

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ELTON BRUNO BATISTA

**AVALIAÇÃO DO USO DO ESCLERÔMETRO PARA A  
DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PEÇAS  
PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2016

ELTON BRUNO BATISTA

**AVALIAÇÃO DO USO DO ESCLERÔMETRO PARA A  
DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PEÇAS  
PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Gustavo Savaris

TOLEDO

2016



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Toledo  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 022

**Avaliação do uso do Esclerômetro para a determinação da  
resistência à compressão em peças pré-moldadas de concreto**

por

**Elton Bruno Batista**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15:50 h do dia **17 de junho de 2016** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof<sup>a</sup> Dra Lucia Bressiani  
(UTFPR – TD)

---

Prof<sup>a</sup> Dra Patrícia Casarotto de Oliveira  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Me Gustavo Savaris  
(UTFPR – TD)  
Orientador

---

Visto da Coordenação  
Prof. Dr Lucas Boabaid Ibrahim  
Coordenador da COECI

## **AGRADECIMENTOS**

Considero agradecer de forma contundente por colaborar com esse trabalho:

À Deus grande Engenheiro criador do universo.

À minha mãe Hilda Josefa Batista que sempre me apoiou de todas as formas em todas as etapas de minha vida.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, instituição da qual me orgulho em fazer parte.

Ao meu professor orientador Gustavo Savaris por me instruir na elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

Aos meus familiares que me apoiaram desde o princípio nessa jornada.

Aos Meus amigos e colegas de curso, Arnor Agrelli Ferreira, Jancer Renan Zanin e Maico Alexandro Gallas pelo incentivo e colaboração.

Ao Marcos Vinicius Schlichting laboratorista da UTFPR Campus Toledo.

**“Aqui jaz um homem que soube ter junto a si  
homens que eram mais inteligentes que ele”  
Andrew Carnegie**

## RESUMO

BATISTA, Elton Bruno. Avaliação do uso do Esclerômetro para a determinação da resistência à compressão em peças pré-moldadas de concreto. 2016. 76p. Trabalho de conclusão de curso. Coordenação do curso de engenharia civil. Universidade tecnológica federal do Paraná. Toledo, 2016.

Esta pesquisa apresenta uma avaliação do uso do Esclerômetro como instrumento de determinação da resistência característica à compressão do concreto. Comparou-se o Ensaio de Esclerometria com o ensaio de compressão axial de corpo-de-prova e determinou-se uma correlação entre os ensaios. Avaliou-se a influência do ambiente de cura na resistência do concreto. Concluiu-se que a aproximação entre os ensaios de Esclerometria de compressão axial de corpo-de-prova variou entre 2,7% e 17%, para os corpos-de-prova em cura ambiente e entre 18,92% e 32,96%, para os corpos de prova-em-cura úmida. Observou-se uma tendência de aproximação entre os ensaios, para ambos tratamentos de cura. Verificou-se que, para o ensaio de compressão axial de corpo-de-prova, a cura úmida aumentou a resistência do concreto.

Palavras-chave: Esclerometria. Concreto Pré-moldado. Resistência à Compressão. Dureza superficial. Ensaio Não Destrutivo.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1 - Influências na resistência do concreto .....	17
Figura 2.2 - Influência da relação a/c na resistência à compressão do concreto ....	19
Figura 2.3 - Influência do volume do agregado .....	21
Figura 2.4 - Início da carbonatação .....	22
Figura 2.5 - Princípio do Martelo de Schmidt .....	31
Figura 2.6 - Bigorna de aço. ....	32
Figura 2.7 - Área de ensaio para 16 impactos. ....	34
Figura 2.8 - Locais recomendáveis para aplicação do Esclerômetro. ....	35
Figura 2.9 - Curva de conversão baseadas na resistência à compressão. ....	36
Figura 3.1 - Cura em tanque de água. ....	46
Figura 3.2 - Cura em ambiente aberto .....	47
Figura 3.3a - Vista lateral do pilar .....	48
Figura 3.3b - Vista superior do pilar .....	49
Figura 3.4 - Aplicação do Esclerômetro .....	49
Figura 3.5 - Faces de aplicação do Esclerômetro .....	50

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 2.1 - Número de camadas para moldagem dos corpos-de-prova. ....	24
Tabela 2.2 - Tolerância para a idade de ensaio. ....	27
Tabela 3.1 - Identificação dos corpos-de-prova ....	46
Tabela 4.1 - Resultados do Ensaio de Esclerometria.....	53
Tabela 4.2 - $f_{ck}$ dos corpos-de-prova em cura úmida ....	55
Tabela 4.3 - $f_{ck}$ dos corpos de prova em cura ambiente.....	55
Tabela 4.4 - $f_{ck}$ para as curvas de conversão.....	56
Tabela 4.5 - Variação $f_{ck}$ devido à cura.....	57
Tabela 4.6 - Variação entre CPA-3 e CRU. ....	60
Tabela 4.7 - Variação entre CPA-3 e CRA.....	61



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Curva padrão de correlação CPA-1..	38
Gráfico 2.2 - Curva padrão de correlação CPA-2..	39
Gráfico 2.3 - Curva padrão de correlação CPA-3..	40
Gráfico 4.1 – Regressão polinomial entre Idade e IE.	54
Gráfico 4.2 - Crescimento do $f_{ck}$ para a cura ambiente.	56
Gráfico 4.3 - Regressão linear das curvas padrão de conversão.	57
Gráfico 4.4 - Regressão polinomial entre CRU e CRA.	58
Gráfico 4.5 - Comparativo entre os ensaios.	59
Gráfico 4.6 - Comparativo entre CRU e CPA-3	60
Gráfico 4.7 - Comparativo entre CRU e CRA.	61

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CP – Corpo-de-prova  
CPA-1 - Curva padrão de conversão um  
CPA-2 - Curva padrão de conversão dois  
CPA-3 - Curva padrão de conversão três  
CRA - Corpos-de-prova em cura ambiente  
CRU - Corpos-de-prova em cura úmida  
 $f_{cj}$  - Resistência média do concreto à compressão  
 $f_{ck}$  - Resistência característica do concreto à compressão  
IE - Índice Esclerométrico

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	14
1.1 JUSTIFICATIVA .....	14
1.2 OBJETIVOS .....	15
1.2.1 Objetivo geral .....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO.....	16
2.2 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO.....	22
2.2.1 Ensaio de compressão axial de corpo-de-prova .....	22
2.2.2 Ensaios não destrutivos .....	28
2.3 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA .....	30
2.3.1 Aferição do equipamento.....	32
2.3.2 Procedimentos de ensaio .....	33
2.3.3 Curvas de conversão .....	35
2.3.4 Curvas padrão de correlação .....	36
2.3.5 Influência da idade e da carbontação do concreto .....	40
2.3.6 Trabalhos realizados sobre Esclerometria .....	41
2.4 CONCRETO PRÉ-MOLDADO .....	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA E DO OBJETO DE ESTUDO .....	44
3.2 INFORMAÇÕES DO CONCRETO UTILIZADO .....	44
3.3 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CORPO-DE-PROVA .....	45
3.4 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA .....	48
3.5 CURVAS PADRÃO DE CONVERSÃO.....	51
3.6 CORRELAÇÃO DE VARIÁVEIS .....	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	53
4.1 ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO.....	53
4.2 cOMPRESSÃO AXIAL DE CORPOS-DE-PROVA.....	54
4.4 CURVAS PADRÃO .....	56
4.5 Influência da cura .....	57
4.7 variação entre os ensaios.....	58
5 CONCLUSÕES .....	62
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	62
BIBLIOGRAFIA .....	63

ANEXO 1 – RESULTADOS DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA .....	66
ANEXO 2 – RELATÓRIOS DO ENSAIO COMPRESSÃO AXIAL DE CORPO-DE- PROVA.....	70

## 1 INTRODUÇÃO

Diversos são os motivos que fazem do concreto um dos materiais mais consumidos no mundo. Dentre os principais estão o baixo custo, a durabilidade e a disponibilidade de matéria prima e mão de obra (PALÁCIOS, 2012).

O concreto é composto basicamente por três componentes: o aglomerante, o agregado e a água, podendo ainda ser adicionado aditivos que influenciam em suas características, como: a cura, a trabalhabilidade, entre outros.

Dentre as propriedades do concreto, considera-se como sendo a de maior importância a resistência a compressão, visto que, por meio desta propriedade, é possível avaliar outras, como exemplo a resistência à tração, por meio de correlações.

Um dos equipamentos que podem ser utilizados para obter a resistência à compressão do concreto é o Esclerômetro, que avalia a sua dureza superficial, sem causar danos significativos na estrutura avaliada, sendo então categorizado com um ensaio não-destrutivo.

Há uma carência de informações sobre qual é a idade ideal para se aplicar o Ensaio de Esclerometria, bem como sua correlação com o ensaio de compressão axial de corpo-de-prova, cabendo então uma análise científica destes aspectos.

Desta forma, este trabalho apresenta uma análise do Ensaio de Esclerometria, avaliando a influência da cura e da idade do concreto.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Avaliar a resistência do concreto faz-se necessário na tomada de decisões em uma indústria de pré-moldados. Em determinados momentos, deseja-se avaliar a homogeneidade, a idade ideal para a desforma e transporte.

Outra necessidade é a de verificar o quanto a cura influencia na resistência do concreto. Visto que, na maioria dos casos não há a possibilidade de manter a peça pré-moldada em um tanque de cura, devido às suas dimensões.

O Ensaio de Esclerometria destaca-se por ser um ensaio não-destrutivo, que avalia a dureza superficial do concreto de forma instantânea e a correlaciona com a resistência a compressão do concreto. Sendo assim ideal para uma indústria de pré-moldados, onde há uma demanda por agilidade, na avaliação da resistência do concreto.

Portanto, justifica-se o trabalho, por complementar o conhecimento sobre o ensaio de Esclerometria e contribuir para torná-lo mais preciso. Avaliando a sua aplicação em estruturas pré-moldadas de concreto.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Correlacionar o Ensaio de Esclerometria com o ensaio de compressão axial de corpo-de-prova, em peças de concreto pré-moldado, para diferentes processos e estágios de cura.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar em qual das idades analisadas há uma maior aproximação entre os ensaios;
- Determinar qual método de cura de corpo-de-prova apresenta os resultados de ensaio mais próximos aos obtidos pelo Ensaio de Esclerometria;
- Avaliar a influência da cura na resistência do concreto.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO

Segundo Palácios (2012), devido as suas características, o concreto é um dos materiais mais consumidos no mundo. Classificado como um material composto formado basicamente por três etapas: uma matriz de pasta de cimento, outra de agregados e a zona de mudança entre a matriz e agregado. É frequente que ao concreto se acrescentem diferentes aditivos, para alterar suas propriedades em estado fresco ou endurecido.

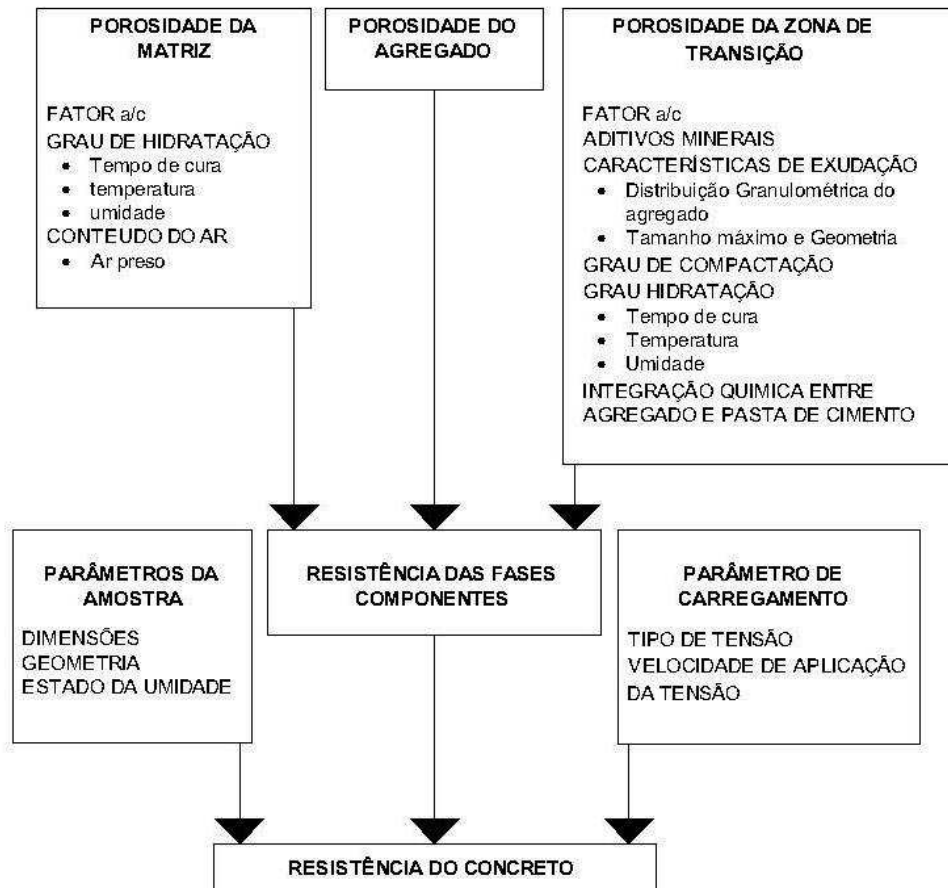
O concreto apresenta boa resistência à compressão, porém a resistência à tração tem um valor aproximado de um décimo da resistência à compressão. Quando se trata de resistência à tração na flexão, ela é aproximadamente duas vezes superior ao que obtemos em tração simples. Os fatores que afetam de forma mais significativa a resistência do concreto são: o fator água/cimento, as dimensões dos agregados e a especificação do cimento (PETRUCCI 1987).

O melhor método de se classificar o concreto é por meio da resistência à compressão. Sendo este um indicador de qualquer mudança na composição, proporcionalidade dos materiais e uniformidade do concreto, devido ao fato de ser uma característica bastante sensível. Utiliza-se a resistência à compressão axial do concreto como parâmetro para a determinação de traços e também um indicador de qualidade (HELENE e TERZIAN 1993).

