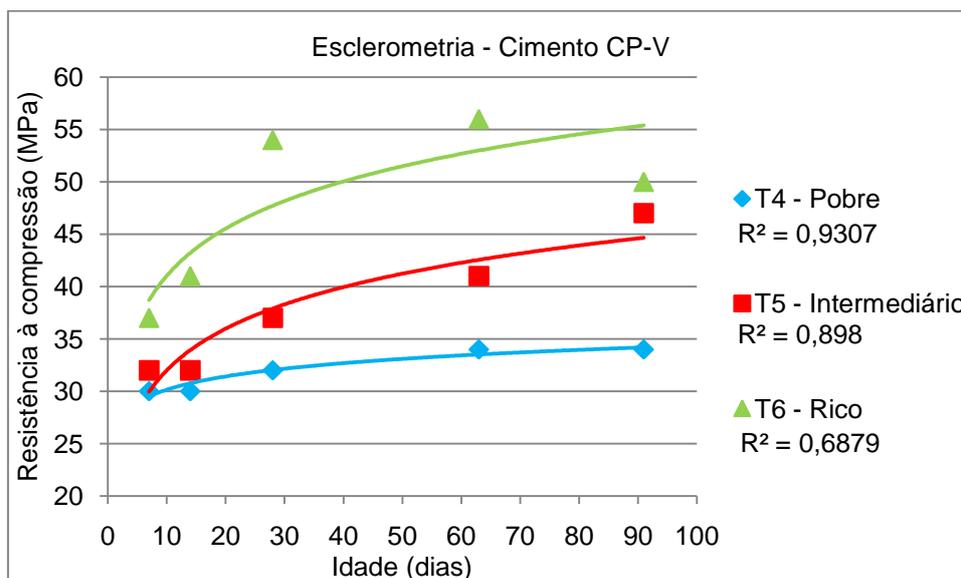
A tabela 21 traz um resumo das resistências obtidas nas placas moldadas com cimento CP-V. A figura 33 ilustra graficamente estes resultados, facilitando a interpretação dos mesmos.

Tabela 20 - Estimativa de resistência à compressão das placas de concreto moldadas com cimento CP-V.

ESCLEROMETRIA - CIMENTO CP-V					
Resistência à compressão (MPa)					
Trço \ Idade	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
T4 - Pobre	30	30	32	34	34
T5 - Intermediário	32	32	37	41	47
T6 - Rico	37	41	54	56	50

Fonte: Autor, (2017).

Figura 33 - Estimativa de resistência à compressão das placas de concreto moldadas com cimento CP-V.



Fonte: Autor, (2017).

Novamente os valores seguem crescentes de acordo com o aumento da idade e do teor de cimento. E mais uma vez podemos notar uma pequena diminuição na resistência superficial medida no T6 aos 91 dias. No entanto, os resultados da evolução da resistência são tidos como satisfatórios.

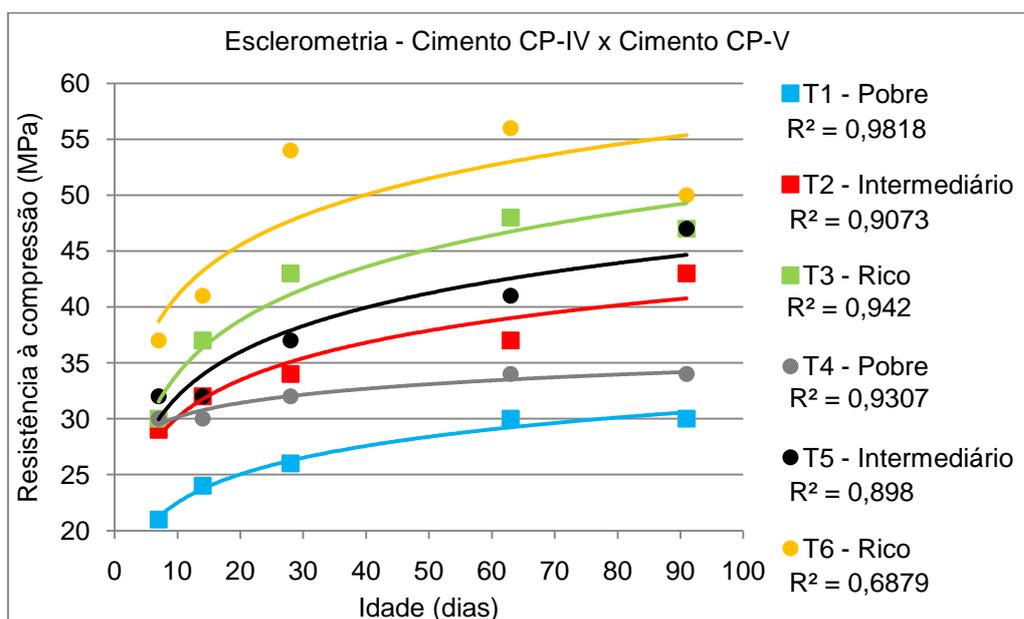
A tabela 22 traz os resultados de ambos os cimentos para ser possível uma comparação entre as resistências obtidas. A figura 34 ilustra graficamente estes resultados, facilitando a interpretação dos mesmos.

Tabela 21 - Resistência à compressão de todos os traços, medida por esclerometria.

		Resistência à compressão medida por esclerometria (MPa)				
Cimento	Traço	Idade				
		7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
CP-IV	T1 - Pobre	21	24	26	30	30
	T2 - Intermediário	29	32	34	37	43
	T3 - Rico	30	37	43	48	47
CP-V	T4 - Pobre	30	30	32	34	34
	T5 - Intermediário	32	32	37	41	47
	T6 - Rico	37	41	54	56	50

Fonte: Autor, (2017).

Figura 34 - Resistência à compressão de todos os traços, medida por esclerometria.



Fonte: Autor, (2017).

Nesta comparação fica bem evidente a resistência superior de todos os traços elaborados com cimento CP-V. Todas as medições realizadas com o esclerômetro de reflexão seguem lógica do ganho de resistência ao longo da idade do concreto e também evidenciam a maior resistência os traços produzidos com maior teor de cimento.

Apesar da medição da dureza superficial do concreto trazer apenas uma estimativa da resistência à compressão, fica evidente a eficiência do ensaio para análise da uniformidade do concreto empregado na estrutura existente. Desta forma, as medições com o esclerômetro verificadas até o momento se mostram plenamente adequadas.

5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos três ensaios de forma combinada. Esta comparação se faz importante para análise da eficiência e precisão dos ensaios quanto a resistência à compressão do concreto.

A tabela 23 traz as resistências à compressão obtida nos traços elaborados com cimento CP-IV através dos três tipos de ensaio. Os dados foram separados quanto ao teor de cimento utilizado em cada traço.

