

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO QUANDO UTILIZADO APÓS  
INÍCIO DE PEGA: TEMPO DE UTILIZAÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL  
VENCIDO**

Autor: Charles Ferreira de Oliveira  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco  
Coorientador: Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte  
Setembro/2018

Charles Ferreira de Oliveira

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO QUANDO UTILIZADO APÓS  
INÍCIO DE PEGA: TEMPO DE UTILIZAÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL  
VENCIDO**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

Coorientador: Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG

2018

Charles Ferreira de Oliveira

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO QUANDO UTILIZADO APÓS  
INÍCIO DE PEGA: TEMPO DE UTILIZAÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL  
VENCIDO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 12 de setembro de 2018.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco  
Orientador - UFMG/DEMC

---

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva  
Coorientador - UFMG/DEMC

---

Prof. Dr. Eduardo Chahud  
UFMG/DEMC

---

Profa. Dra. Edna Alves Oliveira  
FUMEC

Dedico este trabalho a todos que me ajudaram e torceram por mim para que um dia obtivesse esta conquista.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, criador de todas as coisas, que me abençoou e me ajudou a atingir os meus objetivos.

Aos meus pais que são à base da minha educação.

À minha esposa Michelle Oliveira, por todo amor, carinho e principalmente pela compreensão nos momentos de ausência.

Ao meu orientador, professor Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco, agradeço pela confiança e principalmente pelos ensinamentos. Um exemplo a ser seguido.

Ao meu Coorientador, professor Dr. Adriano de Paula e Silva, pelas palavras de apoio e pelos ensinamentos.

Aos professores e servidores do Departamento de Materiais e Construção Civil da UFMG, em especial, ao Me. Ricardo Barbosa por sua ajuda no Laboratório de Concreto e Argamassa da UFMG.

À Faculdade Promove de Sete Lagoas, em especial, à coordenadora do curso de engenharia civil, professora Ma. Marcia Leão, por disponibilizarem o Laboratório de Concreto para minhas pesquisas.

Ao técnico em edificações Gabriel Ramires Lopes Corrêa, pela ajuda nos cansativos trabalhos realizados no Laboratório de Materiais e Concreto da Faculdade Promove de Sete Lagoas na produção do concreto utilizado nesta pesquisa.

À Universidade FUMEC por ceder o laboratório para realização das retificações dos corpos de prova produzidos durante esta pesquisa.

A empresa LafargeHocim, na pessoa do Eng. Fabrício Carlos França, pelo apoio e fornecimento de parte dos materiais utilizados nesta pesquisa.

À empresa Sika Brasil, na pessoa do Sr. Célio, pelo fornecimento dos aditivos utilizados nesta pesquisa.

À Calsete Concretos, na pessoa do Eng. André Segóvia Rachid, por fornecer informações e prover uma proveitosa visita técnica nesta central dosadora.

Aos meus amigos, Gustavo Emílio Soares Lima, Júlio César Lacerda, Geraldo Josafá de Figueiredo Júnior, Joaquim Martins Soeiro, Sara Silva Azzi, Eduardo Brandão Diniz Lage, Leandro (Kennedy), Bruno (FUMEC) e Everton Correa por me ajudarem, nas preparações e nos ensaios realizados para formação desta dissertação.

Aos colegas Leonardo, Josiane e aos demais integrantes do Laboratório de Ensaios Especiais do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da UFMG

Ao Instituto Nacional do Seguro Social, por me liberar de minhas atividades laborais para dedicação ao mestrado.

## RESUMO

O presente trabalho de pesquisa consistiu na análise das principais propriedades do concreto utilizado após início de pega, no qual foi avaliada a utilização de concreto estrutural vencido. Foram identificadas, em oito horas de mistura, as alterações na resistência mecânica, no módulo de elasticidade, no teor de ar incorporado, na massa específica, na plasticidade e na resistividade elétrica do concreto para as dosagens definidas. A NBR 7212 (ABNT, 2012) recomenda que o transporte de concreto por caminhões betoneiras seja inferior a 90 minutos após a adição da primeira água na mistura, sendo que o lançamento e adensamento do concreto devem ser realizados em tempo inferior a 150 minutos. Neste contexto, por meio de ensaios experimentais, avaliou-se a utilização de concreto vencido, para quatro tipos de cimento *Portland*, no qual se utilizou uma dosagem comum para os cimentos dos tipos CII E 32, CIII 40 RS, CP IV 32 RS e CPV ARI. Foram aferidos os tempos de início e fim de pega de cada cimento e moldados 4 (quatro) corpos de provas para cada dosagem, a cada 60 minutos após a adição de água findando os ensaios em 480 minutos, o que deu condições de avaliar a influência e o comportamento de cada tipo de cimento nas propriedades estudadas. Como resultado, identificou-se, para cada tipo de cimento, o tempo máximo de utilização do concreto após adição inicial de água na mistura, bem como as principais alterações nas propriedades estudadas, podendo concluir ser possível a utilização do concreto após o tempo recomendado pela norma brasileira sem perdas significativas de resistência à compressão nas condições avaliadas, porém pode-se observar que a cada hora de mistura houve redução da resistividade elétrica do concreto, o que mostrou que o concreto estava mais suscetível aos ataques químicos em misturas prolongadas. Não foram encontradas correlações entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão, no entanto a cada hora de mistura pode-se observar grande perda de abatimento, diminuição na densidade e na massa específica do concreto. Por fim, não houve significativas alterações na temperatura do concreto durante o tempo de mistura e os resultados do teor de ar incorporado se mostraram inconclusivos.

Palavras-chave: Concreto vencido. Mistura prolongada. Módulo de elasticidade. Resistência à compressão. Resistividade elétrica.

## ABSTRACT

The present research work consisted in the analysis of the main properties of the concrete used after the start of the handle, in which the use of overdressed structural concrete was evaluated. The changes in mechanical strength, modulus of elasticity, incorporated air content, specific mass, plasticity and electrical resistivity of the concrete at the defined dosages were identified in eight hours of mixing. NBR 7212 (ABNT, 2012) recommends that the transportation of concrete by concrete mixer trucks is less than 90 minutes after the addition of the first water in the mixture, and the launching and densification of the concrete must be carried out in less than 150 minutes. In this context, the use of non-depleted concrete for four types of Portland cement was evaluated by means of experimental tests, in which a common dosage was used for CII E 32, CIII 40 RS, CP IV 32 RS and CPV ARI. The start and finish times of each cement were measured and four (4) test bodies were molded for each dosage, every 60 minutes after addition of water, ending the tests in 480 minutes, which gave the conditions to evaluate the influence and the behavior of each type of cement in the studied properties. As a result, the maximum time of concrete utilization after initial addition of water in the mix was identified for each cement type, as well as the main changes in the properties studied, and it may be concluded that the concrete can be used after the time recommended by the standard with no significant losses of compressive strength in the evaluated conditions, but it can be observed that at each hour of mixing there was a reduction of the electrical resistivity of the concrete, which showed that the concrete was more susceptible to the chemical attacks in prolonged mixtures. No correlation was found between the modulus of elasticity and the compressive strength, however, at each hour of mixing, a large loss of abatement, decrease in density and specific mass of the concrete can be observed. Finally, there were no significant changes in the temperature of the concrete during the mixing time and the results of the incorporated air content were inconclusive.

Keywords: Concrete expired. Prolonged mixing. Modulus of elasticity. Compressive strength. Electrical resistivity.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma dos ensaios e procedimentos. ....	29
Figura 2 – Amostras do agregado miúdo (areia natural média) retidas nas peneiras durante o ensaio de granulometria. ....	32
Figura 3 - Curva granulométrica da areia natural, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009). ....	33
Figura 4 - Ensaios de massa unitária e massa específica do agregado miúdo. ....	34
Figura 5 - Ensaio de determinação de material pulverulento do agregado miúdo. ....	35
Figura 6 - Amostras do agregado graúdo (brita "0") utilizadas no ensaio de granulometria. ....	36
Figura 7 - Curva granulométrica da brita "0", segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009). ....	37
Figura 8 - Ensaios de massa unitária e massa específica do agregado graúdo (brita "0"). ....	37
Figura 9 - Amostras do agregado graúdo (brita "1") retidas nas peneiras durante o ensaio de granulometria. ....	38
Figura 10 - Curva granulométrica da brita 1, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009). ....	39
Figura 11 - Argamassadeira. ....	57
Figura 12 - Aparelho de Vicat semiautomático. ....	57
Figura 13 - Ensaio de consistência normal da pasta de cimento. ....	59
Figura 14 - Kit <i>slump test</i> . ....	63
Figura 15 - Procedimentos para o ensaio de abatimento. ....	63
Figura 16 - Perda de abatimento durante o tempo de mistura da dosagem CP25-II. ....	64
Figura 17 - Monitoramento da temperatura do concreto fresco durante a mistura. ....	64
Figura 18 - Preparação da amostra para ensaio de massa específica do concreto fresco. ....	65
Figura 19 - Procedimentos de ensaio de teor de ar incorporado (pressométrico). ....	67
Figura 20 - Aplicação de desmoldante em moldes cilíndricos. ....	68
Figura 21 - Moldagem e cura dos corpos de prova. ....	68
Figura 22 - Retífica dos corpos de prova na idade de 7 dias. ....	69
Figura 23 - Medição e pesagens dos corpos de prova. ....	69
Figura 24 - Equipamento para medição da resistividade volumétrica da UFMG. ....	71

