

**ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA DO CONCRETO: ESTUDO DE APLICAÇÃO EM
OBRAS**

YULENA TATIANA MORENO SAMANIEGO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS
E CONSTRUÇÃO CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA DO CONCRETO: ESTUDO DE APLICAÇÃO EM
OBRAS**

YULENA TATIANA MORENO SAMANIEGO

ORIENTADOR: ANTÔNIO ALBERTO NEPOMUCENO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS
E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM-001A/14
BRASÍLIA/DF MARÇO – 2014**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA DO CONCRETO: ESTUDO DE APLICAÇÃO EM
OBRAS**

YULENA TATIANA MORENO SAMANIEGO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADA POR:

Prof. Antônio Alberto Nepomuceno, Dr.Ing. (UnB)
(Orientador)

Prof. Elton Bauer, Dsc. (UnB)
(Examinador Interno)

Prof. Oswaldo Cascudo, Dr (UFG)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 20 DE MARÇO DE 2014.

FICHA CATALOGRÁFICA

MORENO SAMANIEGO, YULENA TATIANA

Ensaio Não Destrutivo para Avaliação da Resistência do Concreto: Estudo de Aplicação em Obras. [Distrito Federal] 2014.

xvi, 182p, 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2014).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Ensaio Não Destrutivo

2. Resistência à compressão

3. Esclerometria

4. Penetração de Pino

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MORENO SAMANIEGO, Y.T. (2014). Ensaio Não Destrutivo para Avaliação da Resistência do Concreto: Estudo de Aplicação em Obras. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-001A/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 182p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Yulena Tatiana Moreno Samaniego

TÍTULO: Ensaio Não Destrutivo para Avaliação da Resistência do Concreto: Estudo de Aplicação em Obras.

GRAU: Mestre

ANO: 2014

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Yulena Tatiana Moreno Samaniego

SQN 406 Bloco D Apartamento 304 Asa Norte.

CEP 70847-040 Brasília/DF, Brasil.

E-mail: yulenamoreno@gmail.com

Dedico este trabajo a mis padres, Luis Eduardo y Noemí Yovana y a mis Hermanos, por ser mi apoyo incondicional en cada paso que doy.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar por sempre me iluminar e me guiar.

A meus pais, Luis Eduardo e Noemí Yovana, pelo amor e constante força cada dia da minha vida. A meus irmãos, Eduardo, Milena, Roland, Ronald, Dayana, Paul, Daniela e Kevin, pelo amor e apoio incondicional e a meu amor Diego pela compreensão, paciência e incentivo.

Ao professor Elton Bauer pelo empenho, sabedoria e orientações que fizeram com que concluísse este trabalho. Aos professores Antônio Alberto Nepomuceno e Claudio Henrique Pereira pela ajuda e conhecimento disseminado.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília, em especial a Maria Cláudia, Halley e Vitor, companheiros que se tornaram meus grandes amigos.

Aos colegas Gelson, Fabiano, Wanderley, Agno, Eduardo, Alejandro, Marília, Marcus e Carlos pela alegre convivência e companheirismo. A Pilar e Tatiana pela colaboração na realização da minha pesquisa.

À Eva Veloso, secretária do programa de pós-graduação, por sua disposição e auxílio.

Ao Laboratório de Ensaio de Materiais da UnB pela disponibilidade de equipamentos e instalações para realização dos ensaios. Aos técnicos Severino e Washington pelo auxílio nos ensaios.

À Universidade de Brasília por ter me concedido a oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro durante estes dois anos.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram, participaram ou incentivaram o desenvolvimento e a elaboração deste trabalho.

RESUMO

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO: ESTUDO DE APLICAÇÃO EM OBRAS

Autora: Yulena Tatiana Moreno Samaniego

Orientador: Antônio Alberto Nepomuceno

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, Março de 2014

O emprego de ensaios não destrutivos em estruturas de concreto para avaliação da resistência à compressão tem se tornado cada vez mais importante, pelo fato destes não provocarem danos consideráveis nas estruturas. Com base nisso, a principal importância do presente estudo é a aplicação dos ensaios não destrutivos de Esclerometria e Penetração de Pino em diferentes obras civis do Distrito Federal. O objetivo desse trabalho é verificar o emprego destes ensaios na determinação da resistência à compressão do concreto tendo em vista a existência de variáveis inerentes à execução do concreto na estrutura (lançamento, adensamento e cura) e ao controle tecnológico dos corpos de prova moldados em obra. A aferição destas técnicas não destrutivas foi realizada em três séries de concreto com f_{ck} de 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa avaliados em laboratório e se estabeleceram correlações para obter a função que melhor representa a relação entre índice esclerométrico e penetração de pino com a resistência à compressão. Posteriormente foram avaliados com esses ensaios elementos de concretos (pilares, lajes, vigas e paredes) de 15 obras, com f_{ck} desde 25 MPa até 40 MPa, associando o Índice Esclerométrico e Penetração de Pino com a resistência à compressão obtida do controle tecnológico. Com os resultados obtidos destas avaliações em obra, analisou-se a previsão da resistência do concreto por meio de diferentes modelos estatísticos estabelecidos por outros pesquisadores. Conclui-se que para utilizar os ensaios de esclerometria e penetração de pino na avaliação da resistência à compressão em obras, o procedimento mais adequado é determinar curvas de correlação em laboratório com os mesmos materiais e mesmas proporções a ser utilizados na obra. Deve-se considerar a variabilidade dos fatores inerentes às obras, sendo que os mesmos irão afetar as resistências dos elementos.

ABSTRACT

EVALUATION OF CONCRETE STRENGTH BY NON DESTRUTIVES TEST: STUDY OF APPLICATION IN CONSTRUCTIONS

Author : Yulena Tatiana Moreno Samaniego

Supervisor: Antônio Alberto Nepomuceno

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, March 2014

The use of non destructives test in concrete structures to assess the compressive strength has become increasingly important, once these tests do not cause considerable damage to structures. Based on this fact, the main importance of this study is the application of nondestructive testing of sclerometer test and pin penetration in different civil constructions of the Federal District. The aim of this study to verify the use of these test in determining the compressive strength of concrete, considering the existence of inherent variables inform the implementation of concrete in the structure (placement, consolidation and curing) and the technological control of the specimens cast on site. The measurement of these non -destructive techniques was performed in three series of concrete with f_{ck} 25 MPa, 30 MPa and 35 MPa evaluated in the laboratory and established correlations for the function that best represented the correlation between the sclerometer test values and pin penetration with compression strength. Thereafter the tests were evaluated with concrete elements (columns, slabs, beams and walls) from 15 constructions with f_{ck} from 25 MPa to 40 MPa, and associating sclerometer test values and pin penetration with the compression strength obtained from technological control. With the results of these assessments, we analyzed the prediction of concrete strength using different statistical models established by other researcher. It follows that to use those nondestructives tests in the evaluation of compression strength construction structures, the most appropriate procedure is to determine correlation curves in the laboratory with the same materials to be used in field. The variability of construction inherent must be considered once, they will affect the concrete elements strength.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA | 19 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 22 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral | 22 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos | 22 |
| 1.3 | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO..... | 23 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 24 |
| 2.1 | CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONCRETO | 24 |
| 2.2 | ASPECTOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO | 27 |
| 2.2.1 | Fatores que influenciam a resistência do concreto | 29 |
| 2.2.2 | Resistências de dosagem (f_{cj}) e Característica (f_{ck}) | 37 |
| 2.3 | RELAÇÃO ENTRE A RESISTENCIA POTENCIAL E EFETIVA DO CONCRETO..... | 38 |
| 2.4 | CONTROLE E RECEBIMENTO DO CONCRETO..... | 40 |
| 2.5 | ESTIMAÇÃO <i>IN LOCO</i> DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO MEDIANTE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E SEMI-DESTRUTIVOS | 43 |
| 2.5.1 | Ensaio de Esclerometria | 50 |
| 2.5.2 | Ensaio de Penetração de Pino..... | 55 |
| 2.5.3 | Extração e rompimento de Testemunhos | 60 |
| 3 | PROGRAMA EXPERIMENTAL | 64 |
| 3.1 | PRIMEIRA ETAPA- AFERIÇÃO DOS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA E PENETRAÇÃO DE PINO EM CONCRETOS AVALIADOS NO LABORATÓRIO.. | 66 |
| 3.1.1 | Procedimento do ensaio de esclerometria | 68 |
| 3.1.2 | Procedimento do ensaio de penetração de pino..... | 70 |
| 3.1.3 | Procedimento do ensaio de Resistência à Compressão | 72 |
| 3.2 | SEGUNDA ETAPA- EXECUÇÃO DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS NAS OBRAS PARA LEVANTAMENTO DAS GRANDEZAS: ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO (IE) E PENETRAÇÃO DE PINO (LP). | 73 |
| 3.2.1 | Identificação das obras e elementos de concreto a serem avaliados | 74 |
| 3.2.2 | Desenvolvimento do ensaio de esclerometria nas obras | 75 |
| 3.2.3 | Desenvolvimento do ensaio de penetração de pino nas obras..... | 77 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 80 |
| 4.1 | RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NO LABORATÓRIO PARA AFERIÇÃO DAS TÉCNICAS DE ESCLEROMETRIA E PENETRAÇÃO DE PINO | 80 |
| 4.1.1 | Resistência à compressão | 80 |
| 4.1.2 | Ensaio de esclerometria em corpos de prova e prismas | 82 |
| 4.1.3 | Ensaio de penetração de pino em prismas | 85 |
| 4.2 | RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA E PENETRAÇÃO DE PINO REALIZADOS NAS OBRAS | 88 |
| 4.2.1 | Comportamento da resistência à compressão | 92 |
| 4.2.2 | Comportamento da esclerometria e a grandeza obtida: IE | 94 |
| 4.2.3 | Comportamento da penetração de pino e a grandeza obtida: Lp | 96 |
| 4.3 | ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS DIFERENTES MODELOS ESTATÍSTICOS PARA PREVISÃO DE RESISTÊNCIA | 100 |
| 4.3.1 | Previsão da resistência à compressão a partir dos resultados de índice esclerométrico | 100 |
| 4.3.2 | Previsão da resistência à compressão a partir dos resultados da penetração de pino | 105 |
| 5 | CONCLUSÕES | 112 |
| 5.1 | Primeira Etapa: quanto aos ensaios de esclerometria, penetração de pino e resistência à compressão efetuados em laboratório. | 112 |
| 5.2 | Segunda Etapa: quanto aos ensaios de esclerometria e penetração de pino efetuados em obra. | 114 |
| 5.3 | Sugestões para futuras pesquisas | 116 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 118 |
| | APÊNDICES | 123 |
| | APÊNDICE A - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA EM CILINDROS, ESCLEROMETRIA EM PRISMAS, PENETRAÇÃO DE PINO E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS SÉRIES DE CONCRETO AVALIADAS EM LABORATÓRIO. | 124 |
| | APÊNDICE B - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA, PENETRAÇÃO DE PINO E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CONCRETOS AVALIADOS EM OBRAS. | 137 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1- Representação esquemática do comportamento tensão-deformação do concreto sob compressão uniaxial até a ruptura (MEHTA; MONTEIRO, 2008)..... | 28 |
| Figura 2.2- Resistência à compressão em função da relação água/cimento em idades de 7 e 28 dias para diferentes concretos (PALÁCIOS, 2012)..... | 30 |
| Figura 2.3- Diagrama de dosagem obtido no estudo de Palácios (2012). | 31 |
| Figura 2.4- Distribuição de densidade de frequência relativa de resistência (PEREIRA, 2008)..... | 37 |
| Figura 2.5- Significado da resistência à compressão do concreto obtida através..... | 39 |
| Figura 2.6- Esquema de uma amostra cilíndrica de concreto obtida pela inserção de uma manga ou a perfuração de um núcleo, e a localização da carga aplicada (MALHOTRA, 2004)..... | 45 |
| Figura 2.7- Esquema do circuito para medir velocidade de onda ultrassom, adaptado (MALHOTRA, 2004)..... | 46 |
| Figura 2.8- Esquema dos procedimentos que podem ser utilizados para o teste de arrancamento (MALHOTRA, 2004). | 48 |
| Figura 2.9- Cilindro de concreto instrumentado com o medidor de maturidade e submetidos a cura úmida padrão (MALHOTRA, 2004). | 49 |
| Figura 2.10- Esquema ilustrando o funcionamento do esclerômetro de reflexão (MALHOTRA, 2004)..... | 51 |
| Figura 2.11- Relação entre índice esclerométrico e resistência à compressão (PALÁCIOS, 2012)..... | 55 |
| Figura 2.12- Esquema da localização do pino na pistola para disparo com energia máxima (A) e mínima (B) (DA SILVA <i>et al.</i> , 2012). | 55 |
| Figura 2.13- Forma aproximada da zona danificada do concreto durante a penetração do pino (ACI 228.1R-03, 2003)..... | 56 |
| Figura 2.14- Posição do pino dentro do cano da pistola (JOFFILY, 2010). | 56 |
| Figura 2.15- Correlação entre resistência e penetração de pino separada por tipo de agregado e teor de argamassa (JOFFILY, 2010)..... | 60 |
| Figura 2.16- Correlação entre penetração de pino e resistência a compressão (PALÁCIOS, 2012)..... | 60 |
| Figura 2.17- Planos de fraqueza devidos á exsudação (a) eixo vertical do testemunho (b) eixo horizontal do testemunho (BUNGEY, 1989). | 62 |

| | |
|---|-----|
| Figura 2.18- Efeito do tamanho do cilindro de medição da resistência à compressão (LAMOND e PIELERT, 2010). | 63 |
| Figura 3.1- Fluxograma da metodologia proposta para o presente estudo. | 65 |
| Figura 3.2- Moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos. | 67 |
| Figura 3.3- Pontos de aplicação dos impactos no cilindro (PEREIRA; MEDEIROS, 2012). | 69 |
| Figura 3.4- Rotina para ensaio de esclerometria em cilindros e prismas, realizada no LEM/UnB. | 70 |
| Figura 3.5- Pontos de penetração de pino nos prismas, distância em cm (JOFFILY, 2010). | 71 |
| Figura 3.6- Rotina para ensaio de penetração de pino nos prismas, realizada no LEM/UnB. | 72 |
| Figura 3.7- Rotina ensaio de resistência à compressão, realizada no LEM/UnB. | 73 |
| Figura 3.8- Ensaio de esclerometria efetuado em pilares, vigas, lajes e paredes de concreto. | 76 |
| Figura 3.9- Ensaio de penetração de pino efetuado em pilares, vigas, lajes e paredes. | 79 |
| Figura 4.1- Resultados médios de resistência à compressão obtidos nas séries de concreto S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2. | 82 |
| Figura 4.2- Correlação entre esclerometria em prismas e a resistência à compressão aos 28 dias das séries de concreto S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2. | 85 |
| Figura 4.3- Correlação entre penetração de pino e a resistência à compressão aos 28 dias das séries de concreto S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2. | 88 |
| Figura 4.4- Resultados médios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias nas 15 obras avaliadas. | 92 |
| Figura 4.5- Resultados médios de índice esclerométrico nas 15 obras avaliadas. | 94 |
| Figura 4.6- Resultados médios do ensaio de esclerometria realizado in loco e a resistência à compressão nas 15 obras avaliadas. | 95 |
| Figura 4.7- Resultados médios de penetração de pino nas 15 obras avaliadas. | 97 |
| Figura 4.8- Resultados médios do ensaio de penetração de pino realizado in loco e a resistência à compressão nas 15 obras avaliadas. | 98 |
| Figura 4.9- Correlação entre resultados de esclerometria e penetração de pino realizado nas 15 obras avaliadas. | 99 |
| Figura 4.10- Análise das equações propostas com os dados de IE obtidos nos pilares avaliados para estimar f_{c28} | 103 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.11- Análise das equações propostas com os dados de IE obtidos nas lajes avaliadas para estimar f_{c28} | 103 |
| Figura 4.12- Análise das equações propostas com os dados de IE obtidos em paredes de concreto avaliadas para estimar f_{c28} | 104 |
| Figura 4.13- Análise das equações propostas com os dados de Lp obtidos nos pilares avaliados para estimar f_{c28} | 107 |
| Figura 4.14- Análise das equações propostas com os dados de Lp obtidos nas lajes avaliadas para estimar f_{c28} | 108 |
| Figura 4.15- Análise das equações propostas com os dados de Lp obtidos nas paredes avaliadas para estimar f_{c28} | 108 |
| Figura 4.16- Valores de f_c 28 obtidos da validação das equações propostas nesta pesquisa com os dados de IE e Lp obtidos nas obras avaliadas. | 111 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 2.1- Classificação do concreto por classe de consistência. NBR 8953:2009. | 25 |
| Tabela 2.2- Classificação dos concretos para fins estruturais por classe de resistência..... | 27 |
| Tabela 2.3- Nomenclatura dos cimentos Portland com suas respectivas resistências e adições minerais (ABNT NBR 5732, 5733, 5735, 5736 e 11578)..... | 33 |
| Tabela 2.4 - Classificação dos agregados quanto à dimensão dos grãos (NBR 7211-2009; RIBEIRO, 2002)..... | 34 |
| Tabela 2.5- Valores de Ψ_6 . NBR 12655:2006, modificada..... | 42 |
| Tabela 2.6- Equações propostas para correlacionar IE e f_c | 54 |
| Tabela 2.7- Equações propostas para correlacionar L_p e f_c | 59 |
| Tabela 3.1- Características das três séries de concreto produzidas na central. | 66 |
| Tabela 3.2- Resumo das características dos concretos por cada obra. | 75 |
| Tabela 3.3- Planilha exemplo para determinação do índice esclerométrico efetivo da obra N°10..... | 77 |
| Tabela 3.4- Planilha exemplo para determinação da penetração de pino L_p da obra N°10.78 | |
| Tabela 4.1- Valores médios dos resultados do ensaio de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias para as séries S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2..... | 81 |
| Tabela 4.2- Valores médios dos resultados do ensaio de esclerometria nas idades de 7 e 28 dias para as séries S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2. | 83 |
| Tabela 4.3- Valores médios de penetração de pino em prismas das séries S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2..... | 86 |
| Tabela 4.4- Valores de resistência à compressão, índice esclerométrico (IE) e penetração de pino (L_p) obtidos nas diferentes obras..... | 90 |
| Tabela 4.5- Valores médios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias para cada obra avaliada..... | 92 |
| Tabela 4.6- Resultados médios de resistência à compressão e esclerometria nas obras. | 95 |
| Tabela 4.7- Resultados médios de resistência à compressão e penetração de pino nas obras. | 98 |
| Tabela 4.8- Planilha de análise das equações propostas com os dados de IE obtidos nas obras para estimar f_{c28} | 101 |
| Tabela 4.9- Planilha da análise das equações propostas com os dados de L_p obtidos nas obras para estimar f_{c28} | 106 |
| Tabela 4.10- Resistência à compressão aos 28 dias obtidas no controle tecnológico e nas equações propostas com os dados de IE e L_p obtidos nas obras..... | 111 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ACI | American Concrete Institute |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| BS | Normas Britanicas – “British Standards” |
| CP | Corpo-de-prova |
| CP I | Cimento Portland comum |
| CP II | Cimento Portland composto |
| CP III | Cimento Portland de Alto Forno |
| CP IV | Cimento Portland Pozolânico |
| CP V – ARI | Cimento Portland DE Alta Resistência Inicial |
| CP RS | Cimento Portland Resistente à Sulfatos |
| LEM | Laboratório de Ensaios de Materiais |
| NBR | Norma Brasileira Registrada no INMETRO |
| NM | Norma Mercosul |
| UnB | Universidade de Brasília |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------------------|---|
| a/c | relação água/aglomerante |
| cm | centímetros |
| CV | coeficiente de variação |
| D _{máx} | dimensão máxima do agregado |
| DP | desvio padrão |
| f_{cj} | resistência média à compressão na idade de j dias |
| f_{ck} | resistência característica à compressão |
| f_{ckest} | valor estimado da resistência característica à compressão |
| g | grama |
| IE | índice esclerométrico |
| kg | quilograma |
| khz | quilohertz |
| L _p | comprimento de penetração de pino |
| m | metros |
| mm | milímetro |
| MPa | mega pascal |
| ρ | massa específica |
| s | segundos |
| sd | desvio padrão |
| μ s | micro-segundos |
| V | velocidade de onda ultrassônica |
| ν | coeficiente de Poisson |
| γ_c | coeficiente de ponderação do concreto |

1 INTRODUÇÃO

A obtenção de um concreto que atenda aos requisitos de durabilidade requer uma série de cuidados, que abrangem na fase de produção: a adequada escolha de seus materiais, a correta formulação dos diferentes concretos empregados que garanta a resistência e durabilidade desejada, passando pelo controle tecnológico: recebimento, homogeneização da mistura, sua correta aplicação e adensamento, até uma cura adequada.

Nas operações de controle tecnológico em obra, os corpos de prova moldados são usados para se obter informação sobre a resistência potencial do concreto, mas não necessariamente fornecem informação direta sobre a resistência real do concreto na estrutura, sendo necessário aplicar os coeficientes de norma para obter a resistência efetiva correspondente.

Estes fatores criam a necessidade de inspeções e verificações das condições reais do concreto na estrutura, por intermédio de ensaios *in loco* não destrutivos e semi-destrutivos. O principal objetivo desses ensaios é estimar um valor imediato da resistência efetiva do concreto, diminuindo as dúvidas no controle de aceitação, de homogeneidade, de deterioração ou, ainda, avaliar a capacidade estrutural subsequente. Baseiam-se em diferentes princípios físicos e não alteram significativamente as características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais do material, não interferindo em seu uso posterior.

Durante os últimos 70 anos, várias pesquisas têm sido desenvolvidas sobre diferentes métodos de ensaios *in loco* para avaliar as condições reais do concreto. Como resultado, desenvolveram-se com distintos graus de aceitação métodos rápidos, econômicos e versáteis, como: velocidade de pulso ultrassom (LESLIE; CHESMAN; JONES, 1945), esclerometria (SCHMIDT, 1948), penetração de pino (WINDSOR, 1964), técnicas de *pull-off* (UNIVERSIDADE DE QUEEN'S, 1970), *break-off* (JOHANSEN, 1976), método da maturidade (SAUL, 1951), técnicas de termografia infravermelha, entre outros. Esses métodos permitem conhecer, num maior grau possível de aproximação, propriedades físicas ou mecânicas do concreto por meio da qual pode ser estimada a resistência à compressão.

Para o caso de avaliar a resistência efetiva, ou seja, a resistência real da estrutura, destaca-se como o método de maior confiabilidade a extração e rompimento de testemunhos, normalizado no Brasil pela norma NBR 7680:2007. Tendo em conta a diferença da resistência à compressão obtida por testemunhos de concreto e a resistência potencial, a NBR 6118:2007 permite dividir o coeficiente de ponderação do concreto (γ_c) por 1,1, o que equivale a um acréscimo de 10% no resultado final da tensão. Com essa correção, pode-se comparar o resultado *in loco* com o moldado no controle tecnológico e com o f_{ck} da estrutura.

O método de ensaio não destrutivo mais investigado e, conseqüentemente, mais usado é a determinação do índice esclerométrico mediante o esclerômetro de reflexão tipo Schmidt, normalizado no Brasil pela NBR 7584:2012. Esse método é conhecido principalmente por suas vantagens, tais como: equipamento leve, fácil de ser manuseado e operado, e causa danos praticamente nulos na superfície. Contudo ele possui algumas limitações, dentre elas: os resultados são representativos de uma zona superficial do concreto, além do que variáveis como a rugosidade da superfície, umidade, idade do concreto podem afetar os resultados.

Para avaliações não destrutivas, tem-se ainda a resistência à penetração do pino, conhecido como Windsor Probe e adaptado no Brasil por Vieira em 1978. Este ensaio busca definir uma relação entre o comprimento cravado de um pino que atinge o concreto com um carregamento balístico predeterminado e a resistência à compressão do concreto.

1.1 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA

O emprego de ensaios não destrutivos em estruturas de concreto para avaliação da resistência à compressão tem-se tornado cada vez mais importante, pelo fato da sua facilidade de execução, rapidez de análise dos resultados e o contínuo avanço da sua precisão, além, desses ensaios não causarem danos na estrutura quando executados. Técnicas de construção rápidas e falta de controle na execução das obras enfatizam a necessidade de adoção de métodos para a determinação *in loco* da resistência do concreto.

Tem-se verificado uma ampla aplicação dos ensaios não destrutivos visando a obtenção de resultados nas investigações das propriedades do concreto nas estruturas para:

- diagnóstico de problemas patológicos;
- esclarecimento de dúvidas no controle tecnológico;
- determinação dos níveis de segurança frente a alterações de uso da estrutura;
- inspeções periódicas nas operações de manutenção, entre outros.

Segundo Evangelista (2002), o sucesso da utilização dos ensaios *in loco* depende, além do conhecimento e da experiência do profissional que realiza os ensaios, das curvas adotadas para correlacionar as medições do ensaio não destrutivo com a resistência do concreto. Para estimar a resistência à compressão do concreto torna-se necessário conhecer a relação entre os resultados dos ensaios *in loco* e a resistência do concreto, obtida a partir de curvas determinadas experimentalmente para os materiais correntemente empregados na região.

Neste trabalho serão estudados em especial dois métodos. Dentre os ensaios não destrutivos, a esclerometria se destaca como um dos métodos mais usados para verificação da homogeneidade e dureza superficial do concreto do elemento estrutural. O ensaio de esclerometria é prescrito no Brasil pela norma ABNT NBR 7584:2012. Para estimar a relação deste ensaio com a resistência à compressão na estrutura, a norma ASTM C 805:2008 estabelece realizar durante a construção ensaios de esclerometria em corpos de prova moldados e para uma estrutura existente a relação será com testemunhos extraídos de locais correspondentes.

O ensaio de penetração de pino pode-se aplicar para avaliar a uniformidade do concreto e para delinear as regiões com concreto deteriorado nas estruturas. Segundo a norma

ASTM C 803:2010, para estimar a resistência à compressão do concreto no local, a partir deste ensaio, deve existir uma correlação obtida em laboratório usando materiais semelhantes e proporções da mistura como na estrutura.

Têm-se diferentes pesquisas que compreendem o estudo da resistência à compressão do concreto utilizando ensaios não destrutivos de esclerometria e penetração de pino, entre os quais se destacam os estudos realizados por: Evangelista (2002), Machado (2005), Câmara (2006), Castro (2009), Joffily (2010), Aydin e Saribivik (2010), Palácios (2012), Pereira e Medeiros (2012), entre outros autores. Essas avaliações foram, principalmente, realizadas em concretos produzidos, moldados e ensaiados em laboratório, ou seja, controlando as condições de mistura, adensamento e cura do concreto.

No Brasil, embora existam vários estudos sobre este tema, entre eles os mencionados anteriormente, ainda há uma grande necessidade de desenvolvimento de pesquisas e trabalhos nesta área que objetivem uma análise em estruturas de concreto produzidas com os materiais disponíveis no mercado nacional.

A partir do exposto faz-se necessário o estudo da aplicação dos ensaios não destrutivos de Esclerometria e Penetração de Pino em obras civis, a fim de verificar seu emprego na determinação da resistência à compressão do concreto associada às variáveis inerentes à execução do concreto na estrutura (lançamento, adensamento e cura) e ao controle tecnológico respectivo de cada obra.

O presente estudo se enquadra na linha de pesquisa “Sistemas Construtivos e Desempenho de Materiais” do programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. Visando conhecer pesquisas sobre o concreto, realizadas nesse programa, mencionam-se a seguir alguns destes estudos:

Silva (1997) estudou as propriedades mecânicas do concreto de alto desempenho, com o intuito de conhecer melhor o comportamento desse concreto. Lopes (1999) estudou o concreto de alto desempenho (resistências entre 50 MPa e 65 MPa), fazendo uma avaliação comparativa desses concretos com a adição de sílica ativa.

Sousa (2001) estudou a relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto aplicados ao uso de entulho como agregado reciclado. Oliveira (2001) avaliou a influência de juntas entre o material de reparo e o concreto antigo com relação à proteção da armadura.

Rodolpho (2007) e Santos (2008) estudaram o comportamento e propriedades do concreto no estado fresco, contendo areia britada em substituição à areia natural. Pereira (2008) estudou obras localizadas no Distrito Federal enquanto aos parâmetros pertinentes a critérios de estimação da resistência característica e os procedimentos de aceitação ou rejeição da mesma, visando contribuir no controle tecnológico do concreto.

Rodrigues (2010) estudou o comportamento de concretos nas baixas idades, frente ao desenvolvimento de deformações devidas à retração e à fluência, contribuindo para um melhor entendimento destes fenômenos e seus mecanismos de atuação. Joffily (2010) avaliou o ensaio de penetração de pino para mensuração indireta da resistência à compressão do concreto.

Palácios (2012) estudou o emprego de ensaios não destrutivos (ultrassom, esclerometria e penetração de pino) e extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto. Leal (2012) realizou um estudo experimental do módulo de elasticidade de concretos produzidos em Brasília.

López (2013) estudou a mitigação da retração autógena em micro concretos de alta resistência com adição de polímeros superabsorventes e aditivo redutor de retração.

O presente estudo pretende dar continuidade às pesquisas efetuadas na área de avaliação de resistência à compressão do concreto com ensaios não destrutivos, realizadas por Joffily (2010) e Palácios (2012).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a aplicação dos ensaios não destrutivos de esclerometria e penetração de pino em estruturas de concreto, para previsão da resistência a compressão do concreto. Busca-se no presente estudo contextualizar a presente avaliação associada às variabilidades inerentes ao concreto da estrutura e também à variabilidade do ensaio do controle tecnológico.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver uma rotina de etapas para aplicação dos ensaios de esclerometria e penetração de pino em obras.
- Proceder à aferição das técnicas de esclerometria e penetração de pino em concretos com resistências características de 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa, associados aos materiais correntemente empregados nas obras estudadas, e submetidos aos ensaios em condições em laboratório.
- Verificar a confiabilidade desses ensaios não destrutivos na avaliação da resistência à compressão do concreto.
- Aplicar os ensaios de esclerometria e penetração de pino em obras civis associando-os com os valores de resistência à compressão de corpos de prova moldados no controle tecnológico.
- Avaliar os modelos propostos de previsão da resistência à compressão obtidos em estudos efetuados em laboratório, por diferentes autores, com os resultados de esclerometria e penetração de pino obtidos nas obras.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos. No primeiro capítulo tem-se a introdução da dissertação, onde são apresentadas a justificativa e importância do tema, assim como os objetivos da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta uma revisão de literatura com relação a aspectos e considerações sobre o concreto, a resistência à compressão, o controle tecnológico e ensaios não destrutivos e semi-destrutivos para avaliar concreto.

No terceiro capítulo, descreve-se o programa experimental para aferição de ensaios de esclerometria e penetração de pino em concretos avaliados em laboratório e a metodologia desenvolvida para a execução desses ensaios não destrutivos nas obras, a fim de levantar as grandezas de índice esclerométrico e penetração de pino.

No quarto capítulo são apresentados os resultados e discussão dos valores obtidos de resistência à compressão, esclerometria e penetração de pino da avaliação efetuada em laboratório e em obras. Ainda nesse capítulo é apresentada a análise do comportamento de diferentes modelos estatísticos para previsão de resistência utilizando os valores de índice esclerométrico e penetração de pino, obtidos dos concretos avaliados diretamente nas obras.

No capítulo cinco são apresentadas as principais conclusões e sugestões para pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONCRETO

Concreto é o material resultante da mistura homogênea, em determinadas proporções, de aglomerante (cimento hidráulico geralmente cimento Portland), agregado miúdo (geralmente areia lavada), agregado graúdo (geralmente pedra britada), água e aditivos. A partir disso pode ser definido como um material compósito constituído essencialmente por três fases: uma matriz de pasta de cimento, outra de agregados e a zona de transição entre matriz e agregado.

A propriedade mais importante do concreto no seu estado fresco é a trabalhabilidade, a qual é influenciada por fatores como a relação água/materiais secos, tipo e consumo de cimento, traço, teor de argamassa, tamanho, textura e forma dos agregados. Mehta e Monteiro (2008) citam a trabalhabilidade como a propriedade que determina o esforço necessário para realização das operações de lançamento, adensamento e acabamento do concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade.

Segundo Popovics (1982), a trabalhabilidade é um conceito que abrange a consistência e a plasticidade. A consistência é relacionada à umidade da mistura, ou seja, à relativa habilidade de uma mistura fresca fluir e plasticidade é a capacidade do concreto de se deformar sob ação da sua própria massa, capacidade de ser moldado sem perder continuidade e de manter a forma.

O índice de consistência é medido pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme a ABNT NBR NM 67, e é considerado um dos parâmetros para a verificação da trabalhabilidade, avalia a consistência da mistura, que em termos reológicos se refere à tensão de escoamento. O concreto fresco representa um estado com propriedades e características peculiares de enorme influência nas características do concreto endurecido.

De acordo com a NBR 8953:2009, os concretos são classificados por sua consistência no estado fresco em cinco classes: S10, S50, S100, S160 e S220 de acordo com a faixa de abatimento de tronco de cone e aplicações típicas como mostrado na Tabela 2.1.

Nas idades iniciais do concreto se apresentam as reações químicas do cimento Portland com água para formação dos compostos que, posteriormente, vão garantir suas propriedades mecânicas como a resistência. A resistência normalmente aumenta com a idade; esse ganho de resistência se produz muito rápido nos primeiros dias posteriores a sua colocação, resultando mais progressivo ao transcorrer o tempo, e ainda vai continuar incrementando-se numa proporção menor durante um período de tempo indefinido.

Tabela 2.1- Classificação do concreto por classe de consistência. NBR 8953:2009.

| Classe | Abatimento (mm) | Aplicações típicas |
|--------|--------------------|---|
| S10 | $10 \leq A < 50$ | Concreto extrusado, vibro prensado ou centrifugado. |
| S50 | $50 \leq A < 100$ | Alguns tipos de pavimento, de elementos de fundações e de elemento pré-moldados ou pré-fabricados. |
| S100 | $100 \leq A < 160$ | Elementos estruturais correntes como lajes, vigas, pilares, tirantes, pisos, com lançamento convencional do concreto. |
| S160 | $160 \leq A < 220$ | Elementos estruturais correntes como lajes, vigas, pilares, tirantes, pisos, parede diafragma, com concreto lançado por bombeamento, estacas escavadas lançadas por meio de caçambas. |
| S220 | > 220 | Estruturas e elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras com concreto lançado por bombeamento, lajes de grandes dimensões, elementos pré-moldados ou pré-fabricados de concreto, estacas escavadas lançadas por meio de caçambas. |

Para a produção do concreto deve-se ter em conta uma série de operações executadas e controladas de forma a se obter, a partir dos materiais componentes, mediante a proporção correta da mistura e o uso adequado dos processos de fabricação, um concreto que depois de endurecido resista aos esforços impostos e apresente características de durabilidade. As operações necessárias para a produção do concreto são:

- Dosagem ou quantificação dos materiais, a partir da qual se possibilita o concreto a ser produzido em obra;
- Mistura dos materiais e transporte até o local da obra;
- Lançamento, colocação do concreto no seu local definitivo.
- Adensamento, que consiste em tornar a massa do concreto a mais densa possível, eliminando os vazios;

- Cura, cuidados a serem tomados a fim de evitar a perda de água pelo concreto nos primeiros dias de idade e garantir a perfeita hidratação do cimento.

Cada vez é mais utilizado o concreto dosado em central, principalmente pela busca constante da qualidade e pela necessidade da redução de custos e racionalização dos canteiros de obras. As condições exigíveis para a execução do concreto dosado em central são fixadas pela ABNT NBR 7212:2012, e incluem as operações de armazenamento dos materiais, dosagem, mistura, transporte, recebimento, controle de qualidade e inspeção, critérios de aceitação e rejeição do controle interno da central de concreto.

Segundo o Manual do Concreto Dosado em central (ABESC, 2007), algumas das principais vantagens em se aplicar o concreto dosado em central são:

- eliminação das perdas de areia, brita e cimento;
- racionalização do número de operários da obra;
- maior agilidade e produtividade da equipe de trabalho;
- redução no controle de suprimentos, materiais e equipamentos, bem como eliminação das áreas de estoque, com melhor aproveitamento do canteiro de obras;
- redução do custo total da obra.

O ensaio mais comum para avaliação da qualidade do concreto empregado em estruturas é o ensaio de resistência à compressão. A ampla utilização deste ensaio pode-se atribuir a três fatores principais: a relação direta entre a resistência do concreto com a capacidade da estrutura em resistir às cargas aplicadas sejam elas de tração, compressão ou cisalhamento, ou combinação destas; a facilidade de execução do ensaio e a possibilidade do desenvolvimento de correlações entre a resistência com outras propriedades do concreto (CASTRO, 2009).

O ensaio é padronizado no Brasil pela norma NBR 5739:2007, o qual prescreve o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova de concreto. O corpo de prova padrão brasileiro é o cilíndrico e a idade de referência é 28 dias. O mesmo deve atender a relação altura/diâmetro (h/d) nunca maior do que 2,0, e caso esta relação seja menor que 1,94 devem ser aplicados fatores de correção correspondentes conforme especifica a norma. As condições exigíveis para moldagem, desforma, preparação de

topos, transporte e cura de corpos de prova, cilíndricos e prismáticos, destinados a ensaios de resistência à compressão são mencionadas na norma NBR 5738:2003.

Para determinar a resistência à compressão de testemunhos extraídos de estruturas de concreto se deve ensaiar de acordo com o estabelecido pela NBR 7680:2007-Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto, a qual especifica um diâmetro pelo menos três vezes maior que o agregado graúdo e razão de esbeltez não superior a dois ou inferior a um, ou seja, $1 \leq h/d \leq 2$, após a preparação das superfícies de ensaio dos testemunhos.

A NBR 8953:2009 classifica o concreto para fins estruturais em dois grupos de resistência à compressão. Nos grupos I e II para concretos com massa específica compreendida entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³ designados pela letra C seguida de um número que representa a resistência característica à compressão (f_{ck}), como aparecem na Tabela 2.2.

Tabela 2.2- Classificação dos concretos para fins estruturais por classe de resistência.

| Categoria | Classe de Resistência (números correspondem ao valor f_{ck} em MPa) |
|-----------|---|
| Grupo I | C20; C25; C30; C35; C40; C45; C50 |
| Grupo II | C55; C60; C70; C80; C90; C100 |

2.2 ASPECTOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

A resistência à compressão do concreto é um parâmetro mecânico, que pode ser definida como a tensão requerida para causar uma fratura significativa que leva à desagregação do concreto. É o estado limite último de resistência do concreto, ou seja, a máxima carga que pode ser aplicada.

Em condições normais de cura, quando o concreto é submetido a efeitos de secagem ou fenômenos térmicos, surgem entre a matriz e o agregado graúdo, deformações diferenciais que acabam causando fissuras na zona de transição. Segundo Mehta e Monteiro (2008), a relação entre o nível de tensão, expressa como porcentagem da carga última, e a microfissuração no concreto, pode ser entendida nos quatro estágios do comportamento do concreto como se ilustra na Figura 2.1.

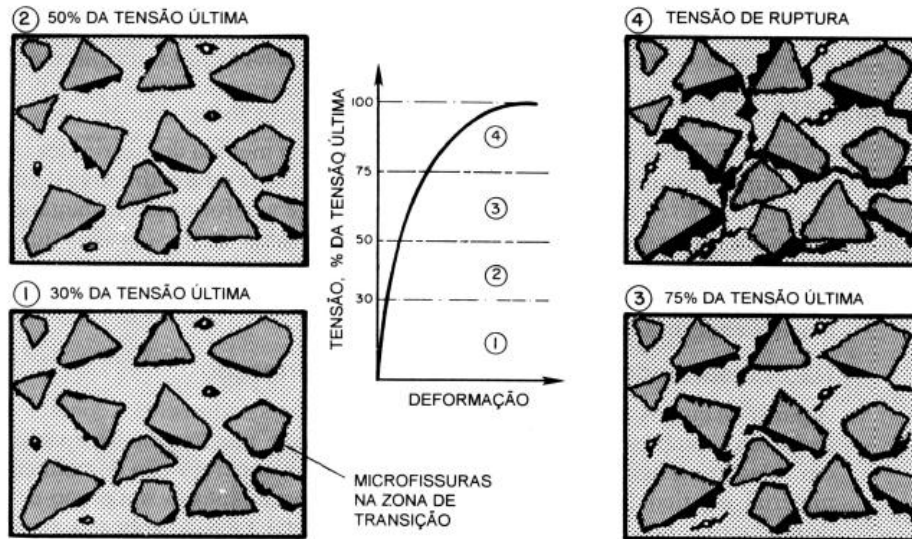


Figura 2.1- Representação esquemática do comportamento tensão-deformação do concreto sob compressão uniaxial até a ruptura (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Primeiro estágio: até cerca de 30% da carga última as fissuras da zona de transição (agregado-pasta) permanecem estáveis.

Segundo estágio: acima de 30% da carga última, com o aumento da tensão, as microfissuras da zona de transição começam a aumentar em comprimento, largura e número. Até cerca de 50% da tensão última, admite-se que exista um sistema estável de microfissuras na zona de transição. Neste estágio, a fissuração da matriz é considerada desprezível.

Terceiro estágio: de 50% a 60% da carga última, as fissuras começam a se formar na matriz. Com o aumento da tensão até cerca de 75% da carga última, vislumbra-se a instabilidade do sistema de fissuras na zona de transição e a proliferação e propagação de fissuras na matriz, fazendo com que a curva tensão-deformação se incline em direção à horizontal.

Quarto estágio: acima de 75% da carga última, com o aumento da tensão, desenvolvem-se deformações muito grandes, indicando que o sistema de fissuras está se tornando contínuo devido à rápida propagação de fissuras tanto na matriz como na zona de transição.

2.2.1 Fatores que influenciam a resistência do concreto

Os materiais que compõem o concreto afetam diretamente a resistência e o seu desempenho final, portanto, torna-se necessário um estudo sistemático da variação de seus materiais componentes. Segundo Mehta e Monteiro (2008), os principais fatores que exercem influência são: parâmetros de dosagem; tipo de cimento; forma e distribuição granulométrica dos agregados e a presença e tipo de aditivos químicos ou adições minerais.

Lamond e Pielert (2010), comentando sobre os ensaios para obtenção da resistência, afirmam que a resistência do concreto é afetada também por muitas variáveis encontradas na produção dos corpos de prova para o teste de resistência, entre as quais se incluem as dimensões dos corpos de prova, o tipo de regularização do topo, a velocidade do carregamento de ensaio, a consolidação do concreto, o tipo de molde, adensamento, condições de cura e a temperatura.

2.2.1.1 Parâmetros de mistura

Relação água/cimento: a relação água/cimento influencia o comportamento da resistência à compressão pelas forças físicas de Van der Waals ou forças de dispersão, as quais são inversamente proporcionais às distâncias entre as partículas. Na medida em que aumenta a relação água/cimento, a distância entre as partículas de cimento aumenta e, portanto, diminuem as forças de Van der Waals (METHA; MONTEIRO, 2008). A relação água/cimento com a resistência à compressão do concreto também conhecida como Lei de Abrams é representada pela Equação 2.1.

$$f_{cj} = \frac{A}{B^x} \quad \text{Equação 2.1}$$

Onde: f_{cj} : resistência à compressão em MPa, na idade j (dias).

x : relação água/cimento em massa (kg/kg)

A, B: constantes da natureza dos materiais e grau de hidratação da pasta.

A título de exemplificação, Palácios (2012), estudando os concretos produzidos em Brasília, representou na Figura 2.2 as correlações entre a resistência média à compressão e

a relação água/cimento, obtidas aos 7 e 28 dias, de diferentes séries de concreto, com suas respectivas equações de Abrams.

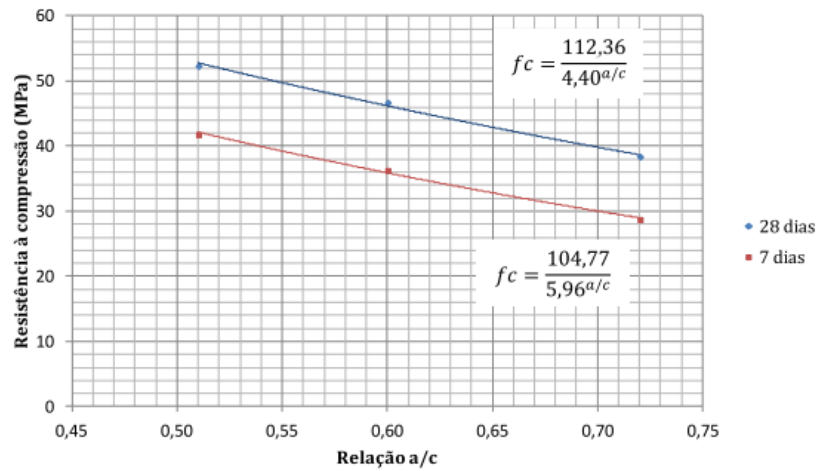


Figura 2.2- Resistência à compressão em função da relação água/cimento em idades de 7 e 28 dias para diferentes concretos (PALÁCIOS, 2012).

Relação agregados secos/cimento: segundo a lei de Lyse (1932), a consistência do concreto determinada pelo abatimento do tronco de cone é função da relação agregado secos/cimento (m), da relação água/cimento (a/c) e é independente do traço seco (1:a:p). Esta lei é mostrada nas Equações 2.2 e 2.3.

$$m = k1 + k2 * x \quad \text{Equação 2.2}$$

$$m = a + p \quad \text{Equação 2.3}$$

Onde:

- m : relação agregados secos/cimento, em massa (kg/kg)
- x : relação água/cimento, em massa (kg/kg)
- $k1, k2$: constantes da natureza dos materiais
- a : relação agregado miúdo seco/cimento, em massa (kg/kg)
- p : relação agregado graúdo seco/cimento, em massa (kg/kg)

Teor de argamassa seca: existe um teor ideal de argamassa seca “ α ” que descreve o proporcionamento entre areia e brita de um traço e é representado pela Equação 2.4, ao aumentar α significa que aumenta o consumo de cimento.

$$\alpha(\%) = \frac{1+a}{1+m} * 100 \quad \text{Equação 2.4}$$

Onde: α : teor de argamassa seca, em porcentagem.
 a : relação agregado miúdo seco/cimento, em massa (kg/kg)
 m : relação agregados secos/cimento, em massa (kg/kg)

Consumo de cimento: o consumo de cimento de um concreto se relaciona com o valor do traço seco “m” e é representado segundo a lei de Molinari conforme Equação 2.5.

$$C = \frac{1000}{k3+k4*m} \quad \text{Equação 2.5}$$

Onde: C : consumo de cimento por m³ de concreto (kg/m³)
 $k3, k4$: constantes da natureza dos materiais
 m : relação agregados secos/cimento, em massa (kg/kg)

O método de dosagem EPUSP/IPT, descrito no Manual de Dosagem e Controle do Concreto de Helene e Terzian (1993), estabelece um diagrama de dosagem esquematizado sobre três quadrantes onde são representadas as já mencionadas leis de comportamento do concreto como o obtido no estudo de Palácios (2012) e mostrado na Figura 2.3.

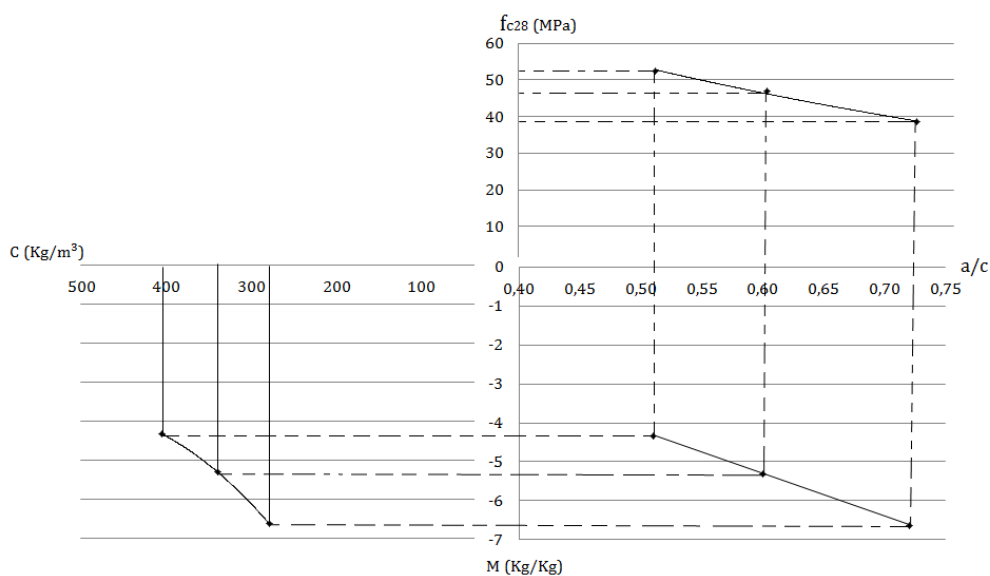


Figura 2.3- Diagrama de dosagem obtido no estudo de Palácios (2012).