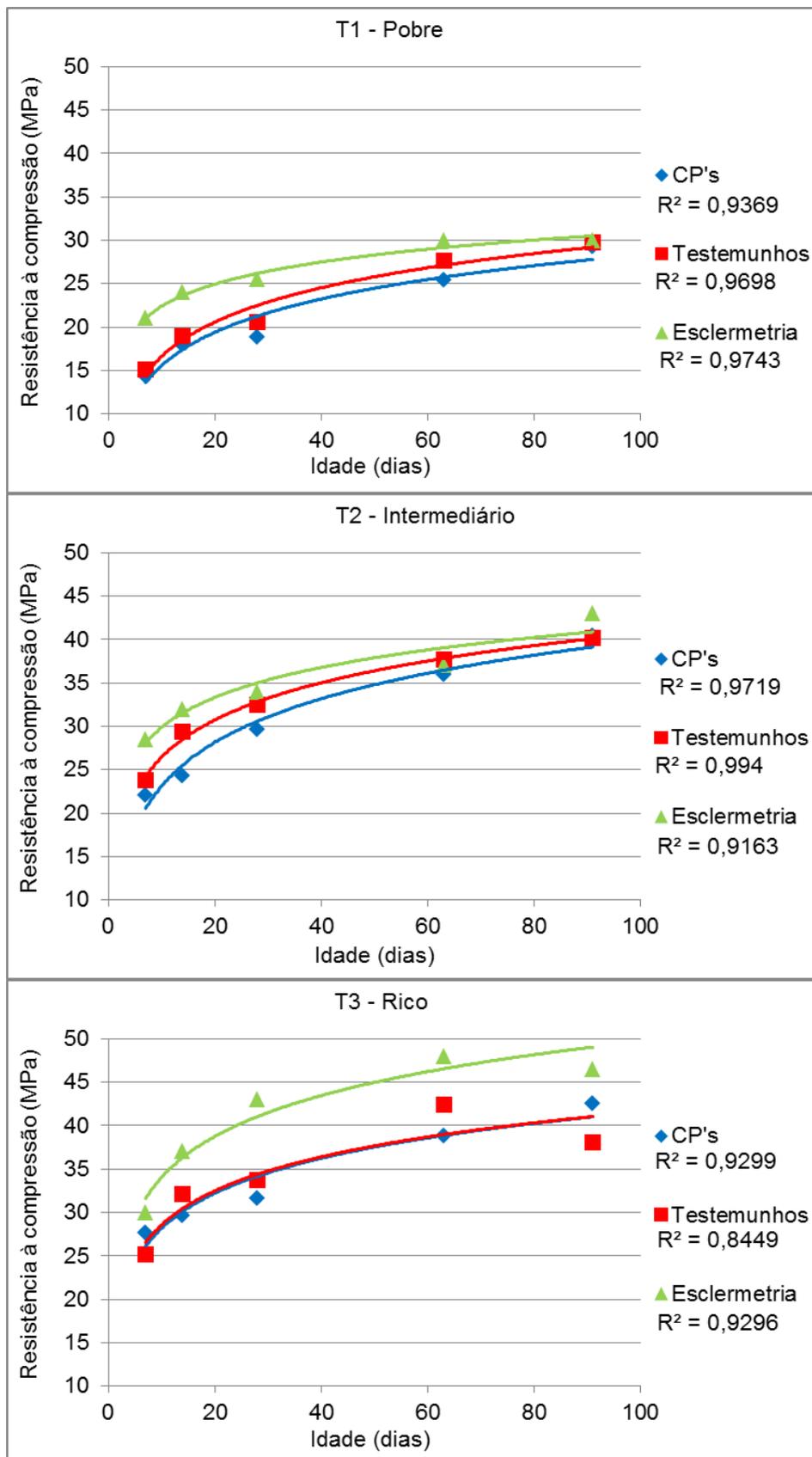
Tabela 22 - Resistência à compressão medida em cada tipo de ensaio realizado nos traços com cimento CP-IV.

Resistência à compressão (MPa) – Cimento CP-IV						
Traço	Ensaio	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
T1 (Pobre)	CP's	14	18	19	25	29
	Testemunhos	15	19	21	28	30
	Esclerometria	21	24	26	30	30
T2 (Intermediário)	CP's	22	24	30	36	40
	Testemunhos	24	29	32	38	40
	Esclerometria	29	32	34	37	43
T3 (Rico)	CP's	28	30	32	39	43
	Testemunhos	25	32	34	42	38
	Esclerometria	30	37	43	48	47

Fonte: Autor, (2017).

A figura 35 ilustra graficamente os resultados obtidos nos três tipos de ensaio, facilitando a interpretação dos mesmos. Assim como a tabela, as figuras também ilustram de forma separada cada traço em função do teor de cimento.

Figura 35 - Resistência à compressão medida em cada tipo de ensaio realizado nos traços com cimento CP-IV.



Fonte: Autor, (2017).

Os valores de resistência obtidos através dos ensaios em CP's e testemunhos nos traços com cimento CP-IV foram muito próximos, inclusive tiveram alguns resultados idênticos. A proximidade entre os resultados obtidos pode ser atrelada ao conhecimento prévio que outros autores detêm sobre estes ensaios, utilizando adequadamente os diversos fatores de correção que minoram, por exemplo, os efeitos do broqueamento e da diferença entre as dimensões dos testemunhos.

Pode ser evidenciado também que entre os resultados destes dois ensaios, os valores de resistência dos testemunhos sempre acabam ficando um pouco superiores aos de CP's. Exceto no T3 - rico que pode ser observado um pequeno distúrbio na resistência do testemunho aos 91 dias, onde o seu valor diminuiu em relação ao CP's e também em relação a sua própria resistência aos 63 dias.

Quanto aos valores de resistência medidos por esclerometria, quando comparados aos resultados dos outros ensaios, são sempre superiores. Sendo esta diferença elevada à medida que aumenta o teor de cimento e por consequência a resistência do concreto.

Mesmo com os resultados um pouco elevados se comparados aos demais ensaios, o ensaio de esclerometria assim como os outros, se mostra eficiente para medição da resistência à compressão do concreto. Sendo necessários pequenos ajustes na correlação entre o IE e a resistência à compressão para aprimorar ainda mais os resultados medidos através da dureza superficial.

Com o intuito de melhorar esta correlação ($IE \times f_c$), com base nos resultados de rompimento de CP's e testemunhos, foram elaboradas novas correlações. Uma das correlações apresentadas foi elaborada a partir da resistência medida nos CP's, e a outra baseada na resistência obtida no rompimento dos testemunhos.

Estas correlações são válidas para concretos produzidos com cimento do tipo CP-IV, agregados comercializados na região com características próximas as apresentadas neste trabalho e com idade de 7 a 91 dias. Outra limitação é quanto à resistência, onde estas correlações devem ser usadas para IE entre 24 e 40, onde a resistência à compressão do concreto fica compreendida entre 14 e 45 MPa.