Figura 25 - Princípio de medição do <i>Resipod</i> .....	73
Figura 26 - Ensaio de resistividade elétrica superficial em corpos de prova. ....	74
Figura 27 - Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico por frequência ressonante. .....	77
Figura 28 - Prensa EMIC 200 toneladas da UFMG.....	78
Figura 29 - Gráficos com os monitoramentos dos abatimentos das dosagens estudadas.....	80
Figura 30 - Monitoramento da temperatura da mistura das dosagens (°C) .....	81
Figura 31 - Gráficos com os resultados da massa específica do concreto fresco e aos 28 dias em kg/m <sup>3</sup> de todas as dosagens estudadas para cada hora de ensaio. .....	84
Figura 32 - Gráfico com os resultados das medidas da resistividade elétrica volumétrica para cada hora de mistura das dosagens.....	86
Figura 33 - Gráfico com os resultados das medidas da resistividade elétrica superficial para cada hora de mistura das dosagens. ....	87
Figura 34 - Gráfico com os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico para cada hora de mistura das dosagens.....	89
Figura 35 - Gráfico com os resultados dos ensaios de resistência à compressão para cada hora de mistura das dosagens.....	90
Figura 36 - Resistência média à compressão aos 28 dias dos concretos com os cimentos CP IV (a) e CP II (b) produzidos em laboratório. ....	101
Figura 37 - Gráfico entre a resistência média à compressão e o módulo de elasticidade para a dosagem CP25-II. ....	102
Figura 38 - Gráfico entre a resistência média à compressão e o módulo de elasticidade para a dosagem CP25-III. ....	102
Figura 39 - Gráfico entre a resistência média à compressão e o módulo de elasticidade para a dosagem CP25-IV.....	103
Figura 40 - Gráfico entre a resistência média à compressão e o módulo de elasticidade para a dosagem CP25-V.....	103
Figura 41 - Gráfico geral entre a resistência média à compressão e o módulo de elasticidade dinâmico.....	104
Figura 42 - Correlação entre a resistência média à compressão e a resistividade elétrica volumétrica para a dosagem CP25-II. ....	105

Figura 43 - Correlação entre a resistência média à compressão e a resistividade elétrica volumétrica para a dosagem CP25-III. ....	106
Figura 44 - Correlação entre a resistência média à compressão e a resistividade elétrica volumétrica para a dosagem CP25-IV. ....	106
Figura 45 - Correlação entre a resistência média à compressão e a resistividade elétrica volumétrica para a dosagem CP25-V. ....	107
Figura 46 - Correlação entre a resistência média à compressão e a densidade aparente para a dosagem CP25-III. ....	108
Figura 47 - Correlação entre a resistência média à compressão e a densidade aparente para a dosagem CP25-IV. ....	108
Figura 48 - Correlação entre a resistência média à compressão e a densidade aparente para a dosagem CP25-V. ....	109
Figura 49 - Correlação entre a resistência média à compressão e a densidade aparente para a dosagem CP25-II. ....	109
Figura 50 - Corpo de prova da 7ª hora (a) e da 4ª hora (b) - Dosagem CP25-III. ....	115

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Risco de corrosão das armaduras associado com a resistividade elétrica do concreto.....	72
Tabela 2 - Resultados dos ensaios de abatimento para as dosagens.....	79
Tabela 3 - Resultados dos monitoramentos da temperatura do concreto para cada hora de mistura das dosagens.....	80
Tabela 4 - Resultados das aferições da massa específica do concreto fresco para cada hora de mistura das dosagens.....	81
Tabela 5 - Resultados das aferições da densidade aparente do concreto aos 28 dias para cada hora de mistura das dosagens.....	82
Tabela 6 - Resultados das medidas do teor de ar incorporado para cada hora de mistura das dosagens.....	85
Tabela 7 - Resultados das medidas da resistividade elétrica volumétrica para cada hora de mistura das dosagens.....	85
Tabela 8 - Resultados das medidas da resistividade elétrica superficial para cada hora de mistura das dosagens.....	87
Tabela 9 - Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico para cada hora de mistura das dosagens.....	88
Tabela 10 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão para cada hora de mistura das dosagens.....	89

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- A – área de seção transversal do corpo de prova  
a/c – fator água cimento  
ABCP – Associação Brasileira de Cimento *Portland*  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ASTM – American Society for Testing  
C10 – classe de resistência 10 MPa  
C15 – classe de resistência 15 MPa  
C25 – classe de resistência 25 MPa  
C80 – classe de resistência 80 MPa  
C<sub>a</sub> – Consumo de água  
C<sub>areia</sub> - consumo de agregado miúdo  
C<sub>b</sub> – consumo de agregado graúdo  
C<sub>b0</sub> – consumo de brita 0  
C<sub>b1</sub> – consumo de brita 1  
C<sub>c</sub> – consumo de cimento  
CH1 – tensão do circuito  
CH2 – tensão medida no concreto  
cm – centímetro  
CP – Cimento Portland  
CP II E 32 – Cimento *Portland* composto com escória granulada de alto-forno  
CP III 40 RS – Cimento *Portland* de alto-forno resistente a sulfatos  
CP IV 32 RS – Cimento *Portland* pozolânico resistente a sulfatos  
CP V ARI – Cimento *Portland* de alta resistência inicial  
CP25-II – Dosagem composta pelo cimento CP II E 32  
CP25-III – Dosagem composta pelo cimento CP III 40 RS  
CP25-IV – Dosagem composta pelo cimento CP IV 32 RS  
CP25-V – Dosagem composta pelo cimento CP V ARI  
d – diâmetro (m),  
DIN – Deutsches Institut für Normung  
dm<sup>3</sup> – decímetro cúbico  
D<sub>máx</sub> – Diâmetro máximo característico  
F – Frequência final

- $f_{c,j}$  – resistência de dosagem do concreto à compressão, prevista para a idade de  $j$  dias
- $f_{ck}$  – resistência característica do concreto à compressão
- $f_{ckest}$  – resistência característica estimada
- $f_c$  – resistência à compressão
- $f_{cm}$  – resistência média do concreto à compressão
- $F_e$  – frequência inicial de medição
- $F_h$  – alta frequência
- $F_l$  – baixa frequência
- $F_r$  – frequência do modo fundamental de vibração longitudinal
- $F_r$  – frequência natural de vibração
- FUMEC – Fundação Mineira de Educação e Cultura
- $g$  – grama
- $j$  – abreviatura de *jours*
- kg – quilograma
- $L$  – o comprimento da amostra
- $m$  – massa da amostra
- $m$  – metro
- $m^3$  – metro cúbico
- $M_{comp}$  – massa unitária compactada da brita
- MF – módulo de finura
- mm – milímetro
- MPa – Mega Pascal
- NBR – Norma Brasileira Registrada
- NM – Norma Mercosur
- $P$  – massa específica do concreto endurecido
- $Q$  – do coeficiente de qualidade
- $R$  – resistência elétrica do concreto
- $S$  – equivale ao óxido de silício no cimento hidratado
- S160 – classe de abatimento entre 160 mm e 220 mm.
- SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto
- $S_d$  – desvio padrão da dosagem
- T1 – Corpo de prova moldado até uma hora após o início da mistura
- T2 – Corpo de prova moldado duas horas após o início da mistura

- T3 – Corpo de prova moldado três horas após o início da mistura
- T4 – Corpo de prova moldado quatro horas após o início da mistura
- T5 – Corpo de prova moldado cinco horas após o início da mistura
- T6 – Corpo de prova moldado seis horas após o início da mistura
- T7 – Corpo de prova moldado sete horas após o início da mistura
- T8 – Corpo de prova moldado oito horas após o início da mistura
- $T_m$  – traço unitário em massa
- UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
- V – tensão de ensaio
- $V_a$  – consumo de agregado miúdo
- $V_b$  – volume compacto seco do agregado graúdo
- $V_c$  – volume compactado do agregado graúdo

## LISTA DE SÍMBOLOS

A – equivale ao óxido de alumínio no cimento hidratado

$Al_2O_3$  – óxido de alumínio

C – equivale ao óxido de cálcio no cimento hidratado

$C_2S$  – silicato dicálcico

$C_3A$  – aluminato tricálcico

$C_3S$  – silicato tricálcico

$C_4AF$  – ferroaluminato tetracálcico

$CaO$  – óxido de cálcio

CH – equivale ao hidróxido de cálcio no cimento hidratado

F – equivale ao óxido de ferro no cimento hidratado

$Fe_2O_3$  – óxido de ferro

H – equivale a água no cimento hidratado

$H_2O$  – água

$m^3$  – metros cúbicos

S – equivale ao óxido de silício no cimento hidratado

$SiO_2$  – óxido de silício

$\bar{\delta}_{\text{água}}$  – massa específica da água

$\bar{\delta}_{\text{brita 0}}$  – massa específica da brita 0

$\bar{\delta}_{\text{brita 1}}$  – massa específica da brita 1

$\bar{\delta}_{\text{cimento}}$  – massa específica do cimento

$\rho$  – massa específica

$\rho$  – resistividade elétrica específica do material

$\Omega$  – ohm



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.1.1 Objetivo geral .....	3
1.1.2 Objetivos específicos .....	3
1.2 Justificativa.....	4
1.3 Estrutura do trabalho.....	4
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1 Recomendações normativas.....	6
2.1.1 Concreto dosado em central .....	8
2.1.2 Controle tecnológico do concreto .....	9
2.2 Mistura prolongada .....	11
2.3 Fases de hidratação do cimento .....	13
2.3.1 Pega do cimento Portland .....	16
2.4 Propriedades do concreto .....	18
2.4.1 Plasticidade.....	18
2.4.2 Massa específica .....	19
2.4.3 Temperatura do concreto .....	20
2.4.4 Exsudação .....	20
2.4.5 Ar incorporado.....	20
2.4.6 Resistividade elétrica do concreto.....	21
2.4.7 Módulo de elasticidade.....	24
2.4.8 Resistência à compressão .....	26
3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS .....	28
3.1 Fluxos das etapas de ensaios previstas na pesquisa .....	28
3.2 Caracterização dos materiais utilizados .....	30
3.2.1 Agregado miúdo.....	31