Segundo Ozyildirim e Carino (2006 *apud* PALACIOS 2012), a resistência à compressão axial do concreto é um indicador direto da sua aptidão em aceitar esforços, tanto de compressão, tração, cisalhamento ou ambos, possibilitando efetuar correlações com diferentes propriedades, cuja obtenção dos resultados está submetida à realização de ensaios de grande complexidade.

Para Mehta e Monteiro (1994 *apud* FERNANDES 2011), antes de iniciar a mistura do concreto, a definição dos materiais convenientes e a determinação das suas proporções é o primeiro passo para a obtenção de um concreto que proporcione a resistência esperada. Na Figura 2.1, observa-se esquematicamente

os condicionantes que interferem na resistência do concreto e o modo como isso acontece.



**Figura 2.1 - Influências na resistência do concreto (FERNANDES, 2011).**

Da resistência característica a compressão dos corpos-de-prova, segundo Bottega (2010), segue-se os seguintes procedimentos:

- i. Recolhe-se uma quantia de concreto para preparação dos corpos-de-prova;
- ii. A configuração e dimensão do molde devem seguir a NBR 5738 (2008);
- iii. Os Procedimentos de adensamento, moldagem, cura e desforma devem seguir a NBR 5738 (2008);



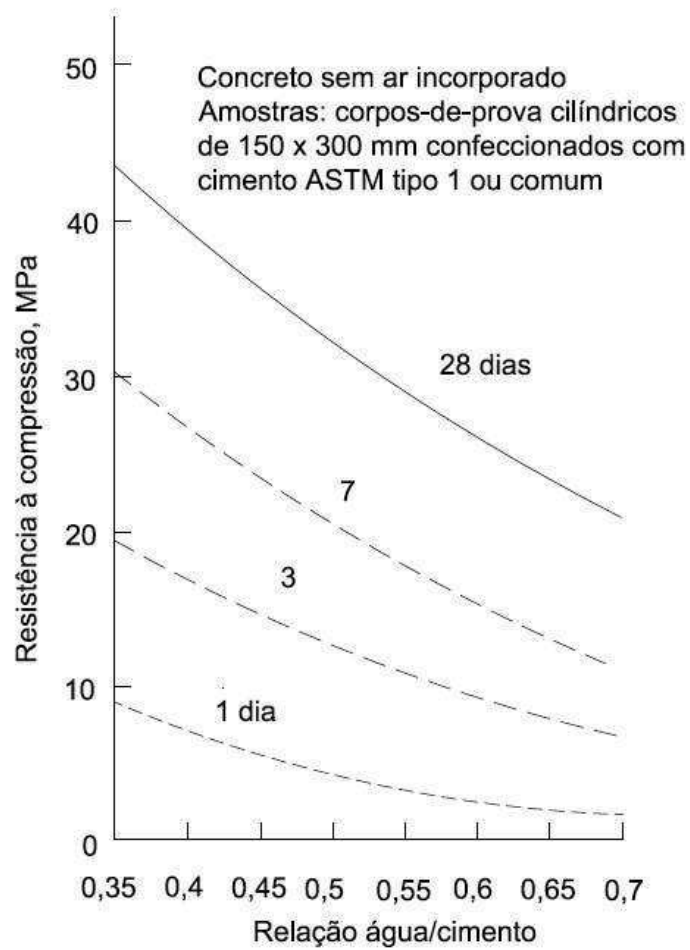
- iv. Para o ensaio de compressão de corpo-de-prova devem ser seguidas as orientações estabelecidas pela NBR 5739 (2007), sendo que a idade padrão para o rompimento é de 28 dias;
- v. A determinação da tensão de ruptura é obtida pela razão entre a força aplicada e a área da seção transversal do corpo-de-prova;

De acordo com Palacios (2012), o concreto, pode ter quatro níveis diferenciados de sollicitação, quando é submetido à tensão de compressão.

- i. No estágio inicial, para uma carga próxima de 30% da última, a fissuração na zona de transição permanece estável;
- ii. Acima de 30% e com a tensão crescente as microfissuras ampliam.
- iii. Em cerca de até 50% da tensão última a fissuração ainda é desprezível.
- iv. No entorno de 75% da carga última ocorre a instabilidade no sistema de fissuração da zona de transição, ocasionando o aumento da quantia de fissuras.

A curvatura que representa tensão-deformação aumenta a sua inclinação consideravelmente para a sua horizontal. No intervalo de 75% a 80% da carga última, a energia de deformação alcança um patamar crítico, tendo como resultado o crescimento constante de fissuras, sob uma tensão que se mantém constante e o elemento se deforma até alcançar o ponto de ruptura (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A proporção entre a resistência à compressão e o fator água/cimento está interligada com o adensamento do material. Sendo que em concretos adensados de forma plena, a resistência à compressão recebe um acréscimo, enquanto o fator água/cimento diminui, Figura 2.2.



**Figura 2.2 - Influência da relação a/c na resistência à compressão do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).**

Mehta e Monteiro (1994) consideram a resistência do concreto como sendo inversamente proporcional ao fator água/cimento, quando o concreto está plenamente adensado. Esta relação entre o fator água/cimento e a resistência do concreto é apresentada pela Equação 2.1, que é conhecida como Lei de Abrams:

$$f_c = \frac{K_1}{K_2^{a/c}} \quad (2.1)$$

Sendo:

- $f_c$ : resistência do concreto;
- $K_1$  e  $K_2$ : constantes relacionadas à idade e o material do concreto;
- $a/c$ : representa a relação água/cimento.

Quando o concreto não está plenamente adensado, há um aumento no volume de vazios, alterando a razão entre a resistência e o fator água/cimento. Sendo assim, um concreto mal adensado apresenta resultados diferentes do que é esperado (NEVILLE, 1997).

O volume total de vazios também influencia na resistência do concreto, por meio de poros capilares ou de gel, ar aprisionado ou incorporado. Têm-se como fatores que influenciam no volume de vazios do concreto, o grau de adensamento e a relação água/cimento, sendo o segundo, fator determinante na porosidade da pasta de cimento endurecida, em qualquer estágio de hidratação (SATTO, 1998).

De acordo com Nunes (2005), a resistência do agregado geralmente acaba não sendo um fator condicionante na resistência do concreto comum. Visto que, à exceção dos concretos leves e de alta resistência, os agregados acabam tendo uma resistência significativamente superior ao da matriz e da zona de transição do concreto.

Segundo Neville (1997), conforme ilustrado na Figura 2.3, quando há uma alteração no volume do agregado em um percentual entre 0% e 20%, sem que haja alteração na proporção entre a água e agregado, ocorre uma diminuição na resistência à compressão. No entanto, para o intervalo entre 20% a 80%, a resistência aumenta.

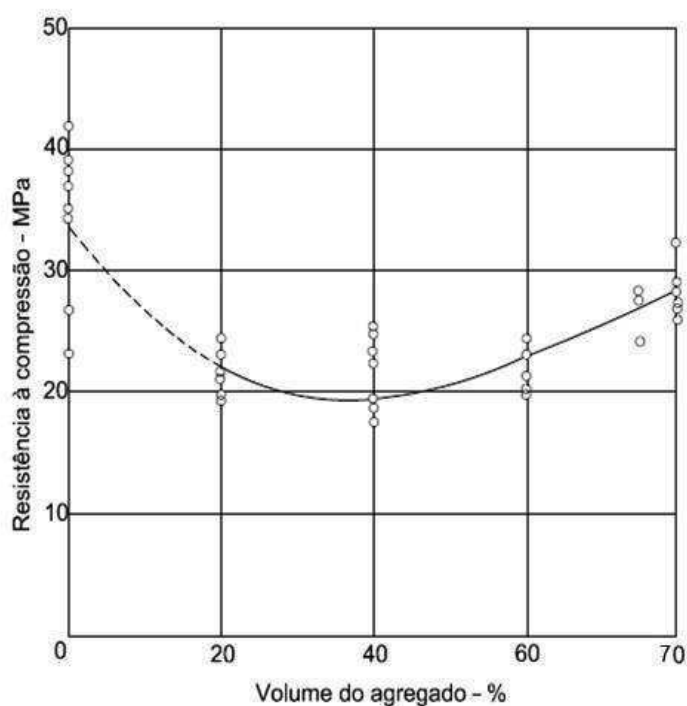


Figura 2.3 - Influência do volume do agregado (NEVILLE, 1997).

Um dos principais fatores que influenciam na resistência do concreto e afeta diretamente a dureza superficial é a carbonatação. Segundo Bauer (2008), a carbonatação do concreto é um fenômeno químico que tem seu início na superfície do concreto e se mantém constante ao longo dos anos. O hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) que é produto da hidratação do cimento, ocupa os espaços vazios do concreto e reage com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) existente na atmosfera. O resultado dessa reação é o carbonato de cálcio, substância não solúvel em água que bloqueia os poros do concreto e conseqüentemente a evaporação da água.

A Figura 2.4, ilustra o início da carbonatação, onde uma camada fina e superficial do concreto se carbonata, não causando alterações no restante do concreto.

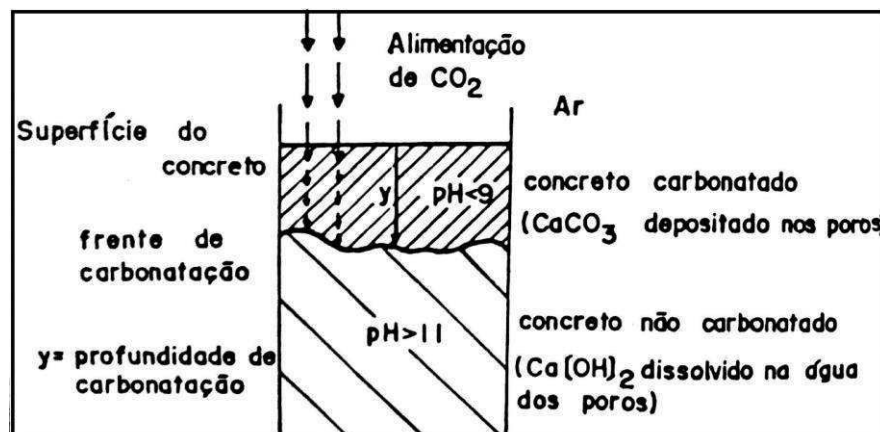


Figura 2.4 - Início da carbonatação (BAUER, 2008).

## 2.2 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

### 2.2.1 Ensaio de compressão axial de corpo-de-prova

Segundo MEHTA e Monteiro (2008), o principal objetivo do ensaio de compressão axial está em determinar a carga máxima de ruptura que o corpo-de-prova pode suportar. Sendo que as faces transversais que estão em contato direto com os pratos da prensa devem ser capeadas com uma solução de enxofre e pó de pedra, com a finalidade de evitar um resultado diferente do real valor.

#### 2.2.1.1 Equipamentos de ensaio

Segundo da NBR 5739 (ABNT, 2007), a capacidade da estrutura de aplicação da carga deve ser compatível com os ensaios a serem realizados, fazendo com que a aplicação da carga seja controlada sobre o corpo-de-prova colocado entre os pratos de compressão. O prato que se desloca deve ter movimento na direção vertical, mantendo paralelismo com o eixo vertical da máquina.

A aplicação da carga deve ser de forma contínua e sem choques, com velocidade de carregamento entre 0,3 MPa/s e 0,8 MPa/s. não é permitido efetuar ajustes nos controles da máquina durante a realização do ensaio.

#### 2.2.1.2 *Preparação dos moldes*

Segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008) as alturas dos corpos-de-prova devem ter o dobro do diâmetro que pode ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. A dimensão diametral tem tolerância de 1% a 2% de altura sendo os planos das bordas circulares externas perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo-de-prova.

O molde deve ter seus componentes produzidos a partir de um material não absorvente e não reagente com o cimento. Além disso, este deve ter resistência suficiente para manter sua sustentação durante a moldagem. A extremidade superior deve ser aberta e permitir a desmoldagem de forma facilitada sem o risco de danificar a amostra, extremidade inferior deve ser plana e rígida (ABNT, 2008).

O molde deve ter sua base estanque a fim de evitar a perda de água não sendo aceitos moldes com alguma anomalia, é necessário realizar o controle geométrico, com precisão de 0,1 mm e para a perpendicularidade e planeza de laterais e base, a precisão deve ser de 0,05 mm (ABNT, 2008).

A haste de adensamento manual deve ser de aço, cilíndrica, e de superfície lisa, diâmetro de 16 mm e comprimento entre 600 mm e 800 mm, sendo que uma ou as duas extremidades devem ter forma semiesférica.

A NBR 5738 (ABNT, 2008), recomenda alguns procedimentos antes da introdução do concreto no molde. A saber:

- Os moldes e bases devem ser revestidos com uma fina camada de óleo mineral;
- A superfície onde os moldes estão apoiados deve estar livre de qualquer perturbação que possa interferir na forma e propriedades do concreto;
- Para garantia da uniformidade do concreto é recomendado que se faça uma pré-mistura antes de colocá-lo dentro do molde;

A Tabela 2.1 apresenta o número de camadas de introdução do concreto nos moldes e a quantia de golpes necessários para o adensamento do concreto dentro do molde.

**Tabela 2.1 - Número de camadas para moldagem dos corpos-de-prova.**

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	-	-

1) Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

**Fonte: ABNT, 2008.**

### 2.2.1.3 Cura, desforma e armazenamento dos corpos-de-prova

Segundo MEHTA e Monteiro (2008), cura é o nome dos procedimentos que culminam no objetivo de manter a quantidade de água necessária à hidratação do cimento. O início da cura acontece logo após as primeiras três horas que sucedem o lançamento do concreto e seu período de duração é de no mínimo sete dias. O tempo de cura é proporcional ao fator água/cimento.

Após o preenchimento dos moldes, estes devem ser colocados sobre uma superfície horizontal, rígida, livre de vibrações e qualquer perturbação. Durante o seu primeiro dia, os corpos-de-prova devem ser armazenados em um local protegido de intempéries, devidamente cobertos, com material não reativo e não absorvente (ABNT, 2003).