A tabela 24 traz as equações que melhor se ajustaram a nova correlação proposta, bem como o valor de R^2 obtido para cada correlação. A figura 36 ilustra

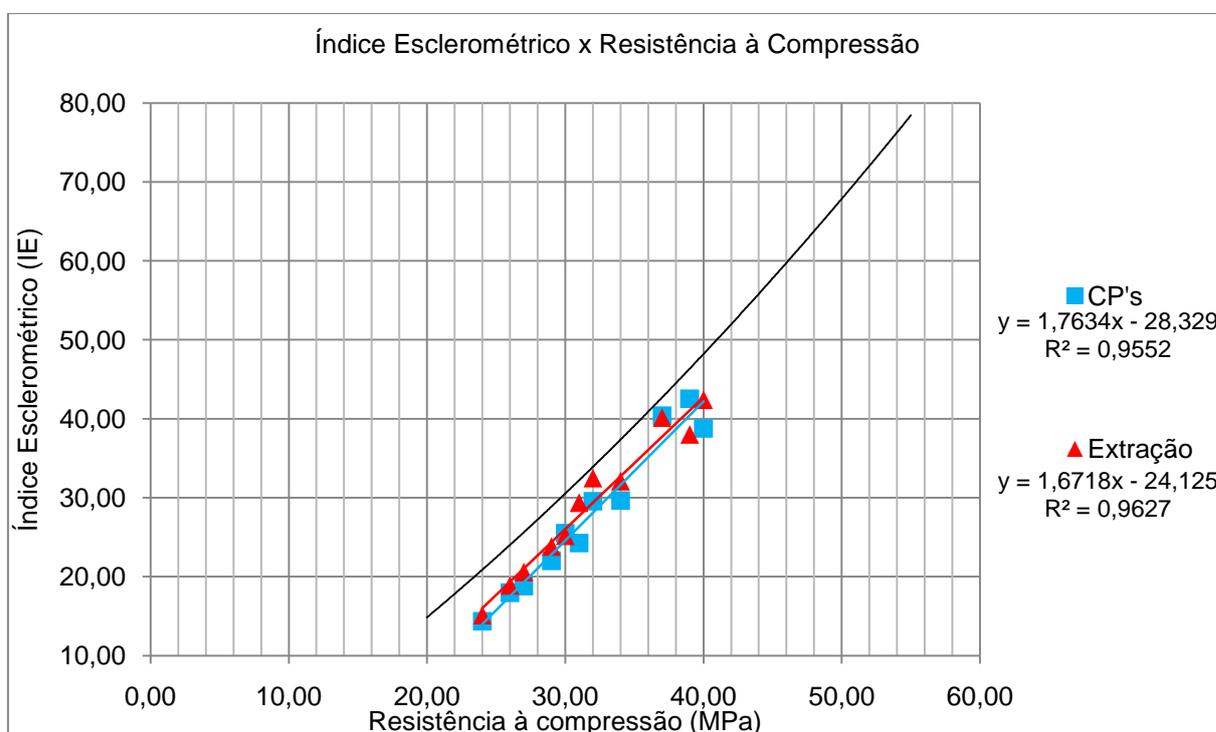
graficamente a correlação proposta para ajustar a resistência à compressão medida por esclerometria em concretos produzidos com cimento CP-IV.

Tabela 23 - Correlações propostas e valor de R^2 obtido.

Correlação	Ensaio	Regressão	Equação	R^2
IE x f_c	CP's	Linear	$y = 1,7634 \text{ IE} - 28,329$	0,9552
	Extração	Linear	$y = 1,6718 \text{ IE} - 24,125$	0,9627

Fonte: Autor, (2017).

Figura 36 - Novas correlações propostas para concretos produzidos com CP-IV.



Fonte: Autor, (2017).

Como visto na tabela e figura supracitados, o valor de R^2 encontrado, dentro do possível, ficou bem próximo de 1. O que mostra a qualidade e confiança das novas correlações propostas para concretos com cimento CP-IV.

A tabela 25 traz as resistências à compressão obtidas nos traços elaborados com cimento CP-V através dos três tipos de ensaio. Os dados foram separados quanto ao teor de cimento utilizado em cada traço.

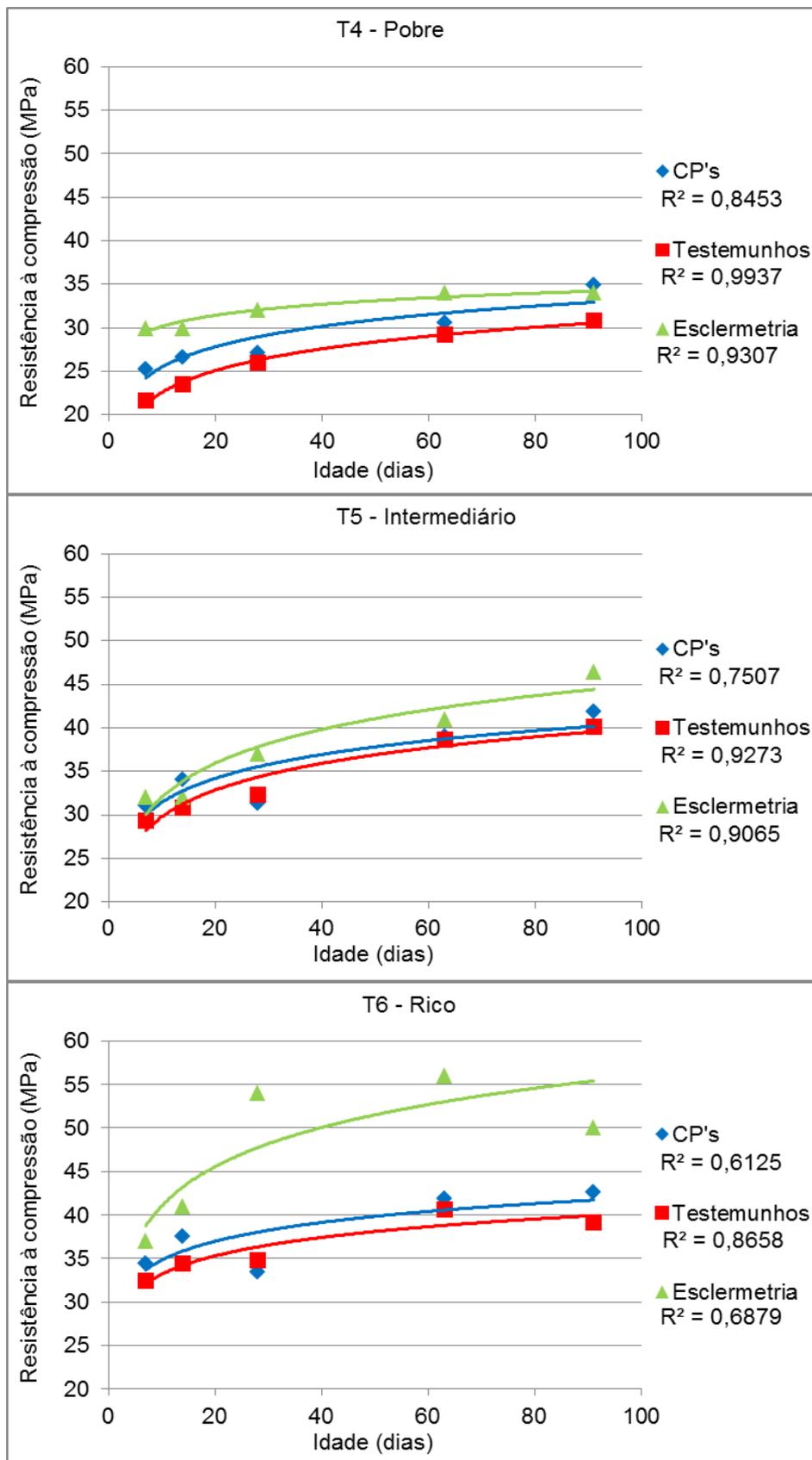
Tabela 24 - Resistência à compressão medida em cada tipo de ensaio realizado nos traços com cimento CP-V.