2.2.1.2 Cimento

O cimento Portland é o mais importante aglomerante na produção do concreto. É produzido por pulverização de clínquer de cimento Portland, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, geralmente por intermoagem com pequenas quantidades de compostos de sulfato de cálcio para controlar as taxas de reação. Pode ser utilizada em combinação com adições minerais, tais como cinzas volantes, escória de alto forno, fíler calcário, sílica ativa ou argila calcinada (LAMOND E PIELERT, 2010).

A composição química do cimento é fundamental para determinar a resistência que pode ter o concreto. Existem quatro principais compostos mineralógicos no cimento: C_3S (silicato tricálcico), C_3A (aluminato tricálcico), C_2S (silicato dicálcico) e C_4AF (ferro aluminato tetracálcico). Um cimento com alto conteúdo de C_3S é responsável pela resistência do concreto nas primeiras idades, seguido por um desprendimento de calor relativamente alto durante o endurecimento; por outro lado, um cimento com alto conteúdo de C_2S produzirá altas resistências, mas num período de tempo maior, com menor calor de hidratação (TAYLOR, 1998).

O clínquer de cimento pode dar origem a vários tipos de cimento Portland, alguns são de fabricação corrente no Brasil por especificações aprovadas pelas normas NBR 5732:1991, 5733:1991, 5735:1991, 5736:1991 e 11578:1997. Na Tabela 2.3 se agrupam os tipos de cimento Portland (CP), as classes de resistências à compressão e sua proporção de adições minerais de filler (F), escória (E) ou pozolana (Z).

De acordo com Taylor (1998), em condições padrões de cura, o cimento Portland CP V-ARI hidrata-se mais rapidamente que o CP I, devido à maior finura e ao maior teor de C_3S em seu clínquer. O CP V-ARI, que é mais fino, hidrata-se mais rapidamente do que outros tipos. Assim, nas primeiras idades (1, 3 e 7 dias) e a uma dada relação água/cimento, o concreto com esse tipo de cimento terá uma porosidade mais baixa e, de modo correspondente, uma resistência mais alta. Por outro lado em comparação aos cimentos CP I, CP II e CP V-ARI, as taxas de hidratação e desenvolvimento da resistência com cimentos CP III e CP IV são mais lentas até 28 dias, depois dessa idade o grau de hidratação é semelhante.

Tabela 2.3- Nomenclatura dos cimentos Portland com suas respectivas resistências e adições minerais (ABNT NBR 5732, 5733, 5735, 5736 e 11578).

| Nome Técnico | | Sigla | Classe de Resistência (MPa) | Clínquer + Sulfato de Cálcio (%) | Adição (%) |
|---|--------------------------|----------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Cimento Portland Comum (NBR 5732) | CP Comum | CP I | 25-32-40 | 100 | 0 |
| | CP comum com adição | CP I-S | 25-32-40 | 99-95 | 1 a 5 de E, Z ou F |
| Cimento Portland Composto (NBR 11578) | CP Composto com Escória | CP II-E | 25-32-40 | 94-56 | 6 a 34 de E (0 a 10 de F) |
| | CP Composto com Pozolana | CP II-Z | 25-32-40 | 94-76 | 6 a 14 de Z (0 a 10 de F) |
| | CP Composto com Fíler | CP II-F | 25-32-40 | 94-90 | 0 a 10 de F |
| Cimento Portland de Alto-Forno (NBR 5735) | | CP III | 25-32-40 | 65-25 | 35 a 70 de E (0 a 5 de F) |
| Cimento Portland Pozolânico (NBR 5736) | | CP IV | 25-32 | 85-45 | 15 a 50 de Z (0 a 5 de F) |
| Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (NBR 5733) | | CP V-ARI | - | 100-95 | 0 a 5 de F |

2.2.1.3 Agregados

Os agregados são definidos como materiais granulares inertes quimicamente e representam um dos principais componentes do concreto comum. Devem cumprir com requisitos granulométricos que garantam uma distribuição de tamanho apropriada e que sejam relativamente livres de impurezas, tais como: material pulverulento (argilas, sais) e impurezas orgânicas, que podem provocar reações indesejáveis, impedindo uma perfeita aderência entre o cimento e as partículas de agregado.

Os agregados são classificados, segundo a ABNT NBR 7211:2009 – Agregados para concreto, quanto à dimensão de suas partículas em:

- a) Agregado miúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na malha de 0,15mm.
- b) Agregado graúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,75 mm.

Quanto às dimensões dos agregados graúdos, particularmente as britas empregadas correntemente para concreto se classificam na Tabela 2.4, segundo as faixas determinadas na série de peneiras normalizadas na NBR 7211-2009.

Tabela 2.4 - Classificação dos agregados quanto à dimensão dos grãos (NBR 7211-2009; RIBEIRO, 2002).

| Peneira Normalizada d/D (mm) | Classificação | Utilização |
|---------------------------------|---------------|--------------------------|
| 4,75/12,5 | Brita 0 | Concreto Convencional |
| 9,5/25 | Brita 1 | |
| 19/31,5 | Brita 2 | |
| 25/50 | Brita 3 | Concreto |
| 37,5/75 | Brita 4 | Massa |

Os agregados miúdos exercem influência preponderante sobre a trabalhabilidade do concreto, por possuírem elevada área específica, pela distribuição granulométrica, pela forma e textura dos grãos, entre outros. Qualquer alteração do seu teor na mistura provocará modificações significativas no consumo de água e, conseqüentemente, no consumo de cimento. Quantidades excessivas de areia aumentam a coesão da mistura e dificultam o lançamento e adensamento do concreto nas formas.

O módulo de finura está relacionado com a área superficial do agregado. Em geral, areias muito grossas podem produzir misturas de concreto ásperas e não trabalháveis, enquanto as muito finas aumentam o consumo de água (portanto, o consumo de cimento para uma dada relação a/c). Portanto, deve-se buscar uma distribuição granulométrica que resultará em concretos mais trabalháveis e econômicos, além de proporcionar uma estrutura interna mais fechada do concreto, com menos vazios, e uma maior dificuldade de penetração dos agentes agressivos. (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.2.1.4 Aditivos

A norma NBR 11768:2011- Aditivos para concreto de cimento Portland, define aditivo como o “produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5% da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de

modificar propriedades do concreto no estado fresco e/ou endurecido”. Existem diferentes tipos de aditivos entre os quais se encontram: redutores de água (plastificantes e superplastificantes), incorporadores de ar, retardadores e aceleradores.

Os aditivos plastificantes e superplastificantes, são produtos que sem alterar a quantidade de água modificam a consistência do concreto, aumentando o abatimento e a fluidez. Têm por finalidade melhorar a plasticidade do concreto, permitindo compactação e adensamento com menor gasto de energia e redução da quantidade de água, aumento de resistência e economia de aglomerante.

O aditivo incorporador de ar tem a propriedade de criar de maneira uniforme minúsculas bolhas de ar (com dimensões que variam de alguns micrômetros até 2 ou 3 mm) no interior do concreto e que permanecem no estado endurecido. O sistema formado é estável, não se desfaz pela vibração convencional. Dessa forma consegue-se: corrigir a granulometria do agregado miúdo (as bolhas de ar funcionam como se fossem grãos), melhorar a trabalhabilidade da mistura, impedir a percolação de água, reduzir a exsudação, diminuir a permeabilidade do concreto e minimizar os efeitos do gelo-degelo nos países frios. (LAMOND; PIELERT, 2010).

Conforme a norma NBR 11768:2011, os aditivos retardadores de pega diminuem o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto, enquanto, os aditivos aceleradores são aqueles que aumentam a velocidade de hidratação dos compostos do cimento Portland, reduzindo os tempos de início e fim de pega.

2.2.1.5 Lançamento e Adensamento

O concreto deve ser aplicado de forma a preencher completamente o volume das fôrmas. As peças de grandes alturas devem ser concretadas por etapas, para evitar a segregação do agregado graúdo. O lançamento do concreto deve efetuar-se a uma velocidade contínua que garanta seu fluxo facilmente entre o espaçamento do reforço. (ACI 318-SR-05, 2005)

No Manual do Concreto Dosado em Central (ABESC, 2007), mencionam-se algumas recomendações e cuidados ao lançar o concreto. No caso de lançamento por bombas, recomenda-se especificar o equipamento de lançamento: altura de lançamento, bomba

estacionária ou bomba-lança; prever o local de acesso e de posicionamento para os caminhões e bombas; garantir o estacionamento, próximo à bomba, para dois caminhões-betoneira, objetivando o fluxo contínuo de bombeamento; estabelecer a sequência de concretagem e o posicionamento da tubulação de bombeamento.

O adensamento do concreto visa eliminar os vazios nos processo de mistura, transporte e lançamento. Deve ser feito imediatamente após o lançamento. Esta operação pode ser executada com processos mecânicos (vibração).

Os fatores que têm mais influência para um adequado adensamento do concreto são a consistência e coesão do concreto, as dimensões e rugosidade das fôrmas, a densidade de armaduras e o processo de adensamento.

2.2.1.6 Cura

Segundo o manual do ACI 308-R-01 (2001), o termo “cura” descreve os procedimentos adotados para manter um teor de umidade satisfatório, evitando a evaporação de água da mistura, garantindo ainda uma temperatura favorável ao concreto durante o processo de hidratação dos materiais aglomerantes, de modo que se possam desenvolver as propriedades desejadas.

A cura em concretos de alto desempenho é muito importante no sentido de evitar que o concreto perca a água responsável pela hidratação dos compostos presentes na pasta de cimento, principais responsáveis pelo ganho de resistência no concreto, além de promover maior durabilidade em seu estado endurecido. Os concretos dosados com uso de adições minerais necessitam de um período de cura mais longo, a fim de garantir o desenvolvimento das reações pozolânicas (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Em concretos usuais a cura adequada evita a perda de água muito rapidamente, o que pode levar a fissuração e micro fissuração do concreto.

A perda excessiva de água por evaporação pode impedir uma hidratação adequada. Se a perda de água por evaporação excede a quantidade de água disponível para a hidratação, o processo de hidratação pode realmente parar. Em tal caso, as propriedades do concreto não se desenvolvem completamente. A perda de água também pode gerar retração do concreto,

criando assim tensões no interior da sua matriz. Se essas tensões se desenvolvem antes do concreto atingir a resistência suficiente, isso pode gerar fissuração (ACI 308-R-01, 2001).

2.2.2 Resistências de dosagem (f_{cj}) e Característica (f_{ck})

O f_{ck} , resistência característica à compressão do concreto, é um valor estatístico que engloba a média e a dispersão dos resultados dos corpos de prova ensaiados permitindo definir e qualificar um concreto por apenas um único valor característico. Este valor, no entanto, é baseado em uma distribuição de frequência de tendência normal.

Para garantir a obtenção do f_{ck} de projeto é calculada uma tensão de dosagem f_{cj} superior à tensão característica. O f_{cj} corresponde ao valor da resistência média obtido dos ensaios de ruptura à compressão, a j dias. Quando não for especificada a idade, j se refere a 28 dias. Este valor depende do tipo de controle de qualidade da obra, geralmente quanto mais rigoroso for este controle, menor será a tensão de dosagem, pois maior precisão poderá ser garantida à obtenção do f_{ck} (ARAÚJO; RODRIGUEZ; FREITAS, 2003).

Segundo a norma NBR 6118:2007 a resistência característica é adotada como valor referencial pelo projetista estrutural e admite que 95% do volume de concreto avaliado tenha resistência à compressão acima desse valor, como mostrado na Figura 2.4.

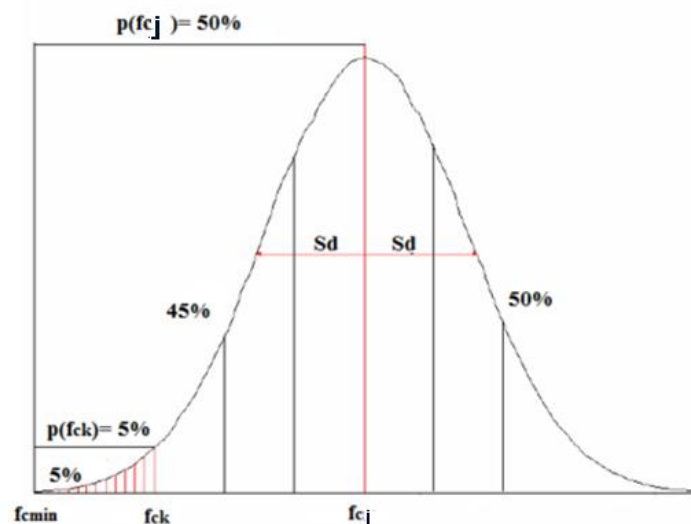


Figura 2.4- Distribuição de densidade de frequência relativa de resistência (PEREIRA, 2008).

Assim conhecendo o valor característico da resistência à compressão e o desvio padrão de um lote de concreto, o valor médio, a sua resistência de referência é dada pela Equação 2.6.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 Sd \quad \text{Equação 2.6}$$

Sendo: f_{ck} = Resistência característica com 95% de probabilidade de ser superado, MPa

f_{cj} = Resistência média do concreto à compressão, obtida a j dias, MPa

Sd = Desvio padrão do processo de produção da dosagem, MPa

2.3 RELAÇÃO ENTRE A RESISTENCIA POTENCIAL E EFETIVA DO CONCRETO

A resistência potencial do concreto é a obtida dos corpos de prova moldados no controle tecnológico. É considerada a resistência à compressão alcançada pelo material quando se aperfeiçoa todas as condições de transporte, lançamento, adensamento e cura. A resistência potencial é o valor de referência para definição da resistência característica (f_{ck}).

A avaliação da resistência nas estruturas acabadas é complexa. Corpos de prova moldados dão informação da resistência potencial do concreto, mas não necessariamente dão informação direta sobre o concreto real na estrutura. A resistência real ou efetiva do concreto é o valor obtido da própria estrutura aos 28 dias de idade, e está submetido às características inerentes à produção das peças estruturais tais como: diferenças de geometria, cura, adensamento e segregação interna.

Na Figura 2.5 se apresenta um esquema simplificado sobre o significado da resistência real e potencial do concreto. De um lado verifica-se a resistência efetiva do concreto aplicado na obra, material submetido às diferentes operações pertinentes a execução e do outro lado tem-se o concreto obtido de amostras para ensaio e controle. Neste caso o material é submetido a operações de ensaios padronizados que visam mensurar a resistência potencial do concreto (HELENE; TERZIAN, 1993).

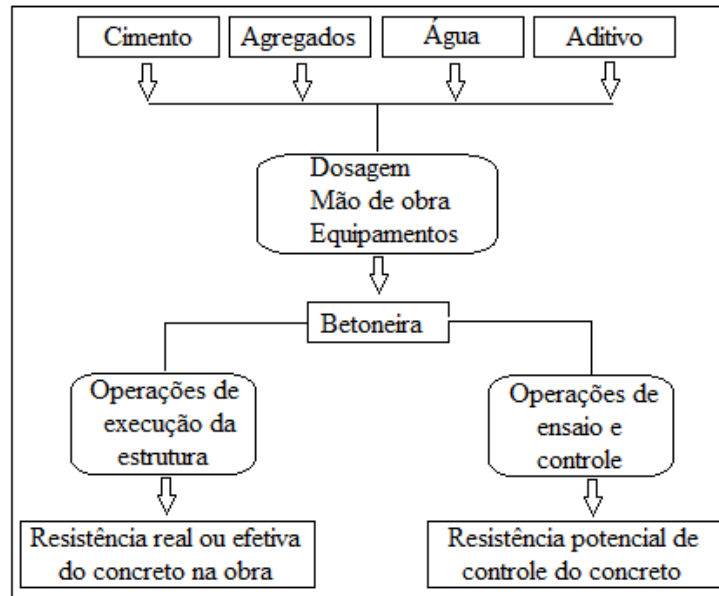


Figura 2.5- Significado da resistência à compressão do concreto obtida através do controle do concreto (HELENE; TERZIAN, 1993).

A resistência real ou efetiva pode ser conhecida em casos especiais, quando for possível ensaiar e romper o próprio componente estrutural. A correspondência entre a resistência potencial do concreto à compressão, obtida através das operações de ensaio e controle, e a resistência real ou efetiva do concreto na estrutura deve ser estruturada aplicando coeficientes de norma que envolvam os serviços envolvidos (VIEIRA FILHO, 2007).

As variáveis que intervêm nessa correspondência são englobadas pelo coeficiente γ_c , segundo a NBR 6118:2007 denominado coeficiente de ponderação ou de minoração da resistência dos materiais. No caso de testemunhos extraídos da estrutura (resistência efetiva), a norma admite dividir o valor γ_c por 1,1, para assim compará-lo com a resistência potencial. Helene e Terzian (1993) concluem que o uso do γ_c equivale a dizer que a resistência à compressão do concreto na estrutura será sempre inferior, na mesma idade, à resistência à compressão obtida dos corpos-de-prova de controle.

O processo de produção do concreto, desde a consideração da variabilidade das características dos seus componentes, passando pelas etapas de mistura, transporte, lançamento, adensamento e, por fim, a cura, introduz uma série de variáveis de difícil quantificação, que levam a se considerar esta resistência “in loco” admitida como real,

como inferior a dos corpos-de-prova supracitados, moldados e curados sob condições ideais. (VIEIRA FILHO, 2007).

2.4 CONTROLE E RECEBIMENTO DO CONCRETO

O principal objetivo do controle da resistência à compressão do concreto é a obtenção de um valor potencial, único e característico da resistência à compressão de certo volume ou lote de concreto, a fim de comparar esse valor com aquele que foi especificado no projeto estrutural e, conseqüentemente, tomado como referência para o dimensionamento da estrutura. (HELENE e TERZIAN, 1993).

Segundo Petrucci (2005), controle tecnológico do concreto deve abranger tanto quanto possível as fases discriminadas a seguir:

- Verificação da dosagem utilizada pelo executor da obra, visando ao atendimento das condições de trabalhabilidade, resistência, durabilidade e estética, de acordo com as exigências do projeto;
- Estudo de cada um dos materiais componentes do concreto: cimento, água, agregados miúdos e graúdos, e aditivos;
- Determinação da resistência à compressão simples através da moldagem e ensaio de corpos de prova de concreto;
- Controle estatístico periódico das resistências obtidas, para ajuizar a homogeneidade do concreto e sugerir as necessárias adaptações do traço.

A norma NBR 12655:2006 estabelece os parâmetros sobre o preparo, controle e recebimento do concreto. O controle tecnológico do concreto pode dividir-se em duas formas: Controle em seu estado fresco em quanto ao recebimento e a trabalhabilidade; e o controle no estado endurecido em quanto à resistência a compressão e formação dos lotes.

O controle no recebimento se realiza tendo em conta a determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone, normalmente chamado de Slump Test e normatizado pela NBR NM 67:1998. Este método não se aplica em concretos com agregado graúdo cuja dimensão nominal máxima seja superior a 37,5mm.

Enquanto ao controle no estado endurecido, a norma NBR 12655:2006 também especifica as etapas do controle da resistência do concreto em: formação de lotes, retirada de amostras, definição de exemplares, determinação do f_{ckest} e avaliação e análise dos resultados.

Conforme explica a norma NBR NM 33:1998, as amostras devem ser coletadas de forma aleatória durante a concretagem. Cada exemplar deve ser constituído por dois corpos-de-prova da mesma betonada, para cada idade de rompimento e moldados no mesmo ato, conforme a NBR 5738:2003. Deve-se tomar como resistência do exemplar o maior dos dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Para determinar o valor estimado da resistência característica, f_{ckest} , se consideram dois tipos de controle da resistência do concreto:

1. *Controle estatístico por amostragem parcial*: O número de amostras deve ser de não mínimo seis exemplares para concretos com classe de resistência no grupo I (C20 até C50) e 12 para concretos do grupo II (C55 até C100).

- Para lotes com números de exemplares $6 \leq n < 20$, o f_{ckest} na idade especificada, é dado por:

$$f_{ckest} = 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \quad \text{Equação 2.7}$$

Onde: $m=n/2$ despreza-se o valor mais alto de n , se for ímpar;
 f_1, f_2, \dots, f_m valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

Não se deve tomar para f_{ckest} valor menor que $\Psi_6 f_1$, adotando-se para Ψ_6 os valores da Tabela 2.5, admitindo-se interpolação linear.

Tabela 2.5- Valores de Ψ_6 , NBR 12655:2006, modificada.

| Condição de preparo | Número de exemplares (n) | | | | | | |
|---------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|-----------|
| | 6 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 | ≥ 16 |
| A | 0,92 | 0,94 | 0,95 | 0,97 | 0,99 | 1,00 | 1,02 |
| B ou C | 0,89 | 0,91 | 0,93 | 0,96 | 0,98 | 1,00 | 1,02 |

As condições de preparo estão especificadas no item 5.6.3.1 da norma 12655:2006. A condição de preparo A, aplicável às classes C10 até C80, o cimento e os agregados são medidos em massa, a água medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função dos agregados.

- Para lotes com número de exemplares $n \geq 20$

$$f_{ckest} = f_{cj} - 1,65 Sd \quad \text{Equação 2.8}$$

Onde: f_{cj} = Resistência média do concreto à compressão, obtida a j dias, MPa

Sd = Desvio padrão do processo de produção da dosagem, MPa

2. *Controle por amostragem total*: Consiste no ensaio de exemplares de cada amassada de concreto e aplica-se a casos especiais. Neste caso não há limitação para o número de exemplares do lote e o valor estimado da resistência característica é dado por:

$$- f_{ckest} = f_1, \text{ para } n \leq 20$$

$$- f_{ckest} = f_{ij}, \text{ para } n > 20 . \text{ Onde } i = 0,05n$$

Se o resultado do f_{ckest} estiver abaixo da especificação do projeto (f_{ck}), ou seja, abaixo dos critérios de aceitação significa que existe uma não conformidade desse concreto. A norma NBR 6118:2007 recomenda adotar as seguintes ações corretivas:

- Revisão do projeto;
- Extração de testemunhos e verificação da estrutura;
- Ações corretivas (realizar ensaios de avaliação estrutural para determinar as restrições de uso da estrutura, projeto de reforço ou demolição).

Quando ocorre não conformidade da resistência potencial do material, destaca-se a extração e rompimento de testemunhos como o principal ensaio para avaliar a resistência real do concreto. Assim como também se consideram viáveis o uso de ensaios não destrutivos que permitem estimar indiretamente a resistência por meio de curvas de correlação (PALÁCIOS, 2012).

2.5 ESTIMAÇÃO *IN LOCO* DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO MEDIANTE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E SEMI-DESTRUTIVOS

Técnicas de construção rápida e falhas de construção enfatizam a necessidade de adoção de métodos para a determinação *in loco* da resistência do concreto. A avaliação da resistência efetiva do concreto pode ser realizada mediante a execução de ensaios *in loco* não destrutivos e semi-destrutivos. Estes ensaios têm como objetivo estimar um valor imediato da resistência do concreto na estrutura já executada para avaliar a capacidade estrutural subsequente, ou para localizar defeitos internos num elemento estrutural. É necessário ter uma correlação prévia entre o resultado do teste *in loco* e a resistência do concreto. Os ensaios não destrutivos não prejudicam o desempenho da estrutura quando submetida ao ensaio, e não se necessita demolir a peça. Por tanto sua utilização é uma ferramenta importante para os profissionais envolvidos no controle de obras.

Dentre os ensaios *in loco*, a esclerometria se destaca como um dos métodos não destrutivos mais usados para verificação da homogeneidade do concreto do elemento estrutural, por ser muito simples e barato. Este ensaio é usado para prever a resistência do concreto, sempre que existam curvas de correlação utilizando os mesmos materiais do concreto a ser avaliado. Também é usado como ensaio auxiliar na extração de testemunhos, visando diminuir assim o número de testemunhos a serem extraídos para avaliar um grande volume de concreto (ACI 228.1R-03, 2003).

Segundo Lorenzi (2009), o emprego de ensaios não destrutivos está associado à construção civil, entre outras, nas seguintes situações: no controle tecnológico em pré-moldados ou construções, na aceitação ou rejeição de materiais fornecidos, na localização e determinação da extensão de fissuras, vazios e falhas de concretagem e na avaliação da durabilidade do concreto.

Os ensaios semi-destrutivos são aqueles onde se retiram pequenos pedaços da estrutura sem causar-lhe danos importantes, que possam levar à diminuição da capacidade portante. Neste caso, os prejuízos são apenas estéticos. Alguns destes ensaios envolvem custo consideravelmente elevado, além do fato de que ensaios como extração de testemunhos, por exemplo, nem sempre é possível devido à insuficiência de seção dos elementos estruturais em questão ou do avançado grau de deterioração da estrutura (ANDRADE, 2012).

Segundo Malhotra (2004), os métodos de ensaios não destrutivos para concreto podem ser divididos em duas classes. A primeira classe consiste nos métodos que são utilizados para estimar a resistência. Tais como esclerometria, resistência à penetração, break-off, pull-off, e as técnicas de maturidade. Alguns destes métodos são semi-destrutivos porque eles causam alguns danos na superfície, o que é, no entanto, menor dano em comparação com o produzido pela extração de testemunhos.

A segunda classe inclui os métodos que medem outras características do concreto, tais como teor de umidade, densidade, espessura, resistividade e permeabilidade. Também estão incluídos nesta classe os métodos tais como a propagação de ondas de tensão e técnicas de termografia infravermelha, que são utilizados para localizar separações, vazios e fissuras no concreto. .

Tomando como referência principal Malhotra (2004), a seguir são apresentados alguns dos principais ensaios in loco utilizados atualmente:

- *Break-off*

Dentro dos diferentes ensaios semi-destrutivos ou parcialmente destrutivo, atualmente disponíveis, apenas os ensaios de *break-off* e *pull-out* ou arrancamento servem para medir o parâmetro de resistência do concreto de forma direta.

O teste de *break-off* consiste em romper in loco uma amostra cilíndrica de concreto com dimensões de 55mm de diâmetro e uma altura de 70mm. A amostra é criada no concreto por meio de uma manga tubular de plástico descartável, o qual é lançado para dentro do concreto fresco e, removida no momento previsto do teste ou por perfuração do concreto

endurecido. A força necessária para romper a amostra é medida por um manômetro mecânico. A Figura 2.6 representa um diagrama esquemático do ensaio de *break-off* para uma amostra cilíndrica de concreto obtida pela inserção de uma manga ou a perfuração de um núcleo. A figura também mostra a localização da carga aplicada no topo da amostra do teste.

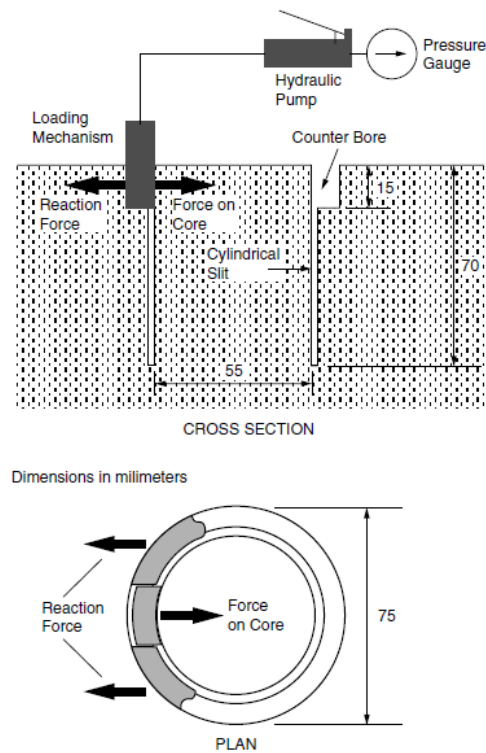


Figura 2.6- Esquema de uma amostra cilíndrica de concreto obtida pela inserção de uma manga ou a perfuração de um núcleo, e a localização da carga aplicada (MALHOTRA, 2004).

A força do *break-off* pode ser relacionada com a resistência à compressão ou à flexão do concreto utilizando uma correlação ou curva pre-determinada. As seguintes precauções devem ser tomadas durante o desenvolvimento de dados para correlações:

1. Manter as distâncias da borda de, pelo menos, 150 mm no processo de inserção de mangas ou perfuração.
2. Obter um mínimo de cinco leituras do ensaio *break-off* e três correspondentes valores de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, e vigas para a resistência à flexão, para cada idade de teste.

3. Garantir os intervalos de resistência do concreto esperado no projeto, no início, bem como em idades posteriores, tais como 1, 3, 5, 7, 14 e 28 dias.

- *Velocidade de onda de ultrassom*

Um gerador de ondas envia um sinal de curta duração e alta voltagem a um transdutor, fazendo com que o transdutor vibre na sua frequência de ressonância. No início do pulso elétrico, um temporizador eletrônico é ligado e as vibrações são transmitidas ao concreto por meio de um acoplamento viscoso, esta vibração viaja através do concreto até o receptor. Quando o pulso é recebido o temporizador é desligado (ACI 228.1R, 2003). Um diagrama esquemático é mostrado na Figura 2.7.

O método pode ser usado para detectar fissuras internas e outros defeitos como deterioração devido aos ambientes agressivos. A técnica utiliza ondas que não geram nenhum dano no elemento testado, permitindo monitorar constantemente mudanças estruturais internas durante um longo período de tempo.

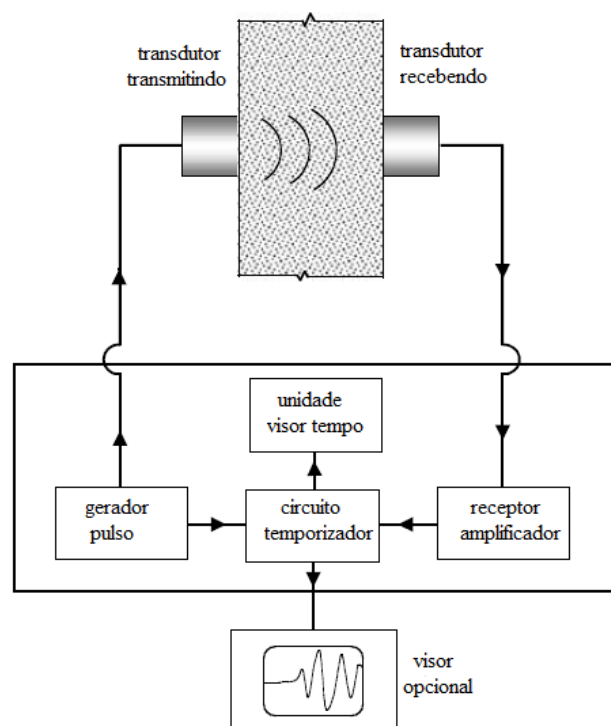


Figura 2.7- Esquema do circuito para medir velocidade de onda ultrassom, adaptado (MALHOTRA, 2004).

Para concreto são geralmente utilizados os transdutores com frequências de 25 a 100 kHz. Transdutores de alta frequência (acima de 100 kHz) são usados para amostras de tamanho pequeno com comprimento do trajeto relativamente curto, ou para concretos de alta resistência. Enquanto que transdutores de baixa frequência (abaixo de 25 kHz) são usados para amostras maiores cujo comprimento de trajeto é relativamente mais longo, ou concretos com agregados de maior tamanho.

Os fatores que podem afetar o resultado deste ensaio são: tamanho, tipo e quantidade de agregados; tipo de cimento; relação a/c; aditivos; idade do concreto; contato do transdutor; comprimento do trajeto; tamanho e formas do espécimen; presença de aço e nível de carregamento, entre outros.

- Pull-Off ou Arrancamento

O teste de *pull-off* faz parte dos testes parcialmente destrutivos ou semi-destrutivos. É baseado no conceito de que a força de tração necessária para puxar um disco de metal juntamente com uma camada de concreto, a partir da superfície à qual está ligado, está relacionada com a resistência à compressão do concreto.

Neste teste se têm dois procedimentos básicos que podem ser utilizados, mostradas na Figura 2.8. Em um deles o disco de metal é ligado diretamente à superfície do concreto e o volume de concreto pressionado fica perto da face do disco, e no outro é onde a superfície de carbonatação ou efeitos superficiais estão presentes e estes podem ser evitados pelo uso de descaroçamento parcial até uma profundidade adequada.

O aparelho utilizado para aplicar e gravar a força de tração é conhecido como um "Limpet" e aplica-se uma força de tração máxima de 10 kN a uma taxa de cerca de 6 kN/min por meio de uma haste roscada aparafusada no disco de metal.

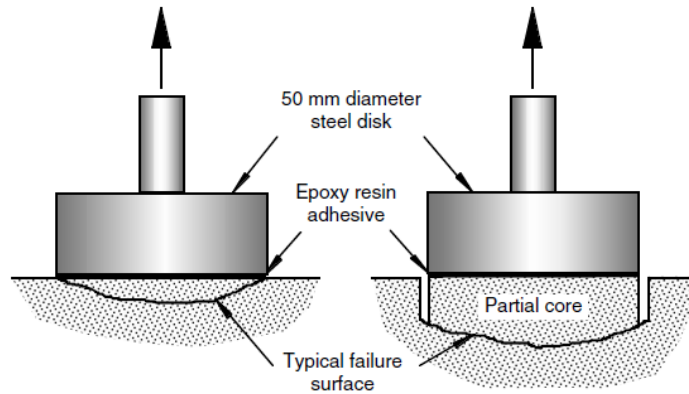


Figura 2.8- Esquema dos procedimentos que podem ser utilizados para o teste de arrancamento (MALHOTRA, 2004).

A principal vantagem do teste de *pull-off* é que ele é simples e rápido de executar. A principal limitação do método é o tempo de cura necessário para a cola. Na maioria das situações, é uma prática normal aplicar os discos um dia antes do teste. Devido a casos de condições ambientais desfavoráveis ou preparação incorreta da superfície, é recomendado que sejam utilizados, pelo menos, seis discos para estimar a resistência à compressão.

- Maturidade

No método de maturidade foi proposto que a evolução da temperatura medida durante o período de cura pode ser utilizado para estimar a resistência do concreto. Este método é utilizado durante o período de cura e não é aplicável a estruturas de concreto existentes. Saul (1951) sugeriu que a maturidade deve ser calculada em relação a uma "temperatura de referência", que é a temperatura mais baixa à qual se observa o ganho de resistência no concreto. Procedimentos para a utilização do método de maturidade são padronizados na norma ASTM C 1074.

Para a aplicação do método de maturidade são necessários três elementos:

1. A função da maturidade dos materiais do concreto
2. A relação de resistência-de maturidade para a mistura de concreto a ser usado na construção
3. Medição da história térmica no local

A determinação da temperatura de referência basicamente consiste em que os cubos de argamassa feitos com os materiais a serem utilizados sejam curados a três temperaturas, duas das temperaturas devem ser a temperaturas mínima e máxima de cura esperados para o concreto no local, e a terceira temperatura deve ser a temperatura média entre os extremos. Os cubos são testados quanto à resistência à compressão e com intervalos de tempo regulares. A história da temperatura das amostras é gravada para avaliar o índice de maturidade nas idades de ensaio correspondentes. A análise de regressão dos dados pode ser usada para construir uma descrição matemática da relação resistência-índice de maturidade.

Para desenvolver a relação resistência-maturidade, as amostras de concreto cilíndricas são preparadas usando as proporções e materiais do concreto a ser usado na construção. Depois de moldar os cilindros, os sensores de temperatura são incorporados no centro de, pelo menos, dois cilindros. Os sensores são conectados a instrumentos que calculam automaticamente índice de maturidade como mostrado na Figura 2.9.



Figura 2.9- Cilindro de concreto instrumentado com o medidor de maturidade e submetidos a cura úmida padrão (MALHOTRA, 2004).

Para a realização do ensaio in loco, os sensores são conectados a instrumentos de maturidade ou dispositivos de registro de temperatura que são ativados após a colocação de concreto. Quando uma estimativa de resistência é desejada, o valor de maturidade é lido. Utilizando os valores de índice de maturidade e a relação resistência - maturidade previamente estabelecida, se estima a resistências à compressão nos locais dos sensores.

A norma britânica BS 1881-109:1983 considera vários critérios para a escolha de um método de ensaio determinado, sendo alguns deles:

- a) custos diretos e indiretos envolvidos na realização dos ensaios;
- b) condições da zona a investigar da estrutura;
- c) acessibilidade para a realização de um determinado ensaio;
- d) efeito do possível dano produzido ao elemento estrutural investigado
- e) precisão requerida na estimativa da resistência à compressão do concreto.

2.5.1 Ensaio de Esclerometria

2.5.1.1 Descrição do método de ensaio

O método de avaliação de dureza superficial utilizando o esclerômetro de Schmidt (1948) consiste em impactar uma superfície com uma dada energia de impacto, é baseado no princípio de que a reflexão de uma massa elástica, lançada contra a superfície, depende da dureza dessa superfície.

O equipamento pesa cerca de 1,8 kg e tem dentro uma mola principal e um êmbolo, quando se choca por meio de uma haste com ponta de forma semiesférica contra a superfície de concreto em ensaio, ele sai e empurra a mola, depois que golpeia na superfície ele retorna pela lei simples da física onde toda ação têm uma reação de mesma intensidade, em sentido contrário.

No caso do esclerômetro de reflexão, a energia de impacto é, em parte, consumida na deformação plástica permanente, provocada na superfície em ensaio e, em parte, refletida elasticamente proporcionando o retorno do martelo. A distância do rebote é registrada como um "número de rebote", esse valor é chamado de índice esclerométrico (IE) ou índice de reflexão (MALHOTRA, 2004). A Figura 2.10 mostra um esquema ilustrando a operação do esclerômetro de reflexão.

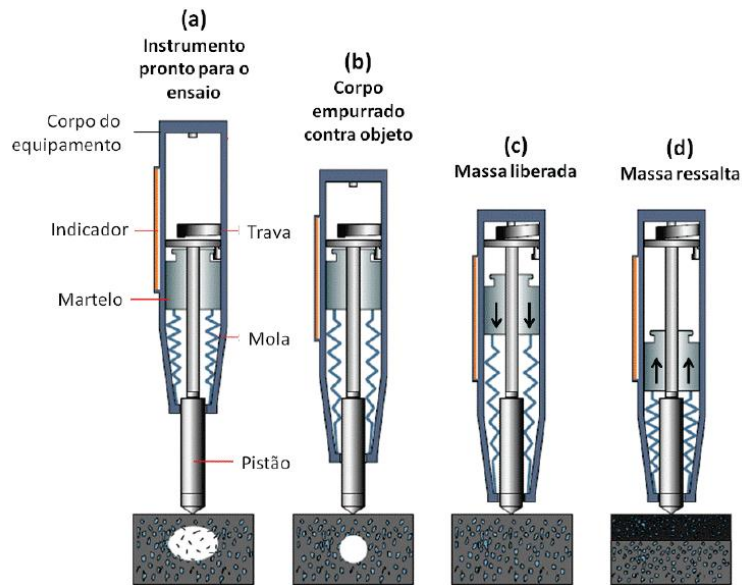


Figura 2.10- Esquema ilustrando o funcionamento do esclerômetro de reflexão (MALHOTRA, 2004).

Malhotra (2004) menciona os diversos fatores que afetam os resultados do ensaio de esclerometria:

1. Textura da superfície de ensaio: uma superfície de textura grosseira ou rugosa provoca esmagamento excessivo na ponta do êmbolo reduzindo o número de rebote medido. Para obter melhores resultados se utiliza uma pedra de carborundum para alisar a superfície de ensaio.

2. O tamanho, forma e rigidez do elemento a ensaiar: Para amostras de concreto com seções pequenas como paredes, cubos de 152 mm ou corpos de prova de 150 mm x 300 mm, qualquer movimento sob o impacto pode diminuir as leituras de rebote. Nesses casos, o elemento tem que ser mantido rigidamente apoiado por uma massa pesada. No caso dos corpos de prova cilíndricos a carga de retenção eficaz para obter resultados consistentes é cerca de 15% da resistência final.

A norma NBR 7584:2012 recomenda evitar área de ensaio em elementos de concreto com dimensões menores que 100 mm na direção do impacto, devido a que estes não são suficientemente rígidos e provocam a interferência de fenômenos de ressonância, vibração e dissipação de energia.

3. Idade do concreto: não é recomendado o uso do Esclerômetro Schmidt para testar resistências de concretos nas primeiras idades, ou onde a resistência do concreto seja inferior a 7 MPa, principalmente, porque a precisão das leituras do número de rebote será muito baixa e o martelo pode danificar a superfície.

4. Superfície e condições de umidade interna do concreto: o grau de saturação do concreto tem um efeito decisivo nos resultados do ensaio. Avaliações realizadas em amostras bem curadas e testadas na condição de superfície úmida, mostram leituras de rebote 5 pontos mais baixos do que quando é testado o concreto totalmente seco. Para amostras de concreto armazenadas durante três anos em condição úmida e outras em condição seca, existe uma diferença no número de rebote de 10 a 12 pontos, representando cerca de 14 MPa de diferença na resistência à compressão.

5. Tipo de agregado graúdo: concretos com agregados graúdo calcário moído mostram cerca de 7 pontos menos do que aqueles feitos com agregado graúdo maior, o que representa cerca de 7 MPa de diferença na resistência à compressão.

6. Tipo de cimento: concretos de cimento com alta alumina podem ter resistências 100% maiores do que as obtidas em concreto feito de cimento Portland comum. Além disso, concreto de cimento super sulfatado pode ter resistência 50% menor do que a resistência do concreto com cimento Portland comum.

7. A carbonatação da superfície de concreto: os efeitos de carbonatação são mais graves em concretos com maior idade quando a camada carbonatada pode ser de vários milímetros de espessura. Em tais casos, o número de rebote pode ser até 50% mais elevado do que os obtidos sobre uma superfície de concreto não carbonatada.

O ensaio de dureza superficial do concreto pelo esclerômetro de reflexão é prescrito no Brasil pela norma ABNT NBR 7584:2012 e nos EUA padronizado pela ASTM C 805:2008. Para a execução do ensaio deve ser feita uma série de no mínimo 9 e no máximo 16 impactos, distantes entre si 30 mm em pontos distribuídos uniformemente na região de ensaio, cujas dimensões são de 90 mm x 90 mm a 200 mm x 200 mm. Calcula-se a média aritmética dos 16 valores individuais, tendo como resultado o índice esclerométrico efetivo (IE) correspondente a uma única área de ensaio. Descarta-se todo índice esclerométrico

que esteja afastado em mais de 10% do valor médio e se procede ao cálculo da nova média.

A norma NBR 7584:2012 recomenda escolher pontos sem armadura e sem vazios, devido ao fato do aparelho ser sensível as variações do concreto, o índice esclerométrico será alto se o golpe ocorre sobre o agregado, ou sobre armadura e ao contrário o índice esclerométrico será baixo quando o golpe ocorra num vazio.

O esclerômetro pode ser aplicado na posição vertical para cima, horizontal ou vertical para baixo, mas sempre em posição ortogonal à área de ensaio. Para corrigir o valor médio do índice esclerométrico obtido de uma área de ensaio para um índice esclerométrico correspondente à posição horizontal devem ser usados os coeficientes de correção fornecidos pelo fabricante do aparelho.

2.5.1.2 Correlação entre índice esclerométrico e resistência à compressão

Cada esclerômetro está equipado com curvas de correlação desenvolvidas pelo fabricante. No entanto, não se recomenda a utilização dessas curvas porque os materiais e as condições de ensaio podem não ser compatíveis com os utilizados quando a calibração do instrumento foi executada.

A norma ASTM C 805:2008 Método de ensaio de esclerometria para concreto endurecido estabelece que se deve ter uma relação para uma determinada mistura de concreto e um determinado aparelho. Para estimar a resistência durante a construção, se estabelece a relação realizando ensaios de esclerometria em corpos-de-prova moldados e para estimar a resistência de uma estrutura existente, se estabelece uma correlação com testemunhos extraídos de locais correspondentes.

Diferentes autores utilizando dados experimentais obtidos de estudos feitos no laboratório propuseram curvas que representam a correlação entre o índice esclerométrico (IE) e a resistência à compressão (f_c).

Na Tabela 2.5 são apresentadas as equações de correlações fundamentais estudadas e propostas por: Evangelista (2002), Machado (2005), Câmara (2006), Aydin e Saribiyik

(2010), Joffily (2010), Pereira e Medeiros (2012) e Palácios (2012). Estas correlações foram classificadas de acordo ao tipo e tamanho máximo do agregado graúdo, ao teor de argamassa (α) e as faixas de resistência do concreto estudado em MPa.

Dentre os modelos testados foram adotadas as curvas de regressão segundo o critério do maior coeficiente de determinação (R^2), que representam o melhor ajuste dos dados encontrados em cada um dos estudos.

Tabela 2.6- Equações propostas para correlacionar IE e f_c .

| Autor | Equação | Agregados | Resistência à compressão (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: 19mm Gnaisse: 9,5mm Traquito: 19mm | 11-53 10-46 8-49 |
| Machado (2005) | $f_c = (0,026)IE^{2,044}$ | Gnaisse, Sienito: 19mm | 15-50 |
| Câmara (2006) | $f_c = (1,8538)IE - 25,126$ $f_c = (2,233)IE - 25,386$ | Cura ao ar. 9,5 e 19 mm $\alpha=47\%$ Cura úmida. 9,5 e 19mm $\alpha=47\%$ | 12-45 8-45 |
| Aydin e Saribiyik (2010) | $f_c = (11,612)IE - 52,033$ | Calcário Britado | 15-50 |
| Joffily (2010) | $f_c = (2,9049)IE - 53,61$ | Calcário 19mm; $\alpha=48\%$ | 25-50 |
| Pereira e Medeiros (2012) | $f_c = (1,4549)IE - 15,269$ | Calcário: 9,5 a 25mm; $\alpha=52\%$ | 30-45 |
| Palácios (2012) | $f_c = 3,13IE - 64,842$ | Calcário 19mm; $\alpha=54\%$ | 39-52 |

Nota: α é o teor de argamassa seca

Como exemplo se apresenta a correlação proposta por Palácios (2012), representada na Figura 2.11, mostrando que quanto maior o índice esclerométrico maior é a resistência à compressão do concreto.

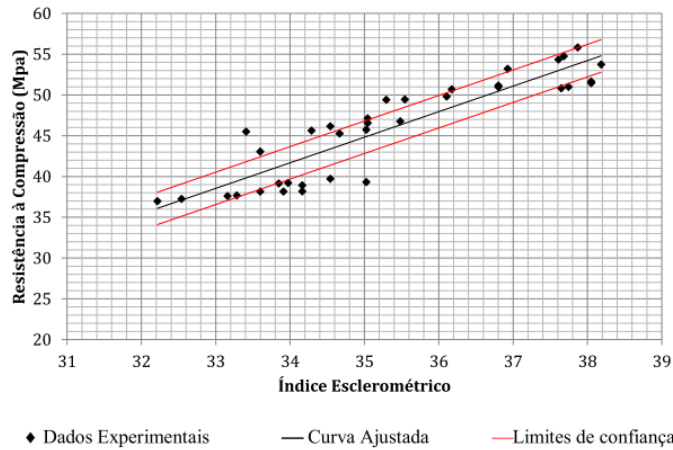


Figura 2.11- Relação entre índice esclerométrico e resistência à compressão (PALÁCIOS, 2012).

2.5.2 Ensaio de Penetração de Pino

2.5.2.1 Descrição do método de ensaio

O primeiro método de penetração foi o “Windsor Probe”, o qual foi desenvolvido em 1964 nos Estados Unidos. Já no ano de 1978 o engenheiro Pontes Vieira adapta o ensaio de penetração de pino no Brasil, mas ainda não possui norma brasileira (VIEIRA, 1978)

Vieira utilizou uma pistola da marca Walsywa, pinos lisos de aço com 55 mm de comprimento e bitola de ¼ de polegada e cartuchos calibre 22 curtos também conhecidos como finca pinos para ativar a pistola. Na figura 2.12 se apresenta o esquema da pistola mostrando a localização do pino para garantir uma energia de propulsão máxima (A) e mínima (B).