3.2.2 Agregados graúdos .....	35
3.2.3 Aditivo plastificante .....	39
3.2.4 Cimento Portland .....	41
3.2.5 Água.....	44
3.3 Dosagens do concreto e misturas utilizadas .....	44
3.3.1 Método utilizado para as dosagens do concreto .....	47
3.3.2 Composição das dosagens pelo Método da ABCP.....	48
3.3.3 Determinação do consumo de materiais .....	49
3.3.4 Apresentação do traço .....	53
3.3.5 Consumo de materiais para moldagem de corpo de prova cilíndrico.....	54
3.4 Ensaios de início e fim de pega do cimento .....	55
3.4.1 Execução do ensaio de tempo de início e fim de pega .....	57
3.5 Ciclos de mistura.....	62
3.6 Ensaios de abatimento e avaliação da plasticidade do concreto .....	62
3.7 Monitoramentos da temperatura do concreto.....	64
3.8 Avaliações da massa específica do concreto fresco durante a mistura .....	65
3.8.1 Execução do ensaio de massa específica do concreto fresco .....	65
3.9 Ensaios de teor de ar incorporado no concreto.....	66
3.9.1 Execução do ensaio de teor de ar incorporado ao concreto .....	66
3.10 Moldagens dos corpos de prova. ....	67
3.11 Preparações dos corpos de prova. ....	69
3.12 Ensaios de Resistividade Elétrica .....	70
3.12.1 Resistividade elétrica volumétrica .....	70
3.12.2 Resistividade elétrica superficial .....	73
3.13 Ensaios de Módulo de Elasticidade .....	75
3.13.1 Módulo elasticidade dinâmico .....	75
3.14 Ensaios de Resistência à Compressão.....	77

4 RESULTADOS.....	79
4.1 Plasticidade e abatimento do concreto durante a mistura.....	79
4.2 Temperaturas do concreto durante a mistura .....	80
4.3 Massa específica e densidade aparente do concreto das dosagens .....	81
4.4 Ar incorporado durante a mistura.....	84
4.5 Resistividades elétricas a cada tempo de mistura .....	85
4.5.1 Resistividade elétrica volumétrica .....	85
4.5.2 Resistividade elétrica superficial .....	86
4.6 Módulos de elasticidade dinâmicos a cada tempo de mistura .....	88
4.7 Resistências à compressão a cada tempo de mistura .....	89
5 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS.....	91
5.1 Plasticidade e abatimento do concreto durante a mistura.....	91
5.2 Temperaturas do concreto durante a mistura .....	92
5.3 Massas específicas do concreto .....	93
5.4 Ar incorporado durante a mistura.....	94
5.5 Resistividades elétricas do concreto a cada tempo de mistura.....	94
5.5.1 Resistividade elétrica volumétrica .....	95
5.5.2 Resistividade elétrica superficial .....	96
5.6 Módulo de elasticidade dinâmico a cada tempo de mistura.....	97
5.7 Resistências à compressão a cada tempo de mistura .....	98
5.8 Relação entre as resistências à compressão e os módulos de elasticidade.	101
5.9 Relação entre a resistência média à compressão e as resistividades elétricas .....	105
5.10 Relação entre a resistência média à compressão e a densidade aparente	107
6 CONCLUSÕES .....	111
6.1 Considerações finais.....	115
6.2 Sugestões para trabalhos futuros .....	117

REFERÊNCIAS.....	119
APÊNDICE A - Planilhas demonstrativas dos cálculos do módulo de elasticidade dinâmico, da resistência à compressão, da resistividade elétrica superficial, da resistividade elétrica volumétrica e da massa específica.....	126

## 1 INTRODUÇÃO

Com a necessidade de se construir cada vez mais rápido e em função dos avanços tecnológicos, que facilitam a execução das edificações, atualmente, tem-se evitado a preparação de concreto no canteiro de obra. Para agilizar o processo de concretagem, as construtoras optam por utilizar concreto dosado em central. A crescente utilização deste tipo de concreto proporciona melhores condições de controle tecnológico e garante a entrega e o fornecimento de um concreto devidamente dosado e aparentemente adequado para cada tipo de obra, mas nem sempre se pode garantir que o concreto entregue na obra mantenha as propriedades esperadas.

Para o transporte e lançamento do concreto usinado, a NBR 7212 (ABNT, 2012) recomenda que o concreto seja entregue e descarregado na obra, no prazo máximo de 150 minutos após a primeira adição de água na mistura, sendo que, na ausência de retardadores de pega, o tempo de transporte por caminhão betoneira, não deve superar a 90 minutos. Contudo, devido aos problemas climáticos e de tráfego intenso nas grandes metrópoles, nem sempre estes prazos são respeitados, e tem surgido nas obras a preocupação de não se utilizar o concreto vencido.

No conceito apresentado por Araújo, Goulart e Oliveira (2017), entende-se como concreto vencido a utilização de concreto que extrapole seu tempo de utilização, ou seja, quando o concreto é utilizado após o tempo recomendado pela norma NBR 7212 (ABNT, 2012) ou após o início de pega.

Segundo Neville (2016), a pega refere-se à mudança de estado, de fluido para rígido, comumente causada pela hidratação seletiva do cimento em que os primeiros compostos a reagirem são o aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) e o silicato tricálcico ( $C_3S$ ).

Por se tratar de trabalho experimental em concreto de mistura prolongada, foi utilizado aditivo plastificante polifuncional para proporcionar melhor plasticidade

durante a produção do concreto. Optou-se por este material uma vez que este é o tipo de aditivo mais utilizado pelas concreteiras em Minas Gerais.

Para a realização deste trabalho, foram aferidos os tempos de fim e início de pega de cada cimento utilizado, com e sem o uso de aditivo. Após a caracterização dos materiais, foi dosado um traço convencional de resistência à compressão mínima de 25 MPa, no qual foram moldados 4 (quatro) corpos de prova para cada tempo de mistura. Durante os trabalhos, foram analisados: o teor de ar incorporado, a plasticidade, a massa específica, o módulo de elasticidade dinâmico, a resistividade elétrica do concreto, a densidade aparente e a resistência à compressão aos 28 dias; além do monitoramento da temperatura do concreto no período da mistura.

Para se atingir os objetivos, antes das dosagens, os agregados foram caracterizados por meio da granulometria, para se identificar o módulo de finura, o diâmetro máximo característico, a massa aparente, a massa específica, o teor de umidade e o teor de material pulverulento. Foram realizados também, os ensaios de abatimento (*slump test*), teor de ar incorporado, frequência ressonante, resistividade elétrica volumétrica e superficial e, por fim, a resistência à compressão.

Este estudo é de grande importância para as atuais práticas de concretagem, pois foi possível verificar a influência da pega na utilização do concreto, conhecer e avaliar as principais propriedades do concreto vencido, além de identificar as dificuldades de trabalhabilidade e a possibilidade da utilização de concretos provenientes de misturas prolongadas de até oito horas, sem adição extra de água.

## **1.1 Objetivos**

Esta pesquisa tem como finalidade conhecer o comportamento de algumas propriedades do concreto utilizado após o tempo recomendado pela norma técnica brasileira NBR 7212:2012, na qual foram avaliadas a resistência à

compressão, o módulo de elasticidade, a resistividade elétrica, a massa específica, a densidade, o teor de ar incorporado, a consistência e a temperatura do concreto durante as oito horas de mistura.

Dada a contextualização apresentada, os objetivos específicos e geral desta dissertação serão apresentados na sequência.

### *1.1.1 Objetivo geral*

Este trabalho teve como objetivo conhecer e investigar as qualidades do concreto vencido, determinar grandezas e verificar comparativamente as propriedades básicas do concreto em vários períodos após o início de pega. Teve também a intenção de avaliar e comparar as principais propriedades do concreto fresco e endurecido para quatro tipos de cimentos que foram utilizados, antes do início da pega e a cada hora após este processo, estendendo a pesquisa por até 8 horas após a primeira adição de água na mistura. Os tempos de início e fim de pega foram fornecidos pelo fabricante do aglomerante e aferidos durante o trabalho com a utilização de aditivo plastificante polifuncional.

### *1.1.2 Objetivos específicos*

Para se alcançar o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- determinar um traço padrão variando apenas o tipo de cimento utilizado;
- medir o tempo de início e fim de pega da pasta para os quatro tipos de cimentos que foram utilizados (CP II E 32, CP III 40 RS, CP IV 32 RS e CP V ARI);
- analisar e comparar as principais propriedades do concreto fresco e endurecido para os tipos de cimento utilizados nas dosagens, antes do início de pega e nos tempos de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 horas após o início da mistura para cada tipo de cimento;

- conferir o início e fim de pega de cada cimento utilizado, a plasticidade e abatimento de cada dosagem, medir o teor de ar incorporado, o módulo de elasticidade dinâmico, a resistividade elétrica volumétrica, a resistividade elétrica superficial e a resistência à compressão do concreto em todos os tempos de mistura propostos;
- reconhecer a possibilidade de se utilizar o concreto após pega sem comprometimento das estruturas.