Resistência à compressão (MPa) – Cimento CP-V						
Traço	Ensaio	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	91 dias
T4 (Pobre)	CP's	25	27	27	31	35
	Testemunhos	22	23	26	29	31
	Esclerometria	30	30	32	34	34
T5 (Intermediário)	CP's	31	34	31	39	42
	Testemunhos	29	31	32	39	40
	Esclerometria	32	32	37	41	47
T6 (Rico)	CP's	34	37	33	42	43
	Testemunhos	32	34	35	41	39
	Esclerometria	37	41	54	56	50

Fonte: Autor, (2017).

A figura 37 ilustra graficamente os resultados obtidos nos três tipos de ensaio, facilitando a interpretação dos mesmos. Assim como a tabela, as figuras também ilustram de forma separada cada traço em função do teor de cimento.

Figura 37 - Resistência à compressão medida em cada tipo de ensaio realizado nos traços com cimento CP-V.



Fonte: Autor, (2017).

Nos concretos feitos com cimento CP-V, os valores de resistência obtidos através dos ensaios em CP's e testemunhos também foram muito próximos. Assim como justificado nos resultados com o cimento CP-IV, a proximidade entre os resultados obtidos pode ser atrelada ao conhecimento prévio que outros autores detêm sobre estes ensaios, utilizando adequadamente os diversos fatores de correção.

Pode ser evidenciado também que entre os resultados destes dois ensaios, os valores de resistência dos CP's sempre acabam ficando um pouco superiores aos de testemunhos. Ao contrário do que foi visto nos resultados com CP-IV. Com base nesta diferença apresentada, uma possibilidade a ser investigada é que o concreto com cimento CP-V acaba sofrendo mais com os efeitos do broqueamento durante a extração do testemunho, conforme os dados apresentados no presente trabalho.

Quanto aos valores de resistência medidos por esclerometria, quando comparados aos resultados dos outros ensaios, novamente são sempre superiores. Sendo esta diferença elevada à medida que diminui o A/C e por conseqüência aumenta a resistência do concreto.

Mesmo com os resultados um pouco elevados se comparados aos demais ensaios, o ensaio de esclerometria assim como os outros, se mostra eficiente para medição da resistência à compressão do concreto. Sendo necessários pequenos ajustes na correlação entre o IE e a resistência à compressão para aprimorar ainda mais os resultados medidos através da dureza superficial.

Com o intuito de melhorar esta correlação (IE x f_c), com base nos resultados de rompimento de CP's e testemunhos, foram elaboradas novas correlações. Uma das correlações apresentadas foi elaborada a partir da resistência medida nos CP's, e a outra baseada na resistência obtida no rompimento dos testemunhos.

Estas correlações são válidas para concretos produzidos com cimento do tipo CP-V, agregados comercializados na região com características próximas as apresentadas neste trabalho e com idade de 7 a 91 dias. Outra limitação é quanto à resistência, onde estas correlações devem ser usadas para IE entre 30 e 44, onde a resistência à compressão do concreto fica compreendida entre 20 e 45 MPa.

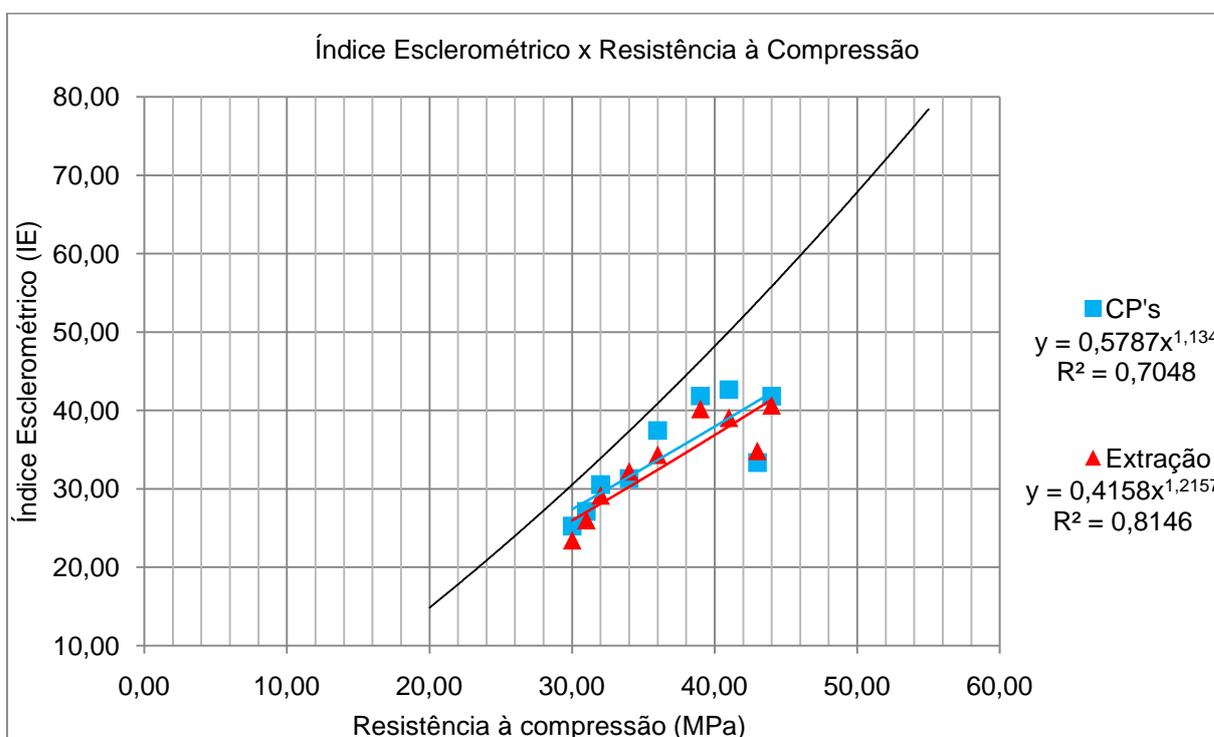
A tabela 26 traz as equações que melhor se ajustaram a nova correlação proposta, bem como o valor de R^2 obtido para cada correlação. A figura 38 ilustra graficamente a correlação proposta para ajustar a resistência à compressão medida por esclerometria em concretos produzidos com cimento CP-V.

Tabela 25 - Correlações propostas e valor de R^2 obtido.

Correlação	Ensaio	Regressão	Equação	R^2
IE x f_c	CP's	Potência	$y = 0,5787 IE^{1,134}$	0,7048
	Extração	Potência	$y = 0,4158 IE^{1,2157}$	0,8146

Fonte: Autor, (2017).