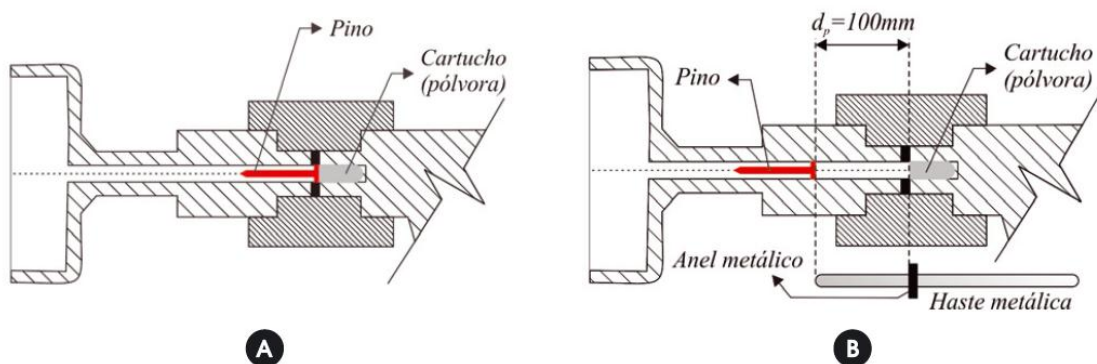


Figura 2.12- Esquema da localização do pino na pistola para disparo com energia máxima (A) e mínima (B) (DA SILVA *et al.*, 2012).

Segundo o manual da ACI 228.1R-03, 2003 o ensaio consiste em que uma determinada quantidade da energia cinética inicial do pino disparado é parcialmente absorvida durante a penetração, em grande parte, através de trituração e fratura do concreto e, em menor parte, por atrito entre o pino e o concreto. A penetração do pino provoca a fratura do concreto dentro de uma zona em forma de cone por baixo da superfície, com fissuras propagando-se à superfície, como se mostra na Figura 2.13.

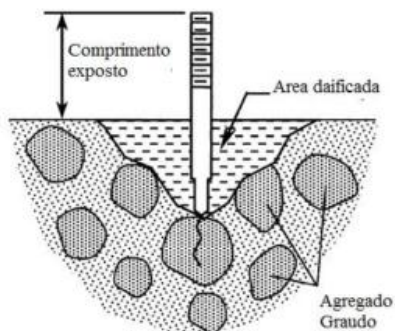


Figura 2.13- Forma aproximada da zona danificada do concreto durante a penetração do pino (ACI 228.1R-03, 2003).

A penetração do pino se relaciona a algum parâmetro de resistência do concreto abaixo da superfície, o que faz com que seja possível estabelecer relações empíricas úteis entre a profundidade de penetração e a resistência à compressão.

Joffily (2010) determinou a partir de um estudo piloto que a distância entre os disparos deve ser mínimo de 20 cm para diminuir a possibilidade de interferências de fissuras superficiais, e a potência da pistola deve ser baixa correspondendo a uma profundidade de 4,75 cm dentro do cano da pistola como mostrado na Figura 2.14.



Figura 2.14- Posição do pino dentro do cano da pistola (JOFFILY, 2010).

A ASTM C 803:2010 método de ensaio para resistência à penetração de concreto endurecido, menciona que a área a ser testada deve ter um acabamento de superfície lisa. Os comprimentos expostos dos pinos individuais são medidos por um medidor de profundidade. Conhecendo-se o comprimento total do pino, obtêm-se o comprimento cravado do mesmo no concreto.

A energia de penetração da pistola é o suficientemente grande para eliminar o efeito da gravidade sobre a força de penetração. Por isso o ensaio de penetração de pino pode realizar-se em qualquer direção vertical ou horizontal.

Algumas considerações sobre o método de penetração de pino são mencionadas na norma ASTM C 803:2010 e citadas a seguir:

- O método pode-se aplicar para avaliar a uniformidade do concreto e para delinear zonas de má qualidade ou concreto deteriorado em estruturas.
- É aplicável para estimar a resistência do concreto in loco, desde que exista uma correlação experimental entre a resistência à penetração de pino, usando materiais semelhantes e proporções da mistura como na estrutura e a resistência do concreto no local.
- O ensaio pode resultar em danos na superfície do concreto, que pode precisar de reparos em acabamentos expostos, mas não afetando a capacidade estrutural do elemento.

No ensaio, o pino penetra no concreto apenas uma pequena profundidade, e, por conseguinte, os resultados podem ser afetados pelas condições do material na superfície. Os resultados dos testes são inválidos quando uma partícula de agregado é atingida. A simplicidade do ensaio faz com que seja possível obter o máximo de leituras, e isto poderia superar um pouco algumas das variações nos resultados dos testes (MALHOTRA, 2004).

Um dos fatores que mais afeta os resultados da penetração de pino é o agregado graúdo. O ensaio não é sensível a fatores como teor de umidade, tipo de cimento e cura do concreto, porém acabamento com colher de pedreiro propicia uma camada superficial mais dura que pode gerar valores menores de penetração e também uma maior dispersão dos resultados,

além que o tipo de fôrma usada, de madeira ou de aço poderia influenciar também nos resultados. (PALÁCIOS, 2012).

A norma britânica BS 1881-207:1992 menciona que o equipamento é simples de operar, durável, necessita de pouca manutenção e tem dispositivos de segurança que impedem disparos acidentais. O ensaio pode avaliar a qualidade do concreto até profundidades de 25mm a 75 mm da superfície, o que torna os resultados obtidos mais significativos do que os obtidos pelo método do esclerômetro.

As principais vantagens são sua aplicação no campo de uma forma simples e rápida e para sua realização é necessário o acesso a apenas uma das faces do elemento estrutural. Podem-se considerar algumas limitações como:

- a) Evitar ensaios em regiões onde existam barras de aço, exigindo-se o conhecimento prévio de suas posições,
- b) Os elementos estruturais a serem ensaiados não devem ser muito esbeltos (devem ter espessura \geq a 150 mm), uma vez que pode ocorrer rompimento dos mesmos durante a execução do ensaio. Além disso, é requerido cumprir com uma distância mínima de 150 mm em relação às bordas e uma distância de 150 a 200 mm entre os pinos cravados.

2.5.2.2 Correlação entre a penetração de pino e resistência à compressão

Métodos de resistência à penetração são basicamente métodos de dureza, e como outros métodos de dureza, não deve ser destinado a produzir valores absolutos de resistência do concreto em uma estrutura. É, portanto, recomendado para cada usuário do equipamento preparar as suas próprias curvas de correlação para o tipo de concreto a estudar (MALHOTRA, 2004).

Diferentes autores como Evangelista (2002), Pinto et al (2004), Machado (2005), Câmara (2006), Joffily (2010), Palácios (2012) e Da Silva *et al* (2012), propuseram curvas que representam a correlação entre a penetração de pino (L_p) e a resistência à compressão (f_c) obtida pelo rompimento de corpos de prova.

Na Tabela 2.7 são apresentadas as equações das correlações fundamentais mencionadas anteriormente e classificadas de acordo com o tipo e tamanho máximo do agregado graúdo, com o teor de argamassa (α) e as faixas de resistência do concreto estudado em MPa.

Tabela 2.7- Equações propostas para correlacionar L_p e f_c .

| Autor | Equação | R² | Agregados | Resistência à compressão (MPa) |
|-------------------------------|---|----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Evangelista (2002) | $f_c = (-1,505)L_p + 92,05$ | 0,81 | Gnaisse:19mm | 11-53 |
| | $f_c = (-1,287)L_p + 85,11$ | 0,83 | Gnaisse:9,5mm | 10-46 |
| | $f_c = (-1,303)L_p + 83,31$ | 0,83 | Traquito:19mm | 8-49 |
| Pinto <i>et. al.</i> (2004) | $f_c = (41292)L_p^{-2,0981}$ | 0,85 | - | 15-40 |
| Machado (2005) | $f_c = (0,045)L_p^2 - 4,043L_p + 107,1$ | 0,78 | Gnaisse, Sienito:19mm | 15-50 |
| Câmara (2006) | $f_c = (-0,5192)L_p + 40,097$ | 0,97 | Cura ao ar. 9,5 e 19mm | 12-25 |
| | $f_c = (-0,6886)L_p + 50,160$ | 0,95 | Cura úmida. 9,5 e 19mm | 12-30 |
| Joffily (2010) | $f_c = (-1,961)L_p + 90,336$ | 0,79 | Calcário 19mm; $\alpha=48\%$ | 25-50 |
| | $f_c = (-0,4893)L_p + 49,902$ | 0,99 | Calcário 9,5mm; $\alpha=51\%$ | |
| | $f_c = (-0,4208)L_p + 39,367$ | 0,99 | Calcário 19mm; $\alpha=48\%$ | |
| Palácios (2012) | $f_c = 1557L_p^{-1,112}$ | 0,81 | Calcário 19mm; $\alpha=54\%$ | 39-52 |
| Da Silva <i>et.al.</i> (2012) | $f_c = 4,221 L_p^{0,0475L_p}$ | 0,81 | pó de pedra, ccto projetado | 25 |

Joffily (2010) apresentou na sua pesquisa a correlação entre a resistência à compressão e a penetração de pino para vários agregados e diferentes teores de argamassa, como se observa na Figura 2.15. As séries com brita 0 resultaram com maior penetração de pino, principalmente para concretos com menor resistência, enquanto a série com teor de argamassa alterado apresentou valores inferiores aos traços padrões. O melhor ajuste para todos os dados foi o tipo de curva potencial.

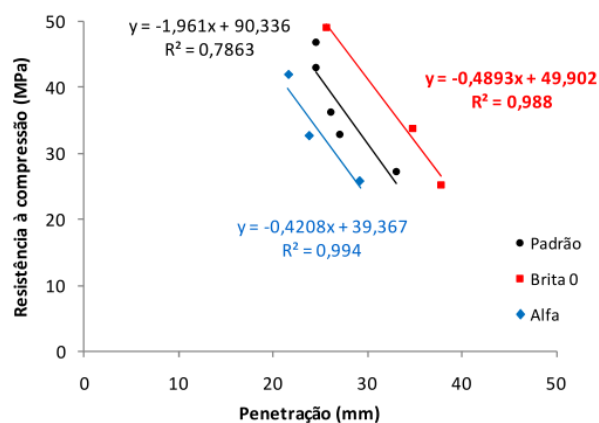


Figura 2.15- Correlação entre resistência e penetração de pino separada por tipo de agregado e teor de argamassa (JOFFILY, 2010).

A curva apresentada por Palácios (2012) mostra a tendência do incremento da penetração quando a resistência diminui para a correlação entre a penetração de pino e a resistência à compressão, representada pela Figura 2.16.

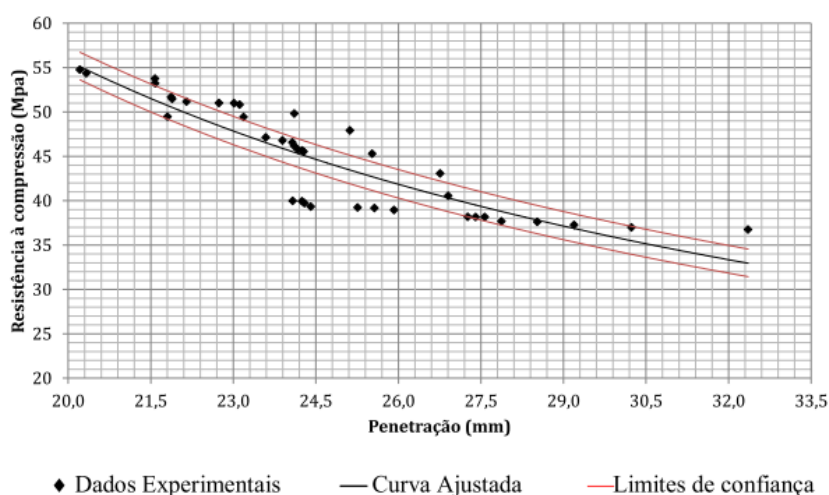


Figura 2.16- Correlação entre penetração de pino e resistência a compressão (PALÁCIOS, 2012).

2.5.3 Extração e rompimento de Testemunhos

A extração e rompimento de testemunhos é o método mais usado na determinação da resistência à compressão da própria estrutura nos casos que seja necessário dirimir dúvidas em quanto à resistência do concreto colocado. Isto pode ser devido aos baixos resultados dos corpos de prova moldados e ensaiados.

Os testemunhos são peças geralmente de forma cilíndrica, que podem ser extraídos do concreto por meio de corte com extratora rotativa de broca diamantada, sob refrigeração de água. O objeto principal da extração é a avaliação da resistência da peça estrutural em estudo, podendo-se obter também outras informações tais como: compactidade do concreto, homogeneidade, aderência em juntas de construção, espessura de lajes ou de placas de pavimento, deterioração do concreto e verificação de aderência de armaduras, entre outras (VIEIRA FILHO, 2007).

A norma de extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto - NBR 7680:2007 - determina que a amostragem possa ser definida de acordo com os lotes de concretagem ou em função da importância dos elementos que compõem a estrutura. Caso não seja possível a separação em lotes, a norma recomenda a utilização de ensaios não destrutivos realizados paralelamente.

Tendo em conta a diferença da resistência à compressão obtida por testemunhos de concreto (resistência efetiva) e a resistência potencial, a NBR 6118:2007 permite dividir o coeficiente de ponderação do concreto (γ_c) por 1,1, o que equivale a um acréscimo de 10% no resultado final da tensão, para testemunhos de concreto. Com essa correção, pode-se comparar o resultado in loco com o moldado no controle tecnológico e com o f_{ck} da estrutura.

Embora a resistência do concreto em testemunhos seja mais provável que represente a estrutura do que os corpos-de-prova moldados, a extração destes espécimes é, no entanto, um procedimento caro, e os processos de corte podem introduzir variáveis que afetam os resultados da resistência, como pode dar-se no caso de excesso de vazios, devido à má consolidação, o que fará com que mesma diminua (LAMOND; PIELERT, 2010).

A localização e orientação dos espécimes na estrutura irão afetar os resultados do teste de resistência. Os testemunhos extraídos no topo do elemento terão resistências mais baixas do que as localizadas na parte inferior, isto devido à exsudação, segregação e efeitos de cura (NEVILLE, 1997).

Segundo Bungey (1989) testemunhos extraídos horizontalmente mostraram resultados menores do que aqueles extraídos verticalmente, como mostrado na Figura 2.17, o que é

atribuído ao alinhamento das regiões interfaciais fracas paralelas à direção do carregamento em testemunhos extraídos horizontalmente, devido à acumulação de água debaixo do agregado graúdo devido à exsudação.

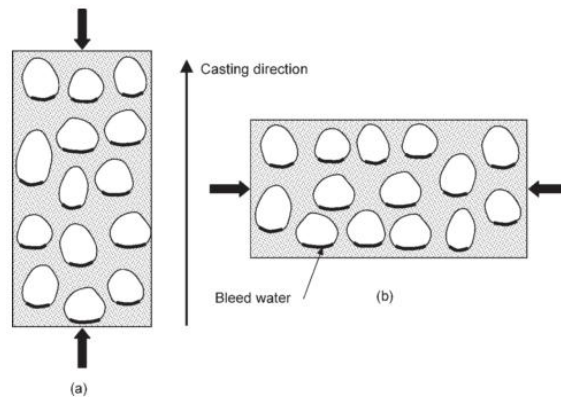


Figura 2.17- Planos de fraqueza devidos á exsudação (a) eixo vertical do testemunho (b) eixo horizontal do testemunho (BUNGEY, 1989).

O tamanho do testemunho a ser extraído depende, primeiramente, das limitações dimensionais impostas pelo elemento estrutural a ser amostrado. Algumas peças possuem dimensões muito reduzidas e zonas densamente armadas, limitando o diâmetro e o comprimento dos testemunhos.

Enquanto aumenta o tamanho da amostra, a resistência medida do concreto e a variação nos resultados dos testes diminuem. Isso é mostrado na Figura 2.18, na qual a magnitude do efeito diminui com o aumento do diâmetro do testemunho. A razão para este efeito é que a resistência do testemunho de concreto irá ser regida pela parte mais fraca do exemplar e que a probabilidade da ocorrência de falhas grandes aumenta à medida que aumenta o tamanho do testemunho (LAMOND; PIELERT, 2010).

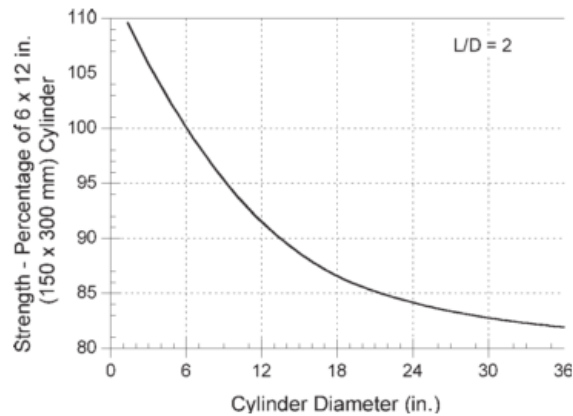


Figura 2.18- Efeito do tamanho do cilindro de medição da resistência à compressão (LAMOND e PIELERT, 2010).

O diâmetro mínimo permitido pela norma brasileira NBR 7680:2007 é três vezes a dimensão nominal do agregado graúdo e preferencialmente superior a 10 cm. Porém, há casos em que não é possível retirar amostras com o diâmetro estabelecido na norma devido a riscos para a estrutura, espaçamento entre barras muito pequeno e também, por questões estéticas.

Vieira Filho (2007) em sua pesquisa utilizou testemunhos de diâmetros de 15 cm, 10 cm, 7,5 cm, 5,0 cm e 2,5 cm e a conclusão a que o autor chegou foi que a variabilidade do ensaio aumenta com a diminuição de diâmetro do testemunho, permitindo a utilização dos testemunhos de diâmetros de 15 cm, 10 cm e 7,5 cm na avaliação de estruturas, e porém não recomenda testemunhos com diâmetros de 5 cm e 2,5 cm.

Outros fatores que influenciam na resistência dos testemunhos extraídos são: efeitos de broqueamento, condições de umidade, idade e condições de ruptura, a representatividade da amostragem, dimensões dos testemunhos, presença de armadura, condições de cura, correlação entre as resistências de corpos-de-prova moldados e resistência característica dos testemunhos extraídos.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O estudo foi desenvolvido com a finalidade de aplicar os ensaios não destrutivos de esclerometria e penetração de pino em condições de obra, com as variabilidades e processos inerentes à obra e a partir disso, estimar a resistência à compressão que apresentam diferentes concretos com f_{ck} desde 25 MPa até 40 MPa, ensaiados aos 28 dias, em 15 obras do Distrito Federal.

Com os resultados obtidos dessas avaliações em obra, pretende-se também comprovar a previsão da resistência do concreto estabelecida por outros pesquisadores por meio de diferentes modelos estatísticos onde são relacionados o índice esclerométrico e a penetração do pino com a resistência à compressão.

Realizou-se a aferição dessas técnicas não destrutivas em três séries de concreto com resistência característica (f_{ck}) de 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa avaliados em laboratório e se estabeleceram correlações por meio de análise estatística para obter a função que melhor representa a correlação entre índice esclerométrico e penetração de pino com a resistência à compressão. Essas correlações foram efetuadas para ambos os casos, ou seja, a partir dos ensaios realizados em laboratório e dos ensaios realizados nas diferentes obras.

De forma esquemática apresenta-se na Figura 3.1 o fluxograma com as etapas e procedimentos a serem efetuados neste trabalho.

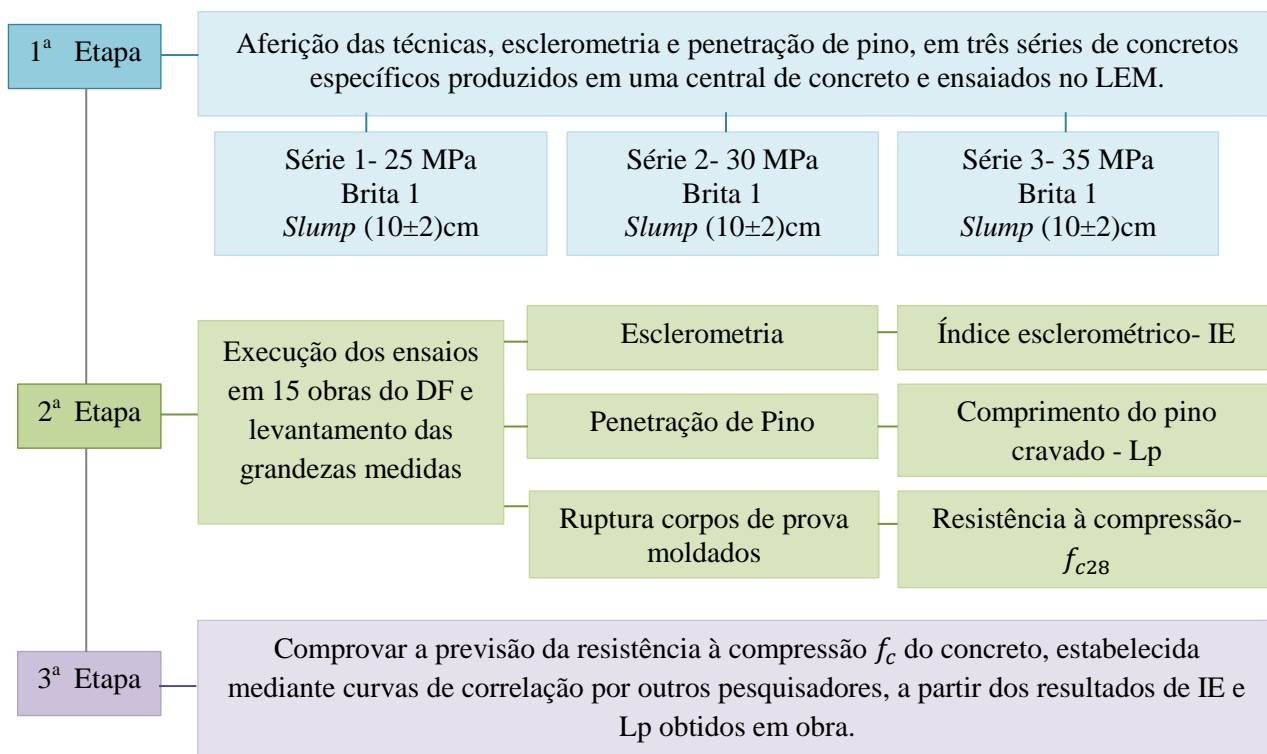


Figura 3.1- Fluxograma da metodologia proposta para o presente estudo.

Inicialmente estabeleceram-se os diferentes critérios para desenvolvimento do estudo:

1- A aferição das técnicas de esclerometria e penetração de pino foi feita em concretos específicos com resistências à compressão característica (f_{ck}) de 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa, produzidos e moldados numa central de concreto e levados para desforma, cura e avaliação ao Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília (LEM). A avaliação no laboratório foi realizada mediante ensaios de esclerometria (em corpos de prova e prismas), penetração de pino (em prismas) e rompimento à compressão.

2- A central de concreto que forneceu concreto às obras avaliadas é a mesma que forneceu o concreto para aferição das técnicas no laboratório, com a finalidade de ter características similares na composição do concreto e assim ter uma comparação de resultados mais coerente.

3- As 15 diferentes obras caracterizam-se por serem estruturas de concreto armado e o tipo de lançamento do concreto usado foi por bomba ou denominado também como concreto

bombeável. As resistências à compressão de projeto do concreto das obras são de 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa e 40 MPa.

4- Para este estudo se definiu que os valores de resistência à compressão obtidos dos corpos de prova para controle tecnológico em cada uma das obras seriam relacionados com os valores de índice esclerométrico e penetração de pino, tomados nas obras.

3.1 PRIMEIRA ETAPA- AFERIÇÃO DOS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA E PENETRAÇÃO DE PINO EM CONCRETOS AVALIADOS NO LABORATÓRIO

Em uma central foram produzidas três séries de concreto, cada uma com resistência de projeto (f_{ck}) de 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa, e moldados corpos de prova cilíndricos e prismáticos com a finalidade de aferir as técnicas de esclerometria e penetração de pino em condições de laboratório. O concreto das três séries foi misturado em caminhão betoneira com as características comumente utilizadas na linha de produção da central, como são mostradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Características das três séries de concreto produzidas na central.

| Série N° | f_{ck} (MPa) | Ag. Graúdo d/D (mm) | Abatimento (cm) | Traço em massa (c:a1:a2:b) | a/c | α (%) | Tipo de Cimento |
|----------|----------------|---------------------|-----------------|----------------------------|------|--------------|------------------------|
| S-1 | 25 | 9,5/25 | 10 ± 2 | (1 : 1,77 : 1,77 : 4,04) | 0,73 | 53,00 | 50% CP III 50% CP V |
| S-2 | 30 | 9,5/25 | 10 ± 2 | (1 : 1,52 : 1,52 : 3,65) | 0,65 | 52,50 | 50% CP III 50% CP V |
| S-3 | 35 | 9,5/25 | 10 ± 2 | (1 : 1,27 : 1,27 : 3,21) | 0,56 | 52,50 | 50% CP III 50% CP V |

Onde,

f_{ck} : resistência característica à compressão do concreto

(c : a1 : a2 : b) = cimento: areia natural: areia artificial: brita

a/c : relação água/cimento

α : teor de argamassa

Em cada uma das séries foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone, especificado na norma NBR NM67:1998, para se determinar a consistência do concreto. Em seguida, para cada série de concreto, foram moldados 10 corpos de prova de 10 cm x 20 cm e um prisma de 30 cm x 30 cm x 40 cm, cumprindo o estabelecido na norma NBR 5738:2008- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Após a moldagem do concreto no mesmo local de produção, os corpos de prova cilíndricos e prismáticos foram deixados sobre superfície horizontal e protegidos de intempérie durante 24 horas (cilindros) e 48 horas (prismas). Posteriormente, foram desmoldados e colocados em um tanque de água saturada de hidróxido de cálcio a uma temperatura de 22°C até serem levados para o Laboratório de Ensaios de Materiais (LEM) da Universidade de Brasília, onde ficaram em câmara úmida para garantir sua cura adequada até o momento de ensaio. Os procedimentos mencionados anteriormente são mostrados a seguir na Figura 3.2.



Figura 3.2- Moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos.

Para cada uma das três séries foram executados ensaios de esclerometria e resistência à compressão nos 10 corpos de prova cilíndricos (CPs), 2 CPs na idade de 7 dias e 8 CPs na idade 28 dias; e para os prismas foram efetuados os ensaios de esclerometria e penetração de pino aos 7 e 28 dias em cada uma das faces dos três prismas.

3.1.1 Procedimento do ensaio de esclerometria

O procedimento adotado para este ensaio foi conforme a ABNT NBR 7584:2012, iniciando com a calibração do aparelho, empregando-se para tal uma bigorna especial de aço marca Soiltest com leitura igual a 77 (índice esclerométrico nominal do aparelho na bigorna) e realizando-se 10 impactos sobre a mesma. O esclerômetro não pode ser empregado quando algum dos impactos difere do índice esclerométrico médio de ± 3 . O coeficiente de correção K é calculado pela seguinte equação:

$$K = (n * IEnom) / \sum_{i=1}^n IEi \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde,

K : coeficiente de correção do índice esclerométrico;

n : número de impactos na bigorna de aço;

$IEnom$: índice esclerométrico nominal do aparelho na bigorna;

IEi : índice esclerométrico obtido em cada impacto.

Para realizar o ensaio foi utilizado o esclerômetro de marca Proceq® com energia de percussão de 2,207 Nm e com intervalo de medição de 10 - 70 N/mm².

O primeiro procedimento adotado para ensaio nos corpos de prova foi manter rigidamente cada cilindro numa prensa com carregamento de 1000 kg. A partir disso, se escolheram três geratrizes distantes 120° entre si e realizaram-se três leituras em cada geratriz, somando 9 leituras de índice esclerométrico para cada cilindro (Figura 3.3). As determinações foram tomadas com o aparelho em posição horizontal.

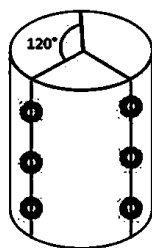


Figura 3.3- Pontos de aplicação dos impactos no cilindro (PEREIRA; MEDEIROS, 2012).

Nos prismas, o ensaio começa com a limpeza da superfície de todas as 6 faces utilizando um disco de carborundum para polir a área de ensaio através de movimentos circulares e deixá-la lisa, seguido da marcação das faces com uma malha de 200 mm x 200 mm para efetuar 16 impactos. As leituras foram tomadas com o aparelho em posição vertical e convertidas à horizontal por meio das curvas de calibração do esclerômetro.

Registram-se os valores obtidos de cada impacto e posteriormente se determina o índice esclerométrico médio efetivo, o qual se toma como a média das determinações obtidas multiplicada por coeficiente de correção K , conforme a equação a seguir:

$$IEe = K * IE \quad \text{Equação 3.2}$$

Onde:

IEe : índice esclerométrico médio efetivo

K : coeficiente de correção obtido da verificação do aparelho

IE : índice esclerométrico médio

De cada área de ensaio, obtém-se um único índice esclerométrico médio efetivo. Na Figura 3.4 se apresenta a rotina do ensaio de esclerometria realizado no laboratório para cilindros e para prismas.



Figura 3.4- Rotina para ensaio de esclerometria em cilindros e prismas, realizada no LEM/UnB.

3.1.2 Procedimento do ensaio de penetração de pino

O ensaio se realizou conforme a norma ASTM C803:2010 e foi considerado o método desenvolvido por Joffily (2010), no qual se utiliza uma potência baixa da pistola que corresponde a uma profundidade de 4,75 cm dentro do cano da pistola e uma distância entre disparos mínima de 20 cm.

Para realizar o ensaio foi utilizada a pistola marca Walsywa DFG-40®, pinos lisos 1/4x55 mm, cuja haste de penetração é 50 mm, e cartucho calibre 22 curto de potência

cinco. A potência do cartucho influencia a energia cinética inicial do pino, localizado no cano da pistola, que é impulsionado contra o concreto (ACI 228.1R, 2003).

Cada um dos três prismas com dimensões de 30 cm x 30 cm x 40 cm (um por cada série de concreto) foi ensaiado aos 7 e 28 dias em todas as faces, sempre com a face a ser ensaiada voltada para acima, de tal forma que a posição da pistola ficasse em posição vertical. Nas quatro faces de 30 cm x 40 cm foram realizados dois disparos espaçados 20 cm e 10 cm das bordas e, nas duas faces de 30 cm x 30 cm realizou-se um disparo no centro, como mostrado na Figura 3.5.

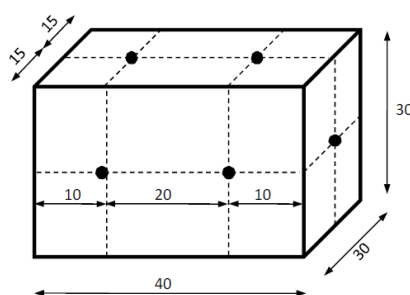


Figura 3.5- Pontos de penetração de pino nos prismas, distância em cm (JOFFILY, 2010).

Depois de efetuado o disparo determinou-se o comprimento exposto do pino, utilizando-se para isto um paquímetro e um disco de aço. Em seguida foram realizadas três medições para cada pino e se tomou o valor médio. Conhecendo-se o comprimento total do pino (55 mm), subtraiu-se o valor medido e obteve-se a grandeza L_p , que corresponde ao comprimento cravado do pino. A rotina de ensaio se mostra na Figura 3.6

Considerou-se o critério da ASTM C 803:2010, em que para valores de penetração de pino com diferenças maiores do que 8,4 mm ($D_{m\acute{a}x} < 25$ mm), deve-se descartar o valor mais distante da média e recalcular novamente a mesma. Quando uma partícula de agregado é atingida pelo pino ou quando o pino crava excessivamente devido a um vazio ou falha de concretagem, os valores são considerados inválidos e se deve realizar uma vez mais o disparo e tomar uma nova medição.



Pistola Walsywa ® e acessórios



Localização do pino



Posicionamento da pistola



Pinos cravados nas faces do prisma



Determinação comprimento pino cravado

Figura 3.6- Rotina para ensaio de penetração de pino nos prismas, realizada no LEM/UnB.

3.1.3 Procedimento do ensaio de Resistência à Compressão

Os 10 cilindros de 10 cm x 20 cm moldados para cada série foram ensaiados à compressão após o ensaio de esclerometria, dois cilindros aos 7 dias e os 8 CPs restantes aos 28 dias. A preparação das bases dos corpos de prova cilíndricos foi realizada de acordo a norma NBR 5738:2003, utilizando a retificação em cada um deles. A retificação consistiu na remoção de uma fina camada de material dos topos, com uma máquina retificadora marca SEC MIX modelo RPC-Automatic, para proporcionar uma camada lisa e livre de ondulações e abaulamentos.

Após a retificação, os corpos de prova foram medidos (diâmetro e comprimento), seguidos da determinação da sua massa. O ensaio de resistência à compressão foi efetuado de acordo com a norma NBR 5739:2007, usando a prensa marca de Toni, classe 1, com capacidade de 100 toneladas e um medidor digital de carregamento com indicador de pico de marca Dinateste. A velocidade de carregamento foi da ordem 0,50 MPa/s. Na Figura 3.7 é mostrada a rotina do ensaio de resistência à compressão nos cilindros no Laboratório de Ensaio de Materiais LEM/UnB.



Retificação do cilindro



Corpos de prova retificados



Medição diâmetro e comprimento



Determinação da massa



Execução do ensaio



Ruptura do Corpo de prova

Figura 3.7- Rotina ensaio de resistência à compressão, realizada no LEM/UnB.

3.2 SEGUNDA ETAPA- EXECUÇÃO DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS NAS OBRAS PARA LEVANTAMENTO DAS GRANDEZAS: ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO (IE) E PENETRAÇÃO DE PINO (LP).

Neste programa experimental, sendo a esclerometria e a penetração de pino os tipos de ensaios definidos para serem realizados *in loco*, foram implantadas rotinas de acompanhamento e levantamento de dados dos concretos nas diferentes obras.

Procedeu-se à avaliação da resistência, na idade de 28 dias, de elementos de concreto (pilares, vigas, paredes ou lajes) em 15 obras do Distrito Federal. Nestas obras a resistência à compressão do concreto tomada como referência para relacionar os resultados de índice esclerométrico (IE) e penetração de pino (Lp) foi a do concreto moldado para controle tecnológico, ou seja, a resistência obtida do rompimento aos 28 dias de corpos de prova cilíndricos ensaiados conforme a norma NBR 5739:2007.

3.2.1 Identificação das obras e elementos de concreto a serem avaliados

O estudo de campo iniciou-se no mês de março de 2013, com apoio de uma concreteira de Brasília, que forneceu o concreto das 15 obras. As diferentes obras avaliadas estão localizadas em Brasília (8 obras), Águas Claras (4 obras), Samambaia (2 obras) e Taguatinga (1 obra); são projetos novos construídos para serem prédios residenciais (12 obras) e comerciais (3 obras).

Antes de iniciar cada ensaio, esclerometria e penetração de pino, realizaram-se as seguintes coletas de informação em cada uma das obras avaliadas:

- Identificação da obra: local da construção, construtora encarregada do projeto e pessoa para contato no projeto.
- Características do concreto: resistência característica à compressão (f_{ck}), dimensão do agregado graúdo, abatimento especificado (*slump*), tipo de lançamento, data da concretagem, peças concretadas e número de caminhões betoneira utilizados.
- Identificação dos elementos com idade de 28 dias: croquis ou mapeamento da área concretada e sua respectiva localização na obra. Depois de localizada a área de concretagem, se escolheram os elementos (pilares, vigas ou lajes) de acordo ao número de caminhões betoneira utilizado nessa concretagem, de tal forma que fossem avaliados diferentes caminhões.
- Resultados da resistência à compressão aos 28 dias: a construtora proporcionou os resultados dos ensaios de resistência à compressão de corpos de prova moldados para o controle tecnológico efetuado a cada caminhão betoneira.

Nas 15 obras avaliadas o concreto foi lançado com bomba, a natureza litológica do agregado em todos os concretos foi de tipo calcário. Na Tabela 3.2 são mostradas as características do concreto avaliado em cada uma das obras.

Tabela 3.2- Resumo das características dos concretos por cada obra.

| Obra N° | f_{ck} (MPa) | Agregado Graúdo (Brita) | Abatimento (cm) | Elementos Ensaçados |
|---------|----------------|-------------------------|-----------------|---------------------|
| 1 | 30 | 0 e 1 | 10 ± 2 | Pilares |
| 2 | 30 | 1 | 12 ± 2 | Pilares |
| 3 | 35 | 0 e 1 | 12 ± 2 | Pilares |
| 4 | 30 | 0 e 1 | 12 ± 2 | Laje maciça |
| 5 | 40 | 1 | 10 ± 2 | Pilares e Lajes |
| 6 | 30 | 0 e 1 | 12 ± 2 | Pilares |
| 7 | 35 | 1 | 10 ± 2 | Pilares |
| 8 | 30 | 0 e 1 | 12 ± 2 | Pilares |
| 9 | 30 | 0 | 14 ± 2 | Pilares |
| 10 | 30 | 0 | 14 ± 2 | Pilares |
| 11 | 35 | 0 | 14 ± 2 | Parede |
| 12 | 30 | 0 | 14 ± 2 | Pilares |
| 13 | 30 | 0 e 1 | 12 ± 2 | Vigas |
| 14 | 40 | 0 e 1 | 12 ± 2 | Pilares |
| 15 | 25 | 0 e 1 | 22 ± 2 | Parede de concreto |

Nota: o agregado graúdo se classifica como brita 0 quando sua dimensão está entre 4,8 mm e 9,5 mm e como brita 1 quando sua dimensão está entre 9,5 mm e 19 mm.

3.2.2 Desenvolvimento do ensaio de esclerometria nas obras

O desenvolvimento do ensaio de esclerometria no local da obra foi basicamente o mesmo efetuado nos corpos de prova prismáticos no laboratório, explicado no item 3.1.1- *Procedimento de ensaio de esclerometria*. Foi utilizado o esclerômetro de reflexão marca Proceq®, previamente calibrado no laboratório e se usaram malhas de 20 cm x 20 cm para efetuar 16 impactos por cada malha, de acordo com a norma ABNT NBR 7584:2012. Nos pilares e vigas a posição do aparelho foi horizontal e na laje maciça foi vertical (corrigindo posteriormente o valor à posição horizontal). A Figura 3.8 mostra a rotina de ensaio do esclerometria efetuado nos elementos de concreto para diferentes obras.



Marcação das malhas e posição do esclerômetro nos pilares



Ensaio de esclerometria em vigas



Ensaio de esclerometria em laje maciça e parede de concreto

Figura 3.8- Ensaio de esclerometria efetuado em pilares, vigas, lajes e paredes de concreto.

Por cada elemento de concreto a avaliar efetuaram-se duas malhas de esclerometria, para se ter no mínimo 32 impactos por elemento. Em cada pilar as duas malhas foram localizadas no terço médio do pilar. Todas as leituras obtidas foram registradas em uma planilha eletrônica para, posteriormente, determinar o índice esclerométrico efetivo. Na Tabela 3.3 apresenta-se um exemplo de uma planilha com resultados de um ensaio de esclerometria efetuado na obra N°10 ($f_{ck} = 30$ MPa, peça concretada: pilares).

Tabela 3.3- Planilha exemplo para determinação do índice esclerométrico efetivo da obra N°10.

| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LEITURAS | $\alpha = 0^\circ$ | | Data Ensaio: 13/Novembro | | | | | |
| | CB 1 | | CB2 | | CB3 | | CB4 | |
| 1 | 29 | 30 | 28 | 33 | 31 | 33 | 32 | 32 |
| 2 | 29 | 32 | 29 | 30 | 32 | 33 | 31 | 33 |
| 3 | 28 | 31 | 28 | 33 | 32 | 30 | 30 | 32 |
| 4 | 27 | 33 | 30 | 33 | 33 | 30 | 31 | 33 |
| 5 | 28 | 30 | 33 | 31 | 32 | 31 | 29 | 29 |
| 6 | 28 | 30 | 32 | 33 | 29 | 31 | 28 | 30 |
| 7 | 30 | 30 | 28 | 31 | 32 | 32 | 30 | 32 |
| 8 | 29 | 32 | 31 | 32 | 28 | 32 | 28 | 31 |
| 9 | 28 | 33 | 30 | 31 | 31 | 33 | 27 | 32 |
| 10 | 28 | 29 | | | | 30 | 30 | 32 |
| 11 | 29 | 30 | 33 | 33 | 30 | 31 | 28 | 30 |
| 12 | 29 | 34 | | 33 | 30 | 34 | 33 | 32 |
| 13 | 28 | 33 | 31 | 32 | 32 | 30 | 31 | 32 |
| 14 | 28 | 34 | 28 | 34 | 30 | 31 | 28 | 34 |
| 15 | 29 | | 32 | 34 | 30 | 28 | 30 | 33 |
| 16 | 28 | 31 | 31 | 32 | 32 | 30 | 33 | 33 |
| MÉDIA | 28,40 | 31,47 | 30,29 | 32,33 | 30,93 | 31,07 | 29,94 | 31,88 |
| MÉDIA+10% | 31,24 | 34,61 | 33,31 | 35,57 | 34,03 | 34,17 | 32,93 | 35,06 |
| MÉDIA -10% | 25,56 | 28,32 | 27,26 | 29,10 | 27,84 | 27,96 | 26,94 | 28,69 |
| MÁX | 30 | 34 | 33 | 34 | 33 | 34 | 33 | 34 |
| MIN | 27 | 29 | 28 | 30 | 28 | 28 | 27 | 29 |
| IE | 28,40 | 31,47 | 30,29 | 32,33 | 30,93 | 31,07 | 29,94 | 31,88 |
| K | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 |
| IE | 29,04 | 32,18 | 30,97 | 33,06 | 31,63 | 31,77 | 30,61 | 32,59 |
| | 30,61 | | 32,02 | | 31,70 | | 31,60 | |
| MÉDIA IE | 31,48 | | | | | | | |
| Desvio padrão | 0,61 | | | | | | | |
| Coef. variação | 1,93% | | | | | | | |

Onde:

α : ângulo de inclinação do esclerômetro (neste caso, como foram pilares a posição foi horizontal);

CB: referência de cada caminhão betoneira;

$IE = K * IE$; K é o fator de calibração do aparelho;

MEDIA IE: ao final, para cada obra, tomou-se como índice esclerométrico o valor médio do índice esclerométrico obtido de cada caminhão.

3.2.3 Desenvolvimento do ensaio de penetração de pino nas obras

O desenvolvimento de ensaio de penetração de pino no local da obra é basicamente o mesmo efetuado nos corpos de prova prismáticos feito no laboratório, explicado no item 3.1.2-*Procedimento do ensaio de penetração de pino*. O ensaio foi realizado considerando

a norma ASTM C 803:2010 e o método desenvolvido por Joffily (2010). Foi utilizada uma pistola de marca Walsywa DFG-40®, pinos de prata lisos 1/4x55 mm e cartucho calibre 22 curto, cor vermelha (potência 5).

Nos pilares e vigas, a pistola foi usada na posição horizontal, já na laje foi utilizada a posição vertical. Na Figura 3.9 se apresenta a rotina do ensaio de penetração de pino efetuada nos diferentes elementos das obras avaliadas para o estudo.

Para cada elemento avaliado se realizaram 5 disparos com uma distância de, no mínimo, 20 cm entre si. Realizou-se a medição do comprimento do pino exposto com um paquímetro (precisão de 0,1 mm) e um disco de aço fundamental para a precisão da leitura, fazendo-se três leituras em cada pino. Descartaram-se os pinos que atingiram o agregado ou que penetraram num vazio (quando o pino penetrou em excesso).

Os valores obtidos de comprimento de pino exposto foram registrados numa planilha eletrônica, na qual conhecendo o comprimento total do pino, obtêm-se a grandeza L_p , que corresponde ao comprimento cravado do pino, toma-se o valor médio entre os 5 disparos efetuados. Descartaram-se valores com diferenças maiores do que 8,4 mm ($D_{m\acute{a}x} < 25$ mm), tal como especifica o critério da ASTM C 803:2010, e calculou-se novamente o valor médio. Na Tabela 3.4 se apresenta um exemplo de uma planilha com resultados do ensaio efetuado na obra N°10 ($f_{ck} = 30$ MPa, peça concretada pilares).

Tabela 3.4- Planilha exemplo para determinação da penetração de pino L_p da obra N°10.

| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LEITURAS | CB1 | | | | | CB2 | | | | | CB3 | | | CB4 | | | | |
| L1 (mm) | 19,91 | 20,01 | 28,01 | 28,21 | 5,41 | 19,91 | 20,71 | 19,01 | 20,41 | 21,81 | 16,41 | 17,91 | 26,01 | 32,31 | 31,31 | 26,41 | 21,01 | 23,11 |
| L2 (mm) | 20,51 | 20,41 | 28,11 | 28,21 | 5,41 | 19,71 | 20,01 | 19,01 | 20,41 | 21,91 | 16,01 | 18,21 | 26,21 | 32,61 | 31,61 | 26,41 | 21,11 | 23,21 |
| L3 (mm) | 20,61 | 20,31 | 28,41 | 28,61 | 5,41 | 20,11 | 21,01 | 19,01 | 20,51 | 21,91 | 16,61 | 18,21 | 26,71 | 32,51 | 31,81 | 26,51 | 20,91 | 23,61 |
| PENETRAÇÃO | 34,66 | 34,76 | | | | 35,09 | 34,42 | 35,99 | 34,56 | 33,12 | | 36,89 | 28,69 | | | 28,56 | 33,99 | 31,69 |
| | 34,71 | | | | | 34,64 | | | | | 32,79 | | | 31,41 | | | | |
| MÉDIA L_p | 33,39 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio padrão | 1,59 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 4,8% | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Média L_p : ao final, para cada obra, tomou-se como penetração de pino o valor médio da penetração de pino determinada para cada caminhão.



Posicionamento da pistola



Pinos cravados em uma viga



Ensaio de penetração de pino em pilares e medição do comprimento exposto



Ensaio de penetração de pino em laje e parede de concreto

Figura 3.9- Ensaio de penetração de pino efetuado em pilares, vigas, lajes e paredes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este quarto Capítulo dedica-se à apresentação e análise dos resultados obtidos no programa experimental. Primeiramente, serão discutidos os resultados dos ensaios de esclerometria e penetração de pino dos concretos fornecidos por usina e ensaiados no LEM. Conforme descrito no Capítulo 3, esses concretos são divididos em três séries com f_{ck} de 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa.

Em seguida, serão apresentados os ensaios de esclerometria e penetração de pino, realizados nas obras visitadas. Os resultados serão apresentados na forma de valores médios obtidos de cada ensaio *in loco*, sendo as amostras individuais classificadas por tipo de elementos avaliados e o comportamento da resistência evidenciado por cada obra visitada.

Por fim, serão apresentados os resultados e análise do comportamento de diferentes modelos estatísticos (estudados por distintos autores) propostos para previsão da resistência com a sua validação utilizando as grandezas IE e Lp obtidas dos concretos avaliados diretamente nas obras.

4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NO LABORATÓRIO PARA AFERIÇÃO DAS TÉCNICAS DE ESCLEROMETRIA E PENETRAÇÃO DE PINO

Das três séries de concretos denominadas S-1, S-2 e S-3 com f_{ck} de 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa, respectivamente, foram obtidos os resultados dos ensaios de resistência à compressão, esclerometria e penetração de pino apresentados a seguir.

4.1.1 Resistência à compressão

Na Tabela 4.1 se apresentam de forma resumida os valores médios obtidos da ruptura de corpos de prova na idade de 7 e 28 dias para as séries S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2. Nesta tabela a variabilidade do ensaio está representada pelo desvio padrão e coeficiente de variação. Também são apresentados a relação água/cimento (a/c) e o teor de argamassa (α) de cada concreto. Cada uma das planilhas com todos os dados e resultados obtidos em cada série estão detalhadas no Apêndice A.