## **1.2 Justificativa**

Quando um concreto é produzido, se espera que ele tenha o menor custo possível, mas também que atinja a resistência calculada na dosagem. O presente trabalho buscou verificar a influência da pega na utilização do concreto, abordando um estudo qualitativo das propriedades do concreto fresco e endurecido ao se utilizar o concreto após o início das reações químicas provocadas pela hidratação do cimento, qualificando e comparando as propriedades do concreto produzido em uma mistura de até 8 (oito) horas. Desta forma, foi possível avaliar e comparar o desempenho do concreto em relação as suas principais propriedades e pelos tipos de cimento utilizados.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução ao tema pesquisado, os objetivos, a justificativa para realização da pesquisa e a estrutura deste trabalho. No segundo capítulo, realizamos uma revisão de literatura abordando as recomendações da NBR 7212 (ABNT, 2012), a importância do controle tecnológico do concreto, misturas prolongadas, as fases de hidratação e pega do cimento e as principais propriedades do concreto fresco e endurecido. No terceiro capítulo, foram detalhados os procedimentos experimentais, materiais, equipamentos e métodos



utilizados durante a pesquisa. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos. No quinto capítulo relatamos as análises e discussões dos resultados, finalizado no sexto capítulo com as conclusões, considerações finais e sugestões de pesquisas para trabalhos futuros relacionados ao tema abordado nesta dissertação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura deste trabalho foi baseada em livros, revistas, artigos, normas e demais publicações relacionadas ao tema. A utilização destas referências de pesquisa foi de grande importância, pois através destes, pode-se perceber que existem parâmetros a serem seguidos para um resultado de qualidade ao contratar-se serviços de concretagem, já que o concreto possui um prazo determinado de validade para sua utilização, conforme será mostrado. Os ensaios que foram realizados facilitaram no entendimento e compreensão dos processos e conceitos apresentados no referencial teórico.

### 2.1 Recomendações normativas

Segundo Araújo, Goulart e Oliveira (2017), devido à praticidade, ao custo reduzido e às exigências do mercado por um melhor controle na dosagem do concreto, grande parte do concreto consumido no Brasil é fabricado por centrais dosadoras. Um dos grandes problemas que essas centrais enfrentam é em relação ao resíduo gerado, por ser agressivo ao meio ambiente. Esse concreto residual é proveniente, na grande maioria, de sobras providas da não aceitação do concreto na obra, principalmente quando o concreto extrapola os tempos de lançamento especificados pela norma.

A norma específica NBR 7212 (ABNT, 2012), que estabelece as recomendações para execução de concreto dosado em central, estipula o tempo máximo de transporte em caminhão betoneira de 90 (noventa) minutos, bem como o tempo máximo para que o concreto seja descarregado e aplicado completamente em 150 (cento e cinquenta) minutos, recomendando a não utilização do concreto caso sejam extrapolados estes prazos. As reações de hidratação que ocorrem com o cimento, o processo de início de pega, a perda que há em sua trabalhabilidade e plasticidade durante as primeiras horas, com consequente dificuldade de lançamento e adensamento, podem ser os fatores principais que limitam esse tempo de utilização do concreto. (POLESELLO *et al.*, 2013).

Como descrito por Mehta e Monteiro (2008), o transporte do concreto pré-misturado para o canteiro de obras deve ser feito o mais rápido possível para minimizar os efeitos de enrijecimento e de perda de trabalhabilidade, e não dificultar o lançamento, o adensamento e os acabamentos apropriados. Em condições normais, geralmente há uma perda desprezível da consistência durante os primeiros 30 (trinta) minutos após o início da hidratação do cimento *Portland*. Quando o concreto é mantido em reduzido estado de agitação ou remisturado periodicamente, pode ocorrer alguma perda de abatimento com o tempo que, geralmente, não representa qualquer risco sério para o lançamento e adensamento do concreto fresco durante os primeiros 90 (noventa) minutos. A trabalhabilidade do concreto é a propriedade que determina o esforço exigido para manipular uma quantidade de concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade. O termo manipular inclui as operações de primeiras idades como o lançamento, o adensamento e o acabamento.

Para Araújo, Goulart e Oliveira (2017), no dias de hoje, busca-se a qualidade na construção civil através de processos mais racionais, aumentando, assim, a utilização de concreto dosado em central, devido ao maior controle dos materiais constituintes do concreto, além do controle de sua trabalhabilidade e resistência à compressão. Após esse período, o concreto perde trabalhabilidade, podendo segregar e exsudar, dificultando o seu transporte, lançamento, adensamento e acabamento, ocasionando falhas na concretagem conhecidas como bicheiras, comprometendo a resistência e durabilidade do mesmo, não sendo admitida a adição de água além da especificada na dosagem.

Por causa das dificuldades encontradas nas pequenas obras, como o reduzido número de funcionários, a pouca instrução dos operários e a baixa produtividade, para se conseguir aplicar todo o concreto na obra, ainda é comum adicionar água ao mesmo, a fim de tornar sua fluidez adequada para lançamento e adensamento. Porém essa adição de água ao concreto aumenta o fator água/cimento ( $a/c$ ), causando vários problemas de desempenho no concreto, como perda de resistência e homogeneidade da mistura. Também possibilita diversos problemas de deterioração no concreto, devido ao aumento da porosidade, prejudicando sua durabilidade (TEIXEIRA e PELISSER, 2007).

Uma adequada trabalhabilidade é fundamental para boas condições de aplicação e acabamento do concreto. Caso haja necessidade de correção, esta pode ser feita com uso de aditivos. Os principais fatores que afetam a trabalhabilidade do concreto são a evaporação, hidratação, absorção e agitação. Destes, provavelmente a evaporação e a hidratação aceleram com o tempo, dependendo das condições ambientais (POLESELLO *et al.*, 2013).

De um lado, a norma específica NBR 7212, (ABNT, 2012) deixa claro que aferir a resistência é uma prerrogativa e obrigação do consumidor (construtor) e não do produtor (usina). De outro lado, caso haja atraso na entrega, e o concreto venha a ser lançado após o prazo previsto na normatização, a responsabilidade será do fornecedor do concreto.

### *2.1.1 Concreto dosado em central*

Concreto dosado em central pode ser definido como:

Concreto dosado, misturado em equipamento estacionário ou em caminhão betoneira, transportado por caminhão betoneira ou outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entrega antes do início de pega do concreto, em local e tempo determinados, para que se processem as operações subsequentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas (ABNT NBR 7212, 2012, p. 2).

Para Neville e Brooks (2013), o concreto dosado em usina é um concreto dosado ou misturado fora do canteiro de obras, entregue pronto para ser utilizado. Quando a mistura se faz em trânsito ou é misturado em caminhão, pode receber o nome de concreto pré-misturado, podendo ainda ser parcialmente misturado na central e concluída a mistura em trânsito, no qual recebe o nome de concreto parcialmente misturado, sendo estabelecido um limite de trezentas rotações para a mistura ou para a agitação, devendo ser lançado dentro do limite de 90 minutos. Caso a mistura seja realizada em trânsito, deve-se tomar o cuidado para que a

água não seja adicionada fora do tempo permitido de contato entre o cimento e o agregado umedecido, definido como sendo de 120 minutos.

Ainda segundo Neville e Brooks (2013), o concreto usinado possui um custo inicial maior que o do concreto produzido em obra, porém este custo mais elevado pode ser compensando pela economia na organização do canteiro, no consumo de materiais e menor quantidade de mão de obra necessária nas concretagens.

Para Mascolo (2012), o concreto usinado pode ser misturado na própria central de concreto, transportado por misturador ou caminhão betoneira, sendo que a maior parte do concreto utilizado nos grandes centros urbanos é fabricada em centrais dosadoras, devido às várias vantagens quando comparado com o concreto produzido em canteiro de obra.

A NBR 12655 (ABNT, 2015), define central de concreto como sendo um conjunto de instalações no qual são realizadas, além da mistura do concreto, as operações de recebimento, estocagem e dosagem dos materiais existentes em sua composição.

### *2.1.2 Controle tecnológico do concreto*

São vários os fatores que envolvem o controle tecnológico do concreto, desde o controle dos materiais que fazem parte da composição do concreto, até cura do concreto no final de uma concretagem.

O controle tecnológico dos materiais componentes do concreto deve ser realizado de acordo com cada norma específica (ABNT NBR 12655, 2015). Esta norma, recomenda ainda que sejam realizados os ensaios de controle para o recebimento e aceitação do concreto, além de ensaios e determinações para o controle das propriedades especiais.

Para Petrucci (1978), o controle tecnológico do concreto deve ser realizado por diversas operações em canteiro de obra, objetivando garantir a produção de um

concreto com características que atendam às especificações previstas para uma determinada obra.

Segundo Pereira (2008), o controle tecnológico vai muito além dos procedimentos realizados no canteiro de obra, no qual se deve levar em consideração todo o processo de produção, transporte, lançamento, cura e ensaios de validação da qualidade do concreto, sendo que o controle da produção deve ser realizado por meio de procedimentos que garantam a homogeneidade do concreto, desde a escolha dos materiais, como: aglomerantes, agregados, aditivos e adições.

Os materiais componentes do concreto não podem conter substâncias prejudiciais em quantidade que possam comprometer a durabilidade do concreto ou causar corrosão da armadura e devem ser adequados para o uso pretendido do concreto, porém no mercado é praticamente impossível encontrar materiais totalmente isentos de substâncias nocivas, assim, as normas desempenham papel de fundamental importância ao determinar os limites de tolerância do nível de impureza nos materiais componentes do concreto. Neste contexto, a NBR 12655 (ABNT, 2015), que trata dos procedimentos de preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto de cimento *Portland*, dispõe sobre os ensaios que devem ser efetuados para um bom controle tecnológico do concreto.

Desta forma, todos os agregados usados em concreto de cimento *Portland* devem cumprir com os requisitos estabelecidos na NBR 7211 (ABNT, 2009). O tipo de cimento deve ser especificado e deve-se levar em consideração os detalhes arquitetônicos e executivos, bem como a aplicação do concreto, o calor de hidratação do cimento, as condições de cura, as dimensões das estruturas e as condições de exposições naturais ou peculiares de trabalho das estruturas, além da quantidade total de aditivos. Estes, quando utilizados, não podem exceder a dosagem máxima recomendada pelo fabricante, devendo ainda, considerar a influência da elevada dosagem de aditivos no desempenho e na durabilidade do concreto.