Figura 38 - Novas correlações propostas para concretos produzidos com CP-V.



Fonte: Autor, (2017).

Sobre as correlações feitas para concreto produzido com cimento CP-V, o valor de R^2 não obteve um resultado satisfatório quanto o do concreto com CP-IV. Esta diferença está diretamente atrelada aos pequenos distúrbios já citados nos resultados de resistência medida nos concreto feitos com cimento CP-V.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como escopo, pesquisar, desenvolver e comparar resultados obtidos em três diferentes métodos de medição da resistência à compressão do concreto. Sendo eles rompimento de corpos de prova padrão, rompimento de testemunhos extraídos de placas concretadas e esclerometria realizada nas mesmas placas.

Com os resultados obtidos foi possível correlacionar os resultados de resistência mecânica de concreto a partir de ensaio não destrutivo do tipo esclerometria com ensaio destrutivo por compressão axial, de corpos de prova moldados no momento da execução da estrutura e extraídos da mesma. Esta correlação mostrou que o ensaio de esclerometria se mostra adequado principalmente para avaliação da uniformidade do concreto empregado na estrutura.

Sobre a utilização do método não destrutivo para obtenção da estimativa de resistência à compressão do concreto, o mesmo se mostrou adequado, porém não apresentou uma precisão satisfatória nos valores apresentados, se comparado aos demais ensaios. Esta falta de precisão pode estar atrelada ao fato do aparelho ser produzido e aferido fora da região onde foi realizado o estudo em questão. O concreto no qual o esclerômetro é aferido não apresenta as mesmas características dos concretos produzidos aqui na região.

Contudo, a partir dos dados obtidos nesta pesquisa foi possível propor novas correlações entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão, possibilitando o uso do esclerômetro com maior precisão na estimativa da resistência à compressão do concreto. Sendo que para a utilização destas novas curvas devem ser respeitadas as limitações expostas neste trabalho.

Pode ser visto também que o tipo e teor de cimento utilizados no concreto têm interferência na dureza superficial medida por esclerometria, e que para tal ensaio o cimento CP-IV se mostrou com um melhor comportamento. Outro ponto verificado foi que a idade do concreto não teve influência na dureza superficial, visto que até a idade medida não houve carbonatação da superfície.

Já os resultados dos ensaios destrutivos foram muito próximos, comprovando a eficiência e conhecimento prévio sobre os ensaios. Onde os coeficientes de correção, para minoração dos efeitos que a extração causa nos testemunhos, se mostram adequados e imprescindíveis para utilização do ensaio.

Quanto as diferenças encontradas entre os resultados dos CP's e dos testemunhos foi pequena, variando em $\pm 2,3$ MPa para os traços com cimento CP-IV e $\pm 2,8$ MPa para os traços com cimento CP-V. Esta pequena diferença entre as variações dos dois tipos de cimento pode ser justificada pelo fato do cimento CP-V atingir maiores resistências, assim elevando o desvio entre as tensões.

Com os dados apresentados neste estudo, se espera que o mesmo possa servir como referência para estudos futuros para melhor avaliação dos métodos de ensaio, principalmente ao que se refere ao ensaio de esclerometria. Espera-se também, que o ensaio seja mais conhecido e difundido, e que seu uso adequado possa ajudar possíveis avaliações de concretos empregados em estruturas existentes.

Contudo, fica como sugestão a realização de estudos mais aprofundados sobre o método de esclerometria. Que possa ter uma amostra maior de dados e conseqüentemente maior precisão no desenvolvimento de novas correlações para o esclerômetro de reflexão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM (ABESC). **Manual do concreto dosado em central**. São Paulo: 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Boletim técnico – Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002. 7. rev. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67**: Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 8 p

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

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

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 7584**: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 7680**: Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais da construção**. 5. ed. Revisada, Rio de Janeiro: LTC, 2008. 471 p.

BOTTEGA, Fábio. **Análise do ensaio esclerométrico, um ensaio não destrutivo, nas estruturas de concreto**. 2010. 136 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

CÂMARA, Everlei. **Avaliação da resistência à compressão de concretos utilizados na grande Florianópolis através de ensaios não destrutivos**. Florianópolis: Campus, 2006. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/89437>>. Acesso em: 8 set. 2016.

CASTRO, Elisângela de. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. Uberlândia: Campus, 2009. Disponível em: <<http://biblioteca.versila.com/10213330>>. Acesso em: 06 set. 2016.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

CREMONINI, Ruy Alberto. **Análise de estruturas acabadas: Contribuição para a determinação da relação entre as resistências potencial e efetiva do concreto**. São Paulo: Boletim técnico 136, USP, 1994. ISSN 0103-9830, texto digital.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/doutorado/estruturas/2002/teses/EVANGELISTA_ACJ_02_t_D_est%20.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2016.

FARENZENA, Hélio. **Clínquer**. Blog do cimento. Disponível em: <<http://blogdocumento.blogspot.com.br/2011/06/clinquer-fonte-eng-helio-farenzena.html>>. Acesso em 27 ago. 2016.

FILHO, José Orlando Vieira. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento**. São Paulo: Campus, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-26102007-144854/pt-br.php>>. Acesso em: 12 out. 2016.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 1 ed. São Paulo, SP: PINI, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HELENE, Paulo; PACHECO, Jéssica. **Controle da Resistência do Concreto**. Mérida - México: Boletim técnico 09, ALCONPAT Internacional, 2013, texto digital.

HELENE, Paulo; TERZIAN, P. R. **Manual e dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1993.

ISAIA, Geraldo C. **Concreto: Ensino pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 1v. 792 p.

_____. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. 1712 p.

LORENZI, Alexandre; REGINATO, Lucas Alexandre; LORENZI, Luciani Somensi; FILHO, Luiz Carlos Pinto da Silva. Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Rio Grande do Sul, v. 03, 2016. ISSN 2358-6508, texto digital.

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

MASCOLO, Rafael. **Concreto usinado: Análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira**. Porto Alegre: Campus, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/75771>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

MEDEIROS, M. H. F. de; PEREIRA, E. Ensaio de "Pull Off" para avaliar a resistência à compressão do concreto: uma alternativa aos ensaios normalizados no Brasil. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, São Paulo, v. 5, n. 6, p. 757-780, 2012. ISSN 1983-4195, texto digital.

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

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

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

PALACIOS, Maria Del Pilar Guzman. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto**. Brasília: Campus, 2012. Disponível em: <<http://biblioteca.versila.com/2671694>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto e Construção**: IBRACON, n. 53, p. 14-19, 2009. ISSN 1809-7197.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998. 307 p.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Paulo: Campus, 2007. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

PROCEQ SA, **Martelo de teste de concreto – Instruções Operacionais**. Suíça, versão 08/2016 Disponível em: <https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/OrginalSchmidt_Operating%20Instructions_Portuguese_high.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2017.

REPETTE, Wellington Longuini. **Contribuição à inspeção e à avaliação da segurança de estruturas acabadas de concreto armado**. Porto Alegre: Campus, 1991. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/1700>>. Acesso em: 20 out. 2016.