Tabela 4.1- Valores médios dos resultados do ensaio de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias para as séries S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2.

| Série | f_{ck} (MPa) | CPs | a/c | α (%) | Valor médio f_{cj} (MPa) | | Desvio padrão (MPa) | | Coeficiente de variação (%) | |
|-------|-------------------|-----|------|-----------------|-------------------------------|-------|------------------------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 7 | 28 | 7 | 28 | 7 | 28 |
| S-1 | 25 | 10 | 0,73 | 53,0 | 24,54 | 27,45 | 0,26 | 0,89 | 1,04 | 3,25 |
| S-2 | 30 | 10 | 0,65 | 52,5 | 30,47 | 33,60 | 0,49 | 1,23 | 1,62 | 3,66 |
| S-3.1 | 35 | 10 | 0,56 | 52,5 | 21,33 | 27,91 | 0,31 | 0,91 | 1,45 | 3,25 |
| S-3.2 | 35 | 10 | 0,56 | 52,5 | 26,09 | 32,21 | 0,30 | 1,02 | 1,15 | 3,17 |

CPs: número de corpos de prova de 10cmx20cm ensaiados

a/c : relação água/cimento;

α : teor de argamassa

A série de concreto S-3, cujo f_{ck} é de 35 MPa, foi realizada duas vezes. Na primeira moldagem denominada S-3.1 os valores de resistência à compressão obtidos, na ordem de 28 MPa aos 28 dias, foram muito mais baixos do que o esperado. Um dos fatores que poderia ter afetado o resultado é o excesso de água na mistura de concreto, possivelmente por ter sido coletado no início da descarga do caminhão betoneira dessa concretagem, quando a homogeneidade do concreto pode não ser a ideal. Por tal motivo, foi realizado novamente em outra data todo o processo de moldagem, cura e cada um dos ensaios para esta série S-3 (f_{ck} de 35 MPa, Brita 1 e *slump* 10±2cm), denominada S-3.2. A amostra da série S-3.2 foi recolhida do terceiro quarto da carga e depois de colocada no carrinho foi remisturada com uma pá, de forma a assegurar sua homogeneidade.

Na série S-3.2 a resistência à compressão obtida aos 28 dias foi de 32 MPa. Apesar ter sido feito um maior controle em todo o processo (moldagem, adensamento, cura, ruptura padronizada), o resultado foi menor que o projetado. Entende-se que o resultado pode ser uma consequência da homogeneidade associada às características de produção do concreto pela central, mas não dos procedimentos de moldagem, adensamento, cura e ensaio de rompimento dos corpos de prova.

Na Figura 4.1 se apresentam graficamente os resultados obtidos nas idades de 7 e 28 dias para as séries S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2.

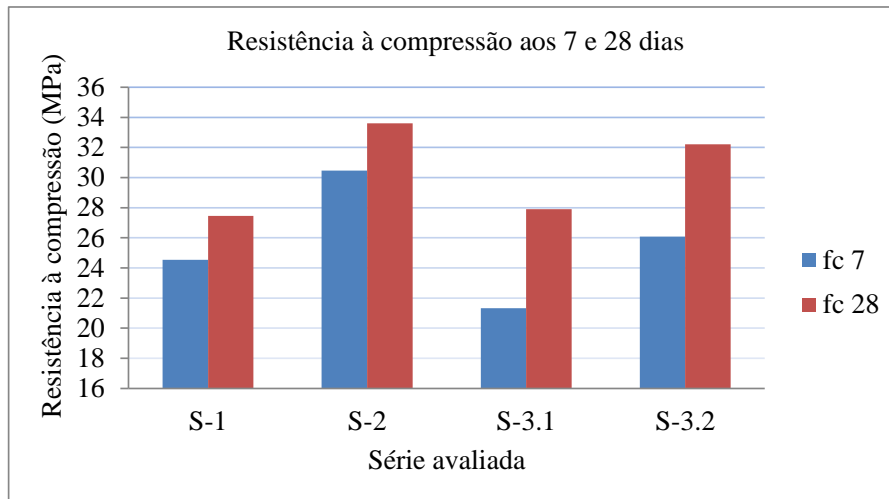


Figura 4.1- Resultados médios de resistência à compressão obtidos nas séries de concreto S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2.

Nas séries avaliadas se verificou pouca dispersão nos resultados, sendo o maior desvio padrão observado de 1,23 MPa, na série S-2. Os coeficientes de variação das séries ensaiadas aos 28 dias estão na faixa de 3,2% a 3,7%, representando um conjunto de resultados homogêneos com um alto grau de aceitação. Estatisticamente, resultados de coeficiente de variação para ensaios em laboratório que estejam abaixo de 5,0% são considerados ótimos (HELENE; TERZIAN, 1993).

Analisando o gráfico da Figura 4.1, observa-se uma tendência similar no comportamento do crescimento da resistência à compressão em todas as séries. Para as séries S-1 e S-2 a resistência do concreto aumentou em aproximadamente 3 MPa desde os 7 até os 28 dias, já para as séries S-3.1 e S-3.2 o crescimento da resistência após os 7 dias foi de 7 MPa e 6 MPa, respectivamente.

4.1.2 Ensaio de esclerometria em corpos de prova e prismas

Dos ensaios de esclerometria realizados em cada série de concreto, foram obtidos os valores médios das avaliações nos corpos de prova cilíndricos e prismáticos na idade de 7 e 28 dias. Esses valores são representados na Tabela 4.2 juntamente com o desvio padrão e o coeficiente de variação dos resultados obtidos.

O valor de índice esclerométrico (IE) foi determinado de acordo à norma ABNT NBR 7584:2012. Como critério de cálculo, os valores afastados em mais de 10% do valor

médio não foram considerados no cálculo do índice esclerométrico. Os valores fora do limite foram descartados e a média foi recalculada somente com os valores válidos. Para os corpos de prova prismáticos, nos quais a posição do aparelho foi vertical, o índice esclerométrico foi convertido à posição horizontal. As planilhas com todos os valores obtidos neste ensaio estão apresentadas no Apêndice A.

Tabela 4.2- Valores médios dos resultados do ensaio de esclerometria nas idades de 7 e 28 dias para as séries S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2.

| Série | Corpo de prova | IE médio | | Desvio padrão | | Coeficiente de Variação (%) | |
|-------|----------------|----------|-------|---------------|------|-----------------------------|------|
| | | 7 | 28 | 7 | 28 | 7 | 28 |
| S-1 | Cilindros | 22,69 | 24,35 | 0,69 | 1,35 | 3,03 | 5,56 |
| | Prisma | 29,64 | 31,69 | 1,50 | 1,02 | 5,08 | 3,21 |
| S-2 | Cilindros | 23,31 | 25,09 | 0,12 | 1,75 | 0,51 | 6,96 |
| | Prisma | 30,80 | 33,49 | 1,07 | 0,89 | 3,46 | 2,67 |
| S-3.1 | Cilindros | 20,96 | 21,20 | 0,67 | 1,44 | 3,20 | 6,77 |
| | Prisma | 27,30 | 31,59 | 1,49 | 0,98 | 5,44 | 3,09 |
| S-3.2 | Cilindros | 23,54 | 25,10 | 0,21 | 1,56 | 0,90 | 6,23 |
| | Prisma | 31,83 | 34,92 | 2,56 | 1,90 | 8,03 | 5,44 |

Da Tabela 4.2 pode-se observar que os resultados médios da esclerometria aos 28 dias das séries S-1 e S-2 obtidos em cilindros diferem em 7 e 8 unidades, respectivamente, dos resultados obtidos nos prismas. Já para as séries S-3.1 e S-3.2 esta diferença entre resultados de esclerometria entre cilindros e prismas foi de 10 unidades. Os valores de índice esclerométrico aos 28 dias dos prismas foram maiores em torno de 40% quando comparados com os valores obtidos em corpos de prova cilíndricos.

Uma possível justificativa para esses resultados é a maior variabilidade dos corpos de prova neste ensaio. Um fator que pode influenciar é a massa e o volume do cilindro (10 cm x 20 cm) serem menores do que o prisma. Contribui também para esta variabilidade a incerteza devido ao contato de duas superfícies curvas durante o ensaio: a curvatura do êmbolo do esclerômetro com a superfície curva do cilindro.

A diferença de resultados entre o ensaio de esclerometria efetuado em cilindros e em prismas pode ser analisado também quanto ao maior valor de coeficiente de variação

apresentado nos cilindros aos 28 dias, comparados com os prismas na mesma idade. Nota-se para os corpos de prova o valor de 6,9% na série S-2 como o mais alto e o valor de 5,6% na série S-1 como o mais baixo. E, por outro lado, para os prismas o coeficiente de variação na série S-2 foi de 2,7% e para a série S-3.2 foi de 5,4%.

Em outros estudos realizados em prismas de concreto avaliados em laboratório, obtiveram-se os seguintes coeficientes de variação no ensaio de esclerometria: 3,1% (MACHADO, 2005), 4% - 7% (CASTRO, 2009), 2,7% (JOFFILY, 2010) e 1,3%-5% (PALÁCIOS, 2012). A comparação com os resultados destes autores comprova que os resultados obtidos nesta pesquisa são coerentes e se encontram em uma faixa de valores aceitável.

Pode-se observar nas 4 séries uma tendência similar no aumento do índice esclerométrico na medida em que aumenta a idade do concreto. Para os resultados obtidos nos cilindros, o índice esclerométrico aos 28 dias aumentou em duas unidades em relação ao índice esclerométrico obtido aos 7 dias. Já para os resultados obtidos nos prismas, o índice esclerométrico aumentou na ordem de 3 unidades.

Na idade de 28 dias para corpos de prova prismáticos, a série S-3.2 apresentou o maior valor de índice esclerométrico, sendo de 34,92. Já para as séries S-1 e S-2 os resultados obtidos foram de 31,69 e 33,49 respectivamente. Estes resultados evidenciam o incremento do índice esclerométrico com o aumento da resistência do concreto. (Deve-se desconsiderar, neste caso, a série S-3.1 pois esta teve um resultado tomado como anormal quanto a seu f_{ck}).

Na Figura 4.2 são apresentados os resultados individuais obtidos de índice esclerométrico (IE) em prismas e a respectiva resistência à compressão (f_c) das quatro séries avaliadas aos 28 dias. Os limites de confiança foram de \pm um desvio padrão, ou seja, os resultados ficaram numa faixa de 3,56 unidades de índice esclerométrico.

Foram tomados para esta correlação somente os valores de índice esclerométrico obtidos nos prismas, nos quais o desvio padrão foi de 1,78 e o coeficiente de variação de 5,4%. Essa decisão se deve às seguintes razões: pela variabilidade observada nos cilindros, já mencionada anteriormente, devido às peças ensaiadas nas obras também serem prismáticas

(pilares, vigas, lajes); e porque o ensaio de penetração de pino só pode ser realizado em prismas, o que leva a uma melhor comparação de resultados dos ensaios utilizados.

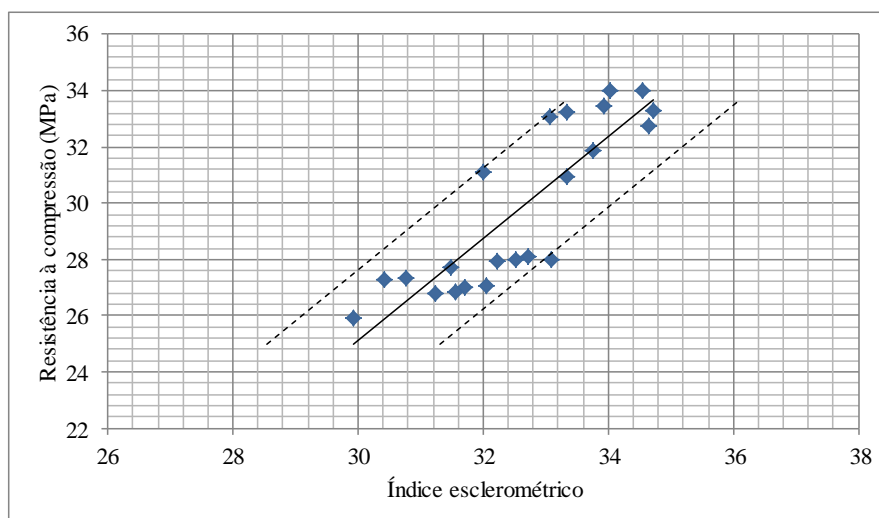


Figura 4.2- Correlação entre esclerometria em prismas e a resistência à compressão aos 28 dias das séries de concreto S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2.

Na Figura 4.2 se observa a curva de correlação linear que melhor se ajustou à distribuição dos resultados de índice esclerométrico e resistência à compressão, ajustada com um nível de confiança de 95%. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,74, o qual indica que o ajuste da curva está representando bem os resultados experimentais obtidos.

A correlação entre IE e f_c proposta neste estudo, efetuado em laboratório, é expressa na equação 4.1.

$$f_c = 1,8039 * IE - 29 \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde,

f_c : resistência à compressão do concreto (MPa)

IE : Índice esclerométrico

4.1.3 Ensaio de penetração de pino em prismas

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados médios obtidos no ensaio de penetração de pino realizado em cada uma das faces dos quatro prismas, um por cada série S-1, S-2, S-

3.1 e S-3.2. As planilhas com todos os valores obtidos neste ensaio serão apresentadas no Apêndice A.

No resultado final médio não foram considerados os valores de penetrações muito elevados porque correspondem a disparos sobre vazios. Também foram descartados os valores de pinos que atingiram algum agregado. As leituras que apresentaram diferenças maiores que 8,4 mm em relação à média também foram descartadas na determinação final pelo critério da ASTM C 803:2010, especificado para concretos com dimensão máxima do agregado $D_{máx} < 25$ mm e mencionado previamente no item 3.1.2.

Tabela 4.3- Valores médios de penetração de pino em prismas das séries S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2.

| Face ensaiada | S-1 (mm) | S-2 (mm) | S-3.1 (mm) | S-3.2 (mm) |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 40 cm x 30 cm | 31,72 ^(b) | 30,89 ^(v) | 31,56 | 20,29 |
| | 35,09 | 26,82 | 28,76 | 24,99 |
| | 41,16 | 26,16 | 29,62 | 33,06 ^(v) |
| | 34,66 | 25,82 | 29,49 | 24,49 |
| | 36,46 | 25,99 | 31,52 | 25,49 |
| | 44,46 ^(v) | 24,96 | 27,09 | 20,06 |
| | 42,29 | 27,49 | 38,16 ⁽ⁿ⁾ | 21,62 |
| | 38,59 | 20,72 | 38,99 ⁽ⁿ⁾ | 22,59 |
| 30 cm x 30 cm | 42,72 | 21,22 | 35,16 | 16,69 ^(b) |
| | 39,26 | 24,62 | 34,46 | 18,52 |
| Média (mm) | 38,78 | 24,87 | 30,96 | 22,26 |
| Desvio padrão (mm) | 3,16 | 2,37 | 2,78 | 2,57 |
| Coef. de variação (%) | 8,1 | 9,5 | 9,0 | 11,5 |

Onde,

(v) valor descartado por penetração em vazio;

(b) valor descartado por atingir agregado;

(n) valor descartado por critério da norma ASTM C 803: 2003.

Estes valores espúrios (v, b e n) não foram considerados no cálculo do valor médio e desvio padrão.

Observa-se nos valores médios obtidos nas séries S-1, S-2 e S-3.2 e mostrados na Tabela 4.3, como tendência geral, que a diminuição de penetração do pino no concreto na medida

em que este incrementa sua resistência, o qual é um resultado coerente e esperado neste ensaio. Entre as séries S-1 e S-2 constatou-se uma diferença de 13,9 mm entre resultados médios, sendo estes 38,78 mm e 24,87 mm, respectivamente. Para as séries S-2 e S-3.2 a diferença média de valores foi de 2,6 mm sendo que esta última série apresentou uma penetração de pino de 22,26 mm.

O coeficiente de variação aumentou em cada série com o aumento da respectiva resistência. O menor coeficiente de variação foi de 8,1% para série S-1 e a maior dispersão se observou na série S-3.2 com um coeficiente de variação de 11,5%.

No estudo da variabilidade do ensaio de penetração de pino têm sido determinados, por diferentes pesquisadores os seguintes coeficientes de variação que podem ser utilizados como referência para este estudo: 6,8% (PINTO; BAGGIO, 2004), 8% (MACHADO, 2005), 8,7% (JOFFILY, 2010), 7,1%-9,3% (PALÁCIOS, 2012), 8% (DA SILVA *et al*, 2012). Por outro lado, para este ensaio o ACI 228.1R-03 (2003) e Malhotra (2004) mencionam coeficientes de variação de 5% e de 6%-10% respectivamente. Observa-se então que os coeficientes de variação obtidos nesta pesquisa (8,1% a 11,5%) são próximos aos obtidos pelos pesquisadores em laboratório.

Analisando os resultados classificados por faces ensaiadas dos prismas, não foram notadas diferenças consideráveis entre o ensaio efetuado na face de 40 cm x 40 cm e na face de 30 cm x 30 cm para as séries S-1, S-2 e S-3.1. Já na série S-3.2, pode-se observar que a penetração de pino foi um pouco menor na face de 30 cm x 30cm do que na face 40 cm x 40 cm. Possivelmente isso se justifica por esta face ter sido a base do corpo de prova, podendo ter como consequência da diferença de adensamento o aumento da resistência à penetração do pino.

Na Figura 4.3 são apresentados os resultados individuais obtidos de penetração de pino (L_p) e a respectiva resistência à compressão (f_c) das quatro séries avaliadas aos 28 dias. O desvio padrão foi de 6,38 mm. Os limites de confiança foram de \pm um desvio padrão, ou seja, os resultados ficaram numa faixa de 12,76 mm.

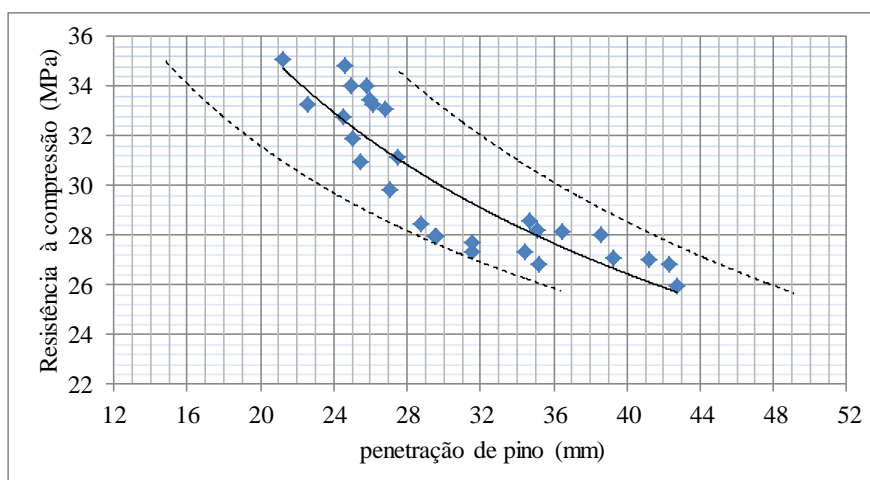


Figura 4.3- Correlação entre penetração de pino e a resistência à compressão aos 28 dias das séries de concreto S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2.

Analisando a Figura 4.3, observa-se o comportamento coerente e esperado para o ensaio de penetração de pino, sendo que na medida em que aumenta a resistência do concreto, diminui o valor de penetração do pino. A linha de tendência que melhor se ajustou à distribuição dos resultados de penetração de pino e resistência à compressão foi a potência, ajustada para um nível de confiança de 95%, obtendo-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,79.

A correlação entre L_p e f_c proposta neste estudo, efetuado em laboratório, é expressa na equação 4.2.

$$f_c = 129,28 * L_p^{-0,43} \quad \text{Equação 4.2}$$

Onde,

f_c : resistência à compressão do concreto (MPa)

L_p : penetração de pino (mm)

4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA E PENETRAÇÃO DE PINO REALIZADOS NAS OBRAS

Em 15 obras civis realizaram-se ensaios de esclerometria e penetração de pino em elementos de concreto com idade de 28 dias. Foram efetuados 124 pontos de esclerometria, os quais variaram entre 25,22 e 41,0 unidades de índice esclerométrico. Cada ponto foi resultado da média de 16 impactos do esclerômetro em uma malha de 20 cm x 20 cm, conforme a norma NBR 7584:2012.

Os valores obtidos no ensaio de penetração de pino variaram entre leituras de penetração de 20 mm até 45 mm para um total de 61 pontos, cada ponto foi resultado da média de cinco disparos. Os resultados de resistência à compressão foram fornecidos por cada empresa construtora encarregada da obra.

A Tabela 4.4 apresenta as características do concreto em cada obra, os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias, os valores de índice esclerométrico (IE) e a penetração de pino (Lp), além dos valores médios para cada obra.

Tabela 4.4- Valores de resistência à compressão, índice esclerométrico (IE) e penetração de pino (Lp) obtidos nas diferentes obras.

| Obra N° | fck (MPa) | Agregado graúdo | Abatimento (cm) | Caminhão betoneira | fc 7 (MPa) | Valor médio fc 7 (MPa) | fc 28 (MPa) | Valor médio fc 28 (MPa) | Índice esclerométrico (IE) | Valor médio de IE | Penetração de pino Lp (mm) | Valor médio de Lp |
|---------|-----------|-----------------|-----------------|--------------------|------------|------------------------|-------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | 30 | 0 e 1 | 10 ± 2 | cb1 | 28,80 | 28,20 | 36,10 | 35,65 | 34,33 | 34,99 | 24,59 | 23,14 |
| | | | | cb2 | 27,60 | | 35,20 | | 35,64 | | 21,69 | |
| 2 | 30 | 1 | 12 ± 2 | cb1 | 26,20 | 26,00 | 35,00 | 34,30 | 33,44 | 33,70 | 24,07 | 23,59 |
| | | | | cb2 | 25,80 | | 33,60 | | 33,96 | | 23,11 | |
| 3 | 35 | 0 e 1 | 12 ± 2 | cb1 | 26,70 | 28,87 | 36,80 | 38,73 | 29,42 | 29,53 | 30,63 | 30,25 |
| | | | | cb2 | 29,20 | | 36,00 | | 30,99 | | 28,97 | |
| | | | | cb3 | 26,80 | | 34,10 | | 28,43 | | / | |
| | | | | cb4 | 35,10 | | 41,60 | | 29,41 | | 30,56 | |
| | | | | cb5 | 31,00 | | 42,40 | | 30,99 | | 29,19 | |
| | | | | cb6 | 28,00 | | 37,40 | | 29,23 | | 31,31 | |
| | | | | cb7 | 26,30 | | 38,60 | | 29,46 | | 28,58 | |
| | | | | cb8 | 29,50 | | 42,30 | | 29,60 | | 31,03 | |
| | | | | cb9 | 27,20 | | 39,40 | | 28,27 | | 31,69 | |
| 4 | 30 | 0 e 1 | 12 ± 2 | cb1 | 24,20 | 25,90 | 33,50 | 33,78 | 41,73 | 40,49 | 21,50 | 23,40 |
| | | | | cb2 | 26,30 | | 34,70 | | 42,73 | | 23,54 | |
| | | | | cb3 | 27,20 | | 33,70 | | 43,61 | | 23,65 | |
| | | | | cb4 | 25,90 | | 33,20 | | 33,89 | | 24,90 | |
| 5a | 40 | 1 | 10 ± 2 | cb1 | / | 37,70 | 48,20 | 47,57 | 42,86 | 43,35 | 20,52 | 22,03 |
| | | | | cb2 | / | | 46,70 | | 43,16 | | 23,44 | |
| 5b | | | | cb3 | / | 47,80 | 44,04 | 22,14 | | | | |
| | | | | cb4 | 38,60 | 46,90 | 35,30 | 25,18 | | | | |
| | | | | cb5 | 37,10 | 47,00 | 36,30 | 25,34 | | | | |
| | | | | cb6 | 37,40 | 47,40 | 35,40 | 28,18 | | | | |
| 6 | 30 | 0 e 1 | 12 ± 2 | cb1 | 31,46 | 27,81 | 46,33 | 39,19 | 30,20 | 31,38 | 27,66 | 28,64 |
| | | | | cb2 | 31,78 | | 41,74 | | 32,50 | | 25,82 | |
| | | | | cb3 | 35,38 | | 39,46 | | 32,60 | | 25,86 | |
| | | | | cb4 | 21,44 | | 35,31 | | 31,99 | | 30,62 | |
| | | | | cb5 | 23,39 | | 36,55 | | 30,20 | | 30,36 | |
| | | | | cb6 | 23,39 | | 35,77 | | 30,81 | | 31,51 | |
| 7 | 35 | 1 | 10 ± 2 | cb1 | 19,10 | 22,70 | 30,10 | 32,67 | 31,10 | 32,41 | 28,89 | 25,99 |
| | | | | cb2 | 23,80 | | 32,70 | | 32,40 | | 26,98 | |
| | | | | cb3 | 25,20 | | 35,20 | | 33,73 | | 22,10 | |
| 8 | 30 | 0 e 1 | 12 ± 2 | cb1 | 25,20 | 25,50 | 34,40 | 33,28 | 32,79 | 33,18 | 28,28 | 26,63 |
| | | | | cb2 | 25,80 | | 32,15 | | 33,56 | | 24,98 | |
| 9 | 30 | 0 | 14 ± 2 | cb1 | 26,70 | 26,70 | 36,80 | 36,80 | 33,77 | 33,77 | 27,19 | 27,19 |
| 10 | 30 | 0 | 14 ± 2 | cb1 | 26,60 | 26,62 | 34,39 | 33,94 | 32,66 | 31,72 | 31,00 | 32,91 |
| | | | | cb2 | 29,41 | | 33,96 | | 30,61 | | 34,71 | |
| | | | | cb3 | 24,43 | | 31,74 | | 32,02 | | 34,64 | |
| | | | | cb4 | 25,11 | | 32,61 | | 31,70 | | 32,79 | |
| | | | | cb5 | 27,57 | | 36,99 | | 31,60 | | 31,41 | |
| 11 | 35 | 0 | 14 ± 2 | cb1 | 33,70 | 32,03 | 40,20 | 41,53 | 33,84 | 32,37 | 29,35 | 30,50 |
| | | | | cb2 | 31,50 | | 41,90 | | 29,67 | | 31,95 | |
| | | | | cb3 | 30,90 | | 42,50 | | 33,61 | | 30,20 | |
| 12 | 30 | 0 | 14 ± 2 | cb1 | 28,6 | 29,10 | 33,90 | 38,60 | 29,62 | 29,34 | 36,30 | 35,32 |
| | | | | cb2 | 30,6 | | 40,60 | | 33,17 | | 34,79 | |
| | | | | cb3 | 28,1 | | 41,30 | | 25,22 | | 34,86 | |
| 13 | 30 | 0 e 1 | 12 ± 2 | cb1 | 29,50 | 30,70 | 36,90 | 37,70 | 31,41 | 31,61 | 36,34 | 34,34 |
| | | | | cb2 | 31,90 | | 38,50 | | 31,81 | | 32,34 | |
| 14 | 40 | 0 e 1 | 12 ± 2 | cb1 | 35,2 | 42,97 | 50,00 | 50,67 | 31,97 | 34,35 | 35,29 | 32,93 |
| | | | | cb2 | 50,2 | | 53,50 | | 36,37 | | 31,58 | |
| | | | | cb3 | 43,5 | | 48,50 | | 34,70 | | 31,93 | |
| 15 | 25 | 0 e 1 | 22 ± 3 | cb1 | / | 28,20 | 32,52 | 30,23 | 28,19 | 27,46 | 42,46 | 43,63 |
| | | | | cb2 | / | | 29,79 | | 26,71 | | 44,92 | |
| | | | | cb3 | / | | 28,37 | | 27,47 | | 43,51 | |

Para melhor entendimento desta Tabela 4.4 e de todos os valores apresentados nas diferentes colunas, serão explicadas a seguir cada uma delas:

Obra: cada uma das obras foi referenciada numericamente na ordem de avaliação efetuada; a identificação e coleta de informação de cada obra foram mencionadas no programa experimental;

f_{ck} : resistência característica à compressão;

Brita: dimensão dos agregados graúdos utilizados no concreto, sendo brita 0 para os agregados com dimensão entre 4,75 mm até 12,5 mm e brita 1 para os agregados com dimensão entre 9,5 mm e 25 mm.

Slump: abatimento do concreto;

Caminhão betoneira: número de identificação dos diferentes caminhões betoneira utilizados em cada obra.

f_{c7} e f_{c28} : resultados das resistências dos corpos de prova cilíndricos (resistências médias fornecidas pela construtora, para controle tecnológico da resistência à compressão do concreto aos 7 e 28 dias);

IE e *Lp*: valores médios obtidos após uma análise individual de cada planilha de dados, tanto para esclerometria como para penetração de pino (Apêndice B), descartando os valores espúrios para cada caso tal como foi explicado no programa experimental.

Na obra 5 se avaliaram lajes e pilares, por isso os resultados foram separados e identificados como obra 5a para os ensaios em laje e obra 5b para ensaios em pilares. Não foram fornecidos, por parte da construtora responsável, os resultados da resistência à compressão aos 7 dias na obra 5a e obra 15.

4.2.1 Comportamento da resistência à compressão

Os valores médios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias para cada obra avaliada são resumidos na Tabela 4.5 e apresentados em gráficos de barras na Figura 4.4. Os resultados de cada obra foram colocados no gráfico na ordem crescente de forma que se visualize a resistência média e os grupos de resistência de projeto (f_{ck}) de 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa e 40 MPa. O número colocado na parte superior de cada barra faz referência à identificação da obra avaliada.

Tabela 4.5- Valores médios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias para cada obra avaliada

| Obra N° | Média fc 7 | Média fc 28 |
|---------|------------|-------------|
| 1 | 28,20 | 35,65 |
| 2 | 26,00 | 34,30 |
| 3 | 28,87 | 38,73 |
| 4 | 25,90 | 33,78 |
| 5 | 37,70 | 47,33 |
| 6 | 27,81 | 39,19 |
| 7 | 22,70 | 32,67 |
| 8 | 25,50 | 33,28 |
| 9 | 26,70 | 36,80 |
| 10 | 26,62 | 33,94 |
| 11 | 32,03 | 41,53 |
| 12 | 29,10 | 38,60 |
| 13 | 30,70 | 37,70 |
| 14 | 42,97 | 50,67 |
| 15 | / | 30,23 |

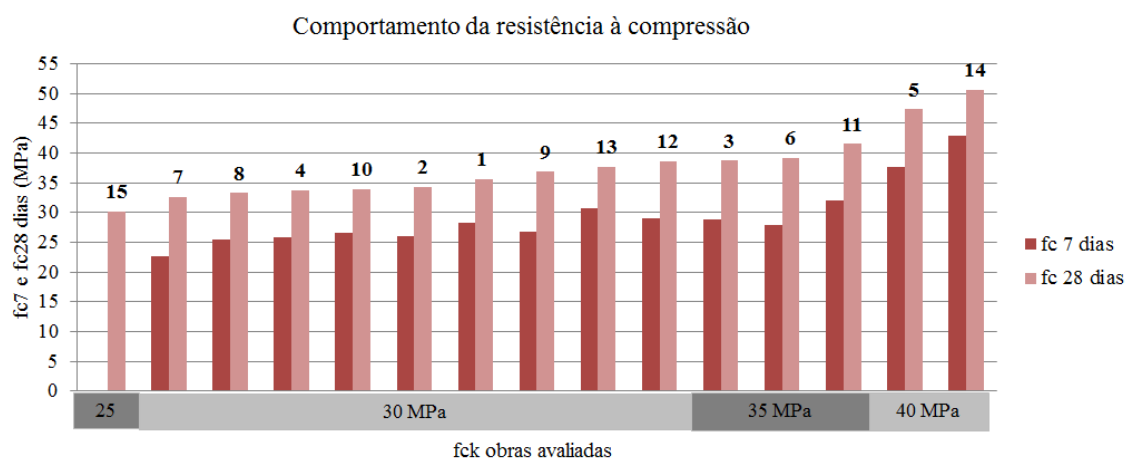


Figura 4.4- Resultados médios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias nas 15 obras avaliadas.

Os valores médios de resistência à compressão obtidos no rompimento de corpos de prova na idade de 28 dias (f_{c28}) apresentaram uma tendência média de 18% acima do valor especificado no projeto (f_{ck}). Observa-se, por exemplo, para a obra com f_{ck} de 25 MPa um resultado f_{c28} 21% acima ou seja de 30,23 MPa, e para as obras com f_{ck} de 35 MPa um resultado de f_{c28} 14% acima do f_{ck} , significando para todos os casos um resultado satisfatório de resistência à compressão aos 28 dias.

Obtiveram-se o desvio padrão e coeficiente de variação dos resultados de resistência à compressão aos 28 dias para cada uma das 15 obras, e a partir desses valores foi tomado o valor médio de todas as obras, sendo desvio padrão de 1,95 MPa e coeficiente de variação de 5,2%. Fazendo uma comparação com a dispersão dos resultados obtidos em laboratório nas séries S-1, S-2, S-3.1 e S-3.2 aos 28 dias, cujo desvio padrão foi da ordem de 1,23 MPa e coeficiente de variação em torno de 3,7%, é possível observar que a dispersão de valores é maior nas avaliações em obra do que no laboratório.

As possíveis justificativas do aumento na dispersão dos resultados dos corpos de prova cilíndricos moldados no controle tecnológico, em comparação com os resultados obtidos do presente estudo feito em laboratório são:

- O controle nas etapas de moldagem, adensamento e cura foi provavelmente mais rigoroso no presente estudo feito em laboratório, o que levou a se obter maior homogeneidade no concreto melhorando assim os resultados, além de ter completa certeza da correta execução da rotina de ensaio nesta pesquisa, mas não da rotina efetuada pelos diferentes laboratórios que fizeram o controle tecnológico das obras.

- Os concretos avaliados *in loco* apresentam características diferentes em cada obra, sendo diferentes construtoras, diferentes laboratórios para controle tecnológico (foram 6 laboratórios distintos) e, especialmente diferentes características do concreto (f_{ck} , dimensão máxima dos agregados, dosagem, etc) . No entanto, a concreteira e os materiais empregados foram os mesmos.

4.2.2 Comportamento da esclerometria e a grandeza obtida: IE

De forma geral se apresentam na Figura 4.5 os valores médios de índice esclerométrico obtidos em cada obra, organizados de forma que se visualize a respectiva resistência característica do concreto por cada obra e o valor obtido com o esclerômetro. O número colocado na parte superior de cada barra faz referência à identificação da obra avaliada, na maioria dos casos os elementos avaliados foram pilares. As planilhas com todos os valores obtidos neste ensaio são apresentadas no Apêndice B.

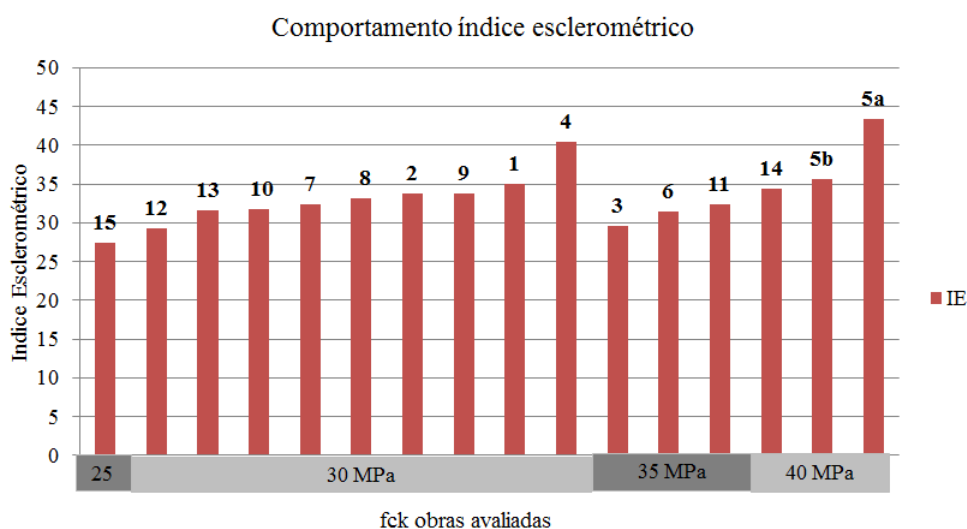


Figura 4.5- Resultados médios de índice esclerométrico nas 15 obras avaliadas.

Na obra 4 e obra 5a os elementos avaliados foram lajes, observando-se um valor de IE mais alto nestes elementos. Este aumento pode ser devido à posição do esclerômetro, uma vez que o ensaio foi feito na posição vertical e o valor obtido foi ajustado para posição horizontal, por meio das curvas de calibração fornecidas pelo fabricante do esclerômetro. Estas curvas variam dependendo do tipo de esclerômetro usado.

Dos valores médios obtidos de índice esclerométrico nas obras avaliadas, obteve-se um desvio padrão de 2,31 e coeficiente de variação de 7,2%. Neste caso não foram incluídos os resultados obtidos nas lajes das obras 4 e 5a devido à diferença considerável dos resultados obtidos nas mesmas.

Fazendo uma comparação com os resultados de esclerometria em prismas aos 28 dias obtidos em laboratório na presente pesquisa, cujo valor de desvio padrão foi de 1,78 e

coeficiente de variação de 5,4%, nota-se que a dispersão dos resultados médios obtidos em obra foi superior à dispersão dos resultados obtidos em laboratório.

Na Tabela 4.6 e Figura 4.6, são apresentados de forma comparativa os resultados médios de índice esclerométrico (IE) obtido em cada obra avaliada e a resistência à compressão (f_{c28}) obtida dos corpos de prova cilíndricos ensaiados aos 28 dias.

Tabela 4.6- Resultados médios de resistência à compressão e esclerometria nas obras.

| Obra | f_{c28} (MPa) | IE |
|------|--------------------|-------|
| 1 | 35,65 | 34,99 |
| 2 | 34,30 | 33,70 |
| 3 | 38,73 | 29,53 |
| 4 | 33,78 | 40,49 |
| 5a | 47,57 | 43,35 |
| 5b | 47,10 | 35,67 |
| 6 | 39,19 | 31,38 |
| 7 | 32,67 | 32,41 |
| 8 | 33,28 | 33,18 |
| 9 | 36,80 | 33,77 |
| 10 | 33,94 | 31,72 |
| 11 | 41,53 | 32,37 |
| 12 | 38,60 | 29,34 |
| 13 | 37,70 | 31,61 |
| 14 | 50,67 | 34,35 |
| 15 | 30,23 | 27,46 |

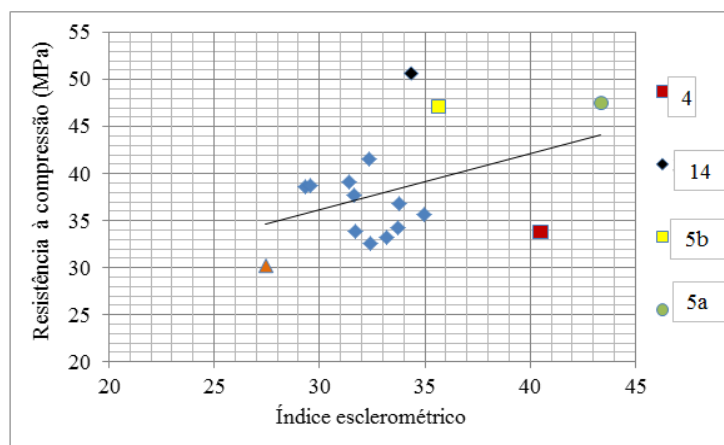


Figura 4.6- Resultados médios do ensaio de esclerometria realizado in loco e a resistência à compressão nas 15 obras avaliadas.

As obras 4 e 5a apresentaram valores muito altos de esclerometria pois os elementos ensaiados foram lajes maciças de concreto armado. Nestas peças estruturais, o processo construtivo, ou seja, a colocação do concreto, a espessura do elemento, o espaçamento das

barras de aço e tipo de adensamento e cura influenciam consideravelmente no aumento da resistência determinada com ensaios não destrutivos. Além disso, como já foi mencionada anteriormente, a posição vertical do esclerômetro e posteriormente corrigida para horizontal também leva a valores mais altos de índice esclerométrico.

Nas obras 14, 5a e 5b, os valores altos de resistência à compressão são atribuídos ao processo de controle tecnológico de cada laboratório, devido ao procedimento de moldagem dos corpos de prova e respectivo ensaio de resistência à compressão.

Uma hipótese para a presença de valores muito altos de resistência à compressão se deve ao fato de serem resultados da rotina de diferentes laboratórios para ensaio do concreto, uma vez que o controle tecnológico do concreto das 15 obras foi realizado por 6 laboratórios diferentes, o que pode ter como consequência a divergência e maior variabilidade nos valores de resistência usados neste estudo. Comprova-se isso na dispersão obtida no controle tecnológico cujo coeficiente de variação foi de 5,2% comparado com o coeficiente de variação obtido na aferição efetuada no laboratório que foi de 3,7%.

Quanto à segunda hipótese, de que a variação nos resultados observados se deve à esclerometria, pode-se afirmar que o ensaio de esclerometria foi realizado de forma correta e por um mesmo operador, conforme especifica a norma NBR 7584:2012, e os resultados obtidos em obra apresentam um desvio padrão próximo ao desvio padrão obtido em laboratório. Dessa forma, não se acredita que este seja um fator maximizador de erro.

4.2.3 Comportamento da penetração de pino e a grandeza obtida: Lp

O comportamento dos resultados obtidos no ensaio de penetração de pino efetuado *in loco* nas 15 obras é apresentado na Figura 4.7. O valor máximo de penetração foi 43,63 mm, obtido na obra 15 e o valor mínimo foi de 22,03 mm, obtido na obra 5a.

Do total dos resultados de comprimento cravado de pino (Lp) nas obras, obteve-se um valor de desvio padrão de 4,33 mm e coeficiente de variação de 15,4%. Neste caso não foi incluído o valor obtido na obra 15, devido à diferença considerável em relação aos demais

valores. Nota-se que a dispersão dos resultados obtidos em obra foi superior aos resultados de penetração de pino obtido no laboratório (8,1% a 11,5%).

Toma-se esta dispersão dos resultados como aceitável, já que as variáveis que influenciam nos ensaios *in loco* (especialmente adensamento e cura) são muito mais difíceis de controlar. Além disso, a faixa de resistências avaliada nas obras é mais ampla do que em laboratório. As planilhas com todos os valores obtidos neste ensaio serão apresentadas no Apêndice B.

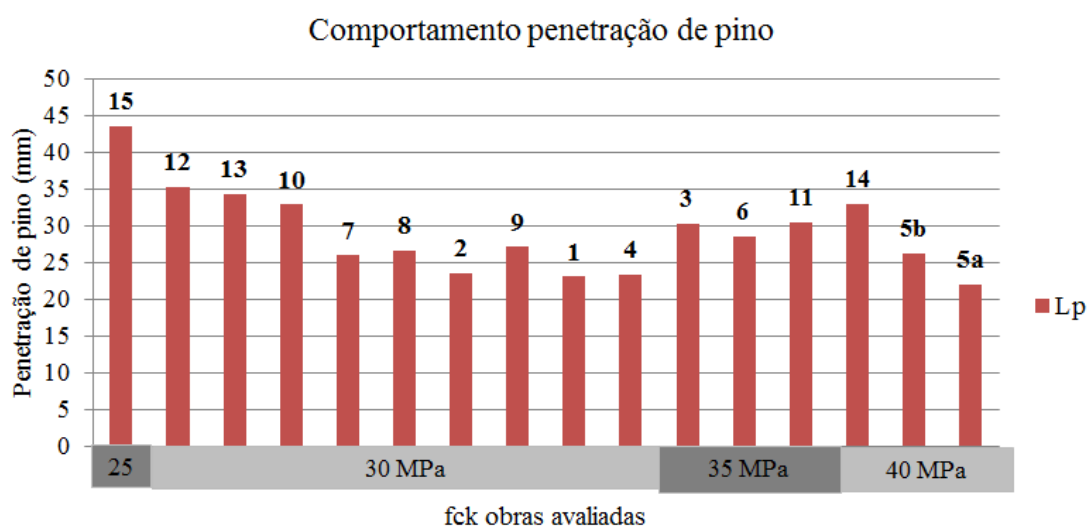


Figura 4.7- Resultados médios de penetração de pino nas 15 obras avaliadas.

Os valores de cada obra, na Figura 4.7, estão organizados na mesma ordem que foi colocada para o comportamento da esclerometria na Figura 4.5. Desta forma, pode-se observar o comportamento quase inverso dos resultados de penetração de pino. Ou seja, para a esclerometria os valores aumentam na medida em que aumenta a resistência do concreto, enquanto que para a penetração de pino os valores diminuem na medida em que aumenta a resistência.

Na Tabela 4.7, são apresentados os resultados médios de penetração de pino (L_p) obtidos em cada obra avaliada e a resistência à compressão (f_{c28}) obtida dos corpos de prova cilíndricos ensaiados aos 28 dias.

Tabela 4.7- Resultados médios de resistência à compressão e penetração de pino nas obras.

| Obra | fc28 (MPa) | Lp (mm) |
|------|------------|---------|
| 1 | 35,65 | 23,14 |
| 2 | 34,30 | 23,59 |
| 3 | 38,73 | 30,25 |
| 4 | 33,78 | 23,40 |
| 5a | 47,57 | 22,03 |
| 5b | 47,10 | 26,23 |
| 6 | 39,19 | 28,64 |
| 7 | 32,67 | 25,99 |
| 8 | 33,28 | 26,63 |
| 9 | 36,80 | 27,19 |
| 10 | 33,94 | 32,91 |
| 11 | 41,53 | 30,50 |
| 12 | 38,60 | 35,32 |
| 13 | 37,70 | 34,34 |
| 14 | 50,67 | 32,93 |
| 15 | 30,23 | 43,63 |

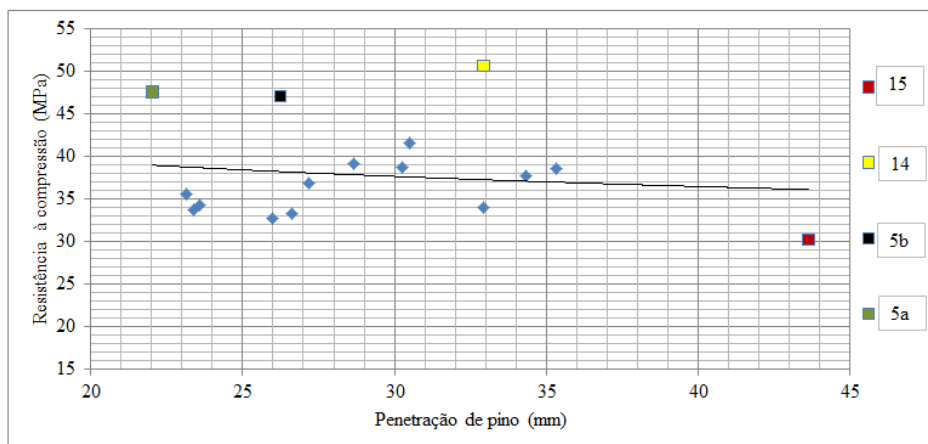


Figura 4.8- Resultados médios do ensaio de penetração de pino realizado in loco e a resistência à compressão nas 15 obras avaliadas.

Na figura 4.8 observa-se uma maior dispersão mostrada nos pontos identificados como obras 15, 14, 5a e 5b. A obra 15 apresentou um valor médio muito alto de penetração de pino, isto pode-se justificar por ser a única obra cujo elemento avaliado foi parede de concreto com resistências de projeto de 25 MPa, o que confirma que quando diminui a resistência do concreto, aumenta a penetração do pino.

Já no caso das obras 14, 5a e 5b, foram apresentados valores muito altos de resistência à compressão, podendo ter o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias maior

variabilidade pelo fato de ser realizado em diferentes laboratórios, como foi explicado no item 4.2.2.

Nesta pesquisa se buscou identificar se a variabilidade observada nas Figuras 4.6 e 4.8 estão associadas à resistência à compressão obtida no controle tecnológico ou às medidas efetuadas em obra. Para tal foram relacionados os resultados médios de índice esclerométrico e a penetração de pino das 15 obras, obtendo uma regressão de tipo potência, conforme mostrado na Figura 4.9.

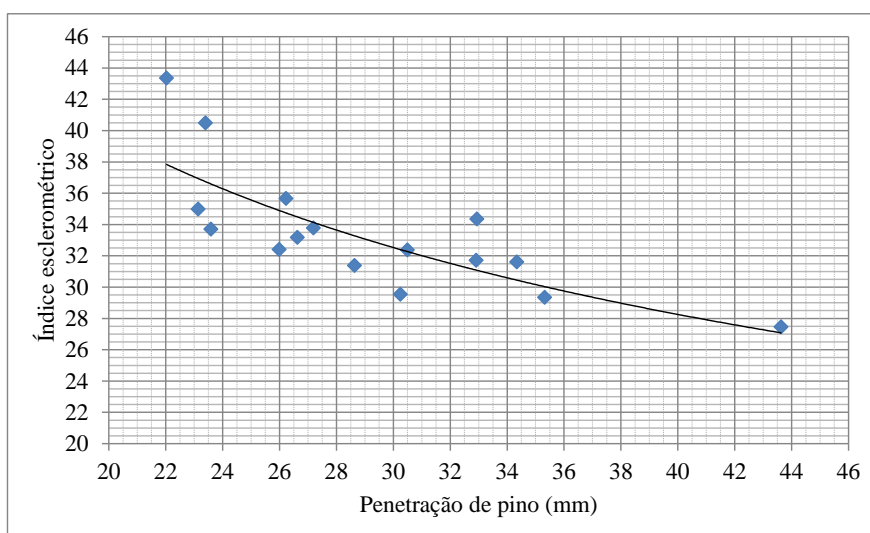


Figura 4.9- Correlação entre resultados de esclerometria e penetração de pino realizado nas 15 obras avaliadas.