Os corpos-de-prova moldados com o intuito de comprovar a qualidade e uniformidade do concreto, devem seguir os seguintes procedimentos:

- Devem ser desmoldados após 24 horas a partir do início da moldagem;
- Devem ser identificados antes de serem armazenados;
- Após a identificação devem ser armazenados em uma solução saturada de hidróxido de cálcio, a uma temperatura de 23 °C com variação de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , ou em uma câmara úmida com mesma temperatura e umidade relativa do ar superior a 95%, livres de gotejamento e água em movimento;
- A secagem das superfícies dos corpos-de-prova deve ser impedida até o momento da realização do ensaio;
- A retirada dos corpos-de-prova deve acontecer aos sete dias, mantendo-se a mesma temperatura da câmara e a umidade relativa do ar de 50%, com variação de  $\pm 15\%$  até o início do ensaio;

Em casos especiais, quando os corpos-de-prova são moldados com o intuito de se verificar as condições de proteção e cura do concreto da estrutura, estes devem ser armazenados o mais próximo possível do local de extração da amostra, onde devem receber a mesma cura da estrutura que representam.

A Retificação consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material do topo a ser preparado, sendo normalmente executada em máquinas especialmente adaptadas para essa finalidade, com a utilização de ferramentas abrasivas. A retificação deve ser feita de tal forma que se garanta a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida, e proporcione uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos. As falhas de planicidade em qualquer ponto da superfície obtida, não devem ser superiores a 0,05 mm.



O Capeamento consiste no revestimento dos topos dos corpos-de-prova com uma fina camada de material apropriado, com as seguintes características:

- a) Aderência ao corpo-de-prova;
- b) Compatibilidade química com o concreto;
- c) Fluidez, no momento de sua aplicação;
- d) Acabamento liso e plano após endurecimento;
- e) Resistência à compressão compatível com os valores normalmente obtidos em concreto.

Um procedimento opcional para a retificação do corpo-de-prova é o remate pasta de cimento, no período entre 6 h e 15 h após o momento da moldagem. Deve-se passar uma escova de aço sobre o topo do corpo-de-prova e rematá-lo com uma fina camada de pasta de cimento consistente, com espessura menor ou igual a 3 mm. A pasta deve ser preparada entre 2 h e 4 h antes de ser aplicada. O acabamento dos topos dos corpos-de-prova deve ser feito com o auxílio de uma placa de vidro plana, com no mínimo 12 mm de espessura e dimensões que ultrapassem em pelo menos 25 mm a dimensão transversal do molde.

A pasta de cimento colocada sobre o topo do corpo-de-prova deve ser trabalhada com a placa até que a face inferior desta fique em contato firme com a borda superior do molde, em todos os pontos. A aderência da pasta à placa de capeamento deve ser evitada, lubrificando-se esta última com uma fina película de óleo mineral. A placa deve permanecer sobre o topo do corpo-de-prova até a desforma.

#### 2.2.1.4 *Rompimento dos corpos-de-prova*

Segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007), os procedimentos para a execução do ensaio de compressão axial dos corpos-de-prova devem seguir as seguintes etapas:

- a) Determina-se o diâmetro do corpo-de-prova, para o cálculo da área da seção transversal, pela média de dois diâmetros medidos na metade da altura do corpo-de-prova, com precisão de  $\pm 0,1$  mm;

- b) A determinação da altura é dada pela medida ortogonal entre a face superior e a face inferior do corpo-de-prova, incluindo o capeamento;
- c) O corpo-de-prova deve estar exatamente centralizado com relação ao eixo de aplicação das cargas;
- d) A aplicação do carregamento deve ser dada de forma contínua e livre de choques com a velocidade de aplicação entre 0,30 MPa/s e 0,65MPa/s, mantendo se constante ao longo do ensaio;
- e) O carregamento deve ser interrompido apenas quando houver uma queda na força que indique a ruptura do corpo-de-prova;

A Tabela 2.2 apresenta a tolerância na idade especificada para o rompimento do corpo-de-prova, sendo a idade contada a partir do início da moldagem.

**Tabela 2.2 – Tolerância para a idade de ensaio.**

Idade de ensaio (dias)	Tolerância permitida (h)
1	0,5
3	2
7	6
28	24
63	36
91	48

NOTA: Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação

**Fonte: ABNT, 2007.**

Após a realização dos ensaios, a NBR 5739 (ABNT, 2007), recomenda no item 6.1 a forma como deve ser calculada a resistência à compressão, seguindo a equação 22.

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2}$$

(2.2)

Onde:

$f_c$ : resistência à compressão (MPa);

$F$ : força máxima a ser aplicada (N);

$D$ : diâmetro do corpo-de-prova (mm);

### 2.2.2 Ensaio não destrutivo

Segundo Castro (2009), dentre os variados ensaios para avaliação da resistência do concreto, os ensaios não destrutivos evoluíram significativamente durante as décadas de 70 e 80, quando diferentes métodos de ensaios foram desenvolvidos na tentativa de obter uma melhor representação das características do concreto na própria estrutura. Esse fato aconteceu perante a carência de uma melhor distinção do concreto, sendo que os ensaios padronizados em corpos-de-prova apresentam somente a resistência potencial, em determinadas circunstâncias.

Dentre as características do concreto, podem ser avaliadas por ensaios não destrutivos, a massa específica, o módulo de elasticidade, a resistência à compressão, a dureza superficial, a absorção, a posição das armaduras, os vazios e as fissuras (EVANGELISTA, 2002).

A definição dos ensaios não destrutivos relaciona-se com o fato de estes não danificarem a estrutura com a realização do mesmo. Sendo que os mais utilizados no Brasil são os Esclerometria e os de ultrassom (PALACIOS, 2012).

Os ensaios não destrutivos não dependem da idade da estrutura para serem aplicados, sendo que para estruturas antigas, torna-se ideal para avaliar a resistência atual da peça e para estruturas de pouca idade, os objetivos variam desde a verificação da homogeneidade do concreto até o monitoramento da evolução da resistência (CASTRO, 2009).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), os ensaios não destrutivos podem ser aplicados na identificação de falhas pontuais na estrutura de materiais que não são homogêneos como no caso do concreto.

### *2.2.2.1 Ensaio de Ultrassom*

O ensaio de ultrassom mede o tempo de percurso de um pulso ultrassônico em uma determinada distancia pelo interior do concreto. As curvas são traçadas plotando o crescimento da velocidade do ultrassom com a idade. Os aparelhos de ensaio têm, em sua maioria, uma frequência do pulso de 54KHz. É um ensaio bastante sensível e sua execução requer mão de obra especializada (MACHADO, 2005).

### *2.2.2.2 Penetração de pinos*

O Ensaio de Penetração de Pinos, estima a qualidade e a resistência à compressão do concreto pela profundidade de penetração de pinos, que são disparados por uma pistola especial, contra uma superfície de concreto. Quanto maior a profundidade de penetração do pino, menor é a resistência do concreto (NEPOMUCENO, 1999).

### *2.2.2.3 Ensaio de tração direta*

O Ensaio de tração direta se baseia na estimativa da resistência do concreto pela medida da força de arrancamento de um disco metálico colado na superfície do elemento de concreto (NEPOMUCENO, 1999).

### *2.2.2.4 Ensaio de Arrancamento*

O Ensaio de Arrancamento estima a resistência do concreto com o arrancamento de um disco metálico no interior da peça ensaiada. Com isso, correlaciona-se a força necessária para arrancamento com a resistência do concreto.

O ensaio resume-se à instalação de um equipamento de tração que irá arrancar o disco metálico, juntamente com uma pequena quantia de concreto. Aplica-

se uma força gradativamente maior até a ruptura, mede-se a força aplicada (NEPOMUCENO,1999).

#### *2.2.2.5 Método da Maturidade*

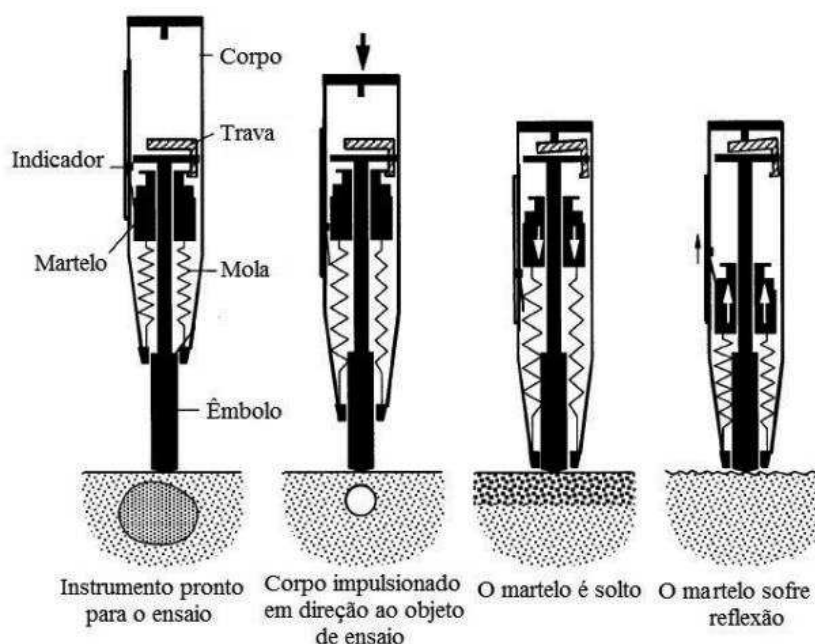
O Método da Maturidade se baseia no princípio de que a resistência do concreto aumenta de forma proporcional à temperatura. Com isso, ao monitorar a temperatura interna do concreto e aplicar equações de conversão é possível obter uma estimativa da resistência (BOTTEGA, 2010).

### 2.3 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Segundo Evangelista (2002), as tentativas iniciais de mensurar a dureza superficial do concreto surgiram em 1930, utilizando métodos inicialmente relacionados a medições do retorno de uma esfera de aço fixada em um pêndulo ou lançada por uma pistola.

O Esclerômetro de reflexão foi criado pelo engenheiro Ernest Schmidt no ano de 1948, utilizando o princípio básico do ricochete. Um martelo provoca o deslocamento de uma determinada massa contra a superfície do concreto endurecido, ao retornar a sua posição inicial a mesma perde parte da energia cinética durante o choque, registrando um valor numérico denominado Índice Esclerométrico (ESCOBAR, 2011).

Segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012) o método do Esclerômetro consiste basicamente em determinar a energia de impactos do martelo sobre determinada superfície de concreto. Sendo que a energia do impacto é utilizada parcialmente na deformação permanente da área do ensaio e parcialmente conservada elasticamente, o que ocasiona o retorno do martelo no fim do impacto. Quanto maior a dureza superficial da peça ensaiada maior é o recuo do martelo, Figura 2.5.



**Figura 2.5 - Princípio do Martelo de Schmidt (MEHTA e MONTEIRO, 2008).**

Dentre as propriedades mecânicas do concreto, uma das principais para o Ensaio de Esclerometria é a dureza superficial, que é a medida da resistência à deformação local. Ao passar dos tempos desenvolveram-se técnicas de quantificar esse parâmetro, nas quais um corpo é empurrado para dentro da face do elemento ensaiado, em condições controláveis de carregamento (PALACIOS, 2012).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a precisão do Ensaio de Esclerometria para a determinação da resistência do concreto possui uma variação entre 15 e 25% em ensaios de laboratório.

A NBR 7584 (ABNT, 2012) categoriza os Esclerômetros pela energia de percussão que é aplicada no concreto. Dessa forma:

- Energia de percussão = 30 N.m, aplicação: obras que utilizem grandes volumes de concreto;
- Energia de percussão = 2,25 N.m, aplicação: casos normais de construção de edifícios e estruturas;
- Energia de percussão = 0,90 N.m, aplicação: indicado para concretos de baixa resistência;

- Energia de percussão = 0,75 N.m, aplicação: peças com pequenas dimensões e sensíveis ao golpe do Esclerômetro.

### 2.3.1 Aferição do equipamento

Para a verificação do Esclerômetro a norma recomenda a utilização de uma bigorna de aço (Figura 2.6), de aproximadamente 16 kg de massa, assentada em cima de uma base rígida e nivelada. A superfície que receberá o impacto deve ter dureza de Brinell de 5000 MPa e apresentar índices Esclerométricos de 80.

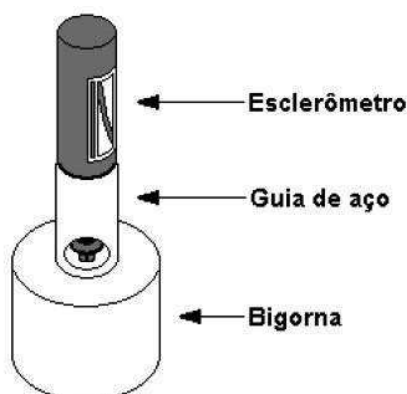


Figura 2.6 - Bigorna de aço. (ABNT, 2012).

Segundo o item 3.1.2 da NBR 7584 (ABNT, 2012), a aferição do Esclerômetro deve seguir as seguintes recomendações:

- Aferir o Esclerômetro antes de sua utilização ou a cada 300 impactos na mesma inspeção;
- Executar 10 impactos ou mais sobre a bigorna, em cada aferição;
- Se no impacto de aferição for obtido índice Esclerométrico médio inferior a 75 o Esclerômetro deve ser rejeitado;
- Nenhum valor individual de índice Esclerométrico dentre 10 impactos deve diferir da média dos índices em 3 para mais ou para mesmo, se ocorrer o aparelho não deve ser utilizado;

- Para a correção do índice Esclerométrico aplica-se a equação 2.3:

$$k = \frac{n \cdot I_{Enom}}{\sum_{i=1}^n I_{Ei}} \quad (2.3)$$

Sendo:

$k$ : coeficiente de correção do índice Esclerométrico;

$n$ : números de impactos na bigorna de aço;

$I_{Enom}$ : o índice Esclerométrico nominal do aparelho na bigorna de aço;

$I_{Ei}$ : índice Esclerométrico de cada impacto do Esclerômetro na bigorna de aço;

### 2.3.2 Procedimentos de ensaio

A norma NBR 7584 (ABNT, 2012) recomenda a utilização de um disco ou prisma de carborundum para polimento manual da área de ensaio.

Para casos em que seja necessário retirar determinada camada superficial, sendo esta considerada alterada, recomenda-se a aplicação de uma máquina politriz para desgaste e polimento da superfície desejada.

Para a realização do ensaio é necessária que a área de aplicação esteja seca, limpa e preferencialmente plana. Sendo que as superfícies que se encontram confinadas por formas não absorventes e lisas, apresentam índices Esclerométricos bem correlacionados ao valor real da resistência do concreto (NBR 7584, ABNT, 2012).