SAMANIEGO, Yulena Tatiana Moreno. **Ensaio não destrutivo para avaliação da resistência do concreto: estudo de aplicação em obras**. Brasília: Campus, 2014. Disponível em: <<http://biblioteca.versila.com/2675963>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

VIANNA, Ilca Oliveira de Almeida. **Metodologia do trabalho científico**: um enfoque didático da produção científica. São Paulo: EPU, 2001.

ZANARDO, Mariana Boschetti. Desenvolvimento de curva de calibração do ensaio de esclerometria para o concreto utilizado por uma construtora de Passo Fundo - RS. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, v. 01, n. 10, 2015. ISSN 2179-5568, texto digital.

APÊNDICES

Apêndice A - Dados coletados para determinação do índice esclerométrico.

7 DIAS - CP-IV											
IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 22,78125 VALENDO: 6	2º MÉDIA IE	IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 29,96875 VALENDO: 6	2º MÉDIA IE	IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 29,0625 VALENDO: 12	2º MÉDIA IE
28,00	28,35	0,00		26,00	26,32	0,00		30,00	30,37	0,00	
18,00	18,22	0,00		24,00	24,30	0,00		26,00	26,32	0,00	
31,00	31,38	0,00		23,00	23,28	0,00		31,00	31,38	0,00	
18,00	18,22	0,00		27,00	27,33	0,00		29,00	29,36	0,00	
24,00	24,30	0,00		24,00	24,30	0,00		29,50	29,86	0,00	
23,50	23,79	0,00		32,00	32,40	0,00		29,50	29,86	0,00	
20,00	20,25	0,00		30,00	30,37	0,00		28,00	28,35	0,00	
24,00	24,30	0,00		29,00	29,36	0,00		29,00	29,36	0,00	
20,00	20,25	0,00	24,00	24,50	24,80	0,00		30,00	30,37	0,00	30,00
23,00	23,28	0,00		27,00	27,33	0,00		25,00	25,31	0,00	
18,00	18,22	0,00		46,00	46,57	0,00		29,00	29,36	0,00	
21,00	21,26	0,00		40,00	40,49	0,00		26,00	26,32	0,00	
19,00	19,23	0,00		29,00	29,36	0,00		30,00	30,37	0,00	
25,00	25,31	0,00		36,00	36,44	0,00		30,00	30,37	0,00	
20,00	20,25	0,00		36,00	36,44	0,00		28,00	28,35	0,00	
32,00	32,40	0,00		26,00	26,32	0,00		35,00	35,43	0,00	
14 DIAS - CP-IV											
IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 26,0625 VALENDO: 7	2º MÉDIA IE	IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 30,5625 VALENDO: 6	2º MÉDIA IE	IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 34,25 VALENDO: 12	2º MÉDIA IE
21,00	21,26	0,00		30,00	30,37	0,00		32,00	32,40	0,00	
21,00	21,26	0,00		30,00	30,37	0,00		33,00	33,41	0,00	
25,00	25,31	0,00		30,00	30,37	0,00		40,00	40,49	0,00	
34,00	34,42	0,00		31,00	31,38	0,00		36,00	36,44	0,00	
24,00	24,30	0,00		24,00	24,30	0,00		34,00	34,42	0,00	
27,00	27,33	0,00		24,00	24,30	0,00		33,00	33,41	0,00	
22,00	22,27	0,00		24,00	24,30	0,00		34,00	34,42	0,00	
22,00	22,27	0,00		36,00	36,44	0,00		32,00	32,40	0,00	
30,00	30,37	0,00		37,00	37,46	0,00		35,00	35,43	0,00	
33,00	33,41	0,00	26,00	30,00	30,37	0,00		33,00	33,41	0,00	
31,00	31,38	0,00		30,00	30,37	0,00		39,00	39,48	0,00	
24,00	24,30	0,00		37,00	37,46	0,00		30,00	30,37	0,00	
28,00	28,35	0,00		39,00	39,48	0,00		32,00	32,40	0,00	
21,00	21,26	0,00		27,00	27,33	0,00		32,00	32,40	0,00	
27,00	27,33	0,00		26,00	26,32	0,00		35,00	35,43	0,00	
27,00	27,33	0,00		34,00	34,42	0,00		36,00	36,47	0,00	

(Continuação)

28 DIAS - CP-IV													
IE Medido	1º MÊDIA: 26.6875		2º MÊDIA		IE Medido		IE Corrigido		1º MÊDIA: 33.3125		2º MÊDIA		2º MÊDIA
	IE Corrigido	VALENDO: 8	IE	IE	T2	T2	T2	T2	VALENDO: 7	VALENDO: 5	IE	IE	
T1	28,35	28,35	27,00	27,00	26,00	26,32	26,32	26,32	0,00	38,00	38,47	38,47	38,47
28,00	24,30	0,00			29,00	29,36	29,36	29,36	0,00	42,00	42,52	42,52	0,00
30,00	30,37	0,00			29,00	29,36	29,36	29,36	0,00	26,00	26,32	26,32	0,00
24,00	24,30	0,00			33,00	33,41	33,41	33,41	33,41	32,00	32,40	32,40	0,00
26,00	26,32	0,00			33,00	33,41	33,41	33,41	33,41	34,00	34,42	34,42	0,00
24,00	24,30	0,00			31,00	31,38	31,38	31,38	31,38	34,00	34,42	34,42	0,00
23,00	23,28	0,00			43,00	43,53	43,53	43,53	0,00	38,00	38,47	38,47	0,00
26,00	26,32	0,00	27,00	27,00	30,00	30,37	30,37	30,37	30,37	30,00	30,37	30,37	0,00
24,00	24,30	0,00			30,00	30,37	30,37	30,37	30,37	40,00	40,49	40,49	0,00
26,00	26,32	0,00			28,00	28,35	28,35	28,35	0,00	38,00	38,47	38,47	0,00
28,00	28,35	0,00			38,00	38,47	38,47	38,47	0,00	41,00	41,51	41,51	0,00
25,00	25,31	0,00			38,00	38,47	38,47	38,47	0,00	32,00	32,40	32,40	0,00
29,00	29,36	0,00			32,00	32,40	32,40	32,40	32,40	33,00	33,41	33,41	0,00
30,00	30,37	0,00			44,00	44,54	44,54	44,54	0,00	31,00	31,38	31,38	0,00
31,00	31,38	0,00			39,00	39,48	39,48	39,48	0,00	40,00	40,49	40,49	0,00
29,00	29,36	0,00			30,00	30,37	30,37	30,37	30,37	44,00	44,54	44,54	0,00