A aceitação da obra e o controle tecnológico devem abranger alguns parâmetros previstos na normatização, tais como: realização de ensaios de caracterização

dos materiais constituintes do concreto, verificação da dosagem utilizada com a clara especificação e quantidade dos materiais, verificação da trabalhabilidade por meio de ensaio de consistência que deve atender ao tipo de obra especificada e verificação da resistência mecânica do concreto em conformidade com as normas NBR 5738 (ABNT, 2016) e NBR 5739 (ABNT, 2018). A idade de ruptura deve ser prevista no plano da obra, preferencialmente aos 28 dias, podendo ser realizadas as avaliações prévias da resistência com idade menor, desde que se determine uma relação dessa idade com a idade prevista, sendo que o controle estatístico da resistência à compressão do concreto pode ser realizado por amostragem total e por amostragem parcial. (RIBEIRO, PINTO e STARLING, 2015).

A NBR 12655 (ABNT, 2015) recomenda que os lotes de concreto sejam de no máximo 50 m<sup>3</sup> e para os edifícios seja pelo menos um lote por pavimento ou corresponder a um tempo de concretagem de no máximo três dias, sendo que cada lote de concreto deverá ter uma amostra com “n” exemplares representativos de todo o lote. Cada exemplar será constituído por dois corpos de prova do mesmo concreto, podendo obter o valor estimado da resistência característica à compressão de acordo com o tipo de controle estatístico e quantidade de exemplares escolhidos.

## **2.2 Mistura prolongada**

Segundo Araújo, Goulart e Oliveira (2017), em virtude das ações de hidratação dos compostos do cimento, considera-se o concreto vencido quando se utiliza o concreto após o início de pega. Na produção de concreto de mistura prolongada, nem sempre é possível controlar o início de pega do cimento, principalmente se não for utilizado aditivo retardador, desta forma, é importante tomar os cuidados para não acrescentar água na mistura acima da quantidade prevista na dosagem, pois a adição excessiva de água ou a superdosagem pode causar exsudação ou segregação da mistura, bem como perda da resistência mecânica. Concretos de mistura prolongada tendem a perder água para o meio durante a agitação, o que permite que o concreto tenha tendência a ficar menos trabalhável devido à rápida perda de abatimento. Para minimizar este tipo de problema, as concreteiras

utilizam aditivos plastificantes e superplastificantes, que contribuem para melhorias da plasticidade e trabalhabilidade do concreto sem perda de suas propriedades.

Segundo Baskoca, Ozkul e Artirma (1998), misturas prolongadas podem ser frequentemente experimentadas na indústria de concreto, principalmente para atender às distâncias de entrega mais longas ou atrasos na colocação devido aos problemas no local. Apesar do tempo de mistura ser limitado pela norma americana em uma hora e meia (*American Society for Testing - ASTM C94*), este tempo é excedido com bastante frequência, principalmente quando se utilizam na dosagem aditivos retardadores de pega. Se não for adicionada água à mistura, além da estabelecida na dosagem inicial, não surgem efeitos adversos na mistura prolongada de concretos estruturais, no entanto, se for adicionada água à mistura provoca a diminuição da resistência prevista para o concreto. Pode-se afirmar ainda, que durante uma mistura prolongada, menor será a plasticidade observada durante a mistura e isto pode estar relacionado, no mínimo, a três razões: quantidade insuficiente de água inicialmente colocada, maior taxa de evaporação ou absorção de água por agregados secos e maior taxa de hidratação. Quando a água de redosagem é adicionada para compensar a perda de plasticidade, não há perda de resistência, mas se adicionar água extra para combater este último motivo, provoca-se a perda da resistência mecânica do concreto.

Para Rahman *et al.*, (2011), nas misturas prolongadas, quando se adiciona água para manter a plasticidade inicial, provocam pouca mudança na categoria de permeabilidade do concreto, porém há significativas perdas de resistência mecânica (tração e compressão), além de aumento da absorção de água, sendo que estas perdas tendem a crescer quase que linearmente com o aumento do tempo de mistura, Isso mostra ainda que, ao longo do tempo de mistura do concreto, ao se adicionar água, ocorre o aumento do fator água/aglomerante contribuindo para a expansão dos poros do concreto, o que motiva o crescimento da absorção de água e proporciona uma maior permeabilidade dos íons cloretos, sendo esta ação cada vez mais significativa com o aumento do tempo de mistura.



A NBR 7212 (ABNT, 2012) estabelece os requisitos para a execução do concreto usinado, bem como as condições de armazenamento dos materiais e as operações de dosagem, mistura, controle de qualidade, transporte, inspeção, critérios de aceitação e rejeição do controle interno da central de concreto. Esta norma recomenda que o concreto dosado em central, transportado por caminhão betoneira, não seja lançado depois de duas horas e meia da primeira adição de água ou após uma hora, caso seja transporte por equipamento sem agitação. Com esta proposta, a norma deixa implícito que, caso ocorra atrasos na entrega, por qualquer motivo, a qualidade do concreto pode ser comprometida.

### 2.3 Fases de hidratação do cimento

Para entender as fases de hidratação do cimento é preciso conhecer seu processo de fabricação, sua constituição e como é tratada a química básica do cimento na literatura técnica.

Neville e Brooks (2013) afirmam que o cimento é composto basicamente de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro, podendo se destacar como os principais constituintes do cimento os compostos apresentados no quadro 1, sendo que na química do cimento utiliza-se uma abreviação no qual apresenta cada óxido por uma letra: CaO é apresentado pela letra C; SiO<sub>2</sub>, pela letra S; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pela letra A; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pela letra F e H<sub>2</sub>O no cimento hidratado é abreviado pela letra H.

Quadro 1 – Principais compostos do cimento Portland

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicato dicálcico	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminato tricálcico	3Ca.O.Al <sub>2</sub> .O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Ferroaluminato tetracálcico	4CaO.Al <sub>2</sub> .O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Fonte: (NEVILLE e BROOKS, 2013, p. 10).

Os compostos mais importantes dos cimentos são os silicatos C<sub>2</sub>S e C<sub>3</sub>S, pois estes proporcionam o ganho de resistência da pasta de cimento hidratada. Apesar de não serem compostos puros, por conterem alguns óxidos secundários na solução sólida, estes óxidos contribuem para a formação de cristais e para as

propriedades hidráulicas destes silicatos, visto que na composição do cimento a existência de  $C_3A$  quase não contribui para a resistência do cimento, ajudando praticamente apenas nas primeiras idades. Além disso, quando há formação de etringitas (sulfoaluminato de cálcio) pode causar a desagregação do concreto, porém o  $C_3A$  presente no cimento pode facilitar a combinação do óxido de cálcio com a sílica. Como o  $C_4AF$  também está presente no cimento em baixas quantidades, este, quando comparado com os outros três compostos, não afeta significativamente o comportamento do concreto, tendo como principal objetivo reagir com a gipsita para formação do sulfoferrito de cálcio, além de acelerar a hidratação dos silicatos (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Desconsiderando os compostos secundários da composição do cimento *Portland*, no quadro 2 são mostradas as composições dos compostos  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  e  $C_4AF$  para o cimento *Portland* comum propostas, em porcentagem, por Neville e Brooks (2013) e por Mehta e Monteiro (2008).

Quadro 2 - Composição dos compostos de cimento *Portland* típico

Compostos	Composição dos compostos de cimento <i>Portland</i>	
	(NEVILLE e BROOKS, 2013)	(MEHTA e MONTEIRO, 2008)
$C_3S$	54,10	45 a 60
$C_2S$	16,60	15 a 30
$C_3A$	10,80	6 a 12
$C_4AF$	9,10	6 a 8

Fonte: (MEHTA e MONTEIRO, 2008) e (NEVILLE e BROOKS, 2013) - adaptado.

Segundo Taylor (1990), na produção do cimento, durante a queima do clínquer, pelas reações entre a alumina, a sílica, o óxido de ferro e a cal é que são formados os compostos presentes no cimento mostrado no quadro 2. As reações para a formação destes compostos iniciam-se pela calcinação e reação da cal proveniente da decomposição dos minerais de argila, em seguida, pela fundição do clínquer forma-se a cristalização dos cristais de  $C_3S$  e  $C_2S$  e no resfriamento são formados os aluminatos e ferro.

A pasta de cimento endurecida é o produto das reações do cimento com a água, os silicatos e aluminatos se hidratam e ganham resistência, o  $C_3S$  se hidrata mais rapidamente em função de algumas pequenas impurezas de óxidos existentes no clínquer e o  $C_3S$  passa a ser conhecido como alita, da mesma forma o  $C_2S$  passa

ser chamado de belita. Na presença de água, o produto da hidratação destes silicatos forma o silicato de cálcio hidratado conhecido como simplesmente C-S-H. (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Pela microscopia eletrônica é possível analisar a microestrutura do concreto, essa técnica permite acompanhar todo o processo de hidratação do cimento em uma amostra, podendo assim identificar a formação dos compostos do C-S-H, do hidróxido de cálcio (CH) e das etringitas.