A área do ensaio deve ser preparada com os seguintes procedimentos:

- a) Inicialmente a área deve ser polida e toda poeira e pó restantes devem ser removidos;
- b) A área deve estar localizada na face do elemento escolhido, afastada de regiões onde exista segregação, exsudação, excesso de armadura, juntas de



concretagem, cantos e arestas sendo que para estes a distância mínima é de 50 mm. Recomenda-se evitar topos de pilares, meio e extremidades de vãos de vigas;

- c) A dimensão da área ensaiada deve estar entre 8 000 mm<sup>2</sup> e 40 000 mm<sup>2</sup>;
- d) Recomenda-se que as áreas ensaiadas estejam distribuídas uniformemente pela estrutura analisada, sendo que deve ser ensaiada no mínimo uma área por peça da estrutura em análise;

O ensaio consiste na aplicação de 26 golpes em cada área de ensaio, não sendo permitido mais de um impacto em um mesmo ponto, desconsidera-se o segundo valor caso isto ocorra.

A Figura 2.7 ilustra a distância entre os pontos de aplicação do Esclerômetro.

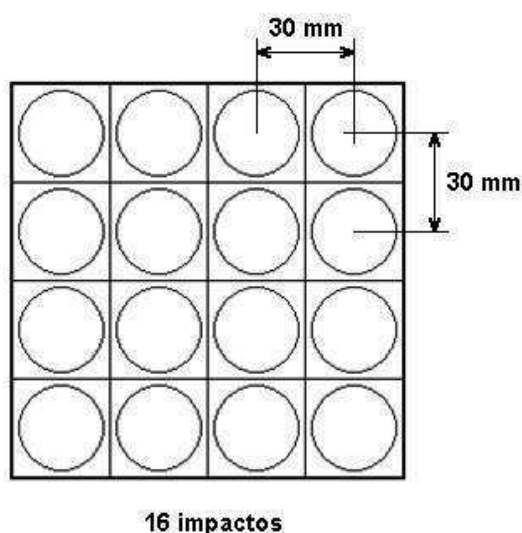


Figura 2.7 - Área de ensaio para 16 impactos. (ABNT, 2012).

Segundo o item 4.4 da NBR 7584 (ABNT, 2012), não é recomendado realizar o ensaio em elementos com dimensões inferiores a 100 mm na direção do impacto, pelo fato de não apresentarem rigidez suficiente podendo provocar interferência no resultado obtido. Sendo que é recomendado que o ensaio seja realizado na posição de maior inercia da peça conforme a Figura 2.8.

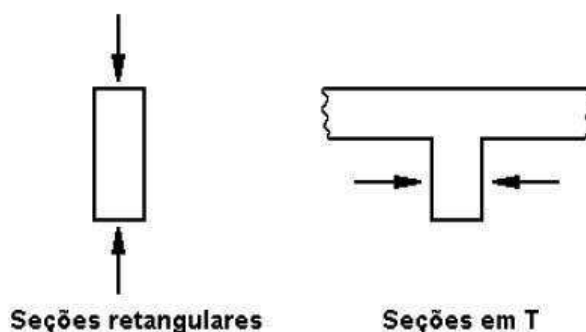


Figura 2.8 - Locais recomendáveis para aplicação do Esclerômetro. (ABNT, 2012).

Com os resultados obtidos no Ensaio de Esclerometria, deve-se efetuar a média aritmética dos 16 valores de índices Esclerométricos correspondentes a cada área de aplicação dos golpes. Despreza-se índice Esclerométrico individual que estiver fora do intervalo entre 90% e 110% do valor da média aritmética dos valores. Após a exclusão dos índices que estão fora do intervalo acima, calcula-se uma nova média aritmética (ABNT, 2012).

### 2.3.3 Curvas de conversão

Segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012) é recomendado corrigir o valor médio do índice Esclerométrico, para o caso em que o resultado é obtido de uma área de ensaio que não esteja na posição horizontal. Os coeficientes de correção devem ser fornecidos pelo fabricante do Esclerômetro. A obtenção do índice Esclerométrico médio efetivo de cada área de ensaio é fornecida pela equação 2.4:

$$IE\alpha = k.IE \quad (2.4)$$

Onde:

$IE\alpha$ : índice Esclerométrico médio efetivo;

$k$ : o coeficiente de correção do índice Esclerométrico;

$IE$ : o índice Esclerométrico médio;

Segundo o fabricante (PROCEQ, 2011) são necessárias curvas de conversão para o martelo de teste de concreto que são baseadas em medições realizadas corpos-de-prova cúbicos. Sendo que os valores do IE (índice Esclerométrico) dos corpos-de-prova cúbicos são medidos a partir de um martelo padrão para teste de concreto.

A Figura 2.9 apresenta um exemplo de curva de conversão fornecida pela fabricante Proceq.

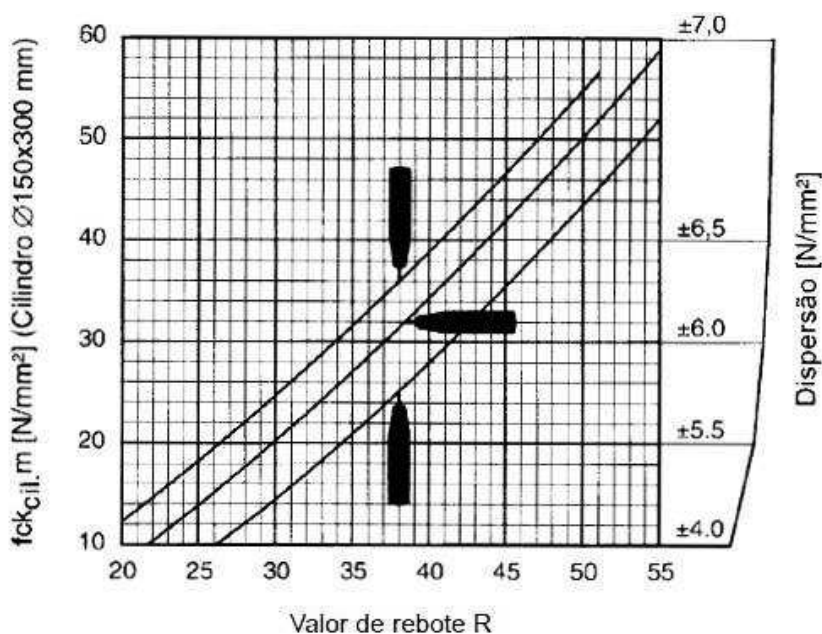


Figura 2.9 - Curva de conversão baseadas na resistência à compressão. (PROCEQ, 2011).

#### 2.3.4 Curvas padrão de correlação

Segundo Evangelista (2002), para que os métodos de ensaio em campo sejam aplicados para a avaliação do concreto, são necessárias curvas de correlação. Na maioria dos casos, os próprios fabricantes fornecem essas curvas, contudo estas são desenvolvidas com a aplicação de materiais provenientes do país do fabricante, sendo que, ao serem aplicadas em lugares onde existem matérias diferentes, pode haver erros na determinação da resistência.

O fabricante do Esclerômetro fornece três curvas padrão de correlação entre o IE obtido com o  $f_{ck}$  do concreto. A curva padrão é obtida entre o percentil inferior a 10 (PROCEQ, 2011).

A curva CPA-1 foi obtida a partir de mais de 2300 pontos de dados recolhidos em testes controlados pelo Instituto Federal de Pesquisa de Materiais e Ensaio em Berlim, Alemanha, (BAM) e cobre uma grande variedade de misturas de concreto. É recomendado para proporcionar uma margem de segurança a ter em conta os vários fatores que podem afetar os resultados. O intervalo válido é para IE entre 22 e 75 (PROCEQ, 2011).

O Gráfico 2.1 apresenta a curva padrão CPA-1 do equipamento, respectiva à Equação 2.5:

$$f_{ck} = 2,77e^{0,048IE} \quad (2.5)$$

Onde:

- $f_{ck}$ : resistência característica à compressão;
- $IE$ : índice Esclerométrico.

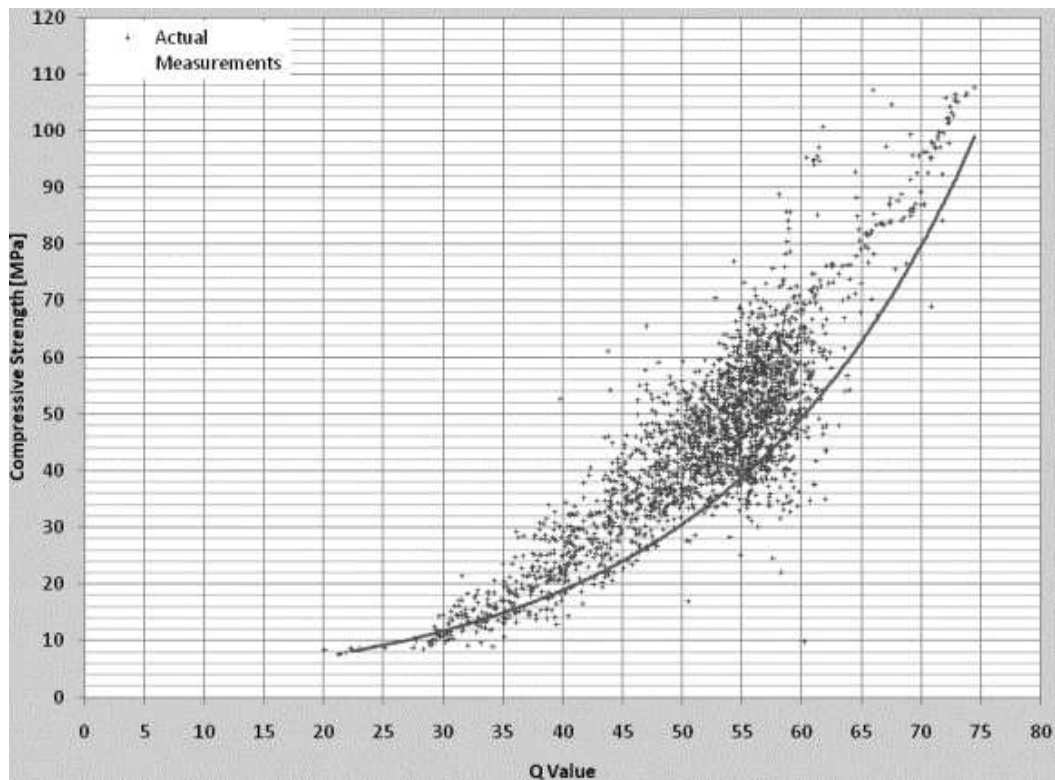


Gráfico 2.1 - Curva padrão de correlação CPA-1. (PROCEQ, 2011).

A curva padrão CPA-2, baseia-se nos resultados de testes extensivos realizados pelo Instituto de Construção de pesquisa da ciência da Província de Shaanxi, China, em três misturas e cobre a faixa de resistência à compressão de 10 MPa a 100 MPa.

O Gráfico 2.2 apresenta a curva padrão CPA-2, respectiva à Equação 2.6:

$$f_{ck} = 1,8943e^{0,064IE}$$

(2.6)

Onde:

- $f_{ck}$ : resistência característica à compressão;
- $IE$ : índice Esclerométrico.

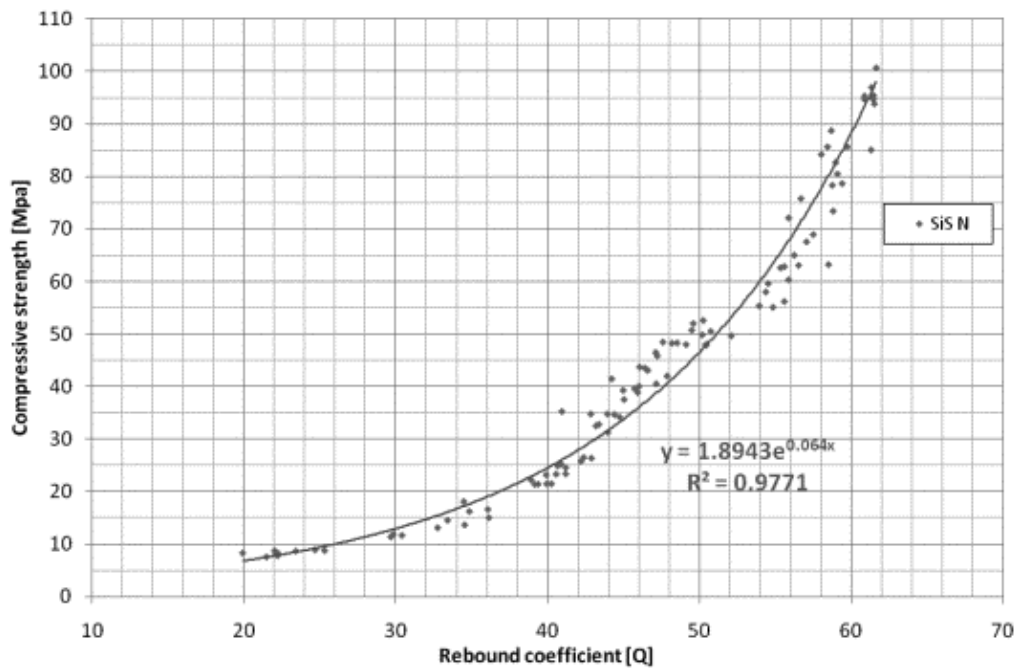


Gráfico 2.2 - Curva padrão de correlação CPA-2. (PROCEQ, 2011).

A curva padrão CPA-3 foi obtido, ao mesmo tempo e nas mesmas condições de mistura de concreto que a curva padrão CPA-2. Para um intervalo entre 20 e 62 para o índice Esclerométrico.

O Gráfico 2.3 apresenta a curva padrão CPA-3, respectiva à Equação 2.7:

$$f_{ck} = 1,9368e^{0,0637IE}$$

(2.7)

Onde:

- $f_{ck}$ : resistência característica à compressão;
- $IE$ : índice Esclerométrico.