63 DIAS - CP-IV													
IE Medido	1º MÊDIA: 29.5		2º MÊDIA		IE Medido		IE Corrigido		1º MÊDIA: 34.25		2º MÊDIA		2º MÊDIA
	IE Corrigido	VALENDO: 12	IE	IE	T2	T2	T2	T2	VALENDO: 8	VALENDO: 11	IE	IE	
T1	28,35	28,35	30,00	30,00	33,00	33,41	33,41	33,41	33,41	40,00	40,49	40,49	40,00
28,00	34,42	0,00			35,00	35,43	35,43	35,43	35,43	40,00	40,49	40,49	0,00
30,00	30,37	0,00			36,00	36,44	36,44	36,44	36,44	42,00	42,52	42,52	0,00
30,00	30,37	0,00			30,00	30,37	30,37	30,37	0,00	30,00	30,37	30,37	0,00
26,00	26,32	0,00			32,00	32,40	32,40	32,40	0,00	37,00	37,46	37,46	0,00
24,00	24,30	0,00			28,00	28,35	28,35	28,35	0,00	32,00	32,40	32,40	0,00
28,00	28,35	0,00			40,00	40,49	40,49	40,49	0,00	42,00	42,52	42,52	0,00
30,00	30,37	0,00	30,00	30,00	34,00	34,42	34,42	34,42	34,42	40,00	40,49	40,49	40,00
28,00	28,35	0,00			28,00	28,35	28,35	28,35	0,00	38,00	38,47	38,47	0,00
30,00	30,37	0,00			32,00	32,40	32,40	32,40	32,40	33,00	33,41	33,41	0,00
30,00	30,37	0,00			32,00	32,40	32,40	32,40	32,40	36,00	36,44	36,44	0,00
34,00	34,42	0,00			40,00	40,49	40,49	40,49	0,00	40,00	40,49	40,49	0,00
28,00	28,35	0,00			44,00	44,54	44,54	44,54	0,00	38,00	38,47	38,47	0,00
28,00	28,35	0,00			30,00	30,37	30,37	30,37	0,00	43,00	43,53	43,53	0,00
32,00	32,40	0,00			38,00	38,47	38,47	38,47	0,00	43,00	43,53	43,53	0,00
32,00	32,40	0,00			36,00	36,44	36,44	36,44	36,44	41,00	41,51	41,51	0,00

(Continuação)

91 DIAS - CP-IV											
IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 29,75 VALENDO: 10	2º MÉDIA IE	IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 37,8125 VALENDO: 5	2º MÉDIA IE	IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 39,75 VALENDO: 6	2º MÉDIA IE
T1	T1			T2	T2			T3	T3		
26,00	26,32	0,00		32,00	32,40	0,00		48,00	48,59	0,00	
27,00	27,33	27,33		32,00	32,40	0,00		45,00	45,56	0,00	
30,00	30,37	30,37		35,00	35,43	35,43		35,00	35,43	0,00	
36,00	36,44	0,00		36,00	36,44	36,44		34,00	34,42	0,00	
27,00	27,33	27,33		31,00	31,38	0,00		37,00	37,46	37,46	
28,00	28,35	28,35		48,00	48,59	0,00		40,00	40,49	40,49	
30,00	30,37	30,37		30,00	30,37	0,00		37,00	37,46	37,46	
26,00	26,32	0,00	30,00	34,00	34,42	0,00	37,00	37,00	37,46	37,46	39,00
26,00	26,32	0,00		36,00	36,44	36,44		37,00	37,46	37,46	
32,00	32,40	32,40		40,00	40,49	40,49		46,00	46,57	0,00	
30,00	30,37	30,37		47,00	47,58	0,00		43,00	43,53	43,53	
33,00	33,41	0,00		46,00	46,57	0,00		35,00	35,43	0,00	
33,00	33,41	0,00		50,00	50,62	0,00		44,00	44,54	0,00	
32,00	32,40	32,40		35,00	35,43	35,43		34,00	34,42	0,00	
30,00	30,37	30,37		43,00	43,53	0,00		35,00	35,43	0,00	
30,00	30,37	30,37		30,00	30,37	0,00		49,00	49,60	0,00	

(Continuação)

7 DIAS - CP-V													
IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 30,375	2º MÉDIA	IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 30,71875	2º MÉDIA	IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 34,40625	2º MÉDIA	IE	IE
T4	T4	VALENDO: 6	IE	T5	T5	VALENDO: 8	IE	T6	T6	VALENDO: 6	IE	IE	IE
23,00	23,28	0,00		33,00	33,41	33,41		29,00	29,36	0,00			
25,00	25,31	0,00		29,00	29,36	29,36		30,00	30,37	0,00			
28,00	28,35	28,35		24,00	24,30	0,00		30,00	30,37	0,00			
27,00	27,33	0,00		37,50	37,96	0,00		31,00	31,38	31,38			
30,00	30,37	30,37		40,00	40,49	0,00		32,00	32,40	32,40			
26,00	26,32	0,00		39,00	39,48	0,00		40,00	40,49	0,00			
33,00	33,41	33,41		24,50	24,80	0,00		34,00	34,42	34,42			34,00
35,00	35,43	0,00		27,50	27,84	0,00		40,00	40,49	0,00			
37,00	37,46	0,00	30,00	26,00	26,32	0,00		38,00	38,47	0,00			
28,00	28,35	28,35		30,00	30,37	30,37		30,00	30,37	0,00			
37,00	37,46	0,00		26,00	26,32	0,00		36,00	36,44	36,44			
25,00	25,31	0,00		33,00	33,41	33,41		32,50	32,90	32,90			
34,00	34,42	0,00		29,00	29,36	29,36		42,00	42,52	0,00			
38,00	38,47	0,00		31,00	31,38	31,38		36,00	36,44	36,44			
28,00	28,35	28,35		31,00	31,38	31,38		40,00	40,49	0,00			
32,00	32,40	32,40		31,00	31,38	31,38							
14 DIAS - CP-V													
IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 30,375	2º MÉDIA	IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 31,375	2º MÉDIA	IE Medido	IE Corrigido	1º MÉDIA: 36,75	2º MÉDIA	IE	IE
T4	T4	VALENDO: 8	IE	T5	T5	VALENDO: 9	IE	T6	T6	VALENDO: 5	IE	IE	IE
T4	T4	VALENDO: 8	IE	T5	T5	VALENDO: 9	IE	T6	T6	VALENDO: 5	IE	IE	IE
34,00	34,42	0,00		29,00	29,36	29,36		41,00	41,51	0,00			
21,00	21,26	0,00		28,00	28,35	0,00		30,00	30,37	0,00			
22,00	22,27	0,00		28,00	28,35	0,00		34,00	34,42	34,42			
31,00	31,38	31,38		35,00	35,43	0,00		30,00	30,37	0,00			
34,00	34,42	0,00		35,00	35,43	0,00		30,00	30,37	0,00			
29,00	29,36	29,36		29,00	29,36	29,36		44,00	44,54	0,00			
46,00	46,57	0,00		28,00	28,35	0,00		43,00	43,53	0,00			
24,00	24,30	0,00		34,00	34,42	34,42		45,00	45,56	0,00			
34,00	34,42	0,00		28,00	28,35	0,00		42,00	42,52	0,00			36,00
32,00	32,40	32,40		30,00	30,37	30,37		43,00	43,53	0,00			
28,00	28,35	28,35		31,00	31,38	31,38		32,00	32,40	0,00			
32,00	32,40	32,40		33,00	33,41	33,41		32,00	32,40	0,00			
29,00	29,36	29,36		31,00	31,38	31,38		34,00	34,42	34,42			
28,00	28,35	28,35		31,00	31,38	31,38		34,00	34,42	34,42			
28,00	28,35	28,35		42,00	42,52	0,00		34,00	34,42	34,42			
34,00	34,42	0,00		30,00	30,37	30,37		40,00	40,49	40,49			