Analisando a Figura 4.9, conclui-se que a dispersão dos dados nos ensaios efetuados é baixa, atribuindo as variabilidades observadas à medição da resistência à compressão no controle tecnológico, já que, usando duas técnicas (esclerometria e penetração de pino) diferentes com suas respectivas metodologias e variabilidades, observou-se uma tendência nítida onde os valores convergem (coeficiente de determinação R^2 de 0,64) o que reforça esta hipótese.

4.3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS DIFERENTES MODELOS ESTATÍSTICOS PARA PREVISÃO DE RESISTÊNCIA

Obtidos os resultados de índice esclerométrico (IE) e penetração de pino (Lp) nas obras avaliadas, determinou-se os valores médios das grandezas encontradas. Procedeu-se à análise desses valores nas equações propostas por diferentes autores, obtidas de estudos realizados em corpos moldados sob condições de laboratório. A finalidade desta etapa foi prever o valor de resistência à compressão estimada *in loco* e fazer a comparação com o valor obtido no controle tecnológico realizado em cada obra.

4.3.1 Previsão da resistência à compressão a partir dos resultados de índice esclerométrico

Na Tabela 4.8 se apresenta a planilha da análise das correlações propostas Palácios (2012), Pereira e Medeiros (2012), Joffily (2010), Aydin e Saribivik (2010), Câmara (2006), Machado (2005) e Evangelista (2002). As correlações propostas permitem determinar a resistência à compressão a partir do valor de índice esclerométrico. Neste caso pretende-se comparar o valor da resistência dos corpos de prova moldados no controle tecnológico com a resistência estimada obtida de cada equação. Isto poderia ser uma etapa na investigação de uma não conformidade de resistência do concreto.

As correlações analisadas foram obtidas das pesquisas que cada autor realizou em condições de laboratório, para concretos com diferentes características em sua composição (agregados, tipo de cimento, relação a/c, entre outros) e para diferentes faixas de resistência. No caso das pesquisas de Joffily (2010) e Palácios (2012), os concretos avaliados foram compostos por agregados calcários e cimento CP V-ARI da mesma região que o presente estudo. Na pesquisa de Evangelista (2002), por meio de uma análise estatística dos resultados de índice esclerométrico em concretos produzidos com cimento CP III e CP V para diferentes relações a/c, foi constatado que para uma mesma idade os maiores valores de IE foram encontrados em concretos com cimento CP V-ARI. No presente estudo os concretos avaliados no laboratório e na maioria das obras foram produzidos com 50% de CP III e 50% CP V-ARI, sendo que a central de concreto usa a mistura de dois cimentos diferentes na sua produção de concreto.

Tabela 4.8- Planilha de análise das equações propostas com os dados de IE obtidos nas obras para estimar f_{c28} .

| ANÁLISE DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS POR DIVERSOS AUTORES - ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|----|----|----|----|----|-------|----|----|---------|----|----|----|
| ELEMENTOS AVALIADOS NAS OBRAS | | | | | | | | | | | | | |
| | PILARES | | | | | | LAJES | | | PAREDES | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 36 | 43 | 44 | 27 | 28 | 34 |
| | 37 | 38 | 35 | 35 | 34 | 38 | 35 | 47 | 47 | 48 | 29 | 33 | 41 |
| | f_{c28} estimado (MPa) | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | 27 | 29 | 32 | 35 | 38 | 41 | 48 | 70 | 72 | 20 | 23 | 41 |
| | 26 | 27 | 28 | 30 | 31 | 33 | 34 | 37 | 47 | 48 | 24 | 26 | 34 |
| | 29 | 32 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 51 | 71 | 74 | 25 | 28 | 44 |
| | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 37 | 45 | 46 | 26 | 28 | 34 |
| | 27 | 29 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 42 | 55 | 56 | 25 | 27 | 37 |
| | 24 | 26 | 27 | 29 | 31 | 33 | 35 | 40 | 57 | 59 | 22 | 24 | 35 |
| | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 41 | 46 | 66 | 68 | 26 | 28 | 40 |
| | 28 | 30 | 32 | 35 | 37 | 40 | 43 | 50 | 78 | 82 | 25 | 27 | 43 |
| | 31 | 34 | 35 | 38 | 40 | 43 | 45 | 52 | 75 | 79 | 28 | 31 | 45 |
| | 22 | 24 | 25 | 27 | 29 | 30 | 32 | 36 | 49 | 50 | 20 | 22 | 32 |
| | f_{c28} estimado (MPa) | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | 27 | 29 | 32 | 35 | 38 | 41 | 48 | 70 | 72 | 20 | 23 | 41 |
| | 26 | 27 | 28 | 30 | 31 | 33 | 34 | 37 | 47 | 48 | 24 | 26 | 34 |
| | 29 | 32 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 51 | 71 | 74 | 25 | 28 | 44 |
| | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 37 | 45 | 46 | 26 | 28 | 34 |
| | 27 | 29 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 42 | 55 | 56 | 25 | 27 | 37 |
| | 24 | 26 | 27 | 29 | 31 | 33 | 35 | 40 | 57 | 59 | 22 | 24 | 35 |
| | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 41 | 46 | 66 | 68 | 26 | 28 | 40 |
| | 28 | 30 | 32 | 35 | 37 | 40 | 43 | 50 | 78 | 82 | 25 | 27 | 43 |
| | 31 | 34 | 35 | 38 | 40 | 43 | 45 | 52 | 75 | 79 | 28 | 31 | 45 |
| | 22 | 24 | 25 | 27 | 29 | 30 | 32 | 36 | 49 | 50 | 20 | 22 | 32 |

| | Índice esclerométrico obras | | Tipo de Cimento |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| | Faixa de resistência (MPa) | Agregado e teor de argamassa | |
| Palácios | 39-52 | Calciário 9,5 e 19mm; $\alpha=54\%$ | CP V ARI |
| Pereira e Medeiros | 30-45 | Calciário: 9,5 a 25mm; $\alpha=52\%$ | CP II F-32 |
| Joffily | 25-50 | Calciário 19mm; $\alpha=48\%$ | CP V ARI |
| Aydin e Saribivik | 15-50 | Calciário Britado | CP I |
| Câmara | 12 a 45 | Granito 9,5 e 19mm $\alpha=47\%$ | CP IV-RS |
| Machado | 15-50 | Gnaisse, Slenito 19mm | CP III |
| Evangelista | 11 a 53 | Gnaisse 19mm | CP III 32 e CPV |
| | 10 a 46 | Gnaisse 9,5mm | CP III 32 e CPV |
| Pesquisa Laboratório | 8 a 49 | Traquito 19mm | CP III 32 e CPV |
| | 21 a 34 | Calciário 9,5 e 19mm; $\alpha=53\%$ | CP III e CPV |

A Tabela 4.8 contém os valores médios de índice esclerométrico, valores médios da resistência à compressão dos concretos avaliados nas obras e a resistência estimada obtida das equações. Para as equações propostas pelos estudos prévios, apresentam-se as faixas de resistência e as características dos concretos utilizados (tipo de agregado, teor de argamassa e tipo de cimento). As células ressaltadas são os resultados de resistência à compressão obtida das equações que se ficaram mais próximas, em ± 3 MPa (valor médio dos desvios padrões obtidos das pesquisas tomadas como referência), aos valores de resistência à compressão obtida dos corpos de prova moldados (f_{c28} obras).

O comportamento dos valores de índice esclerométrico e resistência à compressão, obtidos em pilares, lajes e paredes das 15 obras avaliadas, foram analisados de forma individual. A partir dessa análise também foram analisados como valores médios, e a tendência apresentada foi similar. A partir disso optou-se por tomar os valores médios para apresentar o comportamento das equações de forma mais pontual e simplificar a visualização dos dados.

Observa-se que os valores de índice esclerométrico se comportam de forma crescente, mas ao contrário do esperado, os valores de resistência à compressão das obras não apresentaram a mesma tendência. A resistência à compressão dos corpos de prova moldados em obra apresentou um comportamento muito variável, tendo coerência somente com alguns valores da resistência estimada a partir do índice esclerométrico obtido nas obras.

A análise realizada em cada equação com os valores de IE obtidos dos pilares é apresentada na Figura 4.10. As equações que deram os resultados de resistência mais próximos à resistência dos corpos de prova (f_{c28} obras) foram aquelas propostas pelos autores Palácios (2012), Câmara (2005) e equações 1 e 2 propostas por Evangelista (2002). A linha de cor preta representa a resistência f_c 28 das obras, sendo esta referência para as validações. Os números mostrados no eixo horizontal na ordem de 1 até 8 correspondem aos valores de referência para cada valor médio de índice esclerométrico em pilares, como observados na Tabela 4.8.

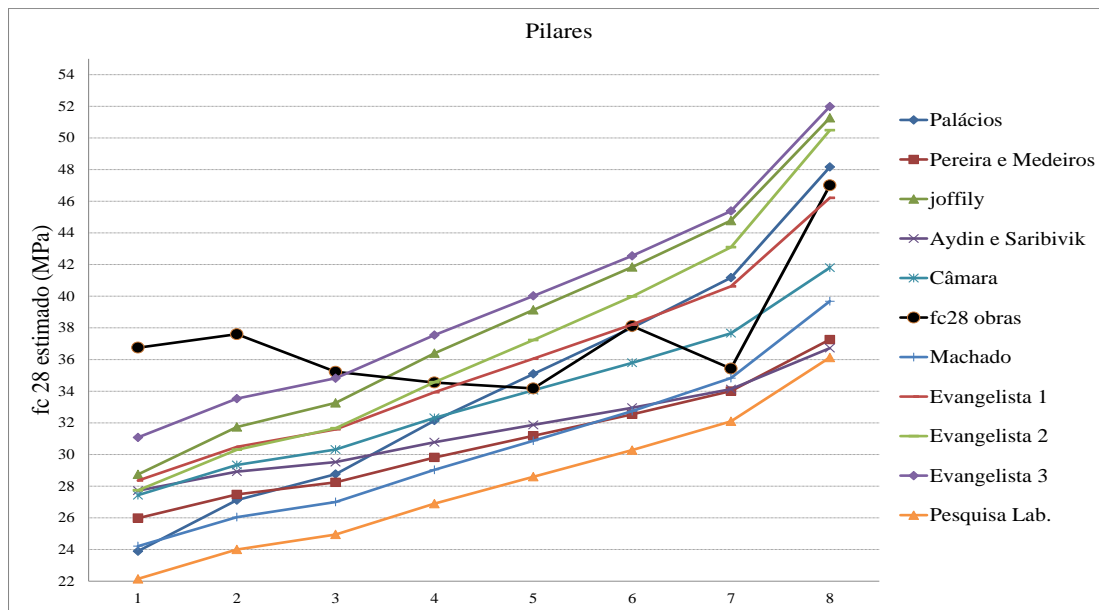


Figura 4.10- Análise das equações propostas com os dados de IE obtidos nos pilares avaliados para estimar f_{c28} .

A análise realizada com os valores de IE obtidos em lajes é apresentada na Figura 4.11. As equações que deram os resultados de resistência mais próximos à resistência dos corpos moldados foram as propostas por Pereira e Medeiros (2012), Aydin e Saribivik (2010) e a equação proposta do presente estudo realizado em laboratório.

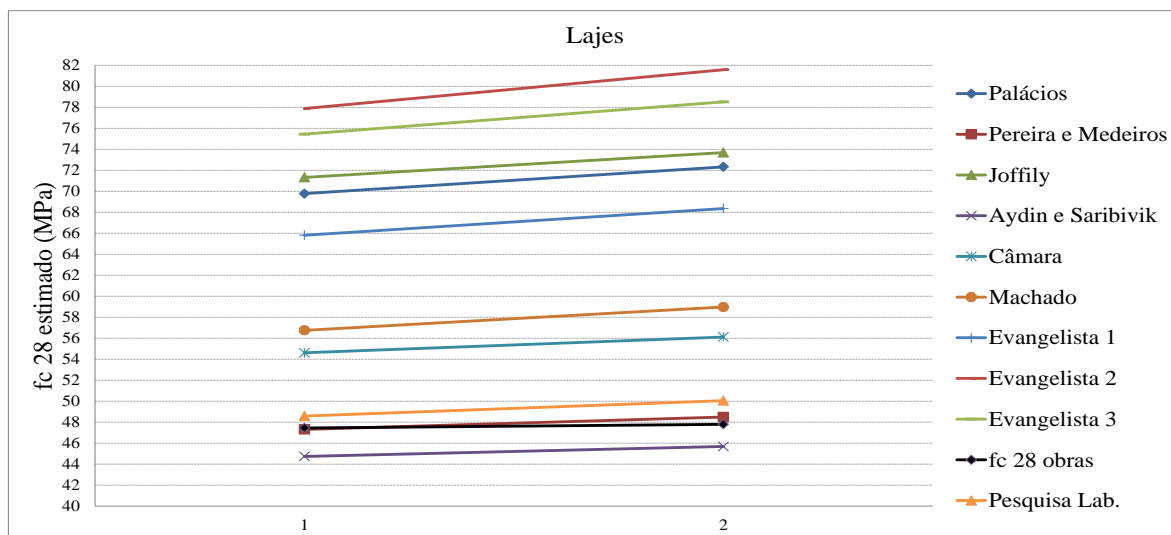


Figura 4.11- Análise das equações propostas com os dados de IE obtidos nas lajes avaliadas para estimar f_{c28} .

A análise realizada com os valores de IE obtidos nas paredes de concreto é apresentada na Figura 4.12. A terceira equação proposta por Evangelista (2002) foi a que apresentou três valores próximos à resistência dos corpos moldados (f_{c28} obras).

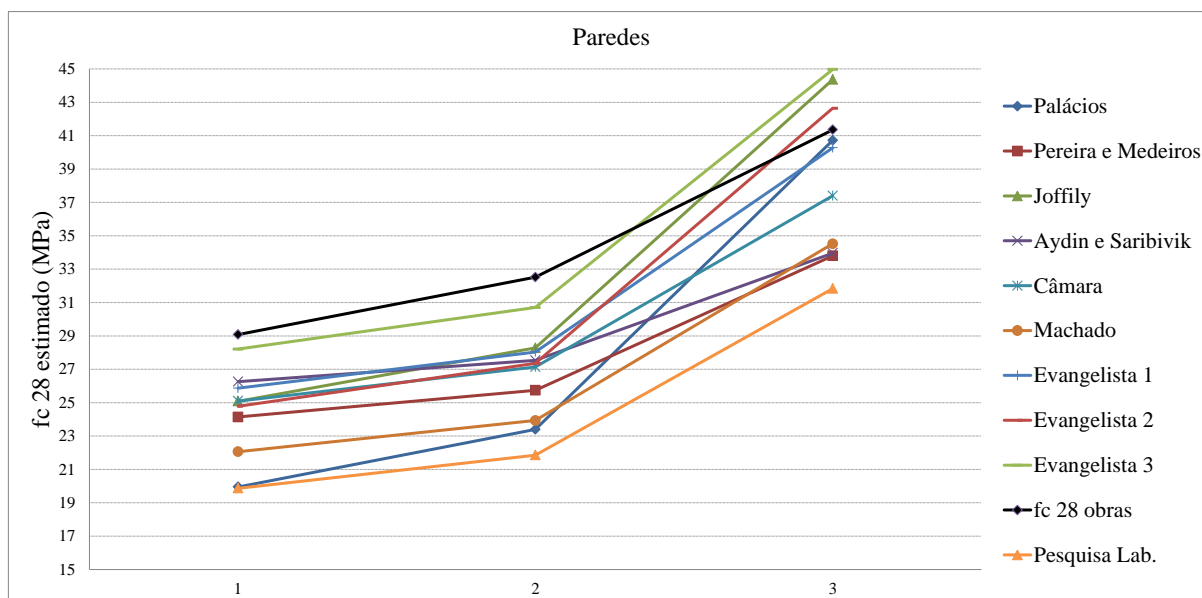


Figura 4.12- Análise das equações propostas com os dados de IE obtidos em paredes de concreto avaliadas para estimar f_{c28} .

Na Figura 4.10, nota-se a diferença da tendência apresentada nos resultados de f_{c28} das obras em comparação com os resultados obtidos das equações; todas as linhas obtidas dos modelos validados levam a mesma tendência, não obstante algumas ficaram mais afastadas entre si. Já para o caso das lajes e paredes de concreto, Figuras 4.11 e 4.12 respectivamente, o crescimento dos valores de resistência estimada f_{c28} das obras segue uma tendência similar aos resultados obtidos em laboratório, apesar de sempre haver diferença nos valores.

De forma geral, a maioria das validações com índices esclerométricos obtidos de pilares e paredes nas equações propostas pelos autores estudados: Palácios (2012), Pereira e Medeiros (2012), Joffily (2010), Aydin e Saribivik (2010), Câmara (2006), Machado (2005) e Evangelista (2002), apresentam resultados de resistência à compressão menor do que o valor de f_{c28} tomado como referência, ou seja, as regressões propostas minimizam os valores de resistência à compressão. Já para o caso dos valores obtidos em lajes, o comportamento é ao contrário, ou seja, as diferentes equações aumentam o valor de f_{c28} .

4.3.2 Previsão da resistência à compressão a partir dos resultados da penetração de pino

Na tabela 4.9 se apresenta a planilha da análise das correlações propostas pelos autores Da Silva *et al* (2012), Palácios (2012), Joffily (2010), Câmara (2006), Machado (2005) e Evangelista (2002), para determinar a resistência à compressão a partir do valor de penetração de pino. Foi comparado o valor da resistência dos corpos de prova moldados no controle tecnológico com a resistência estimada obtida de cada equação. Malhotra (2004) e o ACI 228.1R-03 (2003) especificaram que se devem fazer as correlações dos métodos não destrutivos com a resistência à compressão no laboratório para posterior uso destas técnicas em obra.

Da mesma forma que foi apresentada para a análise de índice esclerométrico, a Tabela 4.9 contém os valores médios de penetração de pino, valores médios da resistência à compressão dos concretos avaliados nas obras (previamente foi feita uma análise individual dos valores), e a resistência estimada obtida das equações. Nas equações propostas pelos estudos prévios, apresentam-se as faixas de resistência e as características dos concretos utilizados (tipo de agregado, teor de argamassa e tipo de cimento). As células ressaltadas são os resultados de resistência à compressão, obtidos das equações, que ficaram mais próximos (± 4 MPa) aos valores de resistência à compressão obtidos dos corpos de prova moldados (f_{c28} obras).

Tabela 4.9- Planilha da análise das equações propostas com os dados de L_p obtidos nas obras para estimar f_{c28} .

| ANÁLISE DAS EQUAÇÕES PROPOSTAS POR DIVERSOS AUTORES - PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ELEMENTOS AVALIADOS NAS OBRAS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PILARES | | | LAJE | | | PAREDES | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | | | | |
| Penetração de pino (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| fc 28 (MPa) obras | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Equação proposta | Faixa de resistência (MPa) | Agregado e teor de argamassa | Tipo de Cimento | fc28 estimado (MPa) | | | | | | | | | | | | | |
| $f_c = 4,221 L_p^{0,0475}$ | 25 | pó de pedra, ceto projetado | CP IV 32RS | 34 | 32 | 34 | 34 | 34 | 34 | 29 | 28 | 28 | 24 | 25 | 47 | 45 | 32 |
| $f_c = 1557 L_p^{-1,112}$ | 39-52 | Calciário 9,5 e 19mm; $\alpha=54\%$ | CP V ARI | 33 | 35 | 34 | 33 | 33 | 40 | 42 | 41 | 49 | 48 | 23 | 24 | 36 | 36 |
| $f_c = (-0,4208) L_p + 39,367$ | 25-50 | Calciário 19mm; $\alpha=48\%$ | CP V ARI | 26 | 27 | 26 | 26 | 26 | 28 | 28 | 28 | 30 | 30 | 30 | 21 | 21 | 27 |
| $f_c = (-0,4893) L_p + 49,902$ | 25-50 | Calciário 9,5mm; $\alpha=51\%$ | CP V ARI | 34 | 35 | 35 | 34 | 34 | 37 | 37 | 37 | 39 | 39 | 28 | 29 | 35 | 35 |
| $f_c = (-1,961) L_p + 90,336$ | 25-50 | Calciário 19mm; $\alpha=48\%$ | CP V ARI | 28 | 31 | 29 | 27 | 28 | 37 | 40 | 39 | 46 | 45 | | | | |
| $f_c = (-0,6886) L_p + 50,160$ | 12 A 30 | Granito 9,5 e 19mm | CP IV-RS | 28 | 29 | 29 | 28 | 28 | 32 | 32 | 32 | 35 | 34 | 20 | 21 | 30 | 30 |
| $f_c = (0,045) L_p^2 - 4,043 L_p + 107,1$ | 15 - 50 | Gnaisse, Sienito; 19mm | CP III | 24 | 26 | 25 | 24 | 24 | 31 | 33 | 32 | 39 | 38 | 16 | 17 | 27 | 27 |
| $f_c = (41292) L_p^{-2,0581}$ | 15-40 | | | 29 | 32 | 30 | 28 | 29 | 41 | 45 | 44 | 60 | 58 | 15 | 16 | 33 | 33 |
| $f_c = (-1,505) L_p + 92,05$ | 11 a 53 | Gnaisse 19mm | CP III 32 e CPV | 44 | 46 | 45 | 44 | 44 | 51 | 53 | 53 | 58 | 58 | 26 | 28 | 47 | 47 |
| $f_c = (-1,287) L_p + 85,11$ | 10 a 46 | Gnaisse 9,5mm | CP III 32 e CPV | 44 | 46 | 45 | 44 | 44 | 50 | 52 | 51 | 56 | 56 | 28 | 30 | 47 | 47 |
| $f_c = (-1,303) L_p + 83,31$ | 8 a 49 | Traquito 19mm | CP III 32 e CPV | 42 | 44 | 42 | 41 | 42 | 48 | 50 | 49 | 54 | 53 | 26 | 28 | 45 | 45 |
| $f_c = 129,28 * L_p^{-0,43}$ | 21 - 34 | Calciário 9,5 e 19mm; $\alpha=53\%$ | CP III e CPV | 29 | 30 | 29 | 29 | 29 | 31 | 32 | 32 | 34 | 34 | 25 | 26 | 30 | 30 |

A análise realizada com os valores de L_p obtidos dos pilares são apresentadas na Figura 4.13. Nota-se que a tendência da evolução da resistência estimada com os valores de penetração de pino nas equações seguiu a tendência da evolução da resistência, f_{c28} das obras, obtida do controle tecnológico. As equações que deram os resultados de resistência mais próximos à resistência dos corpos moldados foram as propostas pelos autores Da Silva *et al* (2012), Palácios (2012) e primeira equação proposta por Joffily (2010). A linha de cor preta representa a resistência f_{c28} das obras, utilizada como referência para a análise. Os números mostrados no eixo horizontal na ordem de 1 até 8 correspondem aos valores de referência para cada valor médio de índice esclerométrico em pilares, como observados na Tabela 4.9.

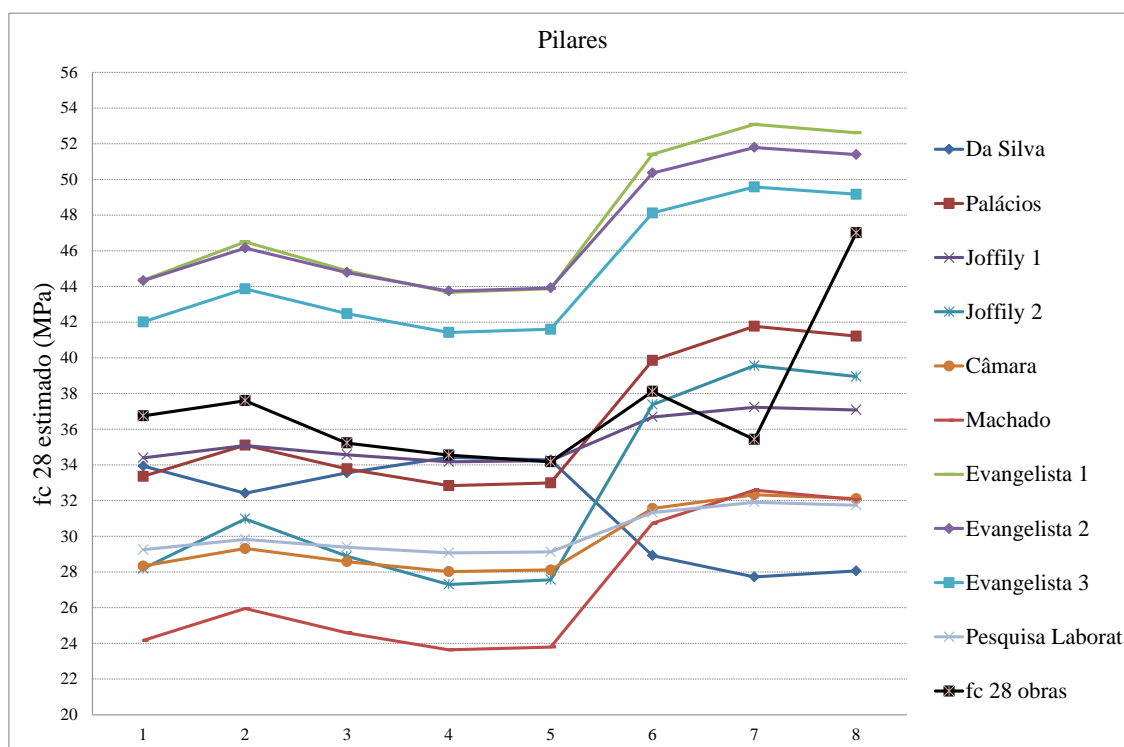


Figura 4.13- Análise das equações propostas com os dados de L_p obtidos nos pilares avaliados para estimar f_{c28} .

As validações realizadas com os valores de L_p obtidos em lajes são apresentadas na Figura 4.14. As equações propostas por Palácios (2012) e segunda equação de Joffily (2010) foram as que deram os resultados de resistência próximos à resistência dos corpos de prova. Já para as validações obtidas em paredes e apresentadas na Figura 4.15, as equações

que mais se aproximaram ao f_{c28} das obras foram as propostas por Joffily (2010) e Evangelista (2002).

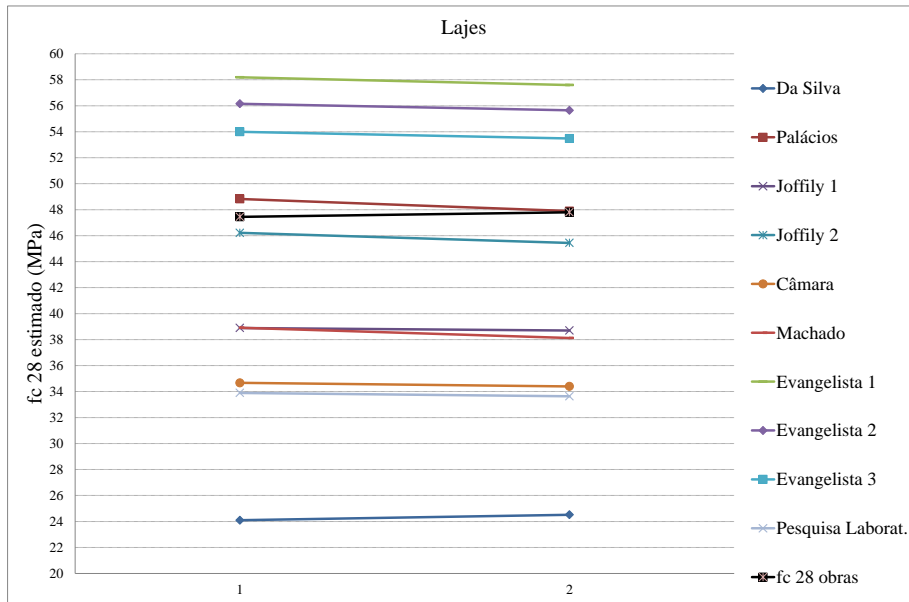


Figura 4.14- Análise das equações propostas com os dados de L_p obtidos nas lajes avaliadas para estimar f_{c28} .

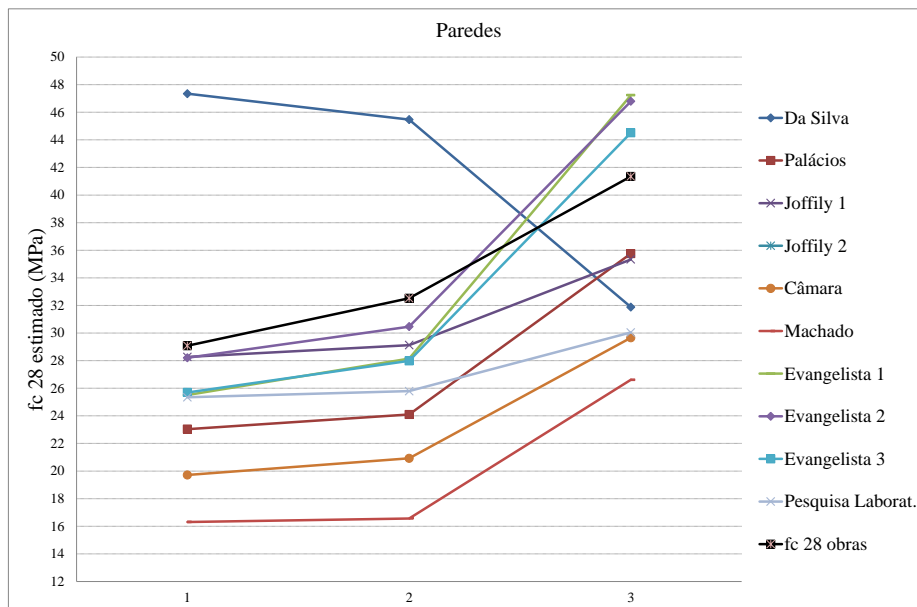


Figura 4.15- Análise das equações propostas com os dados de L_p obtidos nas paredes avaliadas para estimar f_{c28} .

Observa-se, nos três gráficos apresentados previamente, que todas as linhas obtidas dos modelos validados levam uma tendência similar. A maior diferença foi observada nos pilares, Figura 4.13, onde os resultados de f_{c28} das obras no ponto 7 teve uma queda e posteriormente no ponto 8 teve uma subida, mostrando uma mudança na tendência com respeito as demais equações.

A equação de Da Silva *et al* (2012) apresentou um comportamento de resistência à compressão f_{c28} diferente para valores de penetração de pino menores de 30 mm, comparando-se com as outras pesquisas. Nota-se que para pilares e paredes a tendência da linha teve uma queda nesses valores. Esta equação foi obtida de ensaios de penetração de pino numa estrutura de concreto projetado produzido com agregados entre 4,75 mm e 12,5 mm e com resistência de 25 MPa, o que pode afetar a comparação dos resultados.

As equações propostas por Evangelista (2002) sobrevalorizam a resistência à compressão quando é validada com os valores de penetração de pino obtidos das obras, enquanto que as equações propostas por Joffily (2010), Câmara (2006), Machado (2005) e “Pesquisa Lab” apresentam resultados de resistência à compressão menor quando comparados com o valor de f_{c28} , ou seja, as regressões propostas minimizam os valores de resistência à compressão.

As diferenças nas tendências mostradas da resistência à compressão f_{c28} , comparada com os resultados obtidos da resistência estimada a partir dos ensaios de esclerometria e penetração de pino, podem ser devidas às seguintes razões:

- Como já foi confirmado nos itens anteriores deste capítulo, mais uma vez pode-se comprovar que as resistências à compressão aos 28 dias das obras avaliadas apresentam muita variabilidade e forçar uma discussão em cima desses valores para avaliar a resistência estimada obtida dos modelos estudados pode ser inconsistente, como foi observado nas Figuras 4.10 e Figura 4.13.

- Os agregados e tipos de cimentos utilizados nas obras avaliadas não são os mesmos utilizados na maioria dos estudos realizados em laboratório. No estudo de Palácios (2012) e Joffily (2010), embora os materiais utilizados sejam da região de Brasília, a diferença nos

resultados pode ser afetada pelas condições de ensaio, pelo tipo de elemento avaliado e/ou pelos parâmetros de mistura considerados.

- Nos concretos que foram estudados pelos autores, garantiram-se as condições ótimas de laboratório. Já nos concretos tomados das obras para controle tecnológico não se garantem essas condições (adensamento, cura, diferentes rotinas de ensaio em cada laboratório).

- A equação proposta nesta pesquisa para prever resistência à compressão denominada “Pesquisa Lab.”, equação inicial obtida do estudo realizado em laboratório para aferição das técnicas de esclerometria e penetração de pino, resultou em valores constantemente mais baixos que os das demais equações propostas.

Como foi demonstrado no item 4.2 os valores de resistência à compressão aos 28 dias obtidos tem uma variabilidade muito grande, além do aceitável para uma análise conclusiva. Nesse sentido a calibração feita em laboratório se torna decisiva e as equações propostas (equações 4.1 e 4.2) para prever resistências a partir de IE e Lp são mais adequadas e ajustam valores de resistência mais conservadores.

A fim de comprovar o exposto, realizou-se a análise das equações propostas desta pesquisa em laboratório com os valores médios de índice esclerométrico e penetração de pino obtido de cada obra avaliada para prever a respectiva resistência à compressão. Na Tabela 4.10 são apresentados três colunas com valores de resistência à compressão: os obtidos do controle tecnológico, os obtidos a partir do IE na equação 4.1 e os obtidos a partir do Lp na equação 4.2.

De maneira gráfica na Figura 4.16 são mostrados os valores de resistência à compressão obtidos com as regressões propostas deste estudo a partir dos resultados de IE e Lp das obras. Não foram tidos em conta os valores de IE das obras 4 e 5a por serem lajes, discrepância de valores já mencionada anteriormente.

Tabela 4.10- Resistência à compressão aos 28 dias obtidas no controle tecnológico e nas equações propostas com os dados de IE e Lp obtidos nas obras.

| Obra | fc28 controle tecnologico (MPa) | fc28 da equação 4.1 (MPa) | fc28 da equação 4.2 (MPa) |
|------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 35,65 | 34,11 | 33,49 |
| 2 | 34,30 | 31,79 | 33,21 |
| 3 | 38,73 | 24,28 | 29,84 |
| 4 | 33,78 | 44,04 | 29,84 |
| 5a | 47,57 | 49,20 | 29,84 |
| 5b | 47,10 | 35,35 | 31,73 |
| 6 | 39,19 | 27,61 | 30,55 |
| 7 | 32,67 | 29,46 | 31,85 |
| 8 | 33,28 | 30,84 | 31,52 |
| 9 | 36,80 | 31,92 | 31,24 |
| 10 | 33,94 | 28,22 | 28,78 |
| 11 | 41,53 | 29,40 | 29,74 |
| 12 | 38,60 | 23,92 | 27,92 |
| 13 | 37,70 | 28,02 | 28,26 |
| 14 | 50,67 | 32,96 | 28,77 |
| 15 | 30,23 | 20,53 | 25,49 |

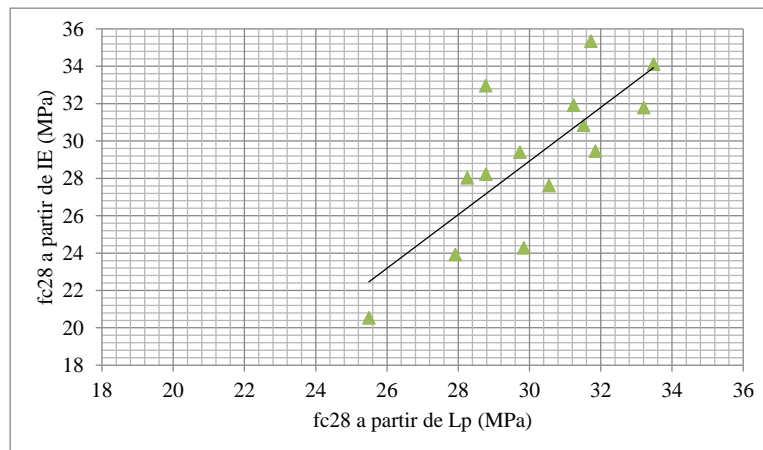


Figura 4.16- Valores de fc 28 obtidos da validação das equações propostas nesta pesquisa com os dados de IE e Lp obtidos nas obras avaliadas.

Em termos de prever a resistência à compressão com as relações estudadas em laboratório, foi demonstrado que os valores de f_{c28} a partir do índice esclerométrico e da penetração de pino obtidos das obras são muito similares, demonstrando novamente a incerteza e discussão acima dos valores de resistência à compressão dos laboratórios que realizaram o controle tecnológico.

5 CONCLUSÕES

No presente estudo, as técnicas não destrutivas de esclerometria e penetração de pino foram utilizadas para avaliação da resistência à compressão de concretos em condições de obra e sob condições de laboratório. Além da revisão bibliográfica, foram apresentados os resultados de um programa experimental que se dividiu em duas etapas.

Na primeira etapa, foram avaliados em laboratório corpos de prova com resistência característica à compressão de 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa. As séries de concreto foram ensaiadas com esclerometria, penetração de pino e resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

Na segunda etapa foram avaliados, com esclerometria e penetração de pino, elementos de concreto em 15 obras do Distrito Federal, cujas resistências características foram 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa e 40 MPa.

Posteriormente se analisaram as equações propostas em pesquisas prévias para prever a resistência à compressão do concreto, com o índice esclerométrico e penetração de pino obtidos das obras.

A partir dos resultados obtidos nas diferentes etapas e das considerações estabelecidas nos capítulos anteriores, são destacadas as seguintes conclusões:

5.1 Primeira Etapa: quanto aos ensaios de esclerometria, penetração de pino e resistência à compressão efetuados em laboratório.

- Os resultados de resistência à compressão em laboratório, dos diferentes tipos de concreto, apresentaram uma dispersão reduzida, de tal forma que nos concretos com idade de 7 dias o coeficiente de variação ficou entre 1,0% a 1,6%, enquanto que para a idade de 28 dias ficou na faixa de 3,2% a 3,7%. Conclui-se disso que a amostra estudada teve um comportamento adequado quanto à variabilidade, já que os coeficientes de variação em laboratório até 5,0% são considerados ótimos (HELENE; TERZIAN, 1993) e a faixa obtida ficou abaixo deste valor.

- A regressão conseguida entre esclerometria e resistência à compressão foi de tipo linear, o que segue os modelos dos trabalhos de Palácios (2012), Pereira e Medeiros (2012), Joffily (2010), Câmara (2006), Machado (2005) e Evangelista (2002), entre outros. Obteve-se um valor de coeficiente de determinação (R^2) de 0,74. Já para a correlação entre penetração de pino e resistência à compressão o R^2 foi de 0,79, sendo a curva tipo potência a mais adequada. As equações das correlações propostas neste estudo em laboratório foram para uma faixa de resistência de 21 MPa até 34 MPa.
- Observou-se neste estudo que o emprego do ensaio de penetração de pino mostrou uma tendência de correlação mais nítida do que o ensaio de esclerometria. Malhotra (2004) também ressalta o ensaio de penetração de pino como mais significativo do que o ensaio de esclerometria, devido à maior penetração do pino no concreto (até 50 mm de profundidade), assim os resultados da penetração são influenciados, em menor grau, pela umidade da superfície, textura e carbonatação. No entanto a dimensão e distribuição granulométrica do agregado graúdo podem afetar os valores de penetração do pino no concreto.
- Não se devem usar os corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm para aferição do ensaio de índice esclerométrico. O procedimento executado não funcionou neste estudo, sendo que os valores de índice esclerométrico em prismas foram superiores em torno de 40% quando comparados com os valores obtidos em corpos de prova cilíndricos. De forma semelhante Palácios (2012) também não conseguiu usar esses valores para determinar uma relação confiável, embora Malhotra (2004) e a norma ASTM C 805:2008 coloquem que essa aferição possa ser executada em corpos de prova cilíndricos de 15 cm x 30 cm. A recomendação deste estudo é fazer prismas para aferir o ensaio de esclerometria e fazer corpos de prova para medir resistência à compressão da mesma amassada de concreto.
- Com relação aos resultados do ensaio de esclerometria em prismas, os mesmos foram adequados, sendo que se obtiveram valores de índice esclerométrico com desvio padrão de 1,78 e coeficiente de variação de 5,4%. Conforme os coeficientes de variação obtidos nas pesquisas de Machado (2005), Castro (2009), Joffily

(2010), Palácios (2012), entre outros, comprova-se que os resultados obtidos nesta pesquisa são coerentes e se encontram em uma faixa de valores aceitável (item 4.1.2). De acordo com isso a confiabilidade para índice esclerométrico obtida neste estudo foi de $\pm 1,78$ unidades.

- Quanto ao ensaio de penetração de pino, os resultados obtidos foram também adequados, uma vez que os valores de coeficiente de variação ficaram na faixa de 8% a 11,5%. Conforme Machado (2005), Joffily (2010), Palácios (2012), Da Silva *et al* (2012), Malhotra (2004), entre outros, estes valores se encontram em uma faixa aceitável para este ensaio (item 4.1.3). A confiabilidade obtida no ensaio de penetração de pino neste estudo foi de $\pm 6,38$ mm.

5.2 Segunda Etapa: quanto aos ensaios de esclerometria e penetração de pino efetuados em obra.

- Em relação aos resultados de resistência à compressão das obras avaliadas, obteve-se um desvio padrão de 1,95 MPa e coeficiente de variação de 5,24%. A dispersão foi superior do que a obtida nesta pesquisa em laboratório. Uma provável justificativa é o fato de serem resultados de diferentes laboratórios para controle tecnológico influenciando na variabilidade. Além disso, as diferentes características, f_{ck} de 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa e 40 MPa, dimensão máxima dos agregados, diferentes dosagem, diferentes trabalhabilidades, entre outras características dos concretos nas obras contribuem para o resultado.
- Os resultados obtidos referentes ao ensaio de esclerometria nas obras avaliadas apresentaram um desvio padrão de 2,31 e coeficiente de variação de 7,15%. Já para o ensaio de penetração de pino, o desvio padrão foi de 4,33 mm e o coeficiente de variação de 15,4%. Estes valores foram superiores aos resultados obtidos nos prismas em laboratório, tendo em vista que os ensaios de esclerometria e penetração de pino sofreram influência de diversas variáveis inerentes ao processo construtivo (processo de mistura, condições de lançamento, adensamento e cura, dentre outros).

- O índice esclerométrico obtido em lajes foi superior quando comparado com os outros elementos estruturais avaliados (pilares, viga e parede). Uma das razões para este aumento pode ser devido à posição do esclerômetro, que foi ajustada para posição horizontal, conforme menciona a norma NBR 7584:2012.
- Na comparação dos resultados de índice esclerométrico e penetração de pino, duas técnicas com metodologias e variabilidades distintas, observou-se convergência e baixa dispersão entre valores. Com os resultados desses dois ensaios, também foram obtidos os valores de resistência à compressão a partir das regressões propostas nesta pesquisa, e constatou-se que as resistências à compressão foram muito similares. Isso pode indicar que as variações observadas na resistência à compressão no controle tecnológico estavam associadas principalmente ao concreto produzido (lotes) e aos respectivos ensaios dos diferentes laboratórios, e não aos ensaios aplicados nas obras.
- A rotina utilizada neste estudo foi adequada para execução dos ensaios de esclerometria e penetração de pino nas obras (pilares, lajes, vigas e parede de concreto). Por meio dela foi possível chegar aos valores de IE e Lp abrangendo um maior número de pontos por elemento.
- De maneira geral, a maioria das análises com índice esclerométrico obtidos de pilares e paredes nas equações propostas pelos autores Palácios (2012), Pereira e Medeiros (2012), Joffily (2010), Aydin e Saribivik (2010), Câmara (2006), Machado (2005) e Evangelista (2002) diminuem os valores de resistência à compressão. Já para o caso dos valores obtidos em lajes estas equações aumentam o valor de resistência à compressão.
- Em relação às análises com os valores de penetração de pino, observou-se que as equações propostas por Evangelista (2002) aumentam a resistência à compressão. Enquanto que as equações propostas por Joffily (2010), Câmara (2006) e Machado (2005) diminuem os valores de resistência à compressão.

- Do estudo se conclui que para utilizar os ensaios de esclerometria e penetração de pino na avaliação da resistência à compressão em obras, o procedimento mais adequado é determinar curvas de correlação em laboratório com os mesmos materiais e mesmas proporções a serem utilizados na obra. Nesse sentido pode-se dizer que sem estas curvas os ensaios não destrutivos aplicados em obra se tornam somente qualitativos.
- As variáveis que envolvem a execução das estruturas de concreto nas obras - lançamento, adensamento e cura - aumentam a possibilidade dos valores de resistência à compressão apresentarem uma dispersão muito maior do que quando se fazem avaliações em laboratório. Isso se torna mais claro no ensaio de esclerometria, que por ser um ensaio para avaliação superficial, as condições de adensamento e cura afetam mais os resultados. Já em métodos, como a penetração de pino, que avaliam o concreto mais internamente, as variabilidades serão menores. Com base nisso, deve-se ter muita cautela ao empregar em obras as curvas de aferição obtidas em laboratório. Deve-se considerar a variabilidade dos fatores inerentes às obras, sendo que os mesmos irão afetar as resistências dos elementos.

5.3 Sugestões para futuras pesquisas

- Aplicar os ensaios de esclerometria e penetração de pino em obras, efetuando um controle tecnológico do concreto diretamente na obra, além do respectivo controle tecnológico realizado pela construtora. Isto com a finalidade de comparar os resultados e ter maior certeza da resistência à compressão para as subseqüentes correlações.
- Estudar estes ensaios não destrutivos em diferentes elementos (laje, pilar, viga) de uma mesma obra e com as mesmas características de concreto (f_{ck} , abatimento, dimensão máxima dos agregados, traço, etc) a fim de verificar a influência do tipo de elemento na variabilidade da avaliação da resistência à compressão. Como também para propor curvas específicas de correlação para cada elemento.

- Desenvolver uma metodologia para obter curvas de correlação de índice esclerométrico e penetração de pino com a resistência à compressão, as quais considerem as variações de aplicação em campo destas técnicas.
- Propor um método de ensaio de penetração de pino para avaliar concreto de tal forma que possa ser normalizado no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESC- Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil, **Manual do Concreto Dosado em Central**. (2007).

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI - 228 - 1R - 03, 2003, In place methods to estimate concrete strength, Detroit, 44 pp.

_____ **ACI - 318 - SR - 05, 2005**, Code Requirements for Structural Concrete, Michigan

_____ **ACI - 308 -R- 01, 2001**, Guide to Curing Concrete

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM C805/C805M Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. 2008.

_____ **C803/C803M**, Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete. 2010.

ANDRADE, Daniel da Silva. **Propriedades mecânicas do concreto por meio de ensaios não destrutivos: estudo de caso da estrutura do Estádio Maracanã**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2012.

ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. Editora Unisinos, 2ª edição, 168 p. 2005.

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, E.H.V; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro. 203p. Editora Universidade Rural, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 67, Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____ **NBR 5732**, Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991.

_____ **NBR 5733**, Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____ **NBR 5735**, Cimento Portland de Alto Forno. Rio de Janeiro, 1991.

_____ **NBR 5736**, Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro, 1999.

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

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

_____ **NBR 6118**, Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____ **NBR 7211**, Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____ **NBR 7680**, Concreto-Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

_____ **NBR 8953**, Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 2009.

_____ **NBR 11578**, Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1997.

_____ **NBR 11768**, Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2011.

_____ **NBR 12655**, Concreto Controle , Preparo e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

AYDIN, F.; SARIBIYIK M. **Correlation between Schmidt Hammer and destructive compressions testing for concretes in existing buildings**. Scientific Research and Essays Vol. 5(13), pp. 1644-1648. 2010.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION, BS 1881: Part 109, “Testing concrete. Method for making test beams from fresh concrete”. London. 1983.

_____ **BS 1881: Part 201**, “Guide to the use of non- destructive methods of test for hardened concrete”. London. 1986.

_____ **BS 1881: Part 202**, “Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer”, London. 1986.

_____ **BS 1881: Part 207**, “Recommendations for the assessment of concrete strength by near-to-surface tests.” London. 1992.