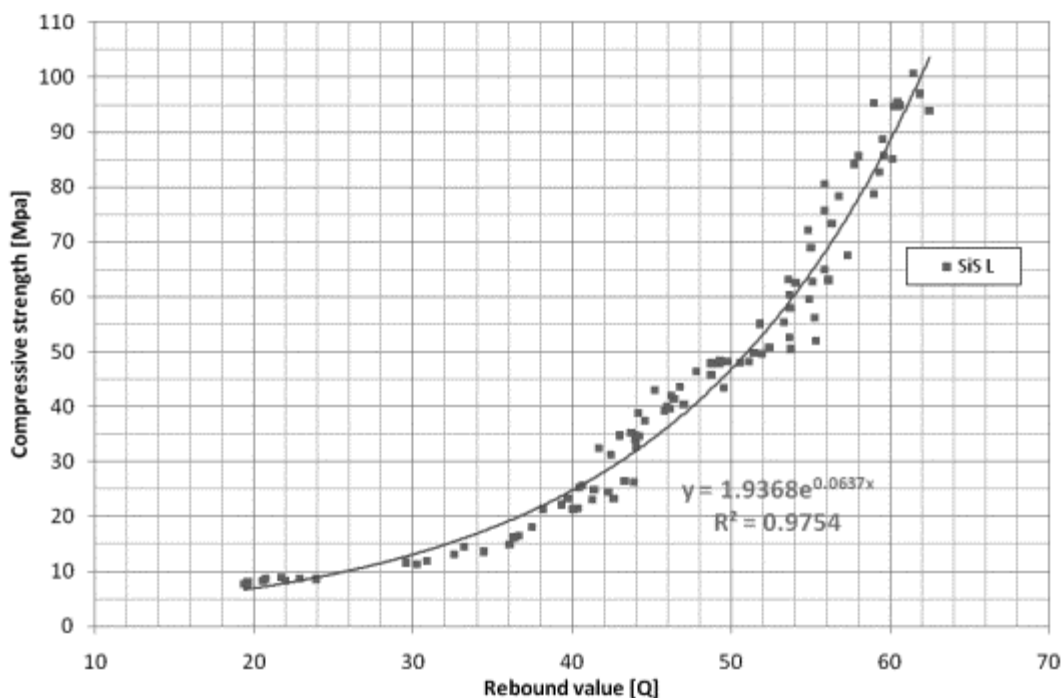


Gráfico 2.3 - Curva padrão de correlação CPA-3. (PROCEQ, 2011).

### 2.3.5 Influência da idade e da carbonatação do concreto

Segundo a NBR 7584 (ABNT, 2012) a influência da idade na dureza superficial do concreto ocorre devido a fatores como a diferença de cura, carbonatação do concreto entre outros. Sendo que pode haver uma distorção da correlação com a resistência. Ocorre que as correlações para idades superiores a 60 dias ou inferiores a 14 dias acabam não sendo validadas de imediato, sendo necessário aplicar fatores específicos quando necessário.

Segundo o fabricante (PROCEQ, 2011), o valor do índice Esclerométrico pode aumentar significativamente dependendo da idade do concreto e a profundidade da penetração de carbonato. Porém é possível obter valores com maior precisão ao remover a camada da superficial tomada pelo carbonato, aplicando uma máquina de polimento manual numa área de superfície. É possível obter o coeficiente de tempo, Equação 2.8 que é o número dos valores de rebote (índice Esclerométrico) aumentados, realizando medições adicionais na superfície carbonatada.

$$Zf = \frac{IE carb}{IE n.c} \quad (2.8)$$

Sendo:

- *IE carb*: Valor médio de rebote (índice Esclerométrico), medido na superfície carbonatada;
- *Zf*: Coeficiente de tempo;
- *IE n.c.*: Valor médio de rebote (índice Esclerométrico), medido na superfície de concreto não afetada pela carbonatação;

### 2.3.6 Trabalhos realizados sobre Esclerometria

Palacios (2009), realizou ensaios de Esclerometria em laboratório, com o objetivo de avaliar a variabilidade do ensaio e propor curvas de correlação para concretos com  $f_{ck}$  de 30 MPa, 40 MPa e 50 MPa. Realizando o estudo em uma central de concreto, constatou-se que o Ensaio de Esclerometria pode ser utilizado na estimativa da resistência a compressão, sempre que seja elaborada uma curva de correlação com os materiais utilizados, principalmente quando se trata de concretos de menor resistência, pois estes apresentaram maior variabilidade em seus resultados.

Bottega (2010) apresentou uma curva de correlação da resistência do concreto com o Índice Esclerométrico, essa curva foi comparada com a curva do Esclerômetro utilizado no ensaio e encontrou uma diferença de 33% nas estimativas da resistência. Avaliou também a influência das fôrmas de moldagem do concreto, com o uso de quatro tipos de fôrmas sendo a fôrma de madeira úmida a que mais reduziu os índices Esclerométricos, os demais tipos fôrma apresentaram valores muito próximos. Verificou a influência da armadura no Índice Esclerométrico, onde não constatou aumento ou redução em seu valor.

Escobar (2008) correlacionou o Ensaio de Esclerometria com a resistência à compressão do concreto endurecido obtido por rompimento axial, em diferentes



classes de resistência, com  $f_{ck}$  15 MPa, 25 MPa, e 35 MPa. Os ensaios de Esclerometria foram executados em duas idades, aos 28 e aos 60 dias, em corpos-de-prova cúbicos. Os ensaios de compressão axial foram realizados em corpos-de-prova cilíndricos. Os resultados dos ensaios apresentaram diferenças variando entre 3,66% a 19,34%.

## 2.4 CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Diniz (2006), define o concreto pré-moldado como sendo o elemento concretado fora do seu local de aplicação na estrutura final. Tem com tradição a aplicação em elementos ligados por articulações. As peças pré-moldadas são montadas a seco, sobre argamassa, sobre almofadas de elastômeros, livres para se movimentar, ou fixas através de pinos.

Outra possibilidade consiste em montar os nós, ou partes pré-moldado, ligado em conjunto com o elemento de suporte em pela concretagem no local, dando engastamento a estrutura. A principal vantagem é a repetição do processo de construção de peças, permitindo racionalização da construção e reduzindo o tempo e custo (ROSENBLUM, 2009).

Quando os elementos pré-moldados em concreto são fabricados em condições de maior controle no processo fabril, eles apresentam uma melhoria na uniformidade bem como na qualidade. Características do ambiente que são encontradas tipicamente em canteiros de obras são diminuídos dentro da indústria (EIGER, 2006).

Pederiva (2009), avalia que as vantagens do concreto pré-moldado são potencializadas quando a estrutura é concebida conforme uma filosofia específica do projeto. Sendo que os projetistas devem verificar as possibilidades, as vantagens e as restrições de uso do concreto pré-moldado, antes de finalizar um projeto estrutura.

Segundo Van Acker (2002), algumas tipologias de edificações se adequam melhor para o uso de sistemas construtivos pré-moldados. O ideal é o uso de tipologias com planos ortogonais, visto que apresentam uma regularidade e repetição

em sua malha estrutural, facilitando assim a modulação. Portanto, ao projetar uma edificação, é interessante aplicar um padrão de repetição, com o intuito de conseguir uma maior economia na construção do pré-moldado.

O uso de elementos pré-moldados de concreto, é uma das formas de buscar a redução no atraso de obras. Pode-se reduzir o custo dos materiais que compõem as estruturas de concreto. Contudo, Geralmente a parcela referente às fôrmas e ao cimbramento, apresentam um maior peso no custo do concreto armado, sendo este um custo que é reduzido quando se utiliza elementos pré-moldados (BENTES, 1992).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA E DO OBJETO DE ESTUDO

O presente trabalho avaliou o uso do Esclerômetro na obtenção da resistência à compressão, por meio da dureza superficial do concreto. Os resultados obtidos no Ensaio de Esclerometria foram comparados com os resultados obtidos pelo ensaio de compressão axial de corpo-de-prova cilíndrico.

Os ensaios foram realizados aos 11, 20 e 28 dias de idade do concreto. Segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008), 28 dias é a idade ideal para a realização do ensaio de compressão axial de corpo-de-prova. Desejou-se realizar os primeiros ensaios aos 10 dias de idade, porém, por não se tratar de um dia útil, optou-se pela realização dos primeiros ensaios aos 11 dias de idade e aos 20 dias de idade, por se tratar de uma idade intermediária entre a primeira e a última.

Os corpos-de-prova do ensaio de compressão axial foram divididos em dois grupos de cura, o primeiro foi curado e armazenado submerso em um tanque com água e o segundo foi mantido junto à estrutura, sob as mesmas condições climáticas.

Os ensaios foram realizados durante o mês de março de 2016, onde a precipitação média foi de 7,5 mm e a precipitação máxima, de 79 mm, ocorreu aos 25 dias de idade do concreto. A variação de temperatura foi entre 14° C e 26° C (ACCUWEATHER, 2016).

#### 3.2 INFORMAÇÕES DO CONCRETO UTILIZADO

O concreto utilizado para os ensaios foi produzido em uma única betonada. A dosagem e produção foi sob a responsabilidade da empresa fabricante da peça pré-moldada, que foi utilizada no Ensaio de Esclerometria. O concreto apresenta as seguintes características:

- $f_{ck}$  de projeto: 25 MPa;

- Traço: 1 saco de cimento (50kg), para 50 litros de brita N°2, para 90 litros de areia, para 210 litros de água;
- Foram adicionados ao concreto 5 litros do aditivo de aceleração de cura, para cada 100 kg de cimento;
- O valor do abatimento médio, apresentado pelo ensaio de tronco de cone, foi de 55 mm.

### 3.3 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CORPO-DE-PROVA

Foram moldados no total 18 corpos-de-prova cilíndricos, com diâmetro de 10 (dez) centímetros e altura de 20 centímetros. Destes, nove foram curados submersos em água e os outros nove foram mantidos a céu aberto, próximo ao pilar pré-moldado que foi utilizado no Ensaio de Esclerometria.

Os procedimentos realizados para o ensaio de compressão axial de corpo-de prova são normatizados pela NBR- neste ensaio estão ordenados nos tópicos abaixo.

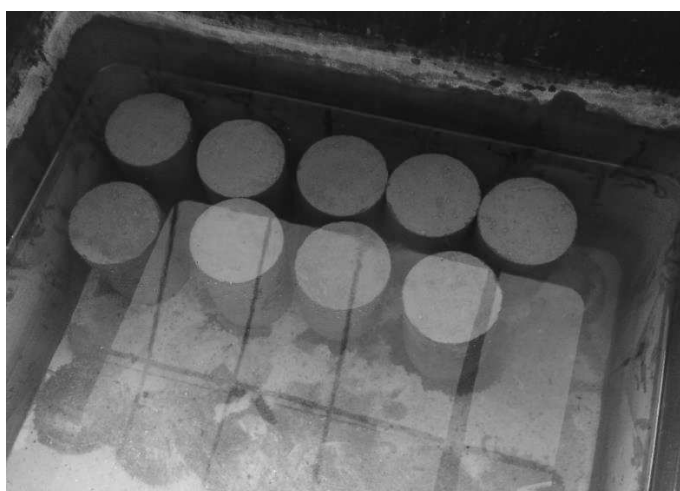
- Os moldes foram previamente higienizados;
- Posteriormente foi aplicado óleo desmoldante, com a finalidade de diminuir a aderência entre o concreto e o molde, facilitando assim o desmolde dos corpos-de prova;
- O concreto preparado foi transportado por uma carruola, até o local onde estavam os moldes, onde foi realizado a concretagem dos corpos-de- prova;
- Os moldes foram concretados em 2 (duas) camadas;
- O adensamento foi feito de forma manual, onde foram aplicados 12 (doze) golpes por camada.
- No dia seguinte ao de concretagem dos corpos-de-prova, foi feita a desforma dos corpos-de-prova, no mesmo momento que que foi realizada a desforma da peça pré-moldada utilizada no Ensaio de Esclerometria;

- Após a desforma dos corpos-de-prova, as amostras foram separadas e identificadas em dois grupos, Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 – Identificação dos corpos-de-prova.**

Idade de rompimento	Identificação	
	CRA (Cura ambiente)	CRU (Cura úmida)
11	CP1	CP10
	CP2	CP11
	CP3	CP12
20	CP4	CP13
	CP5	CP14
	CP6	CP15
28	CP7	CP16
	CP8	CP17
	CP9	CP18

- Os corpos de prova do grupo CRU (Cura úmida), foram levados ao tanque de cura, no laboratório da UTFPR Campus Toledo, Figura 3.1.



**Figura 3.1 – Cura em tanque de água.**

- Os corpos de prova do grupo CRA (Cura ambiente), permaneceram no pátio da indústria de pré-moldados, assim como o pilar pré-moldado, que foi utilizada no Ensaio de Esclerometria, Figura 3.2.



**Figura 3.2 – Cura em ambiente aberto.**

O ensaio de compressão foi realizado no laboratório de estruturas, do campus da cidade de Toledo – Paraná da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A máquina de ensaio deste laboratório é compatível com a NBR 5738 (ABNT, 2008). O relatório fornecido pelo software da máquina de ensaio, está no Anexo 2 deste trabalho.

Com o ensaio de compressão axial de corpo-de-prova, obtém-se os valores de  $f_{cj}$ , que é a resistência média do concreto à compressão, em MPa. Para transformar o  $f_{cj}$  em  $f_{ck}$ , que é resistência característica do concreto à compressão, a NBR 12655 (ABNT, 2015) recomenda a Equação 3.1.

$$f_{ck} = \psi_6 \cdot f_1 \quad (3.1)$$

Onde:

- $f_{ck}$ : Resistência característica do concreto à compressão em MPa;
- $\psi_6$ : Coeficiente de ponderação;
- $f_1$ : Menor valor de resistência da amostra em MPa.

Para a determinação do coeficiente de ponderação  $\psi_6$ , considera-se a condição de preparo do concreto, e também a quantidade de amostras.