(Continuação)

28 DIAS - CP-V											
IE Medido	IE Corrigido	1ª MÉDIA: 31,1875	2ª MÉDIA	IE Medido	IE Corrigido	1ª MÉDIA: 35,5	2ª MÉDIA	IE Medido	IE Corrigido	1ª MÉDIA: 40,5	2ª MÉDIA
T4	T4	VALENDO: 12	IE	T5	T5	VALENDO: 8	IE	T6	T6	VALENDO: 7	IE
29,00	29,36	29,36		47,00	47,58	0,00		40,00	40,49	40,49	
31,00	31,38	31,38		44,00	44,54	0,00		46,00	46,57	0,00	
37,00	37,46	0,00		30,00	30,37	0,00		34,00	34,42	0,00	
30,00	30,37	30,37		30,00	30,37	0,00		50,00	50,62	0,00	
29,00	29,36	29,36		40,00	40,49	0,00		44,00	44,54	44,54	
32,00	32,40	32,40		36,00	36,44	36,44		44,00	44,54	44,54	
29,00	29,36	29,36		35,00	35,43	35,43		42,00	42,52	42,52	
40,00	40,49	0,00	31,00	35,00	35,43	35,43		36,00	36,44	0,00	43,00
29,00	29,36	29,36		31,00	31,38	0,00		39,00	39,48	39,48	
32,00	32,40	32,40		32,00	32,40	32,40		35,00	35,43	0,00	
31,00	31,38	31,38		30,00	30,37	0,00		32,00	32,40	0,00	
31,00	31,38	31,38		32,00	32,40	32,40		35,00	35,43	0,00	
26,00	26,32	0,00		34,00	34,42	34,42		44,00	44,54	44,54	
28,00	28,35	0,00		36,00	36,44	36,44		33,00	33,41	0,00	
32,00	32,40	32,40		32,00	32,40	32,40		50,00	50,62	0,00	
33,00	33,41	33,41		44,00	44,54	0,00		44,00	44,54	44,54	
63 DIAS - CP-V											
IE Medido	IE Corrigido	1ª MÉDIA: 32,75	2ª MÉDIA	IE Medido	IE Corrigido	1ª MÉDIA: 36,1875	2ª MÉDIA	IE Medido	IE Corrigido	1ª MÉDIA: 43,1875	2ª MÉDIA
T4	T4	VALENDO: 12	IE	T5	T5	VALENDO: 12	IE	T6	T6	VALENDO: 13	IE
30,00	30,37	30,37		34,00	34,42	34,42		43,00	43,53	43,53	
29,00	29,36	0,00		37,00	37,46	37,46		46,00	46,57	46,57	
45,00	45,56	0,00		33,00	33,41	33,41		48,00	48,59	0,00	
30,00	30,37	30,37		33,00	33,41	33,41		44,00	44,54	44,54	
29,00	29,36	0,00		37,00	37,46	37,46		44,00	44,54	44,54	
30,00	30,37	30,37		37,00	37,46	37,46		42,00	42,52	42,52	
30,00	30,37	30,37		42,00	42,52	0,00		42,00	42,52	42,52	
36,00	36,44	36,44		40,00	40,49	0,00		42,00	42,52	42,52	
30,00	30,37	30,37	32,00	38,00	38,47	38,47		37,00	37,46	0,00	44,00
36,00	36,44	36,44		33,00	33,41	33,41		42,00	42,52	42,52	
32,00	32,40	32,40		37,00	37,46	37,46		42,00	42,52	42,52	
40,00	40,49	0,00		30,00	30,37	0,00		47,00	47,58	47,58	
30,00	30,37	30,37		33,00	33,41	33,41		42,00	42,52	42,52	
33,00	33,41	33,41		35,00	35,43	35,43		38,00	38,47	0,00	
34,00	34,42	34,42		42,00	42,52	0,00		46,00	46,57	46,57	
30,00	30,37	30,37		38,00	38,47	38,47		46,00	46,57	46,57	

(Continuação)

91 DIAS - CP-V												
IE Medido	1º MÉDIA: 32.9375		2º MÉDIA		IE Medido	1º MÉDIA: 38.0625		2º MÉDIA		IE Medido	1º MÉDIA: 41,5	
	IE Corrigido	VALENDO: 10	IE	IE		IE Corrigido	VALENDO: 10	IE	IE		IE Corrigido	VALENDO: 8
T4	T4		T5	T5	T6	T5		T6	T6	T6		T6
30,00	30,37	30,37	34,00	34,42	48,00	34,42	0,00	48,00	48,59	48,59	0,00	48,59
30,00	30,37	30,37	39,00	39,48	48,00	39,48	39,48	48,00	48,59	48,59	0,00	48,59
38,00	38,47	0,00	41,00	41,51	45,00	41,51	41,51	45,00	45,56	45,56	45,56	45,56
38,00	38,47	0,00	39,00	39,48	35,00	39,48	39,48	35,00	35,43	35,43	0,00	35,43
30,00	30,37	30,37	41,00	41,51	46,00	41,51	41,51	46,00	46,57	46,57	0,00	46,57
35,00	35,43	35,43	36,00	36,44	35,00	36,44	36,44	35,00	35,43	35,43	0,00	35,43
37,00	37,46	0,00	34,00	34,42	34,00	34,42	0,00	34,00	34,42	34,42	0,00	34,42
29,00	29,36	0,00	40,00	40,49	42,00	40,49	40,49	42,00	42,52	42,52	42,52	42,52
32,00	32,40	32,40	36,00	36,44	38,00	36,44	36,44	38,00	38,47	38,47	38,47	38,47
30,00	30,37	30,37	35,00	35,43	38,00	35,43	35,43	38,00	38,47	38,47	38,47	38,47
30,00	30,37	30,37	48,00	48,59	47,00	48,59	0,00	47,00	47,58	47,58	0,00	47,58
29,00	29,36	0,00	34,00	34,42	44,00	34,42	0,00	44,00	44,54	44,54	44,54	44,54
35,00	35,43	35,43	36,00	36,44	48,00	36,44	36,44	48,00	48,59	48,59	0,00	48,59
35,00	35,43	35,43	40,00	40,49	38,00	40,49	40,49	38,00	38,47	38,47	38,47	38,47
31,00	31,38	31,38	42,00	42,52	38,00	42,52	0,00	38,00	38,47	38,47	38,47	38,47
38,00	38,47	0,00	34,00	34,42	40,00	34,42	0,00	40,00	40,49	40,49	40,49	40,49

Fonte: Autor, (2017).



UNIVATES

Rua Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil

CEP 95900-000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000

www.univates.br | 0800 7 07 08 09