Na hidratação do  $C_3S$ , nos primeiros cinco minutos, é formada uma camada em forma de gel ao redor das partículas de  $C_3S$  e aos setenta e cinco minutos as quais é possível identificar a formação das etringitas em formas de varetinhas, as quais na presença de satisfatória quantidade de sulfato tornam-se estáveis e não mudam sua morfologia com o passar do tempo. Este é o primeiro hidrato a se cristalizar devido à alta relação sulfato/aluminato na fase aquosa ainda na primeira hora de hidratação e, após o sulfato ter sido consumido, a etringita é gradualmente convertida para a fase de monossulfato, cerca de cento e quarenta minutos após o início da hidratação do  $C_3S$ , no qual se observa a formação da estrutura do C-S-H e se pode notar dentro desta estrutura uma formação heterogênea em forma de gotas de hidróxido de cálcio. Passados quinze horas do início da hidratação, facilmente, pode-se observar a formação de fases do C-S-H em forma de agulhas rombudas e a formação de hidróxido de cálcio em forma de placas. Com sete dias já com o  $C_3S$  hidratado, nota-se a transformação da forma das agulhas rombudas das fases do C-S-H em agulhas pontiagudas. Passados cinquenta e seis dias é evidenciado o progresso na hidratação pelo crescimento unidimensional das fases do C-S-H e com o passar de um ano pode-se encontrar as fibras do C-S-H em forma de agulhas interpenetradas entre si (MEHTA e MONTEIRO, 2008; THOMAZ, 2011).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), na pasta de cimento hidratada, além dos sólidos, pode-se encontrar muitos tipos de vazios que possuem grande influência nas propriedades da pasta. Os diferentes tipos de vazios podem ser encontrados no espaço interlamelar no C-S-H e apesar de existirem vazios com tamanhos muito pequenos as pontes de hidrogênio podem reter água nesses vazios e sua

remoção pode contribuir para fluência e para a retração por secagem. Podem surgir vazios capilares representados pelos espaços não preenchidos pelos componentes sólidos da pasta de cimento hidratada. A quantidade e tamanho destes vazios estão relacionados à relação água/cimento utilizada na composição da pasta, sendo que quanto maior for este fator, maior será a quantidade de vazios capilares e o aumento da porosidade que podem interferir na resistência e na impermeabilidade característica da pasta.

Outro tipo de vazio pode ser provocado por ar incorporado, geralmente de forma esféricas, ar este que pode ficar aprisionado na pasta de cimento ainda no processo de mistura do concreto o que também, em certos casos, pode afetar a resistência.

### *2.3.1 Pega do cimento Portland*

Na fase de solidificação e endurecimento do cimento *Portland* ocorre um fenômeno conhecido como pega do cimento. Conforme citado por Neville (2016), a pega é um termo utilizado para descrever o enrijecimento da pasta de cimento, porém não se pode confundir a definição de pega com o enrijecimento da pasta, pois a pega se refere à mudança de estado de fluido para rígido, e durante esta fase ainda ocorre alguma resistência, e o enrijecimento refere-se ao ganho de resistência da pasta de cimento após a pega.

Mehta e Monteiro (2008) definem o enrijecimento como sendo a perda de consistência da pasta plástica de cimento, sendo associado com o fenômeno de perda de abatimento do concreto, e o termo pega como sendo a solidificação da pasta plástica de cimento, a qual marca o ponto em que a pasta se torna não trabalhável, tempo este chamado de início de pega, sendo que decorrido o tempo para solidificação completa este tempo passa ser conhecido como fim de pega.

Fusco (2008) afirma ainda que é importante a adição do gesso ( $\text{CaSO}_4$ ) ao clínquer para controle do tempo de início de pega no cimento *Portland*, sendo que tanto o início da pega do cimento, quanto o fim da pega, podem ser estabelecidos

de forma convencional por ensaios de penetração de uma agulha padronizada de um aparelho Vicat.

Em condições normalizadas de ensaio e com a utilização do aparelho de Vicat para aferição de tempo de pega, a NBR 16607 (ABNT, 2017) define o termo início de pega como sendo o tempo decorrido desde o instante em que o cimento entra em contato com a água até aquele em que agulha de Vicat penetra na pasta e estaciona a  $(6 \pm 2)$  mm; e como fim de pega, o tempo decorrido desde o momento em que o cimento entrou em contato com a água até o instante em que a agulha de Vicat penetra 0,5 mm na pasta analisada.

O tempo de pega pode ser considerado como o tempo aproximado, que representa o momento em que o concreto fresco não pode mais ser eficientemente misturado, lançado e compactado e o final de pega demonstra o momento em que o concreto começa a desenvolver resistências significativas (ZANETTI, 2015).

Para Mehta e Monteiro (2008), devido ao cimento *Portland* ser composto de uma mistura heterogênea de vários compostos, as reações simultâneas destes compostos com a água durante o processo de hidratação não ocorrem de uma só vez. Isso ocorre porque nem todos os compostos tem a mesma velocidade de hidratação, sendo que normalmente os aluminatos se hidratam mais rapidamente que os silicatos e determinam as reações que provocam o enrijecimento, caracterizado pela perda de consistência, e a pega caracterizada pela solidificação da pasta de cimento *Portland*.

Para Fusco (2008), mesmo se tendo a impressão macroscópica de que o início de pega somente ocorre após certo espaço de tempo do início da mistura do cimento com a água, as reações químicas de hidratação começam instantes após o início desta mistura, sendo que é o grau de finura do cimento que define a velocidade de hidratação. Quanto maiores forem os grãos de cimento, menor será a superfície específica e esta interfere diretamente na reação com a água, permitindo deduzir que a moagem menos intensa, do ponto de vista do início de pega, é satisfatória para o emprego do cimento. Contudo quando se pretende

atingir resistências mais elevadas à moagem deve-se ser mais eficiente, sendo necessária a adição de gesso para retardar o início de pega.

## **2.4 Propriedades do concreto**

São muitas as propriedades importantes que devem ser observadas em um concreto utilizado em obras, que podem ser avaliadas em seu estado fresco (quando o concreto está recém-misturado, ainda em estado plástico, ou seja, com a capacidade de ser modelado) e em seu estado endurecido (quando seca e ganha resistência).

Logo após a realização da mistura do concreto, já se é possível avaliar algumas de suas propriedades, sendo que as principais características do concreto nesta fase são: massa específica, coesão, plasticidade, exsudação, segregação, teor de ar incorporado, temperatura, entre outras. No estado endurecido é possível avaliar a resistência à compressão, a resistência à tração, a resistência à penetração, abrasão, permeabilidade, resistividade elétrica, módulo de elasticidade, absorção, densidade, dureza superficial, teor de cimento, entre outras, sendo que nesta pesquisa foram concentrados os estudos para avaliação da plasticidade, temperatura, ar incorporado, massa específica, densidade, resistência à compressão, módulo de elasticidade dinâmico e resistividade elétrica do concreto.

### *2.4.1 Plasticidade*

Trata-se de um parâmetro do concreto que pode ser entendido como a maior ou menor facilidade de se moldar ou adensar um concreto de maneira a retirar da mistura o maior número de vazios possíveis, sendo definida tecnicamente como a quantidade de trabalho necessária para se adensar totalmente o concreto mantendo sua homogeneidade, pode depender da granulometria dos agregados, do uso de aditivos e do fator água/cimento, sendo avaliada pela facilidade da sua moldagem durante o lançamento e adensamento do concreto. A segregação é

definida pela separação dos grãos do agregado da pasta de cimento que pode ocorrer no transporte, no lançamento e no adensamento do concreto, ou pelo assentamento dos grãos mais pesados no fundo das formas espalhados e se afastando da pasta de cimento que normalmente ocorre por falta de coesão entre os componentes do concreto. Devido à elevada área específica, os agregados miúdos exercem grande influência sobre a plasticidade, por este motivo, o alto teor de areia na mistura de concreto pode aumentar a coesão na mistura, mas dificultar o lançamento e adensamento do concreto, além de aumentarem o consumo do cimento e, conseqüentemente, o custo final (ARAÚJO, RODRIGUES e FREITAS, 2000)

#### *2.4.2 Massa específica*

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto, em função de sua massa específica, pode ser classificado em três categorias: concreto leve quando sua massa específica apresenta abaixo de  $1800 \text{ kg/m}^3$ , sendo mais utilizado para peças que priorizam a leveza, podendo ser composto por agregados naturais, leves ou sintéticos; concreto normal quando sua massa específica encontra-se na ordem de  $2400 \text{ kg/m}^3$ , podendo ser composto por areia natural e pedregulhos ou agregados britados, este é o mais usado para estruturas no geral; por fim, concreto pesado, de densidade superior a  $3200 \text{ kg/m}^3$ , utilizados em estruturas que necessitam de grande massa, como as destinadas à blindagem contra radiação. São constituídos por agregados de alta densidade como os oriundos de diorite, diabase entre outros.

A massa específica do agregado, sua porosidade, textura, forma e tamanho são fatores que influenciam a massa específica do concreto no estado fresco (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

### *2.4.3 Temperatura do concreto*

A temperatura do concreto fresco utilizado na obra deve, preferencialmente, ser mantida baixa, a no máximo 16°C, sendo aceitável um aumento nunca superior a 32°C, não podendo ser controlada durante a mistura. A temperatura do concreto fresco pode ser calculada a partir da temperatura de seus ingredientes (NEVILLE e BROOKS, 2013).

### *2.4.4 Exsudação*

Quando se observa a água se separando da massa e se acumulando na superfície das peças concretadas, podem-se perceber os efeitos do fenômeno de exsudação. Isto acontece quando a parte superior do concreto se torna excessivamente úmida; o que pode proporcionar a formação de um concreto mais poroso e menos resistente, podendo causar ainda a desintegração do concreto devido à percolação da água. Esse fenômeno acontece quando, no processo de lançamento do concreto nas fôrmas, a parte sólida não é capaz de reter a água de amassamento. Geralmente este fenômeno é muito comum em concretos com baixo percentual de finos na sua composição. Para reduzir a exsudação é necessário alterar a dosagem do concreto, aumentando a proporção de finos e o teor de cimento. Deve-se evitar o emprego exagerado de água de amassamento para minimizar a exsudação, mesmo para concretos mais trabalháveis (ARAÚJO, RODRIGUES e FREITAS, 2000).