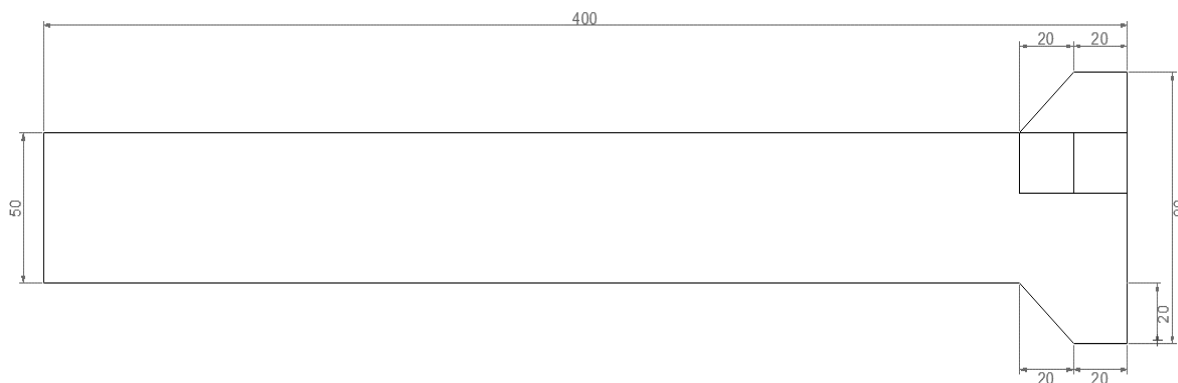
Para esse trabalho considerou-se a condição B, que é aplicável às classes C10 ( $f_{ck}=10$  MPa) até C25 ( $f_{ck}=25$  MPa). Para essa condição, o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume (NBR 12655 ABNT, 2015).

Para a determinação do coeficiente de ponderação  $\psi_6$ , considera-se a condição de preparo do concreto, e também a quantidade de amostras. Para a nossa condição de preparo e quantia de amostras,  $\psi_6 = 0,75$ .

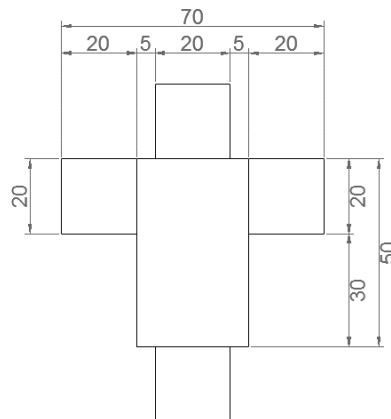
### 3.4 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

O Ensaio de Esclerometria foi realizado conforme recomendações da norma NBR 7584 (ABNT, 2012), utilizando como equipamento o Esclerômetro de reflexão modelo SilverSchmidt da marca Proceq.

O Ensaio de Esclerometria foi executado diretamente sobre a peça a pré-moldada, sendo esta, produzida com o concreto da mesma betonada que foi utilizada nas amostras do ensaio de compressão axial de corpo-de-prova. As Figuras 3.3<sup>a</sup> e 3.3<sup>b</sup> apresentam as medidas do pilar, com as cotas em centímetros.



**Figura 3.3a– Vista lateral do pilar.**



**Figura 3.3b – Vista superior do pilar.**

A realização do Ensaio de Esclerometria passou pelas seguintes etapas:

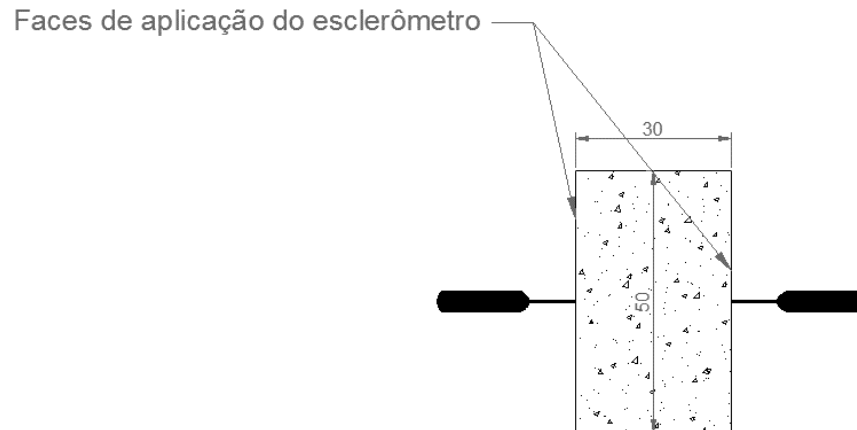
- Definição de três áreas de ensaio, evitando locais que não são recomendados pela NBR 7584 (ABNT, 2012);
- Desbaste superficial das áreas escolhidas, com o disco fornecido pelo fabricante;
- Após a preparação da área de ensaio, foram feitas as marcações dos pontos de aplicação do Esclerômetro, conforme mostrado. Foram marcados 16 pontos, distantes 30 mm entre si conforme a NBR 7584 (ABNT, 2012).



**Figura 3.4 – Aplicação do Esclerômetro.**



- O Esclerômetro foi aplicado de forma paralela ao eixo de maior inércia do pilar, conforme ilustrado na Figura 3.5.



**Figura 3.5 – Faces de aplicação do Esclerômetro.**

Para a validação do Ensaio de Esclerometria foi realizado os seguintes procedimentos recomendados pela NBR 7584 (ABNT, 2012):

1. Média simples dos 16 valores de cada uma das áreas ensaiadas pela seguinte equação:

$$IE = \frac{\sum_{i=1}^{16} IE_i}{16} \quad (3.1)$$

Onde:

$IE$ : Índice Esclerométrico médio;

$IE_i$ : Índice Esclerométrico individual;

2. Os IE fora do intervalo lamed  $\pm 10\%$  são excluídos;
3. Após a exclusão dos IE fora do intervalo de aceitação, foi feito a exclusão de áreas de ensaio cuja quantidade de IE validos foram inferiores a 5;
4. Caso alguma área seja excluída, deve-se realizar novamente o ensaio para que se complete 3 áreas válidas;

5. Calculou-se novamente a média simples com os valores que permaneceram, para cada uma das três áreas de ensaio, para cada idade analisada, utilizando a seguinte equação:

$$IEmed = \frac{\sum_{i=1}^n I.Ei}{n} \quad (3.2)$$

Onde:

*IEmed*: Índice Esclerométrico médio;

*IEi*: Índice Esclerométrico individual;

*n*: quantidade total de IE aproveitados.

### 3.5 CURVAS PADRÃO DE CONVERSÃO

Foram utilizadas três curvas de conversão, fornecidas pelo fabricante do Esclerômetro, CPA-1, CPA-2 e CPA-3.

As Equações 2.5, 2.4 e 2.7 representam as curvas CPA-1, CPA-2 e CPA-3, respectivamente.

### 3.6 CORRELAÇÃO DE VARIÁVEIS

Após a validação dos dados dos ensaios de compressão axial de corpo-de-prova e de Esclerometria, as regressões lineares foram feitas baseando-se na equação 3.3

$$y = ax + b \quad (3.3)$$

Sendo:

$$b = \frac{n(\sum y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (3.3)$$

$$a = \frac{\sum y_i - b \sum x_i}{n} \quad (3.3)$$

- $n$ : total de pares;
- $a$ : inclinação da reta
- $b$ : interceptação da reta

Para a verificação da correlação foi utilizado a seguinte equação:

$$R^2 = \frac{(\sum(x_i - x_m)y_i)^2}{\sum(x_i - x_m)^2 (\sum(y_i - y_m))^2} \quad (3.4)$$

Sendo:

- $R^2$ : coeficiente de determinação;
- $x_i$ : valor individual de  $x$ ;
- $x_m$ : valor médio de  $x$ ;
- $y_i$ : valor individual de  $y$ ;
- $y_m$ : valor médio de  $y$ ;

Quando mais próximo de 1,00 for o coeficiente  $R^2$ , melhor é a correlação. Para o presente trabalho, desejável é que  $R^2$  seja superior à 0,95. Para casos onde  $R^2$  foi inferior à 0,95, adotou-se o uso de uma regressão polinomial de grau 2.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO

Após um total de 1296 pontos de aplicação do Esclerômetro, os dados do ensaio foram analisados conforme a NBR 7584 (ABNT, 2012), A Tabela 4.1 apresenta os resultados do Ensaio de Esclerometria.

A média apresentada na quarta coluna da Tabela 4.1, refere-se a média dos IE de cada idade de ensaio. Esta média foi utilizada para a conversão do IE em  $f_{ck}$ , com o uso das curvas padrão de conversão CPA-1, CPA-2 e CPA-3, cujos resultados estão apresentados no item 4.4 deste trabalho.

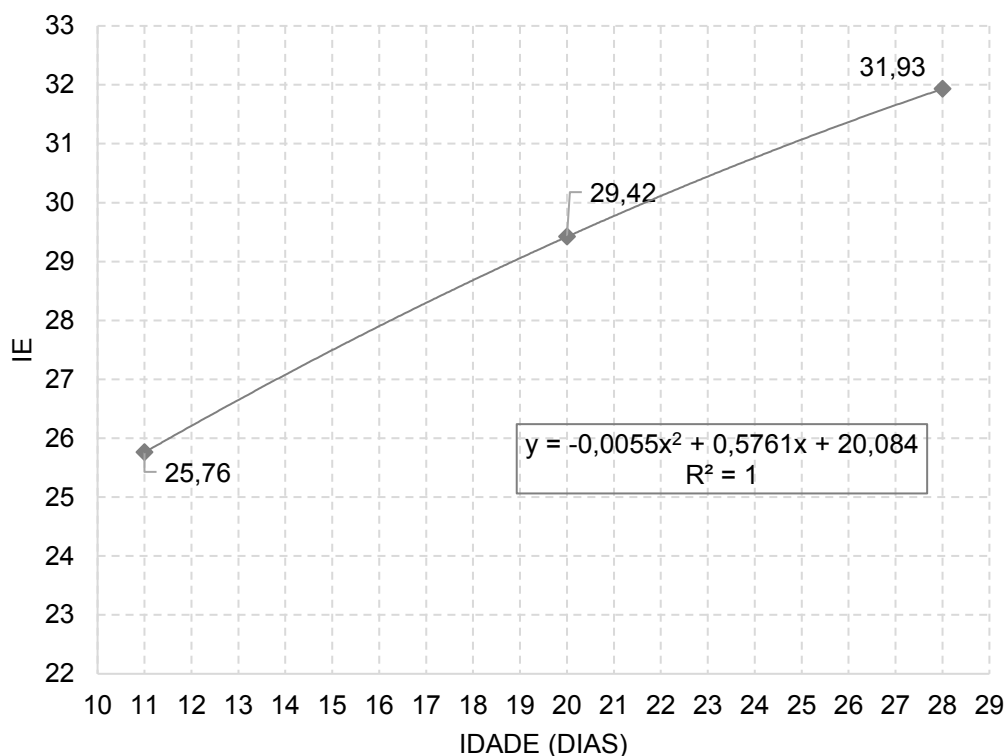
No Anexo 1 deste trabalho está a planilha com todos os valores de I.E obtidos.

**Tabela 4.1 – Resultados do Ensaio de Esclerometria.**

Idade (dias)	Área de ensaio	IE	Média	Desvio padrão
11	1	24,63	25,76	1,12
	2	25,79		
	3	26,86		
20	1	27,27	29,42	2,22
	2	29,29		
	3	31,71		
28	1	28,39	31,93	3,22
	2	32,73		
	3	34,68		

É possível observar que, conforme aumenta a idade do concreto, aumenta-se também o desvio padrão, referente às 3 áreas de ensaio.

O Gráfico 4.1 apresenta a regressão polinomial entre a idade do concreto, em dias e o índice Esclerométrico. Para esse caso, a equação que mais se adequou foi uma equação polinomial de segundo grau, conforme apresentado no Gráfico 4.1.



**Gráfico 4.1 – Regressão polinomial entre Idade e IE.**

#### 4.2 COMPRESSÃO AXIAL DE CORPOS-DE-PROVA

Realizou-se o rompimento de 18 corpos-de-prova no total. Os resultados do ensaio foram avaliados conforme determina a NBR 12655 (ABNT, 2015). Na terceira coluna, têm-se os valores de  $f_{cj}$ , que é a resistência média do concreto a compressão, para cada corpo-de-prova. Os relatórios produzidos pelo software da máquina de ensaio estão no Anexo 2 deste trabalho.

Os resultados do ensaio de compressão axial dos corpos-de-prova, que foram curados no tanque de cura úmida, estão apresentados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 –  $f_{ck}$  dos corpos-de-prova em cura úmida.**

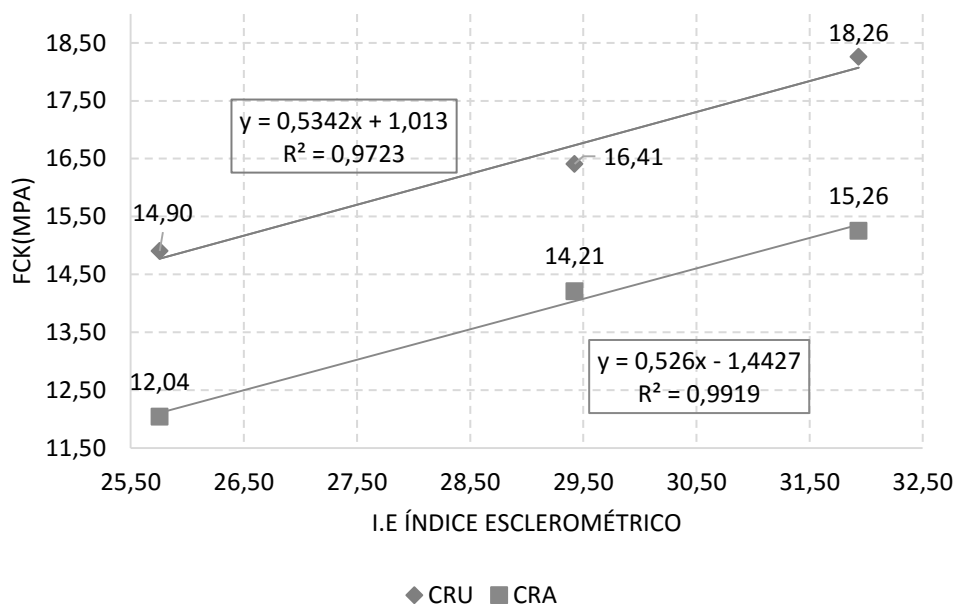
Idade (dias)	CP	$f_{cj}$ (MPa)	$f_{ck}$ (MPa)
11	1	19,87	14,90
	2	20,17	
	3	20,62	
20	4	23,74	16,41
	5	21,88	
	6	24,58	
28	7	24,35	18,26
	8	24,88	
	9	24,97	

. Os resultados do ensaio de compressão axial dos corpos-de-prova, que foram curados no tanque de cura ambiente, estão apresentados na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 –  $f_{ck}$  dos corpos de prova em cura ambiente.**

Idade (dias)	CP	$f_{cj}$ (MPa)	$f_{ck}$ (MPa)
11	10	17,14	12,04
	11	17,46	
	12	16,05	
20	13	19,94	14,21
	14	19,12	
	15	18,94	
28	16	20,34	15,26
	17	21,56	
	18	20,47	

O Gráfico 4.2, apresenta a correlação entre o  $f_{ck}$  obtido pelo ensaio de compressão axial de corpo-de-prova, conforme o aumento da idade do concreto. Os pontos em azul representam os valores de  $f_{ck}$  em cada idade de ensaio, para corpos-de-prova em cura úmida. Os pontos em alaranjado representam os valores de  $f_{ck}$  em cada idade de ensaio, para corpos-de-prova em cura ambiente.