BUNGEY, J. H., **The Testing of Concrete in Structures**, 2nd ed., Chapman and Hall, New York, pp. 94–110, 1989.

CÂMARA, E. **Avaliação da resistência à compressão do concreto utilizado usualmente na grande Florianópolis através de métodos de ensaios não destrutivos**. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CALLISTER, W.T. Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. LTC. Sétima Edição. 2008.

CASTRO, Elisângela, **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. 122 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2009

DA SILVA W. R. L.; PRUDENCIO JR L. R.; DE OLIVEIRA A. L. **Ensaio de penetração de pino aplicado na avaliação da resistência à compressão de concreto projetado**. Volume 5, Número 3 p. 362-387. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, Brasil, 2012.

EVANGELISTA, A. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 239f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 1º ed. São Paulo: Pini, 1993.

JOFFILY, I. A. L. **Avaliação do ensaio de penetração de pino para mensuração indireta da resistência à compressão do concreto**. 139 p. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.

LAMOND, Joseph F. and PIELERT James H. **Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making** STP 169D, 2010.

LEAL, A.C.F.S. **Investigação experimental do módulo de elasticidade nos concretos produzidos em Brasília**. 151p. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

LORENZI, A. **Aplicação de redes neurais artificiais para estimativa da resistência à compressão do concreto a partir da velocidade de propagação do pulso ultrassônico**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

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

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

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 2ª ed., 749p. Tradução por Salvador E. Giammuso, São Paulo: Editora Pinni, 1997.

PALACIOS, M.P.G. **Emprego de Ensaios Não Destrutivos e de Extração de Testemunhos na Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto**. 165p. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

PEREIRA, M.S. **Controle da Resistência do concreto: Paradigmas e Variabilidades – Estudo de Caso**. 229p. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação PECC. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

PEREIRA E. ; MEDEIROS M. H. F. DE. **Ensaio de "Pull Off" para avaliar a resistência à compressão do concreto: uma alternativa aos ensaios normalizados no Brasil.** Rev. IBRACON Estrut. Mater. vol.5 no.6 São Paulo Dec, 2012.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland.** 14^a ed., 307 p revisado por Vladimir A. Paulon, São Paulo: Editora Globo, 2005.

PINTO, R.C.A., BAGGIO, D. **Estudo da Variabilidade do Ensaio Brasileiro de Penetração de Pinos.** 46^o IBRACON - Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis, 2004.

POPOVICS, SÁNDOR. **Fundamentals of portland cement concrete: a quantitative approach,** 1982.

TAYLOR, HAROLD F.W. **Cement Chemistry.**(2nd Edition) Thomas Telford Publishing,1998

QASRAWI, H. Y. **Concrete strength by combined nondestructive methods Simply and reliably predicted.** Cement and Concrete Research, n.30, pp.739–746, 2000.

VIEIRA, D. **Método Brasileiro de Penetração de Pino,** In: XIX Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, Santiago, Chile, 1978.

VIEIRA FILHO, José Orlando. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento.** 2 v. 440 p. (tese de doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA EM CILINDROS, ESCLEROMETRIA EM PRISMAS, PENETRAÇÃO DE PINO E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS SÉRIES DE CONCRETO AVALIADAS EM LABORATÓRIO.

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM/ UnB | |
|--|--|
| PLANILHAS DE ENSAIOS | |
| Data moldagem: | 24/10/2013 |
| Data 7 dias: | 31/10/2013 |
| Data 28 dias: | 21/11/2013 |
| Corpo de prova | Cilindros 10x20 cm (retificados) e Prismas de 30x30x40cm |
| Serie 1 (S-1): | fc _k = 25 Mpa Brita: 1 Slump: 10 ± 2 |

| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA CILINDROS S-1 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| LEITURAS | Data Ensaio: 21/Nov/2013 | | | | | | | | | | | | | |
| | ($\alpha = 0^\circ$) | | | | | | | | | | | | 31/out/13 | |
| | S1-1 | S1-2 | S1-3 | S1-4 | S1-5 | S1-6 | S1-7 | S1-8 | S1-1 | S1-2 | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS |
| 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS |
| 1 | 24 | 22 | 22 | 22 | 24 | 24 | 23 | 20 | 20 | 23 | 20 | 21 | 21 | 21 |
| 2 | 22 | 25 | 26 | 25 | 24 | 25 | 28 | 24 | 24 | 25 | 24 | 23 | 25 | 25 |
| 3 | 25 | | 22 | 24 | 26 | 26 | 25 | 22 | 20 | 26 | 22 | 20 | 24 | 24 |
| 4 | 23 | 22 | 23 | 22 | 21 | 24 | 28 | 21 | 21 | 24 | 21 | 22 | 23 | 23 |
| 5 | 25 | 25 | 23 | 25 | 25 | 26 | 28 | 21 | 21 | 26 | 21 | 24 | 22 | 22 |
| 6 | | 22 | 23 | 22 | 25 | 24 | | 24 | 24 | 24 | 24 | | 22 | 22 |
| 7 | 22 | 24 | 24 | 24 | 22 | 26 | 27 | 22 | 22 | 26 | 22 | 21 | 21 | 21 |
| 8 | 23 | 22 | 25 | 25 | 24 | 26 | 23 | 20 | 20 | 26 | 24 | 22 | 24 | 24 |
| 9 | 22 | 23 | 24 | 23 | 24 | 24 | 28 | 22 | 22 | 24 | 22 | 20 | 22 | 22 |
| MÉDIA | 23,14 | 23,38 | 23,56 | 23,56 | 23,88 | 25,00 | 26,25 | 21,78 | 21,78 | 23,88 | 25,00 | 26,25 | 21,71 | 22,67 |
| MÉDIA +10% | 25,46 | 25,71 | 25,91 | 25,91 | 26,26 | 27,50 | 28,88 | 23,96 | 23,96 | 26,26 | 27,50 | 28,88 | 23,89 | 24,93 |
| MÉDIA -10% | 20,83 | 21,04 | 21,20 | 21,20 | 21,49 | 22,50 | 23,63 | 19,60 | 19,60 | 21,20 | 22,50 | 23,63 | 19,54 | 20,40 |
| MÁX | 25 | 25 | 26 | 25 | 26 | 26 | 28 | 24 | 24 | 26 | 26 | 28 | 24 | 25 |
| MIN | 22 | 22 | 22 | 22 | 21 | 24 | 23 | 20 | 20 | 22 | 24 | 23 | 20 | 21 |
| IE | 23,14 | 23,38 | 23,56 | 23,56 | 23,88 | 25,00 | 26,25 | 21,78 | 21,78 | 23,56 | 25,00 | 26,25 | 21,71 | 22,67 |
| Fator calib. IE | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 |
| IE | 23,67 | 23,90 | 24,09 | 24,09 | 24,41 | 25,56 | 26,84 | 22,27 | 22,27 | 24,09 | 25,56 | 26,84 | 22,20 | 23,18 |
| MEDIA IE | 24,35 | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,35 | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 5,56% | | | | | | | | | | | | | |
| | 22,69 | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,69 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3,03% | | | | | | | | | | | | | |

| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA PRISMA S-1 | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---------|---------|------------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|
| LEITURAS | $(\alpha = +90^\circ)$ vertical | | | | | | Data Ensaio: 21/Nov/2013 | | | | | | |
| | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | |
| | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS |
| 1 | 31 | 28 | 32 | 28 | 28 | 26 | 25 | | | | | | |
| 2 | 31 | 28 | 28 | 28 | 28 | 26 | 25 | | | | | | |
| 3 | 28 | 31 | 28 | 28 | 28 | 27 | 25 | | | | | | |
| 4 | 30 | 32 | 26 | 27 | 28 | 29 | 29 | | | | | | |
| 5 | 31 | 29 | 26 | 30 | 24 | 27 | 27 | | | | | | |
| 6 | 26 | 30 | 28 | 32 | 27 | 27 | 27 | | | | | | |
| 7 | 30 | 30 | | | 26 | 28 | 28 | | | | | | |
| 8 | 28 | 28 | | 28 | 26 | 26 | 26 | | | | | | |
| 9 | | 28 | 27 | 28 | 27 | 26 | 26 | | | | | | |
| 10 | 31 | 28 | 32 | 30 | 28 | 27 | 27 | | | | | | |
| 11 | 26 | 28 | 28 | 27 | 28 | 31 | 31 | | | | | | |
| 12 | 26 | 30 | 28 | 27 | 28 | 31 | 31 | | | | | | |
| 13 | 30 | 28 | 28 | 32 | 26 | 31 | 31 | | | | | | |
| 14 | 26 | 30 | 27 | 30 | 25 | 28 | 28 | | | | | | |
| 15 | 26 | 30 | 28 | 31 | 26 | 28 | 28 | | | | | | |
| 16 | 26 | 27 | 27 | 27 | 25 | 28 | 28 | | | | | | |
| MÉDIA | 28,40 | 29,06 | 28,07 | 28,87 | 26,33 | 27,63 | 27,63 | | | | | | |
| MÉDIA +10% | 31,24 | 31,97 | 30,88 | 31,75 | 28,97 | 30,39 | 30,39 | | | | | | |
| MÉDIA -10% | 25,56 | 26,16 | 25,26 | 25,98 | 23,70 | 24,86 | 24,86 | | | | | | |
| MÁX | 31 | 32 | 32 | 32 | 28 | 31 | 31 | | | | | | |
| MIN | 26 | 27 | 26 | 27 | 24 | 25 | 25 | | | | | | |
| IE | 28,40 | 29,06 | 28,07 | 28,87 | 26,33 | 27,63 | 27,63 | | | | | | |
| Fator calib. | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | | | | | |
| IE | 29,04 | 29,72 | 28,71 | 29,52 | 26,93 | 28,25 | 28,25 | | | | | | |
| IE Corregido | 32,04 | 32,72 | 31,71 | 32,52 | 29,93 | 31,25 | 31,25 | | | | | | |
| MEDIA IE | 31,69 | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,02 | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 3,21% | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Data Ensaio: 31/Out/2013 | | | | | | |
| | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | |
| | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS |
| | 24 | 24 | 30 | 24 | 24 | 26 | 22 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 22 |
| | 26 | 29 | | 24 | 27 | 26 | 26 | 24 | 27 | 25 | 25 | 25 | 26 |
| | 25 | 25 | 28 | 26 | 25 | 23 | 23 | 26 | 26 | 25 | 25 | 25 | 23 |
| | 25 | 25 | | 24 | 24 | 24 | 24 | | | | | | |
| | 27 | 26 | | 25 | 25 | 26 | 26 | | | | | | |
| | | 25 | 29 | 26 | 29 | 29 | 25 | | | | | | |
| | 23 | 26 | 29 | 25 | 29 | 25 | 22 | | | | | | |
| | | 29 | 31 | 26 | 24 | 24 | 29 | | | | | | |
| | 26 | 28 | | 28 | 28 | 28 | 27 | | | | | | |
| | | 25 | 29 | 25 | 28 | 28 | 24 | | | | | | |
| | 24 | 26 | | 25 | 25 | 25 | 28 | | | | | | |
| | 25 | | 26 | 26 | 25 | 25 | 28 | | | | | | |
| | 26 | 28 | 25 | 25 | 26 | 24 | 24 | | | | | | |
| | | 28 | 26 | 25 | 25 | 24 | 24 | | | | | | |
| | 25 | 28 | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 | | | | | | |
| | 23 | 23 | 25 | 24 | 24 | 24 | 22 | | | | | | |
| | 25,00 | 26,14 | 28,80 | 25,46 | 26,17 | 24,71 | 24,71 | | | | | | |
| | 27,50 | 28,76 | 31,68 | 28,01 | 28,78 | 27,19 | 27,19 | | | | | | |
| | 22,50 | 23,53 | 25,92 | 22,92 | 23,55 | 22,24 | 22,24 | | | | | | |
| | 27 | 29 | 31 | 28 | 29 | 29 | 29 | | | | | | |
| | 23 | 23 | 25 | 24 | 24 | 22 | 22 | | | | | | |
| | 25,00 | 26,14 | 28,80 | 25,46 | 26,17 | 24,71 | 24,71 | | | | | | |
| | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | | | | | |
| | 25,56 | 26,73 | 29,45 | 26,04 | 26,76 | 25,27 | 25,27 | | | | | | |
| | 28,56 | 29,73 | 32,45 | 29,04 | 29,76 | 28,27 | 28,27 | | | | | | |
| | | | | | | | 29,64 | | | | | | |
| | | | | | | | 1,50 | | | | | | |
| | | | | | | | 5,08% | | | | | | |

| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO PRISMA S-1 | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Lado 40x30 cm | | | | | | | | | | | | Lado 30x30 cm |
| LEITURAS | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 |
| L1 (mm) | 22,71 | 19,81 | 13,61 | 20,11 | 18,61 | 10,41 | 12,71 | 16,11 | 12,21 | 10,31 | 14,11 | 17,51 |
| L2 (mm) | 23,51 | 20,01 | 14 | 20,31 | 18,51 | 10,81 | 12,71 | 16,51 | 12,31 | 10,61 | 14,01 | 17,21 |
| L3 (mm) | 23,61 | 19,91 | 13,9 | 20,61 | 18,51 | 10,41 | 12,71 | 16,61 | 12,31 | 10,31 | 14,21 | 17,41 |
| PENETRAÇÃO (mm) | | 35,09 | 41,16 | 34,66 | 36,46 | | 42,29 | 38,59 | 42,72 | | | 39,26 |
| MÉDIA | 38,78 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 3,16 | | | | | | | | | | | |
| Coef variação | 8,1% | | | | | | | | | | | |

| ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO S-1 | | | | | | | | | | | OBSERVAÇÕES |
|--|---------------|-----------------|--------------|----------|---------------|-------------|-------------|-------------------------------|--------------|-----------|-------------|
| CP | DATA MOLDAGEM | DATA ROMPIMENTO | IDADE (dias) | PESO (k) | DIÂMETRO (cm) | ALTURA (cm) | CARGA (kgf) | TENSÃO (kgf/cm ²) | TENSÃO (MPa) | TEMPO (s) | |
| S1-1 | 24/10/2013 | 21/11/2013 | 28 | 3,68 | 10 | 19,66 | 22420 | 285,46 | 28,55 | 45 | |
| S1-2 | 24/10/2013 | 21/11/2013 | 28 | 3,69 | 10,03 | 19,51 | 21170 | 267,93 | 26,79 | 49 | |
| S1-3 | 24/10/2013 | 21/11/2013 | 28 | 3,69 | 10,04 | 19,53 | 20510 | 259,06 | 25,91 | 57 | |
| S1-4 | 24/10/2013 | 21/11/2013 | 28 | 3,68 | 9,96 | 19,43 | 21100 | 270,82 | 27,08 | 41 | |
| S1-5 | 24/10/2013 | 21/11/2013 | 28 | 3,67 | 10,03 | 19,48 | 21350 | 270,21 | 27,02 | 48 | |
| S1-6 | 24/10/2013 | 21/11/2013 | 28 | 3,63 | 10,05 | 19,29 | 22350 | 281,74 | 28,17 | 42 | |
| S1-7 | 24/10/2013 | 21/11/2013 | 28 | 3,69 | 10,01 | 19,59 | 22130 | 281,21 | 28,12 | 43 | |
| S1-8 | 24/10/2013 | 21/11/2013 | 28 | 3,71 | 10,04 | 19,7 | 22150 | 279,78 | 27,98 | 41 | |
| S1-1 | 24/10/2013 | 31/10/2013 | 7 | 3,67 | 10,01 | 19,53 | 19170 | 243,59 | 24,36 | 63 | |
| S1-2 | 24/10/2013 | 31/10/2013 | 7 | 3,65 | 10,05 | 19,42 | 19610 | 247,20 | 24,72 | 62 | |

LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM/UnB

PLANILHAS DE ENSAIOS

Data moldagem: 19/09/2013 **Corpo de prova** Cilindros 10x20 cm (reificados) e Prismas de 30x30x40cm
Data 7 dias: 26/09/2013 **Serie 2 (S-2):** fck= 30 Mpa Brita: 1 Slump: 10 ± 2
Data 28 dias: 17/10/2013

ENSAIO DE ESCLEROMETRIA CILINDROS S-2

| LEITURAS | (α = 0°) | | | | | | Data Ensaio: 17/Out/2013 | | | | | | 26/set/13 | |
|-----------------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|--|
| | S2-1 | S2-2 | S2-3 | S2-4 | S2-5 | S2-6 | S2-7 | S2-8 | S2-1 | S2-2 | 7 DIAS | 7 DIAS | | |
| | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | | |
| 1 | 23 | 24 | 24 | 25 | 30 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 21 | 21 | | |
| 2 | | 26 | 25 | 29 | 29 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | | |
| 3 | 23 | 24 | | 26 | 27 | 22 | 24 | | 23 | 21 | 21 | 24 | | |
| 4 | 23 | | 23 | 28 | 30 | 22 | 22 | | 23 | 24 | 24 | 24 | | |
| 5 | 21 | 27 | 24 | 27 | 30 | 25 | 27 | 26 | 23 | 25 | 25 | 25 | | |
| 6 | 22 | 25 | 24 | 24 | 28 | 22 | 25 | 24 | 23 | 24 | 24 | 24 | | |
| 7 | 24 | | 26 | 26 | 29 | 25 | | 25 | 24 | 24 | 24 | 24 | | |
| 8 | 22 | 25 | 26 | 26 | 26 | 22 | 27 | 27 | 22 | 24 | 25 | 24 | | |
| 9 | 24 | 23 | 22 | 27 | 27 | 26 | 24 | 24 | 22 | 24 | 24 | 24 | | |
| MÉDIA | 22,75 | 25,00 | 24,25 | 26,44 | 28,44 | 23,75 | 24,71 | 24,86 | 23,17 | 23,33 | 23,33 | 23,33 | | |
| MÉDIA +10% | 25,03 | 27,50 | 26,68 | 29,09 | 31,29 | 26,13 | 27,19 | 27,34 | 25,48 | 25,67 | 25,67 | 25,67 | | |
| MÉDIA -10% | 20,48 | 22,50 | 21,83 | 23,80 | 25,60 | 21,38 | 22,24 | 22,37 | 20,85 | 21,00 | 21,00 | 21,00 | | |
| MÁX | 24 | 27 | 26 | 29 | 30 | 26 | 27 | 27 | 24 | 25 | 25 | 25 | | |
| MIN | 21 | 23 | 22 | 24 | 26 | 22 | 22 | 24 | 22 | 21 | 21 | 21 | | |
| IE | 22,75 | 25,00 | 24,25 | 26,44 | 28,44 | 23,75 | 24,71 | 24,86 | 23,17 | 23,33 | 23,33 | 23,33 | | |
| Fator calib. | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | |
| IE | 22,81 | 25,07 | 24,31 | 26,51 | 28,52 | 23,81 | 24,78 | 24,92 | 23,23 | 23,39 | 23,39 | 23,39 | | |
| MEDIA IE | 25,09 | | | | | | | | | | | | 23,31 | |
| Desvio Padrão | 1,75 | | | | | | | | | | | | 0,12 | |
| Coef. Variação | 6,96% | | | | | | | | | | | | 0,51% | |

| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA PRISMAS S-2 | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| LEITURAS | ($\alpha = +90^\circ$) vertical | | | | | | Data Ensaio: 17/Out/2013 | | | | | | |
| | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | |
| | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS |
| 1 | | 32 | 30 | 28 | 28 | 32 | 28 | 32 | 28 | 27 | 30 | 27 | 31 |
| 2 | | 33 | 29 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 29 | 26 | 29 | 26 | 29 |
| 3 | 31 | 34 | 30 | 30 | 30 | 31 | 31 | 32 | 32 | 24 | 30 | 27 | 32 |
| 4 | 31 | 32 | | 32 | 32 | 32 | 32 | 30 | 30 | 27 | 29 | 29 | 27 |
| 5 | 29 | 32 | 32 | 34 | 34 | | 32 | 32 | 29 | 27 | 27 | 25 | 29 |
| 6 | 30 | 29 | 29 | 35 | 28 | 28 | 28 | 32 | 30 | 26 | 29 | 28 | 30 |
| 7 | 32 | 28 | 28 | 29 | 32 | 32 | 32 | 30 | 30 | 26 | 27 | 27 | 30 |
| 8 | 32 | | 28 | 30 | 34 | 34 | 33 | 33 | 28 | 26 | 30 | 27 | 28 |
| 9 | 29 | 28 | 28 | 31 | | | 29 | 29 | 30 | 25 | 30 | 30 | 30 |
| 10 | 30 | 32 | 28 | 33 | 31 | 31 | 28 | 28 | 28 | 27 | 26 | 26 | 28 |
| 11 | 29 | 35 | 29 | 32 | 29 | 29 | 30 | 30 | 25 | 27 | 26 | 31 | 29 |
| 12 | 29 | 34 | 28 | 28 | 33 | 33 | | | 26 | 24 | 26 | 30 | 31 |
| 13 | 28 | 30 | 28 | 34 | 31 | 31 | 32 | 32 | 28 | 26 | 27 | 29 | 30 |
| 14 | | 35 | 30 | 30 | 31 | 31 | 29 | 29 | 26 | 26 | 30 | 27 | 30 |
| 15 | | 30 | 30 | 30 | 28 | 28 | 28 | 28 | 27 | 27 | 32 | 30 | 26 |
| 16 | | 28 | 27 | 29 | 30 | 30 | 32 | 32 | 28 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| MÉDIA | 30,00 | 31,47 | 28,93 | 30,94 | 30,86 | 30,27 | | | 26,93 | 26,06 | 28,54 | 27,73 | 28,27 |
| MÉDIA +10% | 33,00 | 34,61 | 31,83 | 34,03 | 33,94 | 33,29 | | | 29,62 | 28,67 | 31,39 | 30,51 | 31,09 |
| MÉDIA -10% | 27,00 | 28,32 | 26,04 | 27,84 | 27,77 | 27,24 | | | 24,24 | 23,46 | 25,68 | 24,96 | 25,44 |
| MÁX | 32 | 35 | 32 | 35 | 34 | 33 | | | 29 | 27 | 32 | 31 | 31 |
| MIN | 28 | 28 | 27 | 28 | 28 | 28 | | | 25 | 24 | 26 | 25 | 26 |
| IE | 30,00 | 31,47 | 28,93 | 30,94 | 30,86 | 30,27 | | | 26,93 | 26,06 | 28,54 | 27,73 | 28,27 |
| Fator calib. IE | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 |
| IE Corregido | 30,08 | 31,55 | 29,01 | 31,02 | 30,94 | 30,35 | | | 27,00 | 26,13 | 28,61 | 27,81 | 28,34 |
| MEDIA IE | 33,08 | 34,55 | 32,01 | 34,02 | 33,94 | 33,35 | | | 30,00 | 29,13 | 31,61 | 30,81 | 31,34 |
| Desvio Padrão | | | 33,49 | | | | | | | | 30,80 | | |
| Coef. Variação | | | 0,89 | | | | | | | | 1,07 | | |
| | | | 2,67% | | | | | | | | 3,46% | | |

| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO PRISMA S-2 | | | | | | | | | | |
|---|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Lado 40x30 cm | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 |
| L1 (mm) | 23,91 | 28,01 | 28,71 | 29,01 | 28,91 | 29,71 | 27,61 | 34,31 | 33,91 | 30,31 |
| L2 (mm) | 24,31 | 28,31 | 28,71 | 29,21 | 28,91 | 30,01 | 27,51 | 34,21 | 33,31 | 30,41 |
| L3 (mm) | 24,11 | 28,21 | 29,11 | 29,31 | 29,21 | 30,41 | 27,41 | 34,31 | 34,11 | 30,41 |
| PENETRAÇÃO | | 26,82 | 26,16 | 25,82 | 25,99 | 24,96 | 27,49 | 20,72 | 21,22 | 24,62 |
| MÉDIA | 24,87 | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,37 | | | | | | | | | |
| Coef variação | 9,5% | | | | | | | | | |

| ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO S-2 | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|------------------------|---------------------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| CP | DATA MOLDAGEM | DATA ROMPIMENTO | IDADE (dias) | PESO (k) | DIÂMETRO (cm) | ALTURA (cm) | CARGA (kgf) | TENSÃO (kgf/cm²) | TENSÃO (MPa) | TEMPO (s) | OBSERVAÇÕES |
| S2-1 | 19/09/2013 | 17/10/2013 | 28 | 3,69 | 10 | 19,66 | 27350 | 348,23 | 34,82 | 60 | |
| S2-2 | 19/09/2013 | 17/10/2013 | 28 | 3,71 | 10,18 | 19,37 | 27680 | 340,08 | 34,01 | 60 | |
| S2-3 | 19/09/2013 | 17/10/2013 | 28 | 3,71 | 10,03 | 19,62 | 26850 | 339,82 | 33,98 | 65 | |
| S2-4 | 19/09/2013 | 17/10/2013 | 28 | 3,68 | 10,04 | 19,5 | 26470 | 334,35 | 33,43 | 71 | |
| S2-5 | 19/09/2013 | 17/10/2013 | 28 | 3,76 | 10,07 | 19,81 | 27930 | 350,69 | 35,07 | 78 | |
| S2-6 | 19/09/2013 | 17/10/2013 | 28 | 3,71 | 10,04 | 19,46 | 24630 | 311,11 | 31,11 | 52 | |
| S2-7 | 19/09/2013 | 17/10/2013 | 28 | 3,73 | 10,08 | 19,62 | 26400 | 330,82 | 33,08 | 50 | |
| S2-8 | 19/09/2013 | 17/10/2013 | 28 | 3,71 | 10,08 | 19,51 | 26540 | 332,58 | 33,26 | 65 | |
| S2-1 | 19/09/2013 | 26/09/2013 | 7 | 3,74 | 10,08 | 19,66 | 24040 | 301,25 | 30,12 | | |
| S2-2 | 19/09/2013 | 26/09/2013 | 7 | 3,75 | 10,06 | 19,34 | 24500 | 308,23 | 30,82 | | |

LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM/UnB

PLANILHAS DOS ENSAIOS

Data moldagem: 20/09/2013 **Corpo de prova** Cilindros 10x20 cm (retificados) e Prismas de 30x30x40cm
Data 7 dias: 27/09/2013 **Serie 3.1 (S-3.1):** fck= 35 Mpa Brita: 1 Slump: 10 ± 2
Data 28 dias: 18/10/2013

ENSAIO DE ESCLEROMETRIA CILINDROS S-3.1

| LEITURAS | Data Ensaio: 18/Out/2013 | | | | | | | | | | | | 27/set/13 | |
|-----------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-----------|-------|
| | (α = 0°) | | | | | | | | | | | | S3-1 | S3-2 |
| | S3-1 | S3-2 | S3-3 | S3-4 | S3-5 | S3-6 | S3-7 | S3-8 | 7 DIAS | S3-1 | S3-2 | 7 DIAS | 7 DIAS | |
| 1 | 20 | 19 | 22 | 19 | 20 | 20 | 23 | 20 | 20 | 23 | 20 | 20 | 19 | 21 |
| 2 | 23 | 21 | 18 | 21 | 23 | 23 | 22 | 22 | 23 | 23 | 22 | 22 | 22 | 20 |
| 3 | 22 | 19 | 19 | 18 | 24 | 21 | 22 | 22 | 24 | 21 | 22 | 22 | 22 | |
| 4 | 20 | 20 | 20 | 19 | 20 | 20 | 22 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | |
| 5 | 22 | 20 | 20 | 20 | 23 | 23 | 25 | 25 | 23 | 23 | 25 | 25 | 22 | 21 |
| 6 | 20 | 21 | 18 | 20 | 20 | 24 | 23 | 23 | 24 | 24 | 23 | 23 | 21 | 21 |
| 7 | 20 | 23 | 18 | 20 | 20 | 19 | 20 | 20 | 24 | 24 | 20 | 20 | | 20 |
| 8 | 22 | 20 | 18 | 22 | 24 | 20 | 24 | 24 | 20 | 23 | 24 | 24 | 23 | 20 |
| 9 | 20 | 20 | 20 | 19 | 22 | 19 | 25 | 23 | 22 | 19 | 25 | 23 | 22 | 20 |
| MÉDIA | 21,00 | 20,38 | 19,13 | 19,78 | 22,29 | 21,00 | 23,50 | 22,11 | 22,29 | 21,00 | 23,50 | 22,11 | 21,38 | 20,43 |
| MÉDIA +10% | 23,10 | 22,41 | 21,04 | 21,76 | 24,51 | 23,10 | 25,85 | 24,32 | 24,51 | 23,10 | 25,85 | 24,32 | 23,51 | 22,47 |
| MÉDIA -10% | 18,90 | 18,34 | 17,21 | 17,80 | 20,06 | 18,90 | 21,15 | 19,90 | 20,06 | 18,90 | 21,15 | 19,90 | 19,24 | 18,39 |
| MÁX | 23 | 23 | 22 | 22 | 24 | 24 | 25 | 25 | 24 | 24 | 25 | 25 | 23 | 21 |
| MIN | 20 | 19 | 18 | 18 | 20 | 19 | 22 | 20 | 20 | 19 | 22 | 20 | 19 | 20 |
| IE | 21,00 | 20,38 | 19,13 | 19,78 | 22,29 | 21,00 | 23,50 | 22,11 | 22,29 | 21,00 | 23,50 | 22,11 | 21,38 | 20,43 |
| Fator calib. | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 |
| IE | 21,05 | 20,43 | 19,17 | 19,83 | 22,34 | 21,05 | 23,56 | 22,17 | 22,34 | 21,05 | 23,56 | 22,17 | 21 | 20 |
| MEDIA IE | 21,20 | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,44 | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 6,77% | | | | | | | | | | | | | |
| | 20,96 | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,67 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3,20% | | | | | | | | | | | | | |

| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA PRISMAS S-3.1 | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|---------------------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------|
| LEITURAS | ($\alpha = +90^\circ$) vertical | | | | | | Data Ensaio: 27/set/2013 | | | | | | |
| | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | |
| | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | 7 DIAS | |
| 1 | 29 | 28 | 28 | 29 | 29 | 27 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 20 | |
| 2 | 28 | 27 | 30 | 29 | 29 | | 28 | 27 | 24 | 26 | 23 | 22 | |
| 3 | 26 | 30 | 26 | 28 | 32 | 32 | 27 | 22 | 24 | 24 | 24 | 22 | |
| 4 | 30 | 28 | 27 | | 26 | 30 | 30 | 21 | 27 | 22 | 22 | 24 | |
| 5 | 26 | 32 | | 27 | 29 | 29 | 29 | 23 | 28 | 26 | 23 | 23 | |
| 6 | 30 | 30 | 28 | 27 | | 26 | 26 | 23 | 22 | 25 | 23 | 23 | |
| 7 | 28 | 30 | 27 | 26 | 32 | 26 | 26 | 22 | 22 | 22 | 23 | 22 | |
| 8 | 28 | 30 | 26 | 28 | 31 | 30 | 30 | 22 | 27 | 22 | 24 | 22 | |
| 9 | 27 | 30 | 27 | 29 | 26 | 26 | 26 | 23 | 29 | 22 | 26 | 22 | |
| 10 | 28 | 30 | 28 | 30 | 28 | 27 | 27 | 22 | 27 | 23 | 26 | 21 | |
| 11 | 30 | 30 | 28 | 28 | 27 | 26 | 26 | 22 | 24 | 23 | 24 | 20 | |
| 12 | 27 | 31 | 28 | 26 | 26 | 26 | 26 | 25 | 27 | 24 | 21 | 20 | |
| 13 | 26 | 28 | 27 | 28 | 31 | 25 | 25 | 22 | 24 | 25 | 22 | | |
| 14 | 28 | 28 | 26 | 26 | 27 | 26 | 26 | 22 | 23 | 23 | 22 | 23 | |
| 15 | 28 | 28 | 26 | 29 | 27 | 25 | 25 | 23 | 23 | 25 | 24 | 23 | |
| 16 | 28 | 31 | 26 | 28 | 26 | 26 | 26 | 26 | | 25 | 26 | 23 | |
| MÉDIA | 27,94 | 29,44 | 27,14 | 27,87 | 28,58 | 26,81 | | 23,00 | 25,79 | 23,46 | 25,25 | 23,07 | 22,00 |
| MÉDIA +10% | 30,73 | 32,38 | 29,86 | 30,65 | 31,44 | 29,49 | | 25,30 | 28,36 | 25,81 | 27,78 | 25,38 | 24,20 |
| MÉDIA -10% | 25,14 | 26,49 | 24,43 | 25,08 | 25,73 | 24,13 | | 20,70 | 23,21 | 21,12 | 22,73 | 20,76 | 19,80 |
| MAX | 30 | 32 | 30 | 30 | 32 | 30 | | 26 | 29 | 26 | 26 | 26 | 24 |
| MIN | 26 | 27 | 26 | 26 | 26 | 25 | | 21 | 22 | 22 | 24 | 21 | 20 |
| IE | 27,94 | 29,44 | 27,14 | 27,87 | 28,58 | 26,81 | | 23,00 | 25,79 | 23,46 | 25,25 | 23,07 | 22,00 |
| Fator calib. IE | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 |
| IE Corregido | 28,57 | 30,10 | 27,76 | 28,50 | 29,23 | 27,42 | | 24 | 26 | 24 | 26 | 24 | 22 |
| MEDIA IE | 31,57 | 33,10 | 30,76 | 31,50 | 32,23 | 30,42 | | 27 | 29 | 27 | 29 | 27 | 25 |
| MEDIA IE | 31,59 | | | | | | 27,30 | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,98 | | | | | | 1,49 | | | | | | |
| Coef. Variação | 3,09% | | | | | | 5,44% | | | | | | |

ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO PRISMA S-3.1

| LEITURAS | Lado 40x30 cm | | | | | | | | | | | Lado 30x30 cm | | |
|----------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|--|--|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | | | |
| L1 (mm) | 23,51 | 26,31 | 25,41 | 25,51 | 23,71 | 27,81 | 16,71 | 15,91 | 19,51 | 20,51 | 16,91 | | | |
| L2 (mm) | 23,41 | 26,21 | 25,31 | 25,61 | 23,21 | 27,91 | 17,21 | 16,01 | 20,11 | 20,71 | 16,91 | | | |
| L3 (mm) | 23,41 | 26,21 | 25,41 | 25,41 | 23,51 | 28,01 | 16,61 | 16,11 | 19,91 | 20,41 | 16,61 | | | |
| PENETRAÇÃO | 31,56 | 28,76 | 29,62 | 29,49 | 31,52 | 27,09 | | | 35,16 | 34,46 | | | | |
| MÉDIA | 30,96 | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,78 | | | | | | | | | | | | | |
| Coef variação | 9,0% | | | | | | | | | | | | | |

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO S-3.1

| CP | DATA MOLDAGEM | DATA ROMPIMENTO | IDADE (dias) | PESO (k) | DIÂMETRO (cm) | ALTURA (cm) | CARGA (kgf) | TENSÃO (kgf/cm ²) | TENSÃO (MPa) | TEMPO (s) | OBSERVAÇÕES |
|------|---------------|-----------------|--------------|----------|---------------|-------------|-------------|-------------------------------|--------------|-----------|-------------|
| S3-1 | 20/09/2013 | 18/10/2013 | 28 | 3,64 | 10,04 | 19,31 | 21240 | 268,29 | 26,83 | 49 | |
| S3-2 | 20/09/2013 | 18/10/2013 | 28 | 3,64 | 10,04 | 19,35 | 22140 | 279,65 | 27,97 | 46 | |
| S3-3 | 20/09/2013 | 18/10/2013 | 28 | 3,64 | 10,05 | 19,28 | 22180 | 279,60 | 27,96 | 50 | |
| S3-4 | 20/09/2013 | 18/10/2013 | 28 | 3,67 | 10,07 | 19,37 | 21750 | 273,09 | 27,31 | 46 | |
| S3-5 | 20/09/2013 | 18/10/2013 | 28 | 3,65 | 10,06 | 19,33 | 22010 | 276,91 | 27,69 | 47 | |
| S3-6 | 20/09/2013 | 18/10/2013 | 28 | 3,64 | 10,02 | 19,27 | 21530 | 273,04 | 27,30 | 60 | |
| S3-7 | 20/09/2013 | 18/10/2013 | 28 | 3,66 | 10,09 | 19,37 | 22740 | 284,39 | 28,44 | 60 | |
| S3-8 | 20/09/2013 | 18/10/2013 | 28 | 3,63 | 10,02 | 19,43 | 23490 | 297,89 | 29,79 | 60 | |
| S3-1 | 20/09/2013 | 27/09/2013 | 7 | 3,68 | 10,07 | 19,42 | 16810 | 211,07 | 21,11 | 55 | |
| S3-2 | 20/09/2013 | 27/09/2013 | 7 | 3,65 | 10,05 | 19,31 | 17090 | 215,44 | 21,54 | 55 | |

LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM/UnB

PLANILHAS DE ENSAIOS

Data moldagem: 23/10/2013 **Elementos:** Cilindros 10x20 cm (retificados) e Prismas de 30x30x40cm
Data 7 dias: 30/10/2013 **Serie 3.2 (S-3.2):** fck= 35 Mpa Brita: 1 Slump: 10 ± 2
Data 28 dias: 20/11/2013

| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA CILINDROS S-3.2 | | | | | | | | | |
|--|------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|--|--|
| LEITURAS | ($\alpha = 0^\circ$) | | Data Ensaio: 20/Nov/2013 | | | | 30/out/13 | | |
| | S3-1 28 DIAS | S3-2 28 DIAS | S3-2 28 DIAS | S2-3 28 DIAS | S3-4 28 DIAS | S3-1 7 DIAS | S3-2 7 DIAS | | |
| 1 | 28 | 28 | 28 | 21 | 21 | 24 | 24 | | |
| 2 | 27 | 27 | 27 | 24 | 26 | 24 | 23 | | |
| 3 | 24 | 26 | 26 | 23 | 26 | | 23 | | |
| 4 | 25 | 26 | 26 | 23 | 22 | | 22 | | |
| 5 | | 26 | 26 | 21 | 24 | | 22 | | |
| 6 | 24 | | | 23 | | | | | |
| 7 | 25 | | 28 | 22 | 24 | | 23 | | |
| 8 | 25 | 24 | 24 | 23 | 26 | | 24 | | |
| 9 | 25 | 24 | 24 | 24 | 23 | | 22 | | |
| MÉDIA | 25,38 | 26,13 | 22,67 | 24,00 | | 23,17 | 22,88 | | |
| MÉDIA +10% | 27,91 | 28,74 | 24,93 | 26,40 | | 25,48 | 25,16 | | |
| MÉDIA -10% | 22,84 | 23,51 | 20,40 | 21,60 | | 20,85 | 20,59 | | |
| MÁX | 28 | 28 | 24 | 26 | | 24 | 24 | | |
| MIN | 24 | 24 | 21 | 21 | | 22 | 22 | | |
| IE | 25,38 | 26,13 | 22,67 | 24,00 | | 23,17 | 22,88 | | |
| Fator calib. | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | 1,023 | 1,023 | | |
| IE | 26 | 27 | 23 | 25 | | 24 | 23 | | |
| MEDIA IE | 25,10 | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,56 | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 6,23% | | | | | | | | |
| MEDIA IE | 23,54 | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,21 | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 0,90% | | | | | | | | |

| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA PRISMAS S-3.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| LEITURAS | ($\alpha = +90^\circ$) vertical | | | | | | Data Ensaio: 20/nov/2013 | | | | | | Data Ensaio: 30/out/2013 | | | | | | | | | | | | |
| | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | Lado 30x40 | | | Lado 30x30 | | | | | | | | | |
| | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | 28 DIAS | |
| 1 | 34 | 30 | 28 | | | | 30 | 30 | 32 | | | | 30 | 30 | 31 | | | | 30 | 30 | 25 | | | | 31 |
| 2 | 36 | 30 | 32 | | | | 29 | 29 | 31 | | | | 29 | 29 | 31 | | | | 31 | 32 | 25 | | | | 28 |
| 3 | | | 31 | | | | 28 | 28 | 30 | | | | 28 | 28 | 30 | | | | 29 | 29 | 25 | | | | 29 |
| 4 | 37 | 30 | 30 | | | | 32 | 32 | 34 | | | | 32 | 32 | 34 | | | | 30 | 30 | 22 | | | | 30 |
| 5 | 38 | | 32 | | | | 33 | 33 | 32 | | | | 33 | 32 | 32 | | | | 32 | 32 | 24 | | | | 27 |
| 6 | 33 | 34 | 31 | | | | 31 | 31 | 34 | | | | 31 | 31 | 34 | | | | 29 | 29 | 26 | | | | 29 |
| 7 | 37 | 32 | 30 | | | | 29 | 29 | 30 | | | | 29 | 29 | 30 | | | | 30 | 30 | 23 | | | | 31 |
| 8 | 38 | 31 | 33 | | | | 29 | 29 | 32 | | | | 29 | 29 | 32 | | | | 32 | 32 | 26 | | | | 29 |
| 9 | 32 | 30 | 28 | | | | 33 | 33 | 29 | | | | 33 | 29 | 29 | | | | 30 | 30 | 24 | | | | 30 |
| 10 | 34 | 32 | 32 | | | | 30 | 30 | 31 | | | | 30 | 30 | 31 | | | | 28 | 28 | 25 | | | | 28 |
| 11 | 32 | 32 | 29 | | | | 29 | 29 | 32 | | | | 29 | 29 | 32 | | | | 29 | 29 | 24 | | | | 29 |
| 12 | 35 | 32 | 32 | | | | 32 | 32 | 32 | | | | 32 | 32 | 32 | | | | 30 | 30 | | | | | 30 |
| 13 | 34 | 34 | 30 | | | | 30 | 30 | 31 | | | | 30 | 30 | 31 | | | | 28 | 28 | 22 | | | | |
| 14 | 34 | 33 | 32 | | | | 30 | 30 | 31 | | | | 30 | 30 | 31 | | | | 27 | 27 | | | | | 27 |
| 15 | 38 | 31 | 31 | | | | 30 | 30 | 32 | | | | 30 | 30 | 32 | | | | 28 | 28 | | | | | 28 |
| 16 | 34 | 32 | 30 | | | | 29 | 29 | 32 | | | | 29 | 29 | 32 | | | | 28 | 28 | | | | | 27 |
| MÉDIA | 35,07 | 31,64 | 30,69 | | | | 30,25 | 30,69 | 31,56 | | | | 30,25 | 30,69 | 31,56 | | | | 29,64 | 28,23 | 24,09 | | | 30,15 | 28,87 |
| MÉDIA +10% | 38,57 | 34,81 | 33,76 | | | | 33,28 | 33,76 | 34,72 | | | | 33,28 | 33,76 | 34,72 | | | | 32,61 | 31,05 | 26,50 | | | 33,17 | 31,75 |
| MÉDIA -10% | 31,56 | 28,48 | 27,62 | | | | 27,23 | 27,62 | 28,41 | | | | 27,23 | 27,62 | 28,41 | | | | 26,68 | 25,41 | 21,68 | | | 27,14 | 25,98 |
| MÁX | 38 | 34 | 33 | | | | 33 | 33 | 34 | | | | 33 | 33 | 34 | | | | 33 | 32 | 26 | | | 34 | 31 |
| MIN | 32 | 30 | 28 | | | | 28 | 28 | 29 | | | | 28 | 28 | 29 | | | | 28 | 26 | 22 | | | 28 | 27 |
| IE | 35,07 | 31,64 | 30,69 | | | | 30,25 | 30,69 | 31,56 | | | | 30,25 | 30,69 | 31,56 | | | | 29,64 | 28,23 | 24,09 | | | 30,15 | 28,87 |
| Fator calib. IE | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | | | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | | | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | | | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | | 1,003 | 1,003 |
| IE Corregido | 35,16 | 31,73 | 30,77 | | | | 30,33 | 30,77 | 31,64 | | | | 30,33 | 30,77 | 31,64 | | | | 30 | 28 | 24 | | | 30 | 29 |
| IE Corregido | 38,16 | 34,73 | 33,77 | | | | 33,33 | 33,77 | 34,64 | | | | 33,33 | 33,77 | 34,64 | | | | 33 | 31 | 27 | | | 33 | 32 |
| MÉDIA IE | | | | | | | 34,92 | 34,92 | 34,92 | | | | 34,92 | 34,92 | 34,92 | | | | | | | | | | 31,83 |
| Desvio Padrão | | | | | | | 1,90 | 1,90 | 1,90 | | | | 1,90 | 1,90 | 1,90 | | | | | | | | | | 2,56 |
| Coef. Variação | | | | | | | 5,44% | 5,44% | 5,44% | | | | 5,44% | 5,44% | 5,44% | | | | | | | | | | 8,03% |

| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO PRISMA S-3.2 | | | | | | | | | | |
|---|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Lado 40x30 cm | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 |
| L1 (mm) | 34,61 | 30,01 | 22,01 | 30,41 | 29,31 | 34,91 | 33,41 | 32,61 | 38,01 | 36,31 |
| L2 (mm) | 34,81 | 30,01 | 21,81 | 30,61 | 29,51 | 35,11 | 33,31 | 32,11 | 38,41 | 36,61 |
| L3 (mm) | 34,71 | 30,01 | 22,01 | 30,51 | 29,71 | 34,81 | 33,41 | 32,51 | 38,51 | 36,51 |
| PENETRAÇÃO | 20,29 | 24,99 | | 24,49 | 25,49 | 20,06 | 21,62 | 22,59 | | 18,52 |
| MÉDIA | 22,26 | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,57 | | | | | | | | | |
| Coef variação | 11,5% | | | | | | | | | |

| ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO S-3.2 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|-----------------|--------------|----------|---------------|-------------|-------------|-------------------------------|--------------|-----------|-------------|
| CP | DATA MOLDAGEM | DATA ROMPIMENTO | IDADE (dias) | PESO (k) | DIÂMETRO (cm) | ALTURA (cm) | CARGA (kgf) | TENSÃO (kgf/cm ²) | TENSÃO (MPa) | TEMPO (s) | OBSERVAÇÕES |
| S3-1 | 23/10/2013 | 20/11/2013 | 28 | 3,69 | 10,02 | 19,64 | 25810 | 327,31 | 32,73 | 64 | |
| S3-2 | 23/10/2013 | 20/11/2013 | 28 | 3,69 | 10,05 | 19,62 | 25290 | 318,81 | 31,88 | 52 | |
| S3-3 | 23/10/2013 | 20/11/2013 | 28 | 3,66 | 10,08 | 19,44 | 24690 | 309,39 | 30,94 | 50 | |
| S3-4 | 23/10/2013 | 20/11/2013 | 28 | 3,66 | 10,02 | 19,53 | 26240 | 332,77 | 33,28 | 48 | |
| S3-1 | 23/10/2013 | 30/10/2013 | 7 | 3,66 | 10,05 | 19,59 | 20530 | 258,80 | 25,88 | 60 | |
| S3-2 | 23/10/2013 | 30/10/2013 | 7 | 3,65 | 10,07 | 19,59 | 20950 | 263,05 | 26,30 | 58 | |

**APÊNDICE B - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE
ESCLEROMETRIA, PENETRAÇÃO DE PINO E RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DOS CONCRETOS AVALIADOS EM OBRAS.**

LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB

REFERÊNCIA DA OBRA

OBRA: 1 caminhão betoneira -1 **Data concretagem** 08 de Julho de 2013
ELEMENTOS: PILARES **Peça Concretada:** fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 10 ± 2

ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Data Ensaio: 06/Sep/2013

| LEITURAS | P8 | | | P9 | | |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|----------|----------|--------------|
| | superior | inferior | centro | superior | inferior | centro |
| 1 | 35 | 35 | 35 | | | |
| 2 | 35 | 34 | 35 | | | |
| 3 | 34 | 34 | 34 | | | |
| 4 | 38 | 36 | 33 | | | |
| 5 | 32 | 37 | 34 | | | |
| 6 | 37 | 35 | 33 | | | |
| 7 | 35 | 34 | 32 | | | |
| 8 | 35 | 38 | 33 | | | |
| 9 | 35 | 33 | 34 | | | |
| 10 | 35 | 34 | 34 | | | |
| 11 | 35 | 34 | 34 | | | |
| 12 | 34 | 34 | 32 | | | |
| 13 | 35 | 33 | 35 | | | |
| 14 | 35 | 33 | 34 | | | |
| 15 | 36 | 32 | 35 | | | |
| 16 | 35 | 34 | 32 | | | |
| MÉDIA | 35,06 | 34,38 | 33,69 | | | |
| MÉDIA +10% | 38,57 | 37,81 | 37,06 | | | |
| MÉDIA -10% | 31,56 | 30,94 | 30,32 | | | |
| MÁX | 38 | 38 | 35 | | | |
| MIN | 32 | 32 | 32 | | | |
| IE | 35,06 | 34,38 | 33,69 | | | |
| Fator calib. | 0,999 | 0,999 | 0,999 | | | |
| IE | 35 | 34 | 34 | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | 34,33 |
| Desvio Padrão | | | | | | 0,69 |
| Coef. Variação | | | | | | 2,00% |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 1 caminhão betoneira 1 | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | | PILARES | | | | | | | | | | | |
| | | Data concretagem: 08 de Julho de 2013 | | | | | | | | | | | |
| | | Peça Concretada: fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 10 ± 2 | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | P8 | | | | | | P9 | | | | | | |
| L1 (mm) | 29,41 | 32,21 | 30,21 | 30,61 | 30,11 | 34,91 | 32,11 | 26,91 | 26,91 | | | | |
| L2 (mm) | 31,01 | 32,11 | 30,91 | 29,91 | 29,61 | 35,41 | 32,11 | 26,91 | 27,31 | | | | |
| L3 (mm) | 29,81 | 31,91 | 30,51 | 30,21 | 29,61 | 34,91 | 31,91 | 26,91 | 26,91 | | | | |
| penetração (mm) | 24,92 | 22,92 | 24,46 | 24,76 | 25,22 | 19,92 | 22,96 | 28,09 | 27,96 | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | 24,46 | | | | | | 24,73 | | | | | | |
| MÉDIA | 24,59 | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,19 | | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 0,8% | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|--|--|--|--|--|-------------------------|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 1 caminhão betoneira 1 | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | | PILARES | | | | | | | | | | |
| | | Data concretagem: 08 de Julho de 2013 | | | | | | | | | | |
| | | Peça Concretada: fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Ensaio 7 dias (15/Jul) | | | | | | Ensaio 28 dias (05/Ago) | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 28,80 | | | | | | 36,10 | | | | | |
| MÉDIA | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------------------|--|------------------|--|---------------------|--|------------------|--|---------------------------------------|--|-------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: 1 | | caminhão betoneira 2 | | Data concretagem | | 08 de Julho de 2013 | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 10 ± 2 | | |
| ELEMENTOS: PILARES | | ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | |
| | | Data Ensaio: 06/Sep/2013 | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | PI2 inferior | | | | | | | | | | | |
| 1 | 36 | | | | | | | | | | | |
| 2 | 38 | | | | | | | | | | | |
| 3 | 36 | | | | | | | | | | | |
| 4 | 35 | | | | | | | | | | | |
| 5 | 36 | | | | | | | | | | | |
| 6 | 36 | | | | | | | | | | | |
| 7 | 34 | | | | | | | | | | | |
| 8 | 36 | | | | | | | | | | | |
| 9 | 36 | | | | | | | | | | | |
| 10 | 36 | | | | | | | | | | | |
| 11 | 38 | | | | | | | | | | | |
| 12 | 36 | | | | | | | | | | | |
| 13 | 36 | | | | | | | | | | | |
| 14 | 35 | | | | | | | | | | | |
| 15 | 33 | | | | | | | | | | | |
| 16 | 34 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 35,69 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA +10% | 39,26 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA -10% | 32,12 | | | | | | | | | | | |
| MAX | 38 | | | | | | | | | | | |
| MIN | 33 | | | | | | | | | | | |
| IE | 35,69 | | | | | | | | | | | |
| Fator calib. | 0,999 | | | | | | | | | | | |
| IE | 35,64 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | | | | | | 35,64 |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|------------|-------|----------------------|--|--|--|---------------------------------------|--|-------------|--|---------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 1 | | caminhão betoneira 2 | | | | Data concretagem: 08 de Julho de 2013 | | | | |
| ELEMENTOS: | | PILARES | | | | | | Peça Concretada: fck= 30 MPa | | Brita:0 e 1 | | Slump: 10 ± 2 |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | | PI2 | | | | | | | | | | |
| L1 (mm) | 24,61 | 41,51 | 32,61 | 33,91 | | | | | | | | |
| L2 (mm) | 24,91 | 41,31 | 32,51 | 33,91 | | | | | | | | |
| L3 (mm) | 24,51 | 41,51 | 32,91 | 34,01 | | | | | | | | |
| penetração (mm) | | | 22,32 | 21,06 | | | | | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | 21,69 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 21,69 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,9 | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 4,1% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------------------------------|--|----------------------|--|--|--|---------------------------------------|--|-------------|--|---------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 1 | | caminhão betoneira 2 | | | | Data concretagem: 08 de Julho de 2013 | | | | |
| ELEMENTOS: | | PILARES | | | | | | Peça Concretada: fck= 30 MPa | | Brita:0 e 1 | | Slump: 10 ± 2 |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | | Ensaio 7 dias (15/Jul) | | | | | | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | | 27,60 | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | | 35,20 | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | |
| | | Ensaio 28 dias (05/Ago) | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------------|--------------|------------------|--------------|----------------------|--------------|-------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 2 | caminhão betoneira 1 | | Data concretagem | | 02 de Agosto de 2013 | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | PILARES | | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa | | Brita:0 e 1 | | Slump: 12 ± 2 | | | | | |
| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | | | | | | |
| (α = 0°) | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Data Ensaio: 06/Sep/2013 | | | | | | | | | | | | | | |
| | P1 superior | P1 inferior | P2 centro | P3 centro | P4 centro | P5 centro | P6 superior | P6 inferior | P7 superior | P7 inferior | P10 superior | P10 inferior | P11 centro | | |
| 1 | 33 | 36 | 31 | 34 | | 34 | 33 | | 33 | 33 | 34 | 31 | 35 | | |
| 2 | 38 | 38 | | 30 | 33 | | | | 35 | 35 | 34 | 32 | 33 | | |
| 3 | 34 | 36 | 32 | 34 | 33 | 34 | 32 | | 34 | 34 | 36 | 33 | 34 | | |
| 4 | 36 | | 33 | 32 | 30 | 30 | 32 | | 35 | 34 | 35 | 34 | 31 | | |
| 5 | | 36 | 32 | 31 | 32 | 33 | 30 | | 34 | 35 | 33 | 32 | 32 | | |
| 6 | 36 | 32 | 33 | | 31 | 34 | 34 | | 34 | 36 | 36 | 31 | 34 | | |
| 7 | 33 | 34 | 36 | 30 | 30 | 32 | 31 | | 33 | 35 | 32 | 36 | 36 | | |
| 8 | 35 | 35 | 30 | 34 | 34 | 32 | 32 | | 36 | 36 | 35 | 35 | 31 | | |
| 9 | 36 | 35 | 33 | 30 | 32 | 32 | 34 | | 34 | 34 | 33 | 32 | 32 | | |
| 10 | 33 | 33 | 34 | 32 | 30 | 35 | 34 | | 34 | 34 | 34 | 36 | 36 | | |
| 11 | 34 | 32 | 35 | 32 | 32 | 33 | 30 | | 35 | 35 | | 36 | 36 | | |
| 12 | 38 | 35 | 32 | 32 | 34 | 32 | 32 | | 34 | 35 | 30 | 35 | 36 | | |
| 13 | 37 | 38 | 35 | 33 | 33 | 34 | 30 | | 34 | 34 | 34 | 33 | 32 | | |
| 14 | 35 | 34 | 34 | 35 | 35 | 33 | 34 | | 32 | 33 | 36 | 32 | 34 | | |
| 15 | 37 | 36 | 33 | 32 | 33 | 32 | 32 | | 31 | 35 | 33 | 35 | 37 | | |
| 16 | 31 | 33 | 32 | 30 | 32 | 30 | 32 | | 32 | 36 | 34 | 30 | 36 | | |
| MÉDIA | 35,07 | 34,87 | 33,00 | 32,00 | 32,27 | 32,67 | 32,00 | | 33,63 | 34,63 | 33,93 | 33,31 | 34,06 | | |
| MÉDIA +10% | 38,57 | 38,35 | 36,30 | 35,20 | 35,49 | 35,93 | 35,20 | | 36,99 | 38,09 | 37,33 | 36,64 | 37,47 | | |
| MÉDIA -10% | 31,56 | 31,38 | 29,70 | 28,80 | 29,04 | 29,40 | 28,80 | | 30,26 | 31,16 | 30,54 | 29,98 | 30,66 | | |
| MÁX | 38 | 38 | 36 | 35 | 35 | 35 | 34 | | 35 | 36 | 36 | 36 | 37 | | |
| MIN | 31 | 32 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | | 31 | 33 | 30 | 30 | 31 | | |
| IE | 35,07 | 34,87 | 33,00 | 32,00 | 32,27 | 32,67 | 32,00 | | 33,63 | 34,63 | 33,93 | 33,31 | 34,06 | | |
| Fator calib. | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | | |
| IE | 35 | 35 | 33 | 32 | 32 | 33 | 32 | | 34 | 35 | 34 | 33 | 34 | | |
| MÉDIA IE | 33,44 | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,05 | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 3,13% | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-------|--|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 2 | | caminhão betoneira 1 | | Data concretagem: 02 de Agosto de 2013 | | | | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | PILARES | | Peça Concretada: fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | P1 | | | P2 | | | P7 | | | P10 | | | | | | | | | |
| L1 (mm) | 30,31 | 31,81 | 30,41 | 39,31 | 32,61 | 31,71 | 31,71 | 38,41 | 30,41 | 28,21 | 32,11 | 28,51 | 30,41 | 32,11 | 32,71 | 32,41 | 35,31 | 32,91 | 25,41 |
| L2 (mm) | 30,61 | 32,31 | 31,51 | 38,91 | 33,31 | 32,11 | 31,71 | 38,21 | 31,01 | 28,21 | 32,11 | 28,31 | 30,31 | 32,61 | 32,91 | 32,61 | 34,91 | 32,41 | 25,11 |
| L3 (mm) | 30,51 | 32,41 | 30,91 | 39,01 | 33,41 | 32,21 | 31,81 | 37,91 | 30,41 | 28,11 | 31,91 | 28,51 | 30,51 | 32,91 | 32,91 | 32,41 | 35,41 | 32,81 | 25,41 |
| penetração (mm) | 24,52 | 22,82 | 24,06 | | 21,89 | 22,99 | 23,26 | | 24,39 | 26,82 | 22,96 | 26,56 | 24,59 | 22,46 | 22,16 | 22,52 | | 22,29 | 29,69 |
| MÉDIA (PILAR) | 23,32 | | | 24,37 | | | 23,74 | | | 24,83 | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 24,07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 2,8% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|--|--|-------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 2 | | caminhão betoneira 1 | | Data concretagem: 02 de Agosto de 2013 | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | PILARES | | Peça Concretada: fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Ensaio 7 dias (09/Ago) | | | Ensaio 28 dias (30/Ago) | | | | | | | | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 26,20 | | | 35,00 | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|--------------------------------|--------------|------------------|--|----------------------|--|------------------|--|---------------------------------------|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 2 | caminhão betoneira 2 | | Data concretagem | | 02 de Agosto de 2013 | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2 | |
| ELEMENTOS: | PILARES | ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | |
| LEITURAS | | Data Ensaio: 06/Sep/2013 | | | | | | | | | |
| | | P13 | P14 | | | | | | | | |
| | | centro | centro | | | | | | | | |
| 1 | | 35 | 32 | | | | | | | | |
| 2 | | 36 | 34 | | | | | | | | |
| 3 | | 34 | 32 | | | | | | | | |
| 4 | | 35 | 34 | | | | | | | | |
| 5 | | 34 | 33 | | | | | | | | |
| 6 | | 34 | 34 | | | | | | | | |
| 7 | | 34 | 33 | | | | | | | | |
| 8 | | 34 | 34 | | | | | | | | |
| 9 | | 34 | 36 | | | | | | | | |
| 10 | | 35 | 34 | | | | | | | | |
| 11 | | 35 | 34 | | | | | | | | |
| 12 | | 38 | 33 | | | | | | | | |
| 13 | | 34 | 32 | | | | | | | | |
| 14 | | 35 | 32 | | | | | | | | |
| 15 | | 33 | 34 | | | | | | | | |
| 16 | | 34 | 33 | | | | | | | | |
| MEDIA | | 34,63 | 33,38 | | | | | | | | |
| MEDIA +10% | | 38,09 | 36,71 | | | | | | | | |
| MEDIA -10% | | 31,16 | 30,04 | | | | | | | | |
| MÁX | | 38 | 36 | | | | | | | | |
| MIN | | 33 | 32 | | | | | | | | |
| IE | | 34,63 | 33,38 | | | | | | | | |
| Fator calib. | | 0,999 | 0,999 | | | | | | | | |
| IE | | 35 | 33 | | | | | | | | |
| MEDIA IE | | | | | | | | | | 33,96 | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | 0,88 | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | 2,60% | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|------------|-------|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 2 | | caminhão betoneira 2 | | Data concretagem: 02 de Agosto de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | | PILARES | | Peça Concretada: fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | | PI3 | | | | | | | | | | | | |
| L1 (mm) | 32,31 | 32,31 | 34,91 | 27,91 | 32,31 | | | | | | | | | |
| L2 (mm) | 32,31 | 32,41 | 34,61 | 28,31 | 32,31 | | | | | | | | | |
| L3 (mm) | 32,41 | 32,11 | 34,91 | 28,21 | 32,41 | | | | | | | | | |
| penetração (mm) | 22,66 | 22,72 | 20,19 | 26,86 | 22,66 | | | | | | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | 23,11 | | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 23,11 | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,76 | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 12,0% | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 2 | | caminhão betoneira 2 | | Data concretagem: 02 de Agosto de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | | PILARES | | Peça Concretada: fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | | Ensaio 7 dias (09/Ago) | | | | | | | | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | | 25,80 | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | | 33,60 | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | | | |

LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB

REFERÊNCIA DA OBRA

OBRA: 3 caminhão betoneira vários **Data concretagem** 27 de Agosto de 2013
ELEMENTOS: PILARES **Peça Concretada:** fck= 35 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2

ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Data Ensaio: 24/Sep/2013

| LEITURAS | P1 Cb7 | | P2 Cb8 | | P3 Cb9 | | P4 Cb6 | | P5 Cb5 | | P6 Cb4 | | P7 Cb3 | | P8 Cb1 | | P9 Cb1 | | P10 Cb2 | | |
|-----------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|-------|
| | sup | inf | sup | inf | sup | inf | sup | inf | sup | inf | sup | inf | sup | centro | centro | centro | centro | centro | sup | inf | |
| 1 | | 34 | 29 | 30 | 28 | 28 | 29 | 34 | 30 | 30 | 28 | 28 | 28 | 28 | 26 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 35 |
| 2 | 28 | 34 | | 30 | 29 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 32 | 28 | 28 | 28 | 27 | 33 | 33 | 33 | 30 | 30 | 33 |
| 3 | 28 | 35 | | 35 | 28 | 30 | 28 | 29 | 29 | 34 | 28 | 29 | 29 | 26 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 30 |
| 4 | 26 | 33 | 28 | 29 | 31 | 26 | 30 | 30 | 33 | 29 | 28 | 29 | 28 | 28 | 28 | 33 | 33 | 33 | 30 | 30 | 36 |
| 5 | 28 | 29 | 28 | 31 | 26 | 29 | 27 | 31 | 30 | 30 | 28 | 30 | 28 | 28 | 29 | 32 | 32 | 32 | 30 | 30 | 30 |
| 6 | 30 | 32 | 29 | 29 | 28 | 30 | | 32 | 30 | 36 | 29 | 32 | 28 | 28 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 32 |
| 7 | | | 28 | 30 | 27 | 29 | 28 | 30 | 28 | 32 | 29 | 28 | 27 | 26 | 26 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 33 |
| 8 | 28 | 30 | 28 | 30 | 26 | 30 | 26 | 32 | 28 | 32 | 28 | 29 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 29 | 29 | 34 |
| 9 | 27 | | 28 | 32 | 27 | 28 | 26 | 33 | 29 | 30 | 29 | 30 | 30 | 30 | 28 | 28 | 33 | 28 | 28 | 31 | 31 |
| 10 | | 30 | 28 | 32 | 28 | 29 | 26 | 31 | 29 | 36 | 30 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 11 | 29 | 30 | 29 | | 28 | | 28 | 31 | 34 | 29 | 29 | 29 | 28 | 28 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 29 |
| 12 | 26 | 29 | 28 | | 27 | 30 | 29 | 32 | 26 | 33 | 30 | 30 | 31 | 28 | 28 | 34 | 34 | 29 | 29 | 29 | 34 |
| 13 | 26 | 29 | 28 | 32 | 26 | 28 | 29 | 28 | 32 | 29 | 29 | 29 | 28 | 28 | 28 | 32 | 32 | 29 | 29 | 30 | 30 |
| 14 | 25 | 35 | 33 | 30 | 29 | 29 | 26 | 29 | 34 | 34 | 30 | 30 | 29 | 27 | 30 | 30 | 30 | 31 | 31 | 35 | 35 |
| 15 | 27 | | 28 | 30 | 28 | 30 | 30 | 30 | 32 | 32 | 30 | 30 | 29 | 30 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 36 |
| 16 | 28 | 31 | 28 | 30 | 28 | 29 | 28 | | 28 | 36 | 28 | 32 | 29 | 28 | 31 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| MÉDIA | 27,38 | 31,62 | 28,57 | 30,71 | 27,75 | 28,87 | 27,87 | 30,67 | 29,80 | 32,27 | 29,47 | 29,43 | 28,47 | 28,13 | 30,80 | 30,80 | 30,80 | 29,69 | 29,69 | 32,38 | 32,38 |
| MÉDIA +10% | 30,12 | 34,78 | 31,43 | 33,79 | 30,53 | 31,75 | 30,65 | 33,73 | 32,78 | 35,49 | 32,41 | 32,37 | 31,31 | 30,94 | 33,88 | 33,88 | 33,88 | 32,66 | 32,66 | 35,61 | 35,61 |
| MÉDIA -10% | 24,65 | 28,45 | 25,71 | 27,64 | 24,98 | 25,98 | 25,08 | 27,60 | 26,82 | 29,04 | 26,52 | 26,49 | 25,62 | 25,31 | 27,72 | 27,72 | 27,72 | 26,72 | 26,72 | 29,14 | 29,14 |
| MÁX | 30 | 35 | 33 | 35 | 31 | 30 | 30 | 34 | 34 | 36 | 32 | 32 | 31 | 31 | 34 | 34 | 34 | 33 | 33 | 36 | 36 |
| MIN | 25 | 29 | 28 | 29 | 26 | 26 | 26 | 28 | 26 | 26 | 28 | 28 | 27 | 26 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 29 |
| IE | 27,38 | 31,62 | 28,57 | 30,71 | 27,75 | 28,87 | 27,87 | 30,67 | 29,80 | 32,27 | 29,47 | 29,43 | 28,47 | 28,13 | 30,80 | 30,80 | 30,80 | 29,69 | 29,69 | 32,38 | 32,38 |
| Fator calib. | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 |
| IE | 27 | 32 | 29 | 31 | 28 | 29 | 28 | 31 | 30 | 32 | 29 | 29 | 28 | 28 | 31 | 31 | 31 | 30 | 30 | 32 | 32 |
| MÉDIA IE | 29,54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,95 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 3,21% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|-------|--------|---------------------------|-------|--------|--|-------|---------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 3 | | | caminhão betoneira vários | | | Data concretagem: 27 de Agosto de 2013 | | | Peça Concretada: fck= 35 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | | PILARES | | | ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | P1 Cb7 | | | P2 Cb8 | | | P3 Cb9 | | | P4 Cb6 | | | | | | | | | | | |
| | L1 (mm) | 24,56 | 25,41 | 28,61 | 29,31 | 27,21 | 21,41 | 25,91 | 24,41 | 16,51 | 9,91 | 32,61 | 19,51 | 23,41 | 20,41 | 22,91 | 14,91 | 27,61 | | | |
| L2 (mm) | 25,21 | 24,91 | 27,91 | 29,61 | 27,41 | 27,41 | 21,31 | 26,11 | 24,41 | 16,21 | 9,91 | 32,91 | 19,91 | 23,21 | 20,51 | 23,11 | 15,61 | 27,51 | | | |
| L3 (mm) | 25,11 | 25,11 | | | | | 21,41 | 26,61 | 24,11 | 16,01 | 9,91 | 32,91 | 18,81 | 23,31 | 20,41 | 22,81 | 14,81 | 27,91 | | | |
| penetração (mm) | 30,04 | 29,86 | 26,74 | | 27,69 | | 33,62 | 28,79 | 30,69 | | | | | 31,69 | 34,56 | 32,06 | | 27,32 | | | |
| MÉDIA (pilar) | 28,58 | | | 31,03 | | | 31,69 | | | 31,31 | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | P5 Cb5 | | | P6 Cb4 | | | Cb1 | | | P10 Cb2 | | | | | | | | | | | |
| | L1 (mm) | 29,61 | 25,41 | 30,91 | 25,91 | | 19,11 | 27,61 | 21,11 | 30,91 | 22,51 | 25,21 | 15,51 | 30,61 | 26,91 | 25,91 | 20,91 | 25,41 | 26,91 | 26,11 | 28,91 |
| L2 (mm) | 28,91 | 25,21 | 31,31 | 26,41 | | 19,71 | 27,91 | 21,31 | 30,81 | 21,71 | 24,91 | 14,91 | 29,91 | 27,91 | 26,71 | 21,31 | 21,31 | 25,41 | 27,41 | 25,81 | 29,31 |
| L3 (mm) | 29,31 | 26,01 | 30,91 | 25,91 | | 20,01 | 27,81 | 20,91 | 30,61 | 21,91 | 24,61 | 14,81 | 30,41 | 27,41 | 26,11 | 21,51 | 24,91 | 24,91 | 26,91 | 25,41 | 29,81 |
| penetração (mm) | | 29,46 | | 28,92 | | | 27,22 | 33,89 | | 32,96 | 30,09 | | | 27,59 | 28,76 | 33,76 | 29,76 | 27,92 | 29,22 | | |
| MÉDIA (pilar) | 29,19 | | | 30,56 | | | 30,63 | | | 28,97 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 30,25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef variação | 3,9% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|--|--------------------|---------------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 3 | | PILARES | | caminhão betoneira vários | | Data concretagem: 27 de Agosto de 2013 | | Slump: 12 ± 2 |
| ELEMENTOS: | | 3 | | PILARES | | caminhão betoneira vários | | Data concretagem: 27 de Agosto de 2013 | | Slump: 12 ± 2 |
| | | 3 | | PILARES | | caminhão betoneira vários | | Data concretagem: 27 de Agosto de 2013 | | Slump: 12 ± 2 |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | P1 Cb7 | | P2 Cb8 | | P3 Cb9 | | P4 Cb6 | | P5 Cb5 | |
| | 7 dias (03/set) | 28 dias (24/set) | 7 dias (03/set) | 28 dias (24/set) | 7 dias (03/set) | 28 dias (24/set) | 7 dias (03/set) | 28 dias (24/set) | 7 dias (03/set) | 28 dias (24/set) |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 26,30 | 38,60 | 29,50 | 42,30 | 27,20 | 39,40 | 28,00 | 37,40 | 31,00 | 42,40 |
| LEITURAS | P6 Cb4 | | P7 Cb3 | | P8 e P9 Cb1 | | P10 Cb2 | | | |
| | 7 dias (03/set) | 28 dias (24/set) | 7 dias (03/set) | 28 dias (24/set) | 7 dias (03/set) | 28 dias (24/set) | 7 dias (03/set) | 28 dias (24/set) | 7 dias (03/set) | 28 dias (24/set) |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 26,30 | 35,10 | 41,60 | 26,80 | 34,10 | 26,70 | 36,80 | 29,20 | | |
| MÉDIA | 38,73 | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,94 | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 7,60% | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------------------------|-------|--------------------------|-------|---------------------------------------|----|--|--|--|--|--------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 4 | caminhão betoneira vários | | Data concretagem | | 30 de Agosto de 2013 | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Piso | | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | |
| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | | | |
| | | $(\alpha = 90^\circ)$ | | Data Ensaio: 30/Sep/2013 | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb2 | | Cb1 | Cb3 | Cb4 | | | | | | | |
| | 1 | 38 | 40 | 35 | 41 | 39 | 25 | | | | | |
| 2 | 40 | 39 | 37 | 42 | 38 | 25 | | | | | | |
| 3 | 42 | 38 | 39 | 39 | 34 | 34 | | | | | | |
| 4 | 44 | 37 | 44 | 41 | 30 | 33 | | | | | | |
| 5 | 42 | 42 | 38 | 40 | 30 | 32 | | | | | | |
| 6 | 38 | 36 | 37 | 41 | 31 | 32 | | | | | | |
| 7 | 41 | 40 | 38 | 41 | 36 | 30 | | | | | | |
| 8 | 41 | 36 | 36 | 39 | 30 | 27 | | | | | | |
| 9 | 38 | 44 | 39 | 40 | 33 | 28 | | | | | | |
| 10 | 35 | 44 | 37 | 42 | 28 | 28 | | | | | | |
| 11 | 34 | 41 | 42 | 41 | 35 | 34 | | | | | | |
| 12 | 34 | 37 | 38 | 39 | 30 | 32 | | | | | | |
| 13 | 42 | 40 | 41 | 42 | 35 | 29 | | | | | | |
| 14 | 40 | 38 | 37 | 41 | 27 | 30 | | | | | | |
| 15 | 41 | 42 | 38 | 40 | 26 | 31 | | | | | | |
| 16 | 38 | 46 | 42 | 39 | 25 | 29 | | | | | | |
| MÉDIA | 39,25 | 40,00 | 38,63 | 40,50 | 31,69 | 29,94 | | | | | | |
| MÉDIA +10% | 43,18 | 44,00 | 42,49 | 44,55 | 34,86 | 32,93 | | | | | | |
| MÉDIA -10% | 35,33 | 36,00 | 34,76 | 36,45 | 28,52 | 26,94 | | | | | | |
| MÁX | 44 | 46 | 44 | 42 | 39 | 34 | | | | | | |
| MIN | 34 | 36 | 35 | 39 | 25 | 25 | | | | | | |
| IE | 39,25 | 40,00 | 38,63 | 40,50 | 31,69 | 29,94 | | | | | | |
| Fator calib. | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | | | | | |
| IE | 42,73 | | 41,73 | 43,61 | 33,89 | | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | | | | | | 40,49 |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | 4,46 |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | 11,02% |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 4 caminhão betoneira - vários | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Piso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Data concretagem: 30 de Agosto de 2013 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Peça Concretada: fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb2 | | | | | | Cb1 | | | | | | Cb3 | | | | | | Cb4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 29,91 | 32,11 | 30,71 | 31,91 | 31,91 | 30,21 | 34,81 | 34,81 | 25,91 | 33,41 | 34,91 | 35,31 | 28,71 | 29,41 | 31,21 | 36,41 | 31,61 | 38,91 | 23,91 | 29,51 | 29,61 | 30,41 | 31,81 | 30,61 | 32,11 | 32,61 | 30,61 | 34,91 | 34,91 | 27,21 | 34,31 | 34,81 | 35,91 | 29,01 | 29,51 | 31,51 | 36,51 | 31,51 | 38,71 | 24,31 | 29,31 | 29,31 | 31,11 | 31,91 | 30,71 | 31,81 | 32,21 | 30,71 | 34,91 | 26,11 | 33,51 | 34,91 | 36,01 | 28,91 | 29,31 | 31,41 | 36,51 | 31,31 | 38,71 | 24,21 | 29,31 | 29,41 | 24,52 | 23,06 | 24,32 | 23,06 | 22,76 | 24,49 | 20,12 | 21,26 | 20,12 | 19,26 | 26,12 | 25,59 | 23,62 | 23,52 | | 25,62 |
| penetração (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | 23,54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 21,50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 23,40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef variação | 1,41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 6,0% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|--|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 4 caminhão betoneira - vários | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pisos | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Data concretagem: 30 de Agosto de 2013 | | | | | | |
| | | | | | | Peça Concretada: fck= 30 MPa Brita:0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb2 | | | Cb1 | | | Cb3 | | | Cb4 | | |
| | 7dias (06/set) | 28dias (27/set) | 7dias (06/set) | 7dias (06/set) | 28dias (27/set) | 7dias (06/set) | 7dias (06/set) | 28dias (27/set) | 7dias (06/set) | 7dias (06/set) | 28dias (27/set) | 7dias (06/set) |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 26,30 | 34,70 | 24,20 | 33,50 | 27,20 | 33,70 | 25,90 | 33,20 | | | | |
| MÉDIA | 33,78 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,65 | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 1,92% | | | | | | | | | | | |

LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB

REFERÊNCIA DA OBRA

OBRA: Sa caminhão betoneira vários Data concretagem 03 de Setembro de 2013
ELEMENTOS: Laje Peça Concretada: fck= 40 MPa Brita: 1 Slump: 10 ± 2

ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

(α = 90°) Data Ensaio: 01/Out/2013

| LEITURAS | Cb1 | | | Cb2 | | Cb3 | | | | | | |
|-----------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 39 | 40 | 40 | 40 | 38 | | | | | | | |
| 2 | 39 | 41 | 39 | 38 | 40 | | | | | | | |
| 3 | 43 | 37 | 40 | 41 | 42 | | | | | | | |
| 4 | 40 | 36 | 38 | 42 | 43 | | | | | | | |
| 5 | 36 | 40 | 41 | 42 | 43 | | | | | | | |
| 6 | 40 | 40 | 40 | 40 | 39 | | | | | | | |
| 7 | 39 | 42 | 40 | 40 | 40 | | | | | | | |
| 8 | 39 | 39 | 39 | 40 | 44 | | | | | | | |
| 9 | 40 | 43 | | 44 | 44 | | | | | | | |
| 10 | 38 | 43 | 40 | 40 | 41 | | | | | | | |
| 11 | 39 | 41 | 41 | 39 | 42 | | | | | | | |
| 12 | 38 | 42 | 42 | 39 | 39 | | | | | | | |
| 13 | 42 | 43 | 40 | 38 | 40 | | | | | | | |
| 14 | 38 | 40 | 39 | 40 | 40 | | | | | | | |
| 15 | 38 | 38 | 38 | 38 | 40 | | | | | | | |
| 16 | | 40 | 40 | 44 | 40 | | | | | | | |
| MÉDIA | 39,20 | 40,31 | 39,80 | 40,31 | 40,94 | | | | | | | |
| MÉDIA +10% | 43,12 | 44,34 | 43,78 | 44,34 | 45,03 | | | | | | | |
| MÉDIA -10% | 35,28 | 36,28 | 35,82 | 36,28 | 36,84 | | | | | | | |
| MÁX | 43 | 43 | 42 | 44 | 44 | | | | | | | |
| MIN | 36 | 36 | 38 | 38 | 38 | | | | | | | |
| IE | 39,20 | 40,31 | 39,80 | 40,31 | 40,94 | | | | | | | |
| Fator calib. | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | | | | | | |
| IE | 42,86 | | | | | 43,16 | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | 43,35 | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | 0,62 | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | 1,42% | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 5a caminhão betoneira - vários | | | Data concretagem: | | | 03 de Setembro de 2013 | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | | Laje | | | Peça Concretada: | | | fck= 40 MPa Brita: 1 Slump: 10 ± 2 | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | | | | | | |
| L1 (mm) | 36,61 | 34,61 | 34,41 | 31,71 | 34,31 | 31,2 | 33,9 | 29,9 | 27,8 | 31,5 | 33,9 | 30,6 | 36,1 | | |
| L2 (mm) | 36,91 | 34,81 | 34,61 | 31,91 | 34,51 | 31,1 | 33,5 | 30,5 | 27,7 | 30,7 | 33,5 | 30,3 | 36,2 | | |
| L3 (mm) | 36,81 | 34,61 | 34,61 | 32,31 | 34,51 | 31 | 33,4 | 29,5 | 27,4 | 31,9 | 33,3 | 30,2 | 36,1 | | |
| penetração (mm) | 18,22 | 20,32 | 20,46 | 23,02 | 20,56 | 23,90 | 21,40 | 25,03 | | 23,63 | 21,43 | 24,63 | 18,87 | | |
| MÉDIA (PILAR) | 20,52 | | | 23,44 | | | 22,14 | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 22,03 | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 1,47 6,7% | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------------------------|------------------|-------|-------------------|------------------|-------|------------------------------------|------------------|-------|-----------------|------------------|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 5a caminhão betoneira - vários | | | Data concretagem: | | | 03 de Setembro de 2013 | | | | | |
| ELEMENTOS: | | Laje | | | Peça Concretada: | | | fck= 40 MPa Brita: 1 Slump: 10 ± 2 | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | | Cb2 | | | Cb1 | | | Cb3 | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | | 7 dias (10/set) | 28 dias (01/out) | 48,20 | 7 dias (10/set) | 28 dias (01/out) | 46,70 | 7 dias (10/set) | 28 dias (01/out) | 47,80 | 7 dias (10/set) | 28 dias (01/out) | |
| | MÉDIA | 47,57 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,78 | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 1,63% | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|---------------------------|-------|-------------|---|-------|-------------|------------------------|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 5b | caminhão betoneira vários | | | Data concretagem 05 de Setembro de 2013 | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilar | | | | Peça Concretada: fck= 40 MPa | | | Brita: 1 Slump: 10 ± 2 | | | | |
| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | | | |
| $(\alpha = 0^\circ)$ | | | | | | | | | | | | |
| Data Ensaio: 03/Out/2013 | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb4 | | | Cb5 | | | Cb6 | | | | | |
| | Pilar 1 | Pilar 2 | | | | | | | | | | |
| 1 | 35 | 36 | 38 | 33 | 37 | 34 | 35 | | | | | |
| 2 | 33 | 36 | 40 | 36 | 37 | 34 | 34 | | | | | |
| 3 | 32 | 38 | 34 | 35 | 34 | 36 | 36 | | | | | |
| 4 | 34 | 36 | 40 | 36 | 36 | 34 | 36 | | | | | |
| 5 | 36 | 34 | 34 | 36 | 37 | 39 | 36 | | | | | |
| 6 | 38 | 35 | 34 | 39 | 36 | 34 | 36 | | | | | |
| 7 | 34 | 36 | 38 | 34 | 36 | 34 | 34 | | | | | |
| 8 | 34 | 36 | 36 | 34 | 37 | 38 | 35 | | | | | |
| 9 | 34 | 35 | 34 | 36 | 35 | 36 | 37 | | | | | |
| 10 | | 38 | 39 | 34 | 37 | 36 | 36 | | | | | |
| 11 | 35 | 36 | 34 | 38 | 40 | 34 | 35 | | | | | |
| 12 | 33 | 34 | 35 | 38 | | 34 | 36 | | | | | |
| 13 | 32 | 35 | 36 | 37 | 36 | 36 | 35 | | | | | |
| 14 | 34 | 34 | 34 | 36 | | 34 | 34 | | | | | |
| 15 | 33 | 38 | 34 | 36 | | 34 | 36 | | | | | |
| 16 | 34 | 35 | 39 | 35 | 37 | 34 | 36 | | | | | |
| MÉDIA | 34,07 | 35,75 | 36,40 | 34,53 | 36,54 | 35,13 | 35,44 | | | | | |
| MÉDIA +10% | 37,47 | 39,33 | 40,04 | 37,99 | 40,19 | 38,65 | 38,98 | | | | | |
| MÉDIA -10% | 30,66 | 32,18 | 32,76 | 31,08 | 32,23 | 31,62 | 31,89 | | | | | |
| MÁX | 38 | 38 | 40 | 38 | 40 | 39 | 37 | | | | | |
| MIN | 32 | 34 | 34 | 33 | 34 | 34 | 34 | | | | | |
| IE | 34,07 | 35,75 | 36,40 | 34,53 | 36,54 | 35,13 | 35,44 | | | | | |
| Fator calib. | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | | | | |
| IE | 35,3 | | | 36,3 | | | 35,4 | | | | | |
| MÉDIA IE | 35,64 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,55 | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 1,53% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-------|---|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 5b | | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 05 de Setembro de 2013 | | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | Peça Concretada: fck= 40 MPa Brita: 1 Slump: 10 ± 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb4 | | | | | Cb5 | | | | | Cb6 | | | | | | |
| | L1 (mm) | 27,91 | 30,9 | 30,51 | 31,61 | 30,31 | 33,51 | 35,41 | 25,51 | 28,91 | 27,81 | 26,31 | 27,31 | 25,61 | | | |
| L2 (mm) | | 27,81 | 30,3 | 30,71 | 31,81 | 30,31 | 33,31 | 35,21 | 26,11 | 29,01 | 27,71 | 26,91 | 27,51 | 25,71 | | | |
| L3 (mm) | | 28,11 | 30,5 | 26,11 | 31,51 | 30,51 | 33,51 | 35,11 | 25,91 | 29,01 | 27,41 | 26,21 | 27,61 | 25,71 | | | |
| penetração (mm) | | 27,06 | 24,43 | 25,89 | 23,36 | 24,62 | 21,56 | | 29,16 | 26,02 | 27,36 | 28,52 | 27,52 | 29,32 | | | |
| MÉDIA (PILAR) | | 25,18 | | | | | 25,34 | | | | | 28,18 | | | | | |
| Desvio Padrão | | 26,24 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef variação | | 1,69 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 6,4% | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|-----------------|---|-----------------|--|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 5b | | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 05 de Setembro de 2013 | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | Peça Concretada: fck= 40 MPa Brita: 1 Slump: 10 ± 2 | | | | | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb4 | | | Cb5 | | | Cb6 | | | | | | | | | |
| | 7dias (12/set) | 28dias (03/out) | 7dias (12/set) | 28dias (03/out) | 7dias (12/set) | 28dias (03/out) | 7dias (12/set) | 28dias (03/out) | 7dias (12/set) | 28dias (03/out) | 7dias (12/set) | 28dias (03/out) | 7dias (12/set) | 28dias (03/out) | 7dias (12/set) | 28dias (03/out) |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 38,60 | 46,90 | 37,10 | 47,00 | 37,40 | 47,40 | 37,40 | 47,40 | 37,40 | 47,40 | 37,40 | 47,40 | 37,40 | 47,40 | 37,40 | 47,40 |
| MÉDIA | 47,10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,26 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 0,56% | | | | | | | | | | | | | | | |

LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB

REFERÊNCIA DA OBRA

OBRA: 6 caminhão betoneira vários **Data concretagem** 09 de Setembro de 2013
ELEMENTOS: Pilar **Peça Concretada:** fck= 30 MPa Brita: 0e 1 Slump: 12 ± 2

ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

($\alpha = 0^\circ$) **Data Ensaio:** 08/Out/2013

| LEITURAS | ($\alpha = 0^\circ$) | | | | | | | | |
|-----------------------|--|-------|-------|----------------|-------|-------|----------------|--|--|
| | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | |
| | Pilar 1 | | | Pilar 2 | | | Pilar 3 | | |
| 1 | 29 | 31 | 34 | 32 | 34 | 35 | | | |
| 2 | 28 | 33 | 32 | 32 | 36 | 32 | | | |
| 3 | 30 | 32 | 30 | 32 | 34 | 30 | | | |
| 4 | 29 | 32 | 34 | 33 | 32 | 30 | | | |
| 5 | 30 | 30 | 32 | 32 | 32 | 34 | | | |
| 6 | 28 | 30 | 32 | 33 | 33 | 33 | | | |
| 7 | 29 | 30 | 30 | 34 | 33 | 32 | | | |
| 8 | 30 | 29 | 32 | 34 | 33 | 31 | | | |
| 9 | 30 | 29 | 33 | 31 | 32 | 30 | | | |
| 10 | 28 | 30 | 33 | 33 | 31 | 34 | | | |
| 11 | 29 | 33 | 29 | 31 | 35 | 31 | | | |
| 12 | 31 | 30 | 35 | 33 | 34 | 32 | | | |
| 13 | 30 | 32 | 33 | 35 | 35 | 29 | | | |
| 14 | 28 | 30 | 32 | 33 | 33 | 33 | | | |
| 15 | 32 | 29 | 30 | 30 | 31 | 29 | | | |
| 16 | 33 | 30 | 31 | 34 | 34 | 32 | | | |
| MÉDIA | 29,63 | 30,63 | 32,13 | 32,63 | 33,25 | 31,69 | | | |
| MÉDIA +10% | 32,59 | 33,69 | 35,35 | 35,89 | 36,58 | 34,86 | | | |
| MÉDIA -10% | 26,66 | 27,56 | 28,92 | 29,36 | 29,93 | 28,52 | | | |
| MÁX | 33 | 33 | 35 | 35 | 36 | 35 | | | |
| MIN | 28 | 29 | 29 | 30 | 31 | 29 | | | |
| IE | 29,63 | 30,63 | 32,13 | 32,63 | 33,25 | 31,69 | | | |
| Fator calib. | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | | |
| IE | 30,2 | | 32,5 | | 32,6 | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | 31,74 | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | 1,33 | | |
| Coef. Variação | | | | | | | 4,20% | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|-----------------------------|-----------------|-------------------|-------|------------------------|---------------|------------------|-------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 6 | | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: | | 09 de Setembro de 2013 | | Peça Concretada: | | fck=30 MPa Brita: 0 e1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | | Cb2 | | | | Cb3 | | | | | | | | |
| | L1 (mm) | L2 (mm) | L3 (mm) | penetração (mm) | MÉDIA (PILAR) | MÉDIA | Desvio Padrão | Coef variação | | | | | | | | | |
| | 30,81 | 26,81 | 27,11 | 25,61 | 25,41 | 17,91 | 28,51 | 27,11 | 27,91 | 32,41 | 34,91 | 28,91 | 31,91 | 26,21 | 28,21 | | |
| | 31,21 | 27,31 | 27,71 | 25,81 | 25,51 | 18,11 | 28,81 | 27,81 | 27,81 | 32,61 | 34,61 | 29,61 | 32,01 | 26,31 | 28,51 | | |
| | 31,11 | 26,91 | 27,51 | 25,91 | 25,31 | 17,91 | 28,91 | 27,11 | 28,01 | 33,11 | 35,01 | 29,71 | 32,31 | 26,61 | 29,41 | | |
| | 23,96 | 27,99 | 27,56 | 29,22 | 29,59 | | 26,26 | 27,66 | 27,09 | 22,29 | | 25,59 | 22,92 | 28,62 | 26,29 | | |
| | | | | | 27,66 | 25,82 | | | | 25,86 | | | | | | | |
| | | | | | 26,45 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 1,05 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 4,0% | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------|--|--------------------------------------|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 6 | | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: | | 09 de Setembro de 2013 | | Peça Concretada: | | fck=30 MPa Brita: 0 e1 Slump: 12 ± 2 | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | | | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb2 | | | Cb1 | | | Cb3 | | | | | | |
| | 7dias (16/set) | 28dias (07/out) | 7dias (16/set) | 28dias (07/out) | 7dias (16/set) | 28dias (07/out) | 7dias (16/set) | 28dias (07/out) | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 31,46 | 46,33 | 31,78 | 41,74 | 35,38 | 39,46 | | | | | | | |
| MÉDIA | 42,51 | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 3,50 | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 8,23% | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------------------------|--------------------------|------------------|--|------------------------|--|------------------|--|-------------|---------------------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 6 | caminhão betoneira vários | | Data concretagem | | 09 de Setembro de 2013 | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa | Brita: 0e 1 Slump: 12 ± 2 |
| ELEMENTOS: | Pilar e viga | ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | |
| LEITURAS | (α = 0°) | | Data Ensaio: 08/Out/2013 | | | | | | | | |
| | Cb4 Pilar c1 | | Cb5 Viga c4 | Cb6 Viga c7 | | | | | | | |
| 1 | 32 | 31 | 28 | 31 | | | | | | | |
| 2 | 30 | | 28 | 32 | | | | | | | |
| 3 | 34 | 30 | 32 | 28 | | | | | | | |
| 4 | 31 | 30 | 30 | 29 | | | | | | | |
| 5 | 35 | | 30 | 28 | | | | | | | |
| 6 | 32 | 30 | 28 | 32 | | | | | | | |
| 7 | 32 | 33 | 28 | 29 | | | | | | | |
| 8 | 30 | 29 | 31 | 30 | | | | | | | |
| 9 | | 32 | 30 | 29 | | | | | | | |
| 10 | 34 | 28 | | 31 | | | | | | | |
| 11 | 32 | 34 | 30 | 29 | | | | | | | |
| 12 | 29 | 30 | 28 | 32 | | | | | | | |
| 13 | 32 | 31 | 31 | 31 | | | | | | | |
| 14 | 34 | 29 | 28 | 29 | | | | | | | |
| 15 | 32 | 29 | 30 | 32 | | | | | | | |
| 16 | 33 | 30 | 31 | 30 | | | | | | | |
| MÉDIA | 32,13 | 30,43 | 29,53 | 30,13 | | | | | | | |
| MÉDIA +10% | 35,35 | 33,47 | 32,49 | 33,14 | | | | | | | |
| MÉDIA -10% | 28,92 | 27,39 | 26,58 | 27,11 | | | | | | | |
| MÁX | 35 | 34 | 32 | 32 | | | | | | | |
| MIN | 29 | 28 | 28 | 28 | | | | | | | |
| IE | 32,13 | 30,43 | 29,53 | 30,13 | | | | | | | |
| Fator calib. | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | | | | | | |
| IE | 31,99 | | 30,20 | 30,81 | | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | | | | | 31,00 |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | 0,91 |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | 2,93% |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-------|-----------------------------|-------|-------------------|-------|------------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 6 | | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: | | 09 de Setembro de 2013 | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares e vigas | | Peça Concretada: | | fck=30 MPa | | Brita: 0 e1 | | Slump: 12 ± 2 | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb4 | | | Cb5 | | | Cb6 | | | | | |
| | L1 (mm) | 19,51 | 25,41 | 24,31 | 26,31 | 26,31 | 26,31 | 31,01 | 23,01 | 23,31 | 27,41 | 20,11 |
| L2 (mm) | 19,51 | 25,21 | 24,11 | 26,51 | 26,51 | 26,51 | 31,21 | 23,21 | 23,11 | 27,31 | 19,71 | |
| L3 (mm) | 19,61 | 25,71 | 24,11 | 26,41 | 26,11 | 26,11 | 30,91 | 22,91 | 23,21 | 27,31 | 19,91 | |
| penetração (mm) | 35,46 | 29,56 | 30,82 | 28,59 | 28,69 | 28,76 | | 31,96 | 31,79 | 27,66 | 35,09 | |
| MÉDIA (PILAR) | 30,62 | | | 30,36 | | | 31,51 | | | | | |
| MÉDIA | 30,83 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,61 | | | | | | | | | | | |
| Coef variação | 2,0% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------|----------------|-----------------|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 6 | | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: | | 09 de Setembro de 2013 | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares e vigas | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa | | Brita: 0 e1 | | Slump: 12 ± 2 | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb4 | | | Cb5 | | | Cb6 | | | | | |
| | 7dias (16/set) | 28dias (07/out) | 7dias (16/set) | 28dias (07/out) | 7dias (16/set) | 28dias (07/out) | 7dias (16/set) | 28dias (07/out) | 7dias (16/set) | 28dias (07/out) | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 21,44 | 35,31 | 23,39 | 36,55 | 23,39 | 36,55 | 23,39 | 35,77 | | | | |
| MÉDIA | 35,88 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,63 | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 1,75% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------------------------|---------|------------------|---------|------------------------|---------|------------------|--|-------------|----------|--------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 7 | caminhão betoneira vários | | Data concretagem | | 09 de Setembro de 2013 | | Peça Concretada: | | fck= 35 MPa | Brita: 1 | Slump: 10± 2 |
| ELEMENTOS: | Pilar | ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | |
| (α = 0°) | | | | | | | | | | | | |
| Data Ensaio: 09/Out/2013 | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | | Cb2 | | | | | | | |
| | Pilar 1 | Pilar 2 | Pilar 3 | Pilar 4 | Pilar 1 | Pilar 2 | Pilar 3 | Pilar 4 | | | | |
| 1 | 31 | 30 | 30 | 29 | 32 | 30 | 35 | 32 | | | | |
| 2 | 32 | 31 | 28 | 33 | 36 | 33 | 34 | 34 | | | | |
| 3 | 29 | 31 | 33 | 30 | 32 | 31 | 33 | 31 | | | | |
| 4 | 32 | 29 | 30 | 33 | 30 | 31 | 36 | 30 | | | | |
| 5 | 38 | 28 | 28 | 29 | 33 | 31 | 33 | 34 | | | | |
| 6 | 33 | 29 | 33 | 33 | 34 | 30 | 34 | 32 | | | | |
| 7 | 30 | 33 | 34 | 30 | 30 | 34 | 30 | 32 | | | | |
| 8 | 31 | 31 | 32 | 31 | 33 | 30 | 35 | | | | | |
| 9 | 31 | 29 | 29 | 30 | 33 | 33 | 36 | 33 | | | | |
| 10 | 28 | 34 | 33 | 32 | 35 | 31 | 33 | 32 | | | | |
| 11 | 33 | 30 | 34 | 34 | 34 | 29 | 32 | 34 | | | | |
| 12 | 28 | 30 | 30 | 30 | 32 | 32 | 32 | 33 | | | | |
| 13 | 32 | 29 | 34 | 31 | 30 | 30 | 30 | 30 | | | | |
| 14 | 33 | 30 | 30 | | 36 | | 31 | 33 | | | | |
| 15 | 28 | 33 | 31 | 33 | 32 | 34 | 33 | 32 | | | | |
| 16 | 30 | 30 | 28 | 30 | 32 | 30 | 32 | 33 | | | | |
| MÉDIA | 30,73 | 31,06 | 30,93 | 31,20 | 32,75 | 31,27 | 33,06 | 32,33 | | | | |
| MÉDIA +10% | 33,81 | 34,17 | 34,03 | 34,32 | 36,03 | 34,39 | 36,37 | 35,57 | | | | |
| MÉDIA -10% | 27,66 | 27,96 | 27,84 | 28,08 | 29,48 | 28,14 | 29,76 | 29,10 | | | | |
| MÁX | 33 | 38 | 34 | 34 | 36 | 34 | 36 | 34 | | | | |
| MIN | 28 | 29 | 28 | 29 | 30 | 29 | 30 | 30 | | | | |
| IE | 30,73 | 31,06 | 30,93 | 31,20 | 32,75 | 31,27 | 33,06 | 32,33 | | | | |
| Fator calib. | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | 1,003 | | | | |
| IE | 31,1 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA IE | 32,4 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 31,75 | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 0,97 | | | | | | | | | | | |
| | 3,06% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-------|--|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 7 | | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 09 de Setembro de 2013 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | Peça Concretada: fck=35 MPa Brita: 1 Slump: 10 ± 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | | | | | Cb2 | | | | | | | | | | | | | |
| | L1 (mm) | 20,11 | 25,51 | 15,41 | 26,51 | 28,21 | 22,51 | 16,91 | 32,91 | 25,91 | 25,11 | 26,91 | 31,01 | 33,31 | 33,91 | 28,21 | 27,81 | 32,11 | 26,61 | 25,61 | 29,31 |
| L2 (mm) | 19,31 | 26,31 | 15,41 | 26,01 | 28,21 | 22,81 | 17,41 | 33,01 | 25,21 | 24,11 | 27,21 | 31,31 | 33,91 | 34,01 | 28,61 | 27,61 | 32,31 | 26,21 | 26,01 | 29,21 | |
| L3 (mm) | 20,11 | 25,81 | 15,71 | 26,41 | 27,81 | 21,31 | 16,81 | 33,81 | 26,21 | 24,31 | 27,11 | 31,41 | 33,71 | 33,91 | 28,31 | 27,91 | 32,11 | 26,51 | 26,01 | 29,61 | |
| penetração (mm) | | 29,12 | | 28,69 | 26,92 | | | | 29,22 | 30,49 | | 23,76 | | | 26,62 | 27,22 | | 28,56 | 29,12 | 25,62 | |
| MÉDIA (PILAR) | 28,89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 27,93 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 4,8% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|------------------|---|------------------|--|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 7 | | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 09 de Setembro de 2013 | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | Peça Concretada: fck= 35 MPa Brita: 1 Slump: 10 ± 2 | | | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb2 | | | Cb1 | | | | | | | | | | |
| | 7 dias (16/set) | 28 dias (07/out) | 7 dias (16/set) | 28 dias (07/out) | 7 dias (16/set) | 28 dias (07/out) | | | | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 19,10 | 30,10 | 23,80 | 32,70 | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 31,40 | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,84 | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 5,86% | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|---------------------------|---------|------------------|--------------|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 7 | caminhão betoneira vários | | Data concretagem | | 09 de Setembro de 2013 | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilar | | | Peça Concretada: | | fck= 35 MPa Brita: 1 Slump: 10 ± 2 | | | | | | | |
| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | $(\alpha = 0^\circ)$ | Data Ensaio: 30/Out/2013 | | | | | | | | | | | |
| | | Cb3 | | | | | | | | | | | |
| | | Pilar 1 | Pilar 2 | | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 35 | 31 | 33 | | | | | | | | | |
| 2 | 28 | 32 | 32 | 34 | | | | | | | | | |
| 3 | 30 | 34 | 33 | 36 | | | | | | | | | |
| 4 | 32 | 33 | 33 | 36 | | | | | | | | | |
| 5 | 32 | 34 | | 35 | | | | | | | | | |
| 6 | 30 | 33 | 32 | 34 | | | | | | | | | |
| 7 | 32 | 33 | 32 | 35 | | | | | | | | | |
| 8 | 31 | 36 | 36 | 34 | | | | | | | | | |
| 9 | 30 | 30 | 32 | 34 | | | | | | | | | |
| 10 | 33 | 34 | 33 | 34 | | | | | | | | | |
| 11 | 31 | 34 | 33 | 33 | | | | | | | | | |
| 12 | 33 | 36 | 32 | 35 | | | | | | | | | |
| 13 | 32 | 34 | 32 | 32 | | | | | | | | | |
| 14 | 31 | 36 | 34 | 32 | | | | | | | | | |
| 15 | 34 | 34 | | 34 | | | | | | | | | |
| 16 | 30 | 36 | 32 | 35 | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 31,19 | 34,00 | 32,64 | 34,13 | | | | | | | | | |
| MÉDIA +10% | 34,31 | 37,40 | 35,91 | 37,54 | | | | | | | | | |
| MÉDIA -10% | 28,07 | 30,60 | 29,38 | 30,71 | | | | | | | | | |
| MÁX | 34 | 36 | 36 | 36 | | | | | | | | | |
| MIN | 28 | 30 | 31 | 32 | | | | | | | | | |
| IE | 31,19 | 34,00 | 32,64 | 34,13 | | | | | | | | | |
| Fator calib. | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | | | | | | | | |
| IE | 31,9 | 34,8 | 33,4 | 34,9 | | | | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | 33,73 | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | 1,41 | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | 4,17% | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|--------------------------|-------|--|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 7 | caminhão betoneira - Cb3 | | Data concretagem: 09 de Setembro de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilar | | | Peça Concretada: fck=35 MPa Brita: 1 Slump: 10 ± 2 | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb3 | | | | | | | | | | | |
| | L1 (mm) | 32,11 | 19,31 | 32,11 | 26,11 | 32,01 | | | | | | |
| L2 (mm) | 32,61 | 19,31 | 32,41 | 26,31 | 32,21 | | | | | | | |
| L3 (mm) | 32,11 | 19,51 | 32,21 | 27,21 | 32,21 | | | | | | | |
| penetração (mm) | 22,72 | | 22,76 | | 22,86 | | | | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | 22,10 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 22,10 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,36 | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 6,2% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|--------------------------|------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 7 | caminhão betoneira - Cb3 | | Data concretagem: 09 de Setembro de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | | Peça Concretada: fck= 35 MPa Brita: 1 Slump: 10 ± 2 | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb3 | | | | | | | | | | | |
| | | 7 dias (16/set) | 28 dias (07/out) | | | | | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 25,20 | 35,20 | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 35,20 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UmB | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------------------------|-------|--------------------------|--|------------------------|--|------------------|--|-------------|--------------|--------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 8 | caminhão betoneira Cb1 | | Data concretagem | | 11 de Setembro de 2013 | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa | Brita: 0 e 1 | Slump: 12± 2 |
| ELEMENTOS: | Pilar | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | | | |
| | | $(\alpha = 0^\circ)$ | | Data Ensaio: 11/Out/2013 | | | | | | | | |
| LEITURAS | | Cb1 | | | | | | | | | | |
| 1 | | 32 | 30 | | | | | | | | | |
| 2 | | 34 | 30 | | | | | | | | | |
| 3 | | 33 | 32 | | | | | | | | | |
| 4 | | 35 | 34 | | | | | | | | | |
| 5 | | 34 | 32 | | | | | | | | | |
| 6 | | 34 | 33 | | | | | | | | | |
| 7 | | 36 | | | | | | | | | | |
| 8 | | 33 | 32 | | | | | | | | | |
| 9 | | 34 | 30 | | | | | | | | | |
| 10 | | 33 | 31 | | | | | | | | | |
| 11 | | 34 | 30 | | | | | | | | | |
| 12 | | 34 | 30 | | | | | | | | | |
| 13 | | 34 | 30 | | | | | | | | | |
| 14 | | 34 | 34 | | | | | | | | | |
| 15 | | 34 | 31 | | | | | | | | | |
| 16 | | 35 | 33 | | | | | | | | | |
| MÉDIA | | 33,94 | 31,47 | | | | | | | | | 32,79 |
| MÉDIA +10% | | 37,33 | 34,61 | | | | | | | | | 1,75 |
| MÉDIA -10% | | 30,54 | 28,32 | | | | | | | | | 5,34% |
| MÁX | | 36 | 34 | | | | | | | | | |
| MIN | | 32 | 30 | | | | | | | | | |
| IE | | 33,94 | 31,47 | | | | | | | | | |
| Fator calib. | | 1,003 | 1,003 | | | | | | | | | |
| IE | | 34,0 | 31,5 | | | | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|--------------------------|-----------------------------|--|------------|--|---------------|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 8 | caminhão betoneira - Cb1 | | Data concretagem: 11 de Setembro de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | Peça Concretada: fck=30 MPa | | Brita: 0e1 | | Slump: 12 ± 2 | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | | | | | | | | | |
| L1 (mm) | 29,11 | 24,01 | 24,51 | 20,31 | 29,31 | | | | | | | |
| L2 (mm) | 29,01 | 23,71 | 24,41 | 20,11 | 29,21 | | | | | | | |
| L3 (mm) | 28,81 | 23,21 | 25,81 | 20,21 | 29,51 | | | | | | | |
| penetração (mm) | 26,02 | 31,36 | 30,09 | | 25,66 | | | | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | 28,28 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 28,28 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,87 | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 10,1% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|--------------------------|-----------------------------|--|------------|--|---------------|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 8 | caminhão betoneira - Cb1 | | Data concretagem: 11 de Setembro de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | Peça Concretada: fck=30 MPa | | Brita: 0e1 | | Slump: 12 ± 2 | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | | | | | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 7 dias (17/set) | | 28 dias (09/out) | | 24,40 | | | | | | | |
| | 25,20 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 31,40 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,84 | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 5,86% | | | | | | | | | | | |

LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB

REFERÊNCIA DA OBRA

OBRA: 8 caminhão betoneira Cb2 **Data concretagem** 11 de Setembro de 2013
ELEMENTOS: Pilar **Peça Concretada:** fck= 30 MPa Brita: 0 e 1 Slump: 12± 2

ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

| LEITURAS | (α = 0°) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------|
| | Ch2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 32 | 35 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 34 | 32 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 34 | 35 | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 36 | 34 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 32 | 34 | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 33 | 33 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 31 | 34 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 35 | 33 | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 33 | 32 | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 34 | 34 | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 31 | 36 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 32 | 34 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 33 | 34 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 33 | 33 | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 34 | 34 | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 33 | 34 | | | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 33,13 | 33,81 | | | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA +10% | 36,44 | 37,19 | | | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA -10% | 29,81 | 30,43 | | | | | | | | | | | | | | |
| MÁX | 36 | 36 | | | | | | | | | | | | | | |
| MIN | 31 | 32 | | | | | | | | | | | | | | |
| IE | 33,13 | 33,81 | | | | | | | | | | | | | | |
| Fator calib. | 1,003 | 1,003 | | | | | | | | | | | | | | |
| IE | 33,2 | 33,9 | | | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | | | | | | | | | | 33,56 |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | | | | | 0,49 |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | | | | | 1,45% |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|--------------------------|-----------------------------|--|------------|--|---------------|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 8 | caminhão betoneira - Cb2 | | Data concretagem: 11 de Setembro de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | Peça Concretada: fck=30 MPa | | Brita: 0e1 | | Slump: 12 ± 2 | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb2 | | | | | | | | | | | |
| L1 (mm) | 34,91 | 28,31 | 28,71 | 28,21 | 30,51 | | | | | | | |
| L2 (mm) | 33,91 | 28,31 | 28,41 | 28,61 | 30,41 | | | | | | | |
| L3 (mm) | 34,11 | 28,41 | 28,71 | 28,51 | 30,31 | | | | | | | |
| penetração (mm) | 20,69 | 26,66 | 26,39 | 26,56 | 24,59 | | | | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | 24,98 | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 24,98 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,54 | | | | | | | | | | | |
| Coef variação | 10,2% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|--------------------------|-----------------------------|--|------------|--|---------------|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 8 | caminhão betoneira - Cb2 | | Data concretagem: 11 de setembro de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | Peça Concretada: fck=30 MPa | | Brita: 0e1 | | Slump: 12 ± 2 | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb2 | | | | | | | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 7 dias (17/set) | 28 dias (09/out) | 7 dias (17/set) | 28 dias (09/out) | 40,7 | | | | | | | |
| | 25,80 | 32,15 | 17,5 | | | | | | | | | |
| MÉDIA | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | |
|--|--|------------------------|--|-------------------------|--|--------------------------|--|------------------|--|-----------------------------------|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | |
| OBRA: 9 | | caminhão betoneira Cb1 | | Data concretagem | | 17 de Setembro de 2013 | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa Brita: 0 Slump: 14± 2 | |
| ELEMENTOS: | | Pilar | | ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | |
| | | | | (α = 0°) | | Data Ensaio: 21/Out/2013 | | | | | |
| LEITURAS | | | | Cb1 | | | | | | | |
| | | Pilar 729 | | Pilar 715 | | | | | | | |
| 1 | | 34 | | 34 | | 32 | | | | | |
| 2 | | 35 | | 34 | | 30 | | | | | |
| 3 | | 34 | | 38 | | 35 | | | | | |
| 4 | | 34 | | 35 | | 33 | | | | | |
| 5 | | 34 | | 34 | | 30 | | | | | |
| 6 | | 34 | | 36 | | 33 | | | | | |
| 7 | | 35 | | 36 | | 33 | | | | | |
| 8 | | 31 | | 35 | | 36 | | | | | |
| 9 | | 35 | | 34 | | 32 | | | | | |
| 10 | | 38 | | 35 | | 30 | | | | | |
| 11 | | 33 | | 35 | | 30 | | | | | |
| 12 | | 35 | | 36 | | 32 | | | | | |
| 13 | | 35 | | 33 | | 31 | | | | | |
| 14 | | 33 | | 36 | | 31 | | | | | |
| 15 | | 33 | | 38 | | 34 | | | | | |
| 16 | | 35 | | 38 | | 33 | | | | | |
| MÉDIA | | 34,25 | | 35,53 | | 32,14 | | 32,81 | | | |
| MÉDIA +10% | | 37,68 | | 39,09 | | 35,36 | | 36,09 | | | |
| MÉDIA -10% | | 30,83 | | 31,98 | | 28,93 | | 29,53 | | | |
| MÁX | | 38 | | 38 | | 35 | | 36 | | | |
| MIN | | 31 | | 33 | | 30 | | 30 | | | |
| IE | | 34,25 | | 35,53 | | 32,14 | | 32,81 | | | |
| Fator calib. | | 1,003 | | 1,003 | | 1,003 | | 1,003 | | | |
| IE | | 34,3 | | 35,6 | | 32,2 | | 32,9 | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | | | | 33,77 | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | 1,52 | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | 4,49% | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|--------------------------|--|--|-------|-------|-----------------|-------|-------|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 9 | caminhão betoneira - Cb1 | | Data concretagem: 17 de Setembro de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | Peça Concretada: fck=30 MPa Brita: 0 Slump: 14 ± 2 | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 - Pilar 729 | | | | | | Cb1 - Pilar 715 | | | | | |
| | 27,61 | 33,11 | 26,31 | 25,11 | 31,71 | 24,31 | 22,21 | 26,51 | 32,41 | | | |
| L1 (mm) | 28,01 | 33,11 | 26,51 | 25,91 | 31,81 | 23,91 | 22,41 | 26,21 | 32,11 | | | |
| L2 (mm) | 28,01 | 33,31 | 26,61 | 25,41 | 31,91 | 24,81 | 22,51 | 26,61 | 32,11 | | | |
| L3 (mm) | 27,12 | | 28,52 | 29,52 | 23,19 | 30,66 | | 28,56 | 22,79 | | | |
| penetração (mm) | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 27,19 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 3,07 | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 11,3% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|--------------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 9 | caminhão betoneira - Cb1 | | Data concretagem: 17 de Setembro de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | Peça Concretada: fck=30 MPa Brita:0 Slump: 14 ± 2 | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | | | | | | | | | |
| | 7 dias (24/set) | 28 dias (15/out) | | | | | | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 26,70 | 36,80 | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 36,80 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------------------|-------|--------------------------|--|-----------------------|--|------------------|--|-----------------------------------|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | |
| OBRA: 10 | | caminhão betoneira Cb1 | | Data concretagem | | 16 de Outubro de 2013 | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa Brita: 0 Slump: 14± 2 | |
| ELEMENTOS: Pilar | | ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | |
| | | $(\alpha = 0^\circ)$ | | Data Ensaio: 13/Nov/2013 | | | | | | | |
| LEITURAS | | Cb1 | | | | | | | | | |
| 1 | | 30 | 32 | | | | | | | | |
| 2 | | 32 | 31 | | | | | | | | |
| 3 | | 30 | 31 | | | | | | | | |
| 4 | | 32 | 33 | | | | | | | | |
| 5 | | 32 | 32 | | | | | | | | |
| 6 | | 30 | 32 | | | | | | | | |
| 7 | | 32 | 33 | | | | | | | | |
| 8 | | 31 | 34 | | | | | | | | |
| 9 | | 33 | 30 | | | | | | | | |
| 10 | | 32 | 33 | | | | | | | | |
| 11 | | 32 | 33 | | | | | | | | |
| 12 | | 31 | 31 | | | | | | | | |
| 13 | | 30 | 35 | | | | | | | | |
| 14 | | 30 | 34 | | | | | | | | |
| 15 | | 31 | 33 | | | | | | | | |
| 16 | | 33 | 34 | | | | | | | | |
| MÉDIA | | 31,31 | 32,56 | | | | | | | | |
| MÉDIA +10% | | 34,44 | 35,82 | | | | | | | | |
| MÉDIA -10% | | 28,18 | 29,31 | | | | | | | | |
| MÁX | | 33 | 35 | | | | | | | | |
| MIN | | 30 | 30 | | | | | | | | |
| IE | | 31,31 | 32,56 | | | | | | | | |
| Fator calib. | | 1,023 | 1,023 | | | | | | | | |
| IE | | 32,0 | 33,3 | | | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | | | | 32,66 | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | 0,90 | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | 2,77% | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|---|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 10 | caminhão betoneira - Cb1 | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | Data concretagem: 16 de Outubro de 2013 Peça Concretada: fck=30 MPa Brita: 0 Slump: 14 ± 2 | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | | | | | | | | | |
| L1 (mm) | 19,71 | 23,31 | 24,61 | 25,71 | 25,71 | | | | | | | |
| L2 (mm) | 19,91 | 23,81 | 24,81 | 25,91 | 26,01 | | | | | | | |
| L3 (mm) | 20,01 | 24,01 | 24,91 | 25,71 | 25,81 | | | | | | | |
| penetração (mm) | 35,12 | 31,29 | 30,22 | 29,22 | 29,16 | | | | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 31,00 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,46 | | | | | | | | | | | |
| Coef variação | 7,9% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|--|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 10 | caminhão betoneira - Cb1 | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | Data concretagem: 16 de Outubro de 2013 Peça Concretada: fck=30 MPa Brita:0 Slump: 14 ± 2 | | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | | | | | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 7 dias (22 /out) | | 28 dias (13/nov) | | | | | | | | | |
| | 26,60 | | 34,39 | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 34,39 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-----------------------------|-------|------------------|-------|-----------------------|-------|------------------|--|-------------|----------|--------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 10 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem | | 16 de Outubro de 2013 | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa | Brita: 0 | Slump: 14± 2 |
| ELEMENTOS: | Pilar | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | | | |
| (α = 0°) | | | | | | | | | | | | |
| Data Ensaio: 13/Nov/2013 | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb2 | | Cb3 | | Cb4 | | Cb5 | | | | | |
| 1 | | 30 | 28 | 33 | 31 | | 32 | 32 | | | | |
| 2 | 29 | 32 | 29 | 30 | 32 | 33 | 31 | 33 | | | | |
| 3 | 28 | 31 | 28 | 33 | 32 | 30 | 30 | 32 | | | | |
| 4 | 27 | 33 | 30 | 33 | 33 | 30 | 31 | 33 | | | | |
| 5 | 28 | 30 | 33 | 31 | 32 | 31 | 29 | 29 | | | | |
| 6 | 28 | 30 | 32 | 33 | 29 | 31 | 28 | 30 | | | | |
| 7 | 30 | 30 | 28 | 31 | 32 | 32 | 30 | 32 | | | | |
| 8 | 29 | 32 | 31 | 32 | 28 | 32 | 28 | 31 | | | | |
| 9 | 28 | 33 | 30 | 31 | 31 | 33 | 27 | 32 | | | | |
| 10 | 28 | 29 | | | 30 | 30 | 30 | 32 | | | | |
| 11 | 29 | 30 | 33 | 33 | 30 | 31 | 28 | 30 | | | | |
| 12 | 29 | 34 | | 33 | 30 | 34 | 33 | 32 | | | | |
| 13 | 28 | 33 | 31 | 32 | 32 | 30 | 31 | 32 | | | | |
| 14 | 28 | 34 | 28 | 34 | 30 | 31 | 28 | 34 | | | | |
| 15 | 29 | | 32 | 34 | 30 | 28 | 30 | 33 | | | | |
| 16 | 28 | 31 | 31 | 32 | 32 | 30 | 33 | 33 | | | | |
| MEDIA | 28,40 | 31,47 | 30,29 | 32,33 | 30,93 | 31,07 | 29,94 | 31,88 | | | | |
| MEDIA +10% | 31,24 | 34,61 | 33,31 | 35,57 | 34,03 | 34,17 | 32,93 | 35,06 | | | | |
| MEDIA -10% | 25,56 | 28,32 | 27,26 | 29,10 | 27,84 | 27,96 | 26,94 | 28,69 | | | | |
| MÁX | 30 | 34 | 33 | 34 | 33 | 34 | 33 | 34 | | | | |
| MIN | 27 | 29 | 28 | 30 | 28 | 28 | 27 | 29 | | | | |
| IE | 28,40 | 31,47 | 30,29 | 32,33 | 30,93 | 31,07 | 29,94 | 31,88 | | | | |
| Fator calib. | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | | | |
| IE | 30,61 | | 32,02 | | 31,70 | | 31,60 | | | | | |
| MEDIA IE | | | | | | | | | | | | 31,48 |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | 0,61 |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | 1,93% |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 10 | | | caminhão betoneira - vários | | | Data concretagem: | | | 16 de Outubro de 2013 | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | | Pilares | | | Peça Concretada: | | | fck=30 MPa | | | Brita: 0 Slump: 14 ± 2 | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb2 | | | Cb3 | | | Cb4 | | | Cb5 | | | | | | | | |
| | 19,91 | 20,01 | 28,01 | 28,21 | 5,41 | 19,91 | 20,71 | 19,01 | 20,41 | 21,81 | 16,41 | 17,91 | 26,01 | 32,31 | 31,31 | 26,41 | 21,01 | 23,11 |
| L1 (mm) | 20,51 | 20,41 | 28,11 | 28,21 | 5,41 | 19,71 | 20,01 | 19,01 | 20,41 | 21,91 | 16,01 | 18,21 | 26,21 | 32,61 | 31,61 | 26,41 | 21,11 | 23,21 |
| L3 (mm) | 20,61 | 20,31 | 28,41 | 28,61 | 5,41 | 20,11 | 21,01 | 19,01 | 20,51 | 21,91 | 16,61 | 18,21 | 26,71 | 32,51 | 31,81 | 26,51 | 20,91 | 23,61 |
| penetração (mm) | 34,66 | 34,76 | | | | 35,09 | 34,42 | 35,99 | 34,56 | 33,12 | | 36,89 | 28,69 | | | 28,56 | 33,99 | 31,69 |
| MÉDIA (PILAR) | 34,71 | | | 34,64 | | | 32,79 | | | 31,41 | | | | | | | | |
| MÉDIA | 33,39 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,59 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 4,8% | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | | 10 | | | caminhão betoneira - vários | | | Data concretagem: | | | 16 de Outubro de 2013 | | | |
| ELEMENTOS: | | Pilares | | | Peça Concretada: | | | fck=30 MPa | | | Brita: 0 Slump: 14 ± 2 | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb2 | | | Cb3 | | | Cb4 | | | Cb5 | | | | |
| | 7dias (22/out) | 28dias (13/nov) | 7dias (22/out) | 28dias (13/nov) | 7dias (22/out) | 28dias (13/nov) | 7dias (22/out) | 28dias (13/nov) | 7dias (22/out) | 28dias (13/nov) | 7dias (22/out) | 28dias (13/nov) | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 29,41 | 33,96 | 24,43 | 31,74 | 25,11 | 32,61 | 27,57 | 36,99 | | | | | | |
| MÉDIA | 33,83 | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------------------------|-------|--------------------------|-------|-----------------------------------|-----|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 11 | caminhão betoneira -vários | | Data concretagem | | 30 de Setembro de 2013 | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Parede | | | Peça Concretada: | | fck= 35 MPa Brita: 0 Slump: 14± 2 | | | | | | |
| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | (α = 0°) | | | Data Ensaio: 29/Out/2013 | | | Cb3 | | | | | |
| | Cb1 | Cb2 | Cb3 | Cb2 | Cb3 | Cb3 | | | | | | |
| 1 | 32 | 33 | 31 | 28 | 34 | 32 | | | | | | |
| 2 | 33 | 34 | 32 | 26 | 32 | 30 | | | | | | |
| 3 | 33 | 35 | 28 | 31 | | 30 | | | | | | |
| 4 | 34 | 30 | 29 | 26 | 34 | 34 | | | | | | |
| 5 | 32 | 34 | 31 | 28 | 33 | 34 | | | | | | |
| 6 | 33 | 35 | 32 | 28 | 34 | 34 | | | | | | |
| 7 | 35 | 35 | 30 | 28 | 31 | 34 | | | | | | |
| 8 | 34 | 34 | 29 | 25 | 34 | 35 | | | | | | |
| 9 | 32 | 34 | 28 | 27 | 34 | 35 | | | | | | |
| 10 | 33 | 33 | 28 | 26 | 31 | 30 | | | | | | |
| 11 | 30 | 32 | 30 | 30 | 33 | 33 | | | | | | |
| 12 | 35 | 31 | 33 | 28 | 32 | | | | | | | |
| 13 | 33 | 32 | | 28 | 35 | 33 | | | | | | |
| 14 | 30 | 33 | 34 | 26 | 32 | 34 | | | | | | |
| 15 | 33 | 34 | 33 | 28 | 35 | 34 | | | | | | |
| 16 | 34 | 34 | 29 | 28 | 30 | 30 | | | | | | |
| MEDIA | 32,88 | 33,31 | 30,47 | 27,56 | 32,93 | 32,80 | | | | | | |
| MEDIA +10% | 36,16 | 36,64 | 33,51 | 30,32 | 36,23 | 36,08 | | | | | | |
| MEDIA -10% | 29,59 | 29,98 | 27,42 | 24,81 | 29,64 | 29,52 | | | | | | |
| MÁX | 35 | 35 | 34 | 31 | 35 | 35 | | | | | | |
| MIN | 30 | 30 | 28 | 25 | 30 | 30 | | | | | | |
| IE | 32,88 | 33,31 | 30,47 | 27,56 | 32,93 | 32,80 | | | | | | |
| Fator calib. | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | | | | | |
| IE | 33,84 | | 29,67 | | 33,61 | | | | | | | |
| MEDIA IE | | | | | 32,37 | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | 2,34 | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | 7,24% | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------------|---------|--|---------------|-------|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 11 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 30 de Setembro de 2013 | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Parede | | | Peça Concretada: fck=35 MPa Brita: 0 Slump: 14 ± 2 | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | | | | | | |
| | L1 (mm) | L2 (mm) | L3 (mm) | penetração (mm) | MÉDIA (PILAR) | MÉDIA | Desvio Padrão | Coef. variação | | | | | | |
| 24,91 | 15,11 | 33,91 | 25,61 | 26,91 | 21,11 | 25,01 | 22,01 | 23,31 | 15,61 | 30,31 | 23,51 | 24,01 | 25,81 | 25,61 |
| 24,81 | 14,81 | 34,01 | 25,11 | 27,01 | 21,41 | 25,11 | 22,31 | 23,91 | 16,01 | 29,91 | 23,71 | 24,01 | 25,91 | 25,51 |
| 24,61 | 14,71 | 34,11 | 25,11 | 26,81 | 21,41 | 25,41 | 22,11 | 23,51 | 15,71 | 30,21 | 23,81 | 24,11 | 26,01 | 25,61 |
| 30,22 | | | 29,72 | 28,09 | 33,69 | 29,82 | 32,86 | 31,42 | | | 31,32 | 30,96 | 29,09 | 29,42 |
| | | | 29,35 | | 31,95 | | | | | | | 30,20 | | |
| | | | | | | | | 30,50 | | | | | | |
| | | | | | | | | 1,33 | | | | | | |
| | | | | | | | | 4,4% | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------|--|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 11 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 30 de Setembro de 2013 | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Parede | | | Peça Concretada: fck=35 MPa Brita: 0 Slump: 14 ± 2 | | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | | | | | | |
| | 7 dias (07/out) | 28 dias (28/out) | 7 dias (07/out) | 28 dias (28/out) | 7 dias (07/out) | 28 dias (28/out) | 7 dias (07/out) | 28 dias (28/out) | 7 dias (07/out) | 28 dias (28/out) | 7 dias (07/out) | 28 dias (28/out) | 7 dias (07/out) | 28 dias (28/out) |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 33,70 | 40,20 | 31,50 | 41,90 | 30,90 | 42,50 | | | | | | | | |
| MÉDIA | 41,53 | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 1,19 | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 2,87% | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|----------------------------|-------|------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|--------|-----|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 12 | caminhão betoneira -vários | | Data concretagem | | 29 de Outubro de 2013 | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa Brita: 0 Slump: 14± 2 | | | | | | | |
| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | | | | |
| | | (α = 0°) | | | Data Ensaio: 26/Nov/2013 | | | | | | | | |
| LEITURAS | | Cb1 | Cb2 | Cb3 | Cb1 | Cb2 | Cb3 | Cb1 | Cb2 | Cb3 | Cb1 | Cb2 | Cb3 |
| 1 | | 28 | 33 | 26 | 22 | | | | | | | | |
| 2 | | 27 | 33 | 24 | 24 | | | | | | | | |
| 3 | | 28 | 34 | 25 | 25 | | | | | | | | |
| 4 | | 27 | 30 | 24 | 24 | | | | | | | | |
| 5 | | 26 | 30 | 24 | 26 | | | | | | | | |
| 6 | | 28 | 29 | 24 | 26 | | | | | | | | |
| 7 | | 30 | 32 | 26 | 26 | | | | | | | | |
| 8 | | 27 | 29 | 26 | 24 | | | | | | | | |
| 9 | | 28 | 31 | 24 | 22 | | | | | | | | |
| 10 | | 26 | 29 | 26 | 24 | | | | | | | | |
| 11 | | 27 | 32 | 24 | | | | | | | | | |
| 12 | | 28 | 32 | 25 | 25 | | | | | | | | |
| 13 | | 30 | 31 | 25 | 22 | | | | | | | | |
| 14 | | 29 | 32 | 27 | 25 | | | | | | | | |
| 15 | | 30 | 32 | 26 | 25 | | | | | | | | |
| 16 | | 28 | 32 | 26 | 23 | | | | | | | | |
| MÉDIA | | 27,94 | 30,00 | 31,31 | 33,56 | 25,13 | 24,20 | | | | | | |
| MÉDIA +10% | | 30,73 | 33,00 | 34,44 | 36,92 | 27,64 | 26,62 | | | | | | |
| MÉDIA -10% | | 25,14 | 27,00 | 28,18 | 30,21 | 22,61 | 21,78 | | | | | | |
| MÁX | | 30 | 32 | 34 | 35 | 27 | 26 | | | | | | |
| MIN | | 26 | 28 | 29 | 30 | 24 | 22 | | | | | | |
| IE | | 27,94 | 30,00 | 31,31 | 33,56 | 25,13 | 24,20 | | | | | | |
| Fator calib. | | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | | | | | |
| IE | | 29,62 | 33,17 | 25,22 | | | | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | | | | | | 29,34 | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | 3,98 | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | 13,58% | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------------|-------|--|-------|-------|-------|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 12 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 29 de Outubro de 2013 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | | Peça Concretada: fck=30 MPa Brita: 0 Slump: 14 ± 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | | | | | | | | | | | |
| | L1 (mm) | 22,01 | 14,51 | 18,81 | 22,91 | 14,71 | | | | 17,81 | 21,81 | 21,21 | 12,61 | 20,11 | 13,61 | 5,41 | 5,41 | | |
| L2 (mm) | 21,81 | 15,01 | 18,91 | 23,01 | 14,91 | | | | | 18,11 | 21,81 | 20,81 | 13,71 | 20,11 | 13,11 | 5,41 | 5,41 | | |
| L3 (mm) | 21,81 | 15,01 | 18,81 | 23,11 | 15,11 | | | | | 17,61 | 21,81 | 20,91 | 13,41 | 20,21 | 13,61 | 5,41 | 5,41 | | |
| penetração (mm) | 33,12 | 40,16 | 36,16 | 31,99 | 40,09 | | | | | 37,16 | 33,19 | 34,02 | 34,86 | | | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | 36,30 | | | 34,79 | | | 34,86 | | | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 35,32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 0,86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 2,4% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------------------------|------------------|---|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 12 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 29 de Outubro de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | | Peça Concretada: fck=30 MPa Brita:0 Slump: 14 ± 2 | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | | | | |
| | Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 7 dias (05/nov) | 28 dias (26/nov) | 7 dias (05/nov) | 28 dias (26/nov) | 7 dias (05/nov) | 28 dias (26/nov) | 7 dias (05/nov) | 28 dias (26/nov) | 7 dias (05/nov) | 28 dias (26/nov) | 41,30 |
| MÉDIA | 28,6 | 33,90 | 30,6 | 40,60 | 28,1 | 38,60 | | | | | | |
| Desvio Padrão | 4,09 | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 10,58% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | |
|--|-------|----------------------------|-------|--------------------------|-------|-----------------------|--|-------------|--|--------------|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 13 | caminhão betoneira -vários | | Data concretagem | | 30 de Outubro de 2013 | | | | | |
| ELEMENTOS: | Vigas | | | Peça Concretada: | | fck= 30 MPa | | Brita: 0 e1 | | Slump: 12± 2 | |
| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | | |
| | | $(\alpha = 0^\circ)$ | | Data Ensaio: 27/Nov/2013 | | | | | | | |
| LEITURAS | | Cb1 | | Cb2 | | | | | | | |
| 1 | | 31 | 28 | 29 | 30 | | | | | | |
| 2 | | 34 | 30 | 31 | 30 | | | | | | |
| 3 | | 31 | 28 | 30 | | | | | | | |
| 4 | | 30 | 30 | 32 | 29 | | | | | | |
| 5 | | 33 | 30 | 30 | 31 | | | | | | |
| 6 | | 33 | 28 | 33 | 34 | | | | | | |
| 7 | | 32 | 28 | 30 | | | | | | | |
| 8 | | 34 | 32 | 30 | 30 | | | | | | |
| 9 | | 31 | | 30 | 34 | | | | | | |
| 10 | | 34 | 30 | 31 | 29 | | | | | | |
| 11 | | 31 | 32 | 32 | 34 | | | | | | |
| 12 | | 30 | 28 | 31 | | | | | | | |
| 13 | | 31 | 32 | 31 | 32 | | | | | | |
| 14 | | 30 | 30 | 29 | 33 | | | | | | |
| 15 | | 31 | 29 | 32 | 33 | | | | | | |
| 16 | | 30 | 32 | 31 | 30 | | | | | | |
| MÉDIA | | 31,63 | 29,80 | 30,75 | 31,46 | | | | | | |
| MÉDIA +10% | | 34,79 | 32,78 | 33,83 | 34,61 | | | | | | |
| MÉDIA -10% | | 28,46 | 26,82 | 27,68 | 28,32 | | | | | | |
| MÁX | | 34 | 32 | 33 | 34 | | | | | | |
| MIN | | 30 | 28 | 29 | 29 | | | | | | |
| IE | | 31,63 | 29,80 | 30,75 | 31,46 | | | | | | |
| Fator calib. | | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | | | | | |
| IE | | 31,41 | | 31,81 | | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | | | | 31,61 | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | 0,28 | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | 0,90% | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 13 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 30 de Outubro de 2013 | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Vigas | | | Peça Concretada: fck=30 MPa Brita: 0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | | | | Cb2 | | | | | | |
| | L1 (mm) | 29,81 | 21,81 | 13,71 | 13,41 | 15,31 | 13,81 | 22,41 | 23,11 | 21,91 | 5,41 | | |
| L2 (mm) | 29,71 | 22,01 | 13,71 | 13,31 | 15,71 | 14,31 | 22,61 | 22,71 | 22,41 | 5,41 | | | |
| L3 (mm) | 29,71 | 21,71 | 13,71 | 13,51 | 15,41 | 13,41 | 22,41 | 22,71 | 21,91 | 5,41 | | | |
| penetração (mm) | | 33,16 | | | 39,52 | | 32,52 | 32,16 | 32,92 | | | | |
| MÉDIA (PILAR) | | 36,34 | | | | | | 32,34 | | | | | |
| MÉDIA | | 34,34 | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | 2,83 | | | | | | | | | | | |
| Coef variação | | 8,2% | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------|--|-----------------|------------------|--|--|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 13 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 30 de Outubro de 2013 | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Vigas | | | Peça Concretada: fck=30 MPa Brita:0 e1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | | Cb2 | | | | | | | |
| | 7 dias (06/nov) | 28 dias (27/nov) | 7 dias (06/nov) | 28 dias (27/nov) | 7 dias (06/nov) | 28 dias (27/nov) | | | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 29,50 | 36,90 | 31,90 | 38,50 | | | | | | | | |
| MÉDIA | | | | | 37,70 | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | | | | 1,13 | | | | | | | |
| Coef. Variação | | | | | 3,00% | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------------------------------------|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: 14 | | caminhão betoneira - vários | | | Data concretagem | | | 31 de Outubro de 2013 | | | | |
| ELEMENTOS: Pilares | | | | | Peça Concretada: | | | fck= 40 MPa Brita: 0e1 Slump: 12± 2 | | | | |
| ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | | | |
| | | (α = 0°) | | | Data Ensaio: 28/Nov/2013 | | | | | | | |
| LEITURAS | | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | | | |
| 1 | | 30 | 31 | 36 | 36 | 34 | 34 | 34 | | | | |
| 2 | | 30 | 34 | 36 | 35 | 34 | 33 | | | | | |
| 3 | | 32 | 30 | 35 | 34 | 34 | 34 | | | | | |
| 4 | | 30 | 34 | 35 | 34 | 34 | 34 | | | | | |
| 5 | | 29 | 32 | 37 | 36 | 33 | 33 | | | | | |
| 6 | | 29 | 31 | 35 | 37 | 34 | 34 | | | | | |
| 7 | | 30 | 35 | 36 | 35 | 34 | 33 | | | | | |
| 8 | | 30 | 32 | 37 | 39 | 36 | 34 | | | | | |
| 9 | | 31 | 34 | 34 | 35 | 34 | 33 | | | | | |
| 10 | | 30 | 31 | 34 | 35 | 35 | 34 | | | | | |
| 11 | | 32 | 32 | 36 | 36 | 34 | 34 | | | | | |
| 12 | | 30 | 34 | 36 | 36 | 35 | 33 | | | | | |
| 13 | | 30 | 32 | 38 | 35 | 34 | 34 | | | | | |
| 14 | | 30 | 32 | 36 | 36 | 34 | 33 | | | | | |
| 15 | | 29 | | 34 | 35 | 36 | 34 | | | | | |
| 16 | | 30 | 32 | 34 | 35 | 33 | 34 | | | | | |
| | MÉDIA | 30,13 | 32,40 | 35,56 | 35,56 | 34,25 | 33,63 | | | | | |
| | MÉDIA +10% | 33,14 | 35,64 | 39,12 | 39,12 | 37,68 | 36,99 | | | | | |
| | MÉDIA -10% | 27,11 | 29,16 | 32,01 | 32,01 | 30,83 | 30,26 | | | | | |
| | MÁX | 32 | 35 | 38 | 39 | 36 | 34 | | | | | |
| | MIN | 29 | 30 | 34 | 34 | 33 | 33 | | | | | |
| | IE | 30,13 | 32,40 | 35,56 | 35,56 | 34,25 | 33,63 | | | | | |
| | Fator calib. | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | | | | | |
| | IE | 31,97 | | 36,37 | | 34,70 | | | | | | |
| | MÉDIA IE | | | | | 34,35 | | | | | | |
| | Desvio Padrão | | | | | 2,22 | | | | | | |
| | Coef. Variação | | | | | 6,46% | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 14 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 31 de Outubro de 2013 | | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | | Peça Concretada: fck=40 MPa Brita: 0e1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | | | | | | | | |
| | L1 (mm) | 20,01 | 15,81 | 18,91 | 14,81 | 37,31 | 24,11 | 25,41 | 20,71 | 23,11 | 20,61 | 23,51 | 22,51 | 25,51 | | |
| L2 (mm) | 20,51 | 15,91 | 19,11 | 15,11 | 37,11 | 24,21 | 25,51 | 20,81 | 23,11 | 20,81 | 23,71 | 22,61 | 25,61 | | | |
| L3 (mm) | 20,41 | 16,11 | 19,31 | 14,81 | 37,31 | 23,91 | 25,61 | 21,31 | 23,21 | 20,61 | 23,51 | 22,21 | 25,61 | | | |
| penetração (mm) | 34,69 | | 35,89 | | | 30,92 | 29,49 | 34,06 | 31,86 | 34,32 | 31,42 | 32,56 | 29,42 | | | |
| MÉDIA (PILAR) | 35,29 | | | 31,58 | | | 31,93 | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 32,93 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,05 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | 6,2% | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------|--|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 14 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 31 de Outubro de 2013 | | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Pilares | | | Peça Concretada: fck=40 MPa Brita: 0 e 1 Slump: 12 ± 2 | | | | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | | | | | | | | |
| | 7 dias (07/nov) | 28 dias (28/nov) | 7 dias (07/nov) | 28 dias (28/nov) | 7 dias (07/nov) | 28 dias (28/nov) | 7 dias (07/nov) | 28 dias (28/nov) | 7 dias (07/nov) | 28 dias (28/nov) | 7 dias (07/nov) | 28 dias (28/nov) | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 35,20 | 50,00 | 50,20 | 53,50 | 43,50 | 48,50 | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 50,67 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,57 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 5,06% | | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|--|--------------------------------|---------------------------------|-------|------------------------|--|--|------------------|--|-------------|------------|-------------|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 15 | caminhão betoneira -vários | | Data concretagem | | 08 de Novembro de 2013 | | | Peça Concretada: | | fck= 25 MPa | Brita: 0e1 | Slump: 22±3 |
| ELEMENTOS: | Paredes | | ENSAIO DE ESCLEROMETRIA | | | | | | | | | | |
| | | ($\alpha = 0^\circ$) | | Data Ensaio: 06/Dez/2013 | | | | | | | | | |
| LEITURAS | | Cb1 | Cb2 | Cb3 | | | | | | | | | |
| 1 | 26 | 29 | 26 | 26 | 26 | | | | | | | | |
| 2 | 27 | 29 | 26 | 27 | 26 | | | | | | | | |
| 3 | 25 | 29 | 25 | 30 | 26 | | | | | | | | |
| 4 | 26 | 27 | 25 | 26 | 25 | | | | | | | | |
| 5 | 25 | 26 | 25 | 29 | 27 | | | | | | | | |
| 6 | 29 | 26 | 24 | 26 | 26 | | | | | | | | |
| 7 | 30 | 26 | 25 | 26 | 25 | | | | | | | | |
| 8 | 27 | 26 | 25 | 26 | 25 | | | | | | | | |
| 9 | 26 | 28 | 27 | 25 | 26 | | | | | | | | |
| 10 | 27 | 28 | 26 | 28 | 28 | | | | | | | | |
| 11 | 30 | 27 | 24 | 28 | 24 | | | | | | | | |
| 12 | 28 | | 26 | 26 | 29 | | | | | | | | |
| 13 | 30 | 27 | 27 | | 29 | | | | | | | | |
| 14 | 30 | 30 | 25 | 28 | 24 | | | | | | | | |
| 15 | 29 | 27 | 25 | 28 | 29 | | | | | | | | |
| 16 | 28 | 29 | 26 | 25 | 24 | | | | | | | | |
| MÉDIA | 27,69 | 27,60 | 25,44 | 26,93 | 26,19 | | | | | | | | |
| MÉDIA +10% | 30,46 | 30,36 | 27,98 | 29,63 | 28,81 | | | | | | | | |
| MÉDIA -10% | 24,92 | 24,84 | 22,89 | 24,24 | 23,57 | | | | | | | | |
| MÁX | 30 | 30 | 27 | 30 | 29 | | | | | | | | |
| MIN | 25 | 26 | 24 | 25 | 24 | | | | | | | | |
| IE | 27,69 | 27,60 | 25,44 | 26,93 | 26,19 | | | | | | | | |
| Fator calib. | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | 1,020 | | | | | | | | |
| IE | 28,19 | | 26,71 | | 27,47 | | | | | | | | |
| MÉDIA IE | | | | | | | | | | | | 27,46 | |
| Desvio Padrão | | | | | | | | | | | | 0,74 | |
| Coef. Variação | | | | | | | | | | | | 2,71% | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 15 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 08 de Novembro de 2013 | | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Paredes | | | Peça Concretada: fck=25 MPa Brita: 0e1 Slump: 22 ± 3 | | | | | | | | | | | | |
| ENSAIO PENETRAÇÃO DE PINO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | | | | | | | | |
| | L1 (mm) | 11,71 | 21,31 | 13,21 | 12,61 | 8,61 | 8,41 | 10,41 | 12,41 | 10,81 | 14,61 | 10,91 | 9,61 | | | |
| L2 (mm) | | 11,81 | 22,41 | 12,91 | 12,81 | 9,11 | 8,61 | 10,61 | 12,51 | 11,11 | 14,21 | 11,41 | 9,61 | | | |
| L3 (mm) | | 11,71 | 22,41 | 13,41 | 12,71 | 8,91 | 8,61 | 10,31 | 12,41 | 10,71 | 14,01 | 11,51 | 9,41 | | | |
| penetração (mm) | | 43,26 | | 41,82 | 42,29 | 46,12 | 46,46 | 44,56 | 42,56 | 44,12 | 40,72 | 43,72 | 45,46 | | | |
| MÉDIA (PILAR) | | 42,46 | | | 44,92 | | | 43,51 | | | | | | | | |
| MÉDIA | | 43,63 | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | | 1,24 | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. variação | | 2,8% | | | | | | | | | | | | | | |

| LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS - LEM UnB | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------|---|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|--|--|--|--|
| REFERÊNCIA DA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA: | 15 | caminhão betoneira - vários | | Data concretagem: 08 de Novembro de 2013 | | | | | | | | | | | | |
| ELEMENTOS: | Paredes | | | Peça Concretada: fck= 25 MPa Brita: 0 e 1 Slump: 22 ± 3 | | | | | | | | | | | | |
| CORPOS DE PROVA MOLDADOS NA OBRA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LEITURAS | Cb1 | | | Cb2 | | | Cb3 | | | | | | | | | |
| | 7 dias (10/nov) | 28 dias (06/dez) | 7 dias (10/nov) | 28 dias (06/dez) | 7 dias (10/nov) | 28 dias (06/dez) | 7 dias (10/nov) | 28 dias (06/dez) | 7 dias (10/nov) | 28 dias (06/dez) | 7 dias (10/nov) | 28 dias (06/dez) | | | | |
| Resistência à compressão corrigida em função de h/d (MPa) | 18,83 | 32,52 | 20,39 | 29,79 | 18,38 | 28,37 | | | | | | | | | | |
| MÉDIA | 30,23 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desvio Padrão | 2,11 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coef. Variação | 6,98% | | | | | | | | | | | | | | | |