### *2.4.5 Ar incorporado*

Com a agitação provocada durante a mistura da massa de concreto é possível que certa quantidade de ar seja incorporado à massa de concreto. Este ar incorporado pode ser disperso na forma de minúsculas bolhas. Havendo necessidade, pode-se utilizar de aditivos que aumentem significativamente a quantidade de ar incorporado. Normalmente se realiza este procedimento para que essas bolhas de ar funcionem como um lubrificante entre os agregados,



permitindo uma redução do fator água/cimento, sem perda da trabalhabilidade da massa de concreto. (FUSCO, 2008).

Os aditivos incorporadores de ar contribuem para formação de uma grande quantidade de pequenas bolhas de ar, que separadas entre si são estáveis e bem distribuídas e incorporam no concreto podendo, entre outras propriedades, alterar a porosidade, a trabalhabilidade e a permeabilidade do concreto. Apesar das bolhas de ar não representarem risco à durabilidade do concreto quando não estão conectadas entre si, deve-se avaliar o teor de ar incorporado no concreto para que este não proporcione considerável perda de resistência mecânica, pois é comum que, em concretos convencionais, mesmo sem uso de aditivos, encontre teor de ar incorporado de até 3%, sendo que para concretos produzidos em centrais dosadoras e transportados por caminhões dotados de agitadores este percentual pode alcançar 4%. (BARBAR, 2016).

O ar incorporado no concreto proporciona uma melhoria da trabalhabilidade nas misturas de concreto, porém dependendo da quantidade de ar incorporado pode provocar perda de resistência. (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Sob outra perspectiva devem-se tomar os cuidados para que grandes quantidades de ar incorporado no concreto estejam dentro dos limites especificados, pois em caso de teores muito elevados, as vantagens do concreto com ar incorporado podem ser perdidas. Em caso de produção de concretos bombeáveis, devem-se evitar as grandes distâncias, pois o ar incorporado pode se comprimir e provocar perda de trabalhabilidade. (NEVILLE e BROOKS, 2013)

#### *2.4.6 Resistividade elétrica do concreto*

A resistividade elétrica é uma propriedade física que indica a resistência do material à passagem da corrente elétrica, quanto maior for a resistividade elétrica de um material, mais difícil será a passagem da corrente elétrica, e quanto menor a resistividade, mais ele permitirá a passagem desta corrente. Os ensaios realizados podem ser destrutivos com extração de testemunhos e não destrutivos

com medições nas superfícies das estruturas. Estes ensaios são relacionados à durabilidade e vida útil do concreto, possibilitando ainda mensurar a possibilidade de desenvolvimento de manifestações patológicas (TEIXEIRA, 2018).

Segundo Azarsa e Gupta (2017), as medições de resistividade elétrica do concreto podem ser realizadas por várias técnicas, de forma não destrutiva: usando eletrodos posicionados em uma superfície de amostra, ou colocando um eletrodo-disco ou matriz linear ou uma matriz quadrada de quatro sondas na superfície do concreto.

Os Tipos de técnicas de dispositivos que podem ser usadas normalmente para medir a resistividade fisicamente incluem teste de resistividade elétrica em massa, teste de disco de superfície, teste de matriz de linha de quatro pontos Wenner, e quatro pontas de prova como no teste de matriz quadrada.

A resistividade elétrica pode ser utilizada para investigar a durabilidade do concreto, principalmente no que se refere à ação dos íons cloretos. Este parâmetro está relacionado à permeabilidade do material e podem ser afetados por diversos fatores tais como: o tipo e a intensidade da corrente aplicada, a frequência do sinal, a natureza do material, o contato com os eletrodos, a presença de armadura, a geometria do corpo de prova entre outros (DUARTE *et al.*, 2014).

Dentre várias formas de se analisar um concreto, a resistividade elétrica permite avaliar a movimentação de elétrons livres e possibilita identificar se há ou não dificuldade na movimentação destas partículas na amostra avaliada, pois concretos mais porosos apresentam menores resultados de resistividade elétrica e, conseqüentemente, protegem menos as armaduras, que acabam mais propícias à corrosão. No entanto a realização de ensaio de resistividade não mostra a existência de corrosão na estrutura, mas apresenta dados que possibilitam avaliações do cenário indicando a possibilidade desta ocorrência (COSTA e AZZI, 2017).

Neste contexto, Polder *et al.* (2000) afirmam que, em uma estrutura de concreto, o ensaio de resistividade é de grande valia para avaliação do potencial de risco de corrosão das armaduras, pois identifica as áreas mais permeáveis da estrutura nas quais são mais propícia à penetração de água e de outros agentes agressores, sendo que o ensaio de resistividade elétrica no concreto não tem o objetivo de mostrar se a armadura no concreto está em estado ativo de corrosão ou não, pois essa informação deve ser obtida de outra forma, a partir da análise dos íons cloretos, medição da profundidade de carbonatação, potencial de corrosão, avaliação da resistência à polarização e por inspeção visual do aço. Se as armaduras estiverem em fase de corrosão, o ensaio de resistividade elétrica pode mostrar onde na estrutura a corrosão pode ser mais forte. A escolha entre medidas de reparações locais ou mais gerais podem ser relacionadas às variações das taxas de corrosão, conforme deduzidas dos resultados das medições de resistividade (POLDER, *et al.*, 2000).

Os ensaios para a determinação da resistividade elétrica volumétrica realizados em concreto são regulamentados pela norma NBR 9204 (ABNT, 2012) a qual estabelece os métodos para a determinação da resistividade elétrica volumétrica do concreto endurecido, através de corpos de prova ou testemunhos extraídos dos elementos estruturais, sendo este processo o que apresenta a resistividade das camadas mais internas das amostras do concreto pesquisado.

Conforme previsto na NBR 9204 (ABNT, 2012), a resistência elétrica volumétrica do concreto pode ser medida pela relação entre a tensão aplicada aos eletrodos e a corrente elétrica que atravessa o interior do material avaliado. Esta resistividade pode ser avaliada pela relação entre o gradiente de potencial paralelo à direção da corrente no material e a densidade da corrente aplicada.

Quanto maior for a relação água/aglomerante, maior será a porosidade da mistura e maior será a resistividade elétrica no concreto. Concretos sem cura apresentam maiores índices de resistividade que os concretos mais bem curados. A resistividade elétrica pode apresentar informações sobre a microestrutura e a porosidade do concreto nas primeiras idades. Por se tratar de um ensaio não destrutivo, com a resistividade elétrica é possível realizar várias medidas em um

único elemento estrutural, ao longo do tempo, sem causar prejuízos às estruturas de concreto (SILVA, 2016).

#### 2.4.7 Módulo de elasticidade

São vários os fatores que podem influenciar no valor do módulo de deformação do concreto, tais como: umidade, porosidade, tipo de agregado, fator água/cimento, método de ensaio, tensões limites de elasticidade, geometria dos corpos de prova, grau de saturação do concreto e outros, de tal forma que ainda é grande a dispersão dos resultados (PACHECO *et al.* 2014).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), o módulo de elasticidade a ser especificado em projeto e a ser controlado nas obras deve ser o módulo de elasticidade secante ( $E_{cs}$ ).

A determinação do módulo de elasticidade estático do concreto pode ser realizada pelo ensaio previsto na NBR 8522 (ABNT, 2008), sendo considerado, nesta norma, o módulo de deformação tangente inicial cordal a 30%  $f_c$ , ou outra tensão especificada em projeto.

O ensaio de módulo de elasticidade dinâmico, através da propagação de onda ultrassônica, é normalizado pela (ABNT NBR 15630, 2008) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica.

A avaliação da rigidez do concreto pode ser realizada pelo ensaio de módulo de elasticidade obtido a partir de equações empíricas ou por meio do ensaio de compressão simples, que exige aparatos e cuidados especiais devido à pequena deformação do concreto. A avaliação do módulo de *Young* no ensaio de compressão se aplicaria apenas a materiais que obedecem à lei de *Hooke*, segundo a qual a deformação elástica de um sólido é proporcional à tensão aplicada. A *lei de Hooke* apresenta com precisão o comportamento elástico de materiais com coeficiente de amortecimento relativamente baixo, como a maioria dos metais (ALMEIDA, 2012).

Conforme apresentado por Almeida (2012), existem dois métodos que utilizam a frequência de ressonância para a determinação da frequência natural: ensaios em que as vibrações podem ser geradas por vibrações mecânicas variáveis (método de ressonância forçada) ou por um impacto (método de vibrações livres). No primeiro método, o corpo de prova de dimensões conhecidas é fixado e excitado por um vibrador acústico cuja frequência é variada continuamente, fazendo com que as vibrações se propaguem pelo corpo de prova e sejam recebidos pelo coletor, posicionado no outro extremo da amostra, onde são amplificadas (acelerômetro) e têm sua amplitude medida por um indicador adequado. Quando se muda as condições de suporte do corpo de prova, a posição do vibrador acústico e a posição do acelerômetro, pode-se mensurar as frequências ressonantes para a modalidade longitudinal, a modalidade transversal e a modalidade de torção e, assim, calcular o coeficiente de *Poisson*.

O método da frequência ressonante, entre os métodos dinâmicos ou de vibrações, consiste na determinação da frequência ressonante fundamental de vibração de uma amostra, sendo a vibração contínua gerada eletromecanicamente, podendo assim ser utilizada para estimar o módulo de *Young* e o coeficiente de *Poisson*. Por isso, é necessário conhecer os princípios que regem esses sistemas vibratórios e os elementos da construção dos seus modelos, das quais o método indireto de frequência ressoante faz parte (ALMEIDA, 2012).

Os métodos de medição e ensaios por frequências ressonantes transversal, longitudinal e torcional para amostras de concreto, por meio de ressonância forçada ou de impacto, servem para estimar o valor do módulo de elasticidade dinâmico do concreto além de outras propriedades, sendo regulamentado pela norma americana *Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens* da *American Society for Testing and Materials* (ASTM C 215, 2008). A norma britânica *Recommendations for the measurement of dynamic modulus of elasticity* da *British Standards Institution* (BS 1881: Part 209:1990) apresenta também diversas

recomendações para estimar a medida do módulo de elasticidade dinâmico pela frequência ressonante longitudinal.