**Gráfico 4.2 - Crescimento do f<sub>ck</sub> para a cura ambiente.**

#### 4.4 CURVAS PADRÃO

Conforme apresentado no item 3.6 deste trabalho, além dos valores dos IE, o equipamento utilizado apresenta o valor do f<sub>ck</sub> em MPa, que é obtido por meio de curvas de correlação. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 –f<sub>ck</sub> para as curvas de conversão.**

Idade (dias)	IE	CPA-1 (MPa)	CPA-2 (MPa)	CPA-3 (MPa)
11	25,76	9,54	9,85	9,99
20	29,42	11,37	12,45	12,62
28	31,93	12,83	14,62	14,81

Com os valores de f<sub>ck</sub> apresentados na Tabela 4.4 foram feitas regressões lineares, entre os valores de IE e f<sub>ck</sub> para as curvas CPA-1, CPA-2 e CPA-3, conforme o Gráfico 4.3.

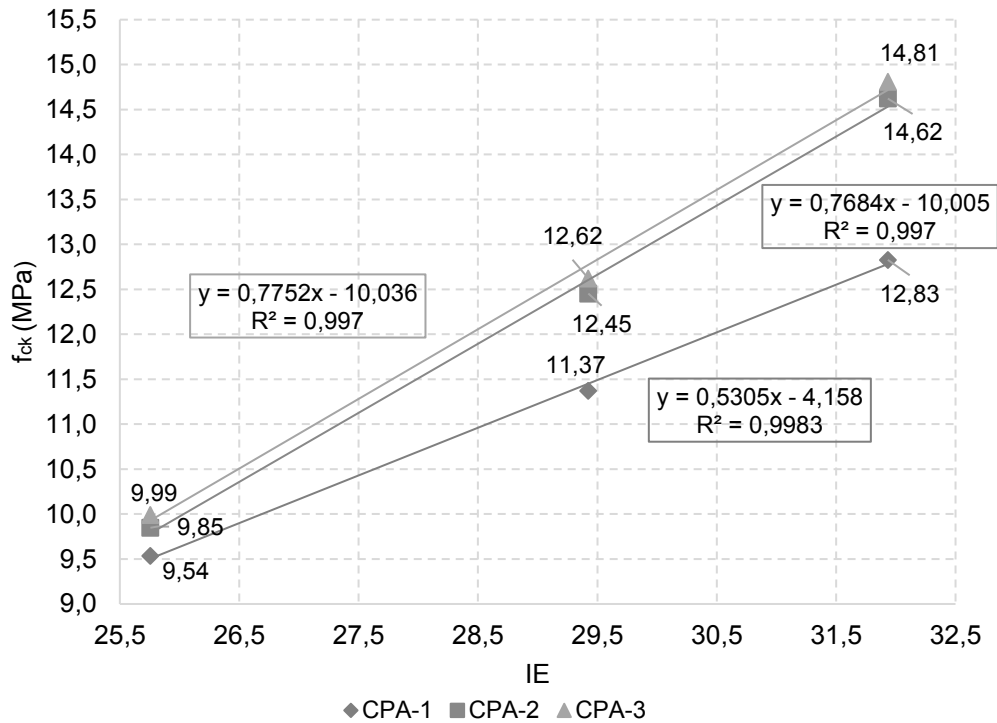


Gráfico 4.3 - Regressão linear das curvas padrão de conversão.

#### 4.5 INFLUÊNCIA DA CURA

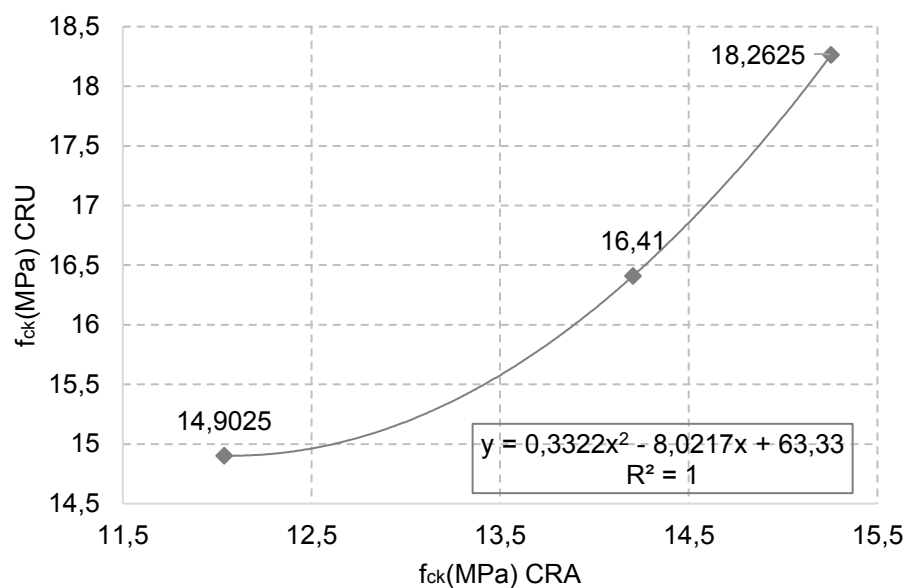
Quando compara-se os resultados dos ensaios CRU e CRA, é possível observar uma variação significativa entre os valores de  $f_{ck}$  de ambos ensaios, Tabela 4.5.

Tabela 4.5 –Variação  $f_{ck}$  devido à cura.

Idade (dias)	CRA (MPa)	CRU (MPa)	Variação (MPa)	Variação (%)
11	12,04	14,90	2,87	19,22
20	14,21	16,41	2,21	13,44
28	15,26	18,26	3,01	16,47



Com uma regressão polinomial entre resultados de CRU e de CRA, obtém-se uma equação polinomial de segundo grau que correlaciona os ensaios, onde  $x$  representa o valor de  $f_{ck}$  para CRA e  $y$  o valor de  $f_{ck}$  para o CRU, conforme o Gráfico 4.4.

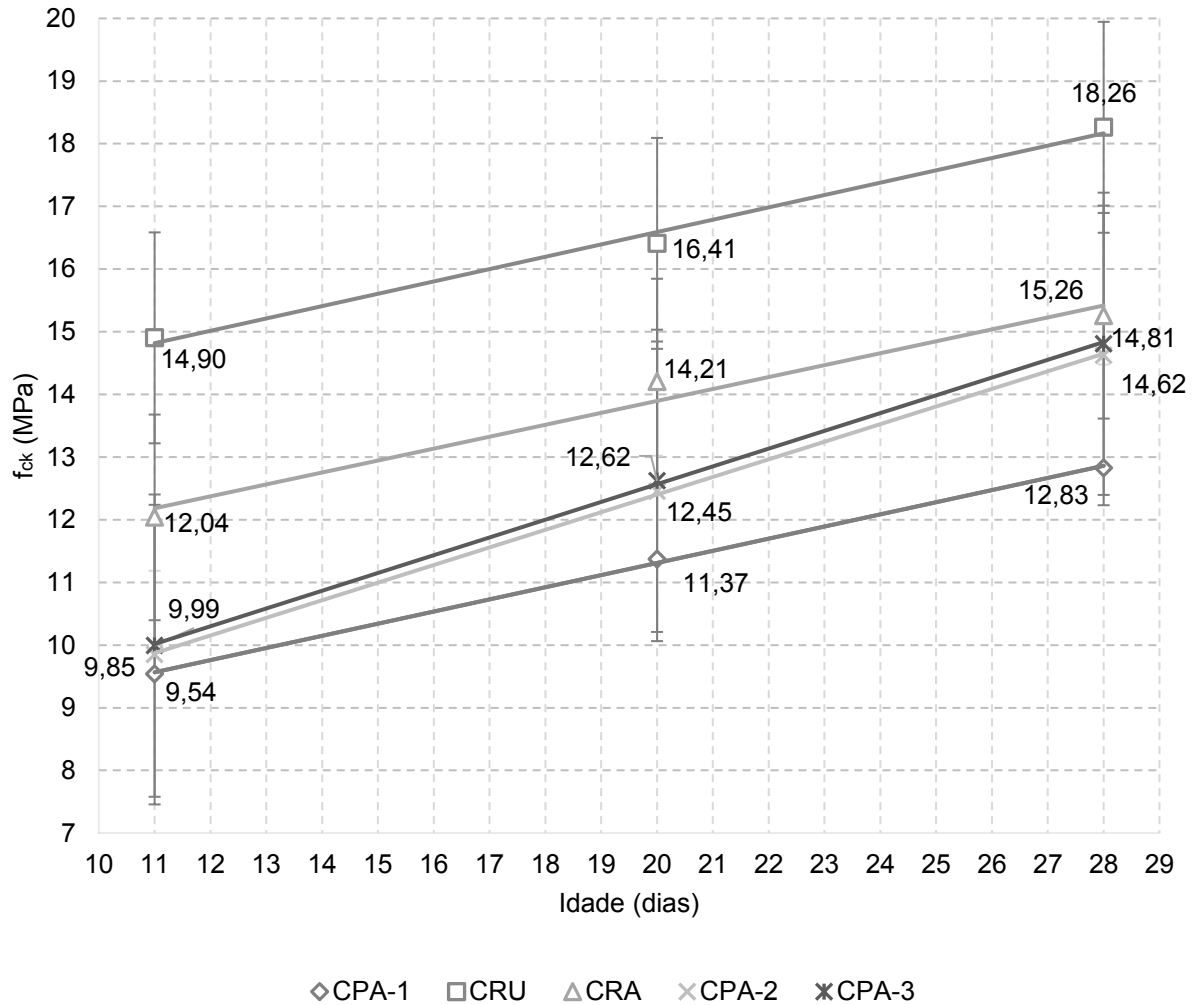


**Gráfico 4.4 - Regressão polinomial entre CRU e CRA.**

#### 4.7 VARIAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS

Nesta etapa, comparamos os resultados obtidos pelo Ensaio de Esclerometria, com os ensaios de compressão axial de corpo-de-prova, CRA (cura ambiente) e CRU (cura úmida). Com a finalidade de avaliar a aproximação entre os ensaios.

Após a realização de todas as regressões necessárias, foi possível analisar, de forma global, a variação entre os ensaios. No Gráfico 4.5, temos juntas as retas CPA-1, CPA-2, CPA-3, CRU e CRA.



**Gráfico 4.5 - Comparativo entre os ensaios.**

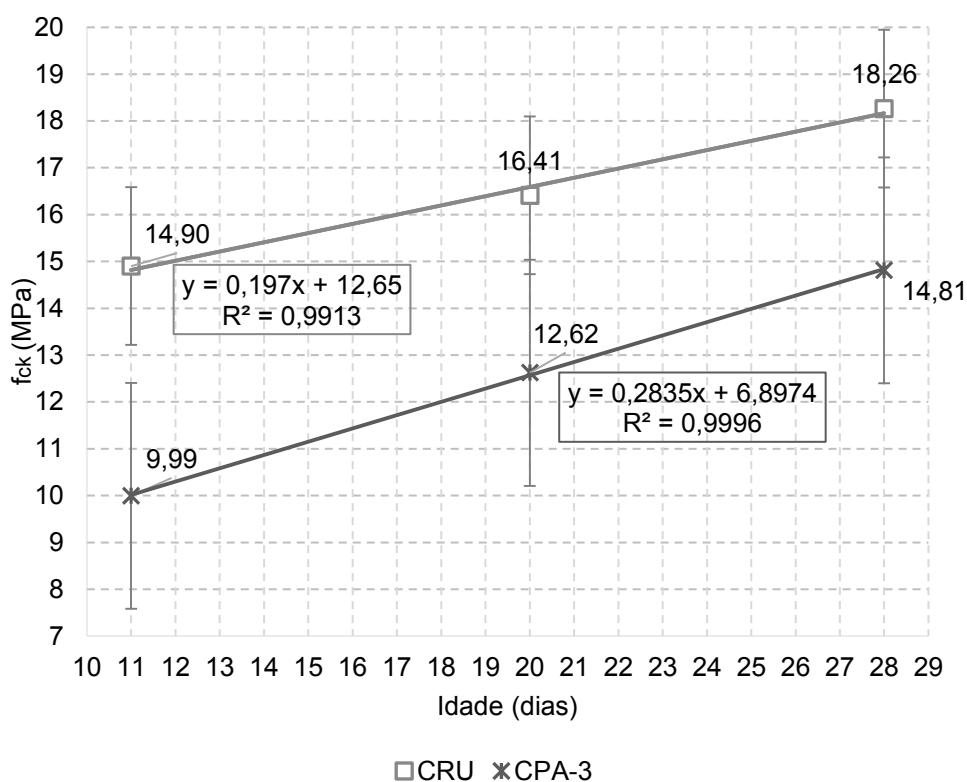
Como pode-se observar no Gráfico 4.5, a reta CPA-3 é a que mais se aproximou das retas CRA e CRU, que são as correspondentes ao ensaio de compressão axial de corpo-de-prova.

A Tabela 4.6 apresenta a variação entre o CPA-3 (Ensaio de Esclerometria) e CRU (compressão axial de corpos-de-prova em cura úmida). Observa-se que diferença entre os ensaios diminui, conforme aumenta a idade do concreto, para o intervalo entre 11 e 28 dias. A maior variação apresentada foi de 32,96%, aos 11 dias de idade.

**Tabela 4.6 – Variação entre CPA-3 e CRU.**

Idade (dias)	CPA-3 (MPa)	CRU (MPa)	Variação (MPa)	Variação (%)
11	9,99	14,90	4,91	32,96
20	12,62	16,41	3,79	23,09
28	14,81	18,26	3,45	18,92

No Gráfico 4.6, têm-se um comparativo entre as retas CRU e CPA-3, observa-se que há uma tendência de aproximação entre as retas.

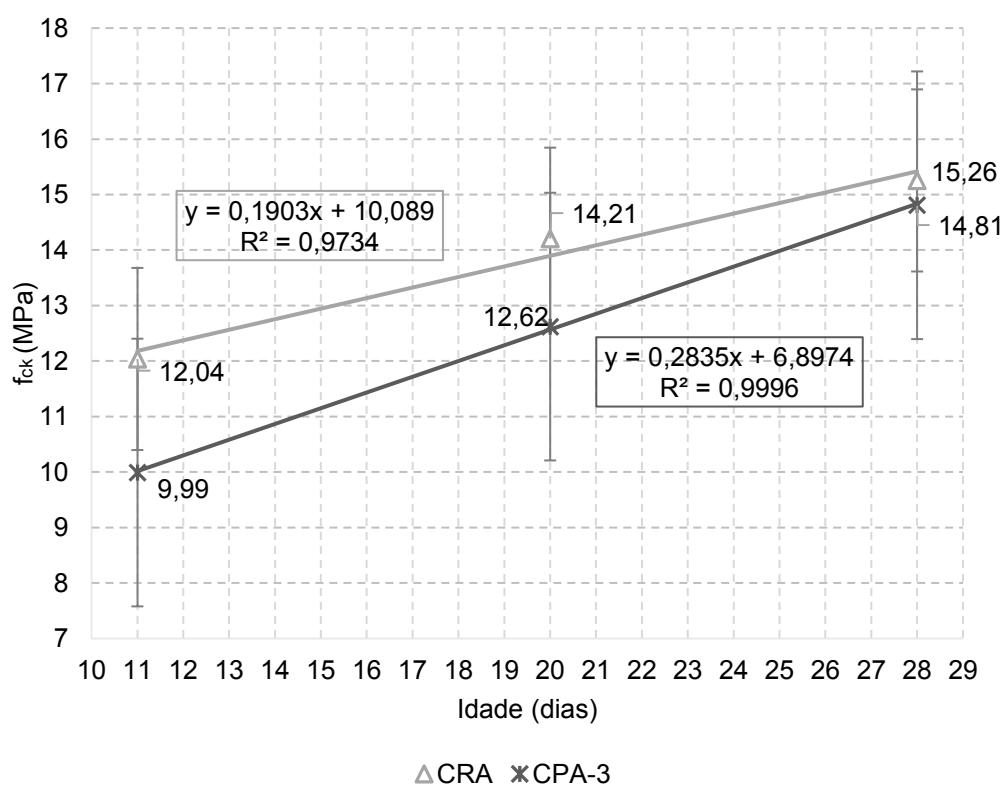
**Gráfico 4.6 – Comparativo entre CRU e CPA-3.**

Ao avaliarmos separadamente as retas CPA-3 (Ensaio de Esclerometria) e CRA (compressão axial de corpos-de-prova em cura ambiente), observamos que há uma grande aproximação entre os resultados. A Tabela 4.7 apresenta a variação entre os resultados.

**Tabela 4.7 - Variação entre CPA-3 e CRA.**

Idade (dias)	CPA-3 (MPa)	CRA (MPa)	Variação (MPa)	Variação (%)
11	9,99	12,04	2,05	17,00
20	12,62	14,21	1,58	11,15
28	14,81	15,26	0,45	2,93

Observa-se que a variação entre o ensaio de esclerometria e o ensaio de compressão axial de corpo-de-prova, para a cura ambiente, é menor do que para os corpos-de-prova em cura úmida. A variação mínima de 0,45 MPa ou 2,93%, ocorre aos 28 dias de idade. O Gráfico 4.7 apresenta a comparação entre as retas CRA e CPA-3.

**Gráfico 4.7 - Comparativo entre CPA-3 e CRA.**

## 5 CONCLUSÕES

Com a conclusão deste trabalho, verificou-se que houve uma aproximação maior entre os resultados de Esclerometria, e os resultados do ensaio de compressão axial de corpo-de-prova, curado em ambiente aberto. A variação entre os ensaios foi entre 2,7% e 17%. Para os corpos-de-prova em cura úmida, a variação foi entre 18,92% e 32,96%.

Um dos fatores que podem ter contribuído, para uma maior aproximação entre os ensaios de Esclerometria e o ensaio de compressão axial de corpo-de-prova, curado em ambiente aberto, é o fato de que o pilar pré-moldado, que foi utilizado no Ensaio de Esclerometria, permaneceu sob as mesmas condições de cura que os corpos-de-prova curados em ambiente aberto.

Concluiu-se que, a maior aproximação entre os ensaios de Esclerometria e de compressão axial de corpo-de-prova, tanto para cura úmida quanto para cura ambiente, ocorreu aos 28 dias de idade.

Observou-se uma tendência de aproximação entre os ensaios, com aumento da idade do concreto. Porém seria recomendável a realização dos ensaios em um intervalo maior de tempo, para verificar se a tendência de aproximação permanece.

Verificou-se que a cura úmida melhorou a resistência dos corpos-de-prova. O aumento na resistência variou entre 13,44% e 19,22%, para o período de ensaio.

### 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros abordando o tema deste trabalho são validas as seguintes recomendações:

- Verificar a influência do formato da peça onde o Esclerômetro é aplicado;
- Realizar ensaios em um intervalo de tempo maior e com mais amostras;
- Variar as misturas de concreto com a finalidade de verificar a influência de seus componentes.

## BIBLIOGRAFIA

ACCUWEATHER, **Condições meteorológicas em março de 2016 para Toledo, Paraná**. Disponível em: <<http://www.accuweather.com/pt/br/toledo/40206/march-weather/40206?monyr=3/1/2016&view=table>>, Acesso em 10/06/ 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Concreto, Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**. Concreto, Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7584**. Concreto endurecido, avaliação superficial pelo Esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

BENTES, R.F. **Considerações sobre projeto e produção de componentes pré-fabricados de argamassa armada**. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1992.

BOTTEGA, F. **Análise do ensaio Esclerométrico, um ensaio não destrutivo, nas estruturas de concreto**. Monografia, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade do extremo sul Catarinense, Criciúma. 2010.

CÂMARA, E. **Avaliação da resistência à compressão de concretos utilizados na grande Florianópolis através de ensaios não destrutivos”** – Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CASTRO, E. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e Esclerometria**. Qualificação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. 122p.

DINIZ, J. Z. F. **Pré-fabricados de Concreto: Rapidez, Economia e Sustentabilidade na Construção**. *Concreto & Construções*, São Paulo, Ano 34, n. 43, p. 10-12, jun./ago. 2006.

EIGER, L. R. **A química a serviço da indústria de concretos pré-fabricados.** **Concreto & Construções**, São Paulo, Ano 34, n. 43, p. 55, jun./ago. 2006.

ESCOBAR, C. J.; CRUZ, D. A.; e FABRO, G. **Avaliação de desempenho do Ensaio de Esclerometria na determinação da resistência do concreto endurecido.** In: Congresso brasileiro de concreto, 50. 2008, Foz do Iguaçu.

EVANGELISTA, A. C. J., **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaio Não Destrutivos** Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2002.

FALCÃO BAUER, L. A., **Materiais da construção civil 2 – 5.ed.** - Rio de Janeiro: LTC, 1993.

FERNANDES, M. C., **Influência da retificação de superfícies de corpos-de-prova na variabilidade da resistência à compressão no controle tecnológico do concreto.** Monografia, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

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

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M., **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3.ed. São Paulo, IBRACON, 2008. 674p.

NEPOMUCENO, M. C. S. **Ensaio não destrutivos em betão.** TESE. Covilhã, Portugal, 1999.

NEVILLE, A. M., **“Propriedades do Concreto” – 2ª Edição – Ed. Pini, São Paulo, 1997.**

NUNES, F. W. G., **Resistência e Módulo de Elasticidade de Concretos Usados no Rio de Janeiro – Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.**

OZYILDIRIM, C.; CARINO, N., **Concrete Strength Testing**, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials (STP 169C) STP 169D, 2006.

PALACIOS, M.P.G., **Emprego de Ensaio Não Destrutivos e de Extração de Testemunhos na Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto.**

Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM007A/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

PEDERIVA, P. F. **Comparação dos custos envolvidos na construção de pavilhões com estruturas pré-moldadas e moldadas in loco.** TCC – Curso de Engenharia Civil - UNIJUÍ, 2009.

PETRUCCI, E. G. R., **Concreto de Cimento Portland**, 11ª edição, Editora Globo, Rio de Janeiro, Brasil, 307p, 1987.

PROCEQ, **Instruções operacionais.** 2011. Disponível em: <<http://www.proceq.com/po/homesouhtamerica.html?pqr=6>>. Acesso em 10/06/2016.

PROCEQ, **The SilverSchmidt Reference Curve.** 2011. Disponível em: <[http://www.silverschmidt.com/fileadmin/documents/proceq/products/Concrete/SilverSchmidt/The\\_SilverSchmidt\\_Reference\\_Curve.pdf](http://www.silverschmidt.com/fileadmin/documents/proceq/products/Concrete/SilverSchmidt/The_SilverSchmidt_Reference_Curve.pdf)>. Acesso em 10 abr. 2016

ROSENBLUM, A. **Pontes em Estruturas Segmentadas Pré-moldadas Protendidas: Análise e Contribuições ao Gerenciamento do Processo Construtivo.** Rio de Janeiro, 2009. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

SATO, N. **Análise da Porosidade e de Propriedades de Transporte de massa em Concretos.** Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998. 163 p.

VAN ACKER, A. **Manual de Sistemas Pré-fabricados de Concreto.** FIP 2002 São Paulo: ABCIC, 2003.



**ANEXO 1 – RESULTADOS DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA**

ÁREA 1			ÁREA 2			ÁREA 3		
IDADE: 11 DIAS			IDADE: 11 DIAS			IDADE: 11 DIAS		
VALORES OBTIDOS		VALORES UTILIZADOS	VALORES OBTIDOS		VALORES UTILIZADOS	VALORES OBTIDOS		VALORES UTILIZADOS
PONTO	VALOR		PONTO	VALOR		PONTO	VALOR	
1	23,5		1	26	26	1	20	
2	21		2	22,5		2	25,5	25,5
3	28	28	3	31		3	27,5	27,5
4	27	27	4	22,5		4	9	
5	27,5	27,5	5	24	24	5	28,5	
6	27	27	6	23,5	23,5	6	23,5	23,5
7	30		7	23,5	23,5	7	27,5	27,5
8	22		8	24	24	8	20	
9	33,5		9	33		9	26,5	26,5
10	20		10	21,5		10	24	24
11	23		11	23,5	23,5	11	22,5	
12	24,5	24,5	12	25,5	25,5	12	40	
13	26,5	26,5	13	29		13	22	
14	27,5	27,5	14	32,5		14	26	26
15	22,5		15	21		15	34	
16	35		16	27	27	16	34,5	
MÉDIA	26,15625	26,85714	MÉDIA	25,625	24,625	MÉDIA	25,6875	25,78571
QTD	16	7	QTD	16	8	QTD	16	7

ÁREA 1			ÁREA 2			ÁREA 3		
IDADE: 20 DIAS			IDADE: 20 DIAS			IDADE: 20 DIAS		
VALORES OBTIDOS		VALORES UTILIZADO S	VALORES OBTIDOS		VALORES UTILIZAD OS	VALORES OBTIDOS		VALORES UTILIZADO S
PONTO	VALOR		PONTO	VALOR		PONTO	VALOR	
1	24,5		1	40,5		1	26	26
2	29	29	2	29	30	2	25,5	25,5
3	28,5	28,5	3	29,5	30,5	3	23,5	
4	31	31	4	25		4	26,5	26,5
5	20		5	26		5	24,5	
6	25,5		6	47,5		6	28	28
7	27,5	27,5	7	35,5	35,5	7	28,5	28,5
8	30	30	8	30,5	30,5	8	28,5	28,5
9	36,5		9	31	31	9	24	
10	40,5		10	40		10	27	27
11	20		11	34	34	11	28	28
12	44,5		12	44		12	28,5	28,5
13	31,5	31,5	13	30,5	30,5	13	26	26
14	34		14	25,5		14	22	
15	23,5		15	28,5		15	42,5	
16	26,5	27,5	16	40,5		16	27,5	27,5
MÉDIA	29,562 5	29,28571	MÉDIA	33,5937 5	31,714285 7	MÉDIA	27,2812 5	27,27273
QTD	16	7	QTD	16	7	QTD	16	11

ÁREA 1			ÁREA 2			ÁREA 3		
IDADE: 28 DIAS			IDADE: 28 DIAS			IDADE: 28 DIAS		
VALORES OBTIDOS		VALORES UTILIZADOS	VALORES OBTIDOS		VALORES UTILIZADOS	VALORES OBTIDOS		VALORES UTILIZADOS
PONTO	VALOR		PONTO	VALOR		PONTO	VALOR	
1	24,5		1	35	35	1	31,5	31,5
2	28,5	28,5	2	36	36	2	32	32
3	23		3	41,5		3	36,5	36,5
4	24		4	34	34	4	29	
5	26	26	5	46,5		5	31,5	31,5
6	30,5	30,5	6	32	32	6	31,5	31,5
7	25	27	7	27,5		7	33	33
8	25		8	37	37	8	34	34
9	23	28	9	37	37	9	42	
10	28	28	10	39,5		10	31	31
11	29	29	11	32	32	11	28,5	
12	47,5		12	32	32	12	29	
13	30,5	30,5	13	35,5	35,5	13	35	35
14	28	28	14	38,5	38,5	14	43,5	
15	32		15	32,5	32,5	15	34	34
16	25		16	30		16	30	30
MÉDIA	28,09375	28,38889	MÉDIA	35,40625	34,6818182	MÉDIA	33,25	32,72727
QTD	16	9	QTD	16	11	QTD	16	11

**ANEXO 2 – RELATÓRIOS DO ENSAIO COMPRESSÃO AXIAL DE CORPO-DE-  
PROVA**