#### *2.4.8 Resistência à compressão*

Uma das principais propriedades avaliadas no concreto endurecido é a resistência à compressão, pois o concreto se mostra um excelente material quando submetido a esforço de compressão, apesar de não corresponder tão bem quando sofre esforços de tração. A resistência à compressão simples é uma boa avaliação utilizada para medir a qualidade do concreto, mas nos dias atuais, apenas a resistência não pode ser considerada a única referência para validar sua qualidade, pois outros ensaios destrutivos e não destrutivos podem ser realizados, até mesmo durante o processo de produção. São vários os fatores que influenciam a resistência à compressão, tais como: Idade do concreto (a resistência aumenta com o passar do tempo), qualidade dos agregados (materiais de boa qualidade resultam concretos de boa resistência), a relação entre a água/cimento (quanto maior for o teor de água, menor será a resistência do concreto). Para a realização do ensaio de compressão axial é preciso extrair testemunhos de uma estrutura ou produzir corpos de prova com dimensões padronizadas durante sua fabricação. Estes devem ser submetidos a uma força axial distribuída de modo uniforme em toda seção transversal do corpo de prova até o seu rompimento, possibilitando encontrar a medida da resistência à compressão.

A determinação da resistência do concreto pode atender a três propósitos: pesquisas, controle de qualidade do concreto e determinação da qualidade do concreto em estruturas acabadas. No campo das pesquisas, a resistência à compressão determina os efeitos causados pelas mudanças de materiais e variações nos traços de concreto. Ensaio de resistência também são utilizados na obtenção de valores de referência quando são estudadas outras características do concreto, tais como: dureza superficial e resistência à abrasão (CASTRO, 2009).

No geral, a resistência do concreto produzido é normalmente obtida através do resultado do ensaio de ruptura à compressão axial de testemunhos ou corpos de prova, sendo mais comum, no Brasil, utilizar corpos de prova cilíndricos de 100 mm por 200 mm. Estes corpos são ensaiados na idade preestabelecida de 28 dias, podendo ser realizados ensaios adicionais em outras idades. Os resultados são expressos em MPa. O método de controle do ensaio de resistência à compressão no Brasil é normalizado pela NBR 5739 (ABNT, 2018). Esta norma prescreve um método de ensaio pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto, moldados e curados conforme a norma específica NBR 5738 (ABNT, 2016) e extraídos conforme a norma da NBR 7680-1, (ABNT, 2015).

O valor de resistência à compressão que apresenta uma probabilidade de 5% de não ser alcançado é denominado resistência característica do concreto à compressão e indica-se com a notação  $f_{ck}$ . Esse valor é o adotado no projeto estrutural e também é conhecido por resistência especificada, característica ou de projeto (PACHECO, HELENE e ENGENHARIA, 2013).

### **3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

Neste capítulo, serão apresentados os materiais e métodos utilizados durante a pesquisa para se atingir os objetivos propostos. Nele serão descritos, detalhadamente, todos os processos e passos para a execução dos ensaios realizados.

No total, foram moldados 128 corpos de prova cilíndricos 10x20cm. Além do monitoramento da temperatura do concreto durante as oito horas de mistura, a cada hora, foram realizados os ensaios de abatimento do tronco de cone, massa específica, teor de ar incorporado, densidade, módulo de elasticidade dinâmico, resistividade elétrica volumétrica e superficial e resistência à compressão.

#### **3.1 Fluxos das etapas de ensaios previstas na pesquisa**

Os primeiros experimentos foram realizados em um ensaio preliminar, no qual se pretendia, por meio da execução de um projeto-piloto, entender o processo e reconhecer as dificuldades que envolveriam a execução dos ensaios pretendidos, bem como conhecer os equipamentos e máquinas que seriam necessários para uma boa preparação e execução da pesquisa. Nesta oportunidade, foi possível realizar a aquisição de todos os materiais, realizar testes com alguns tipos de aditivos e aglomerantes e avaliar os agregados que seriam utilizados nas dosagens. Concluído o projeto-piloto, passou-se ao desenvolvimento dos ensaios definitivos.

O planejamento garantiu maior eficácia durante a realização dos ensaios e no levantamento das informações necessárias para alcançar os resultados esperados, mostrando ser importante prever uma adequada execução do programa experimental em um projeto-piloto.

O fluxograma apresentado na figura 1 apresenta o fluxo de etapas e ensaios realizados para o processo experimental desta pesquisa.



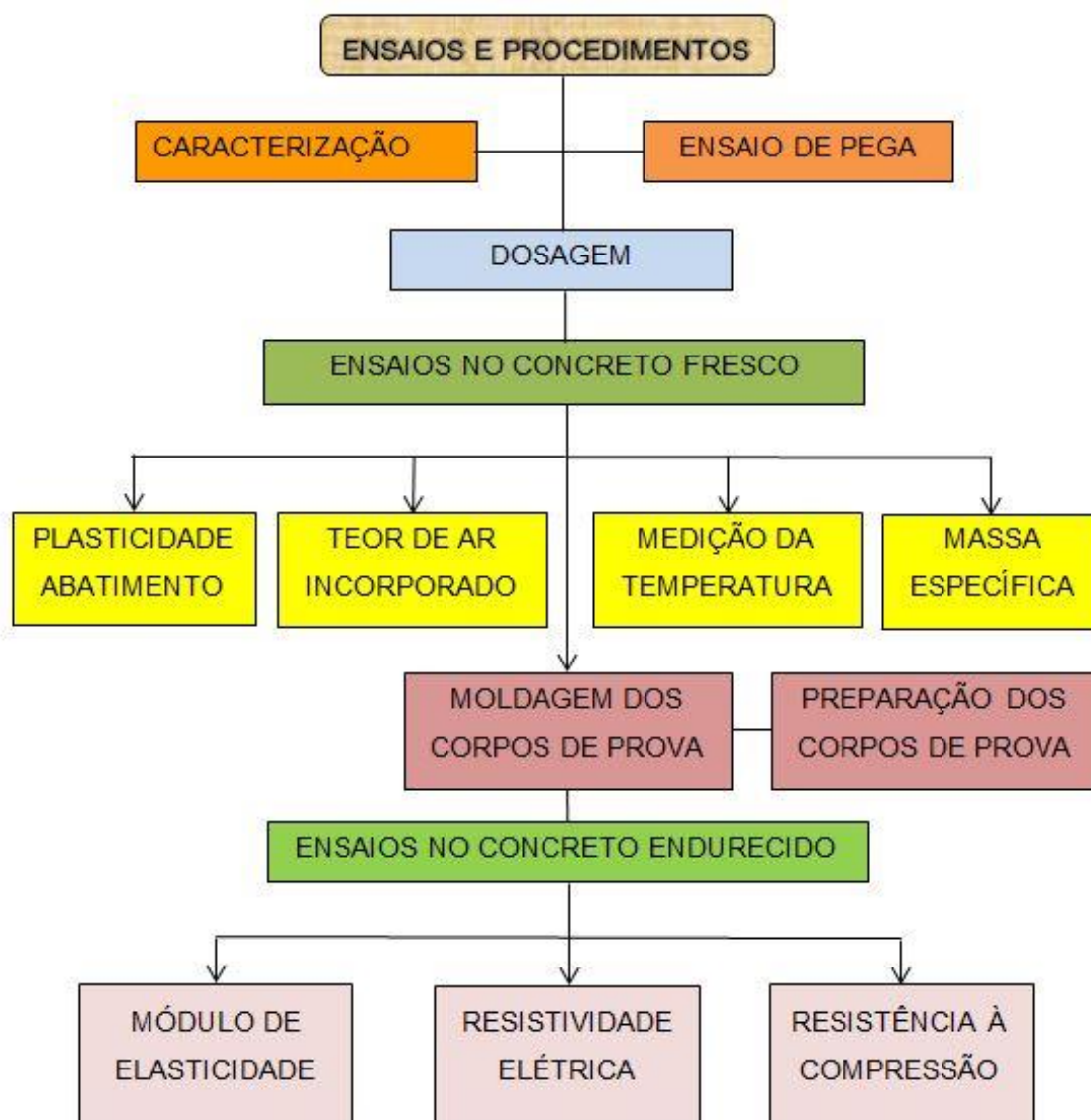


Figura 1 - Fluxograma dos ensaios e procedimentos.

Para se atingir o objetivo do trabalho, foram realizados os seguintes procedimentos e ensaios normatizados:

- caracterização dos materiais (agregados e cimento) utilizados na dosagem, conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003);
- ensaio de início e fim de pega dos cimentos, conforme NBR 16607 (ABNT, 2017);

- dosagem do concreto de referência e dos demais traços pelo método da Associação Brasileira de Cimento *Portland* - ABCP;
- avaliação da plasticidade e abatimento, conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998);
- moldagem, cura e retífica de 128 corpos de prova cilíndricos, conforme NBR 5738 (ABNT, 2015);
- monitoramento da temperatura do concreto durante a mistura;
- medição da massa específica do concreto fresco, conforme NBR 9833 (ABNT, 1998);
- ensaio de teor de ar incorporado, conforme NBR NM 47 (ABNT, 2002);
- ensaio de módulo de elasticidade dinâmico, conforme NBR 15630, (ABNT, 2008);
- ensaio de resistividade elétrica volumétrica, conforme NBR 9204 (ABNT, 2012);
- ensaio de resistividade elétrica superficial pelo método de Wenner;
- medição da densidade aparente do concreto endurecido;
- ensaio de resistência à compressão, conforme NBR 5739 (ABNT, 2018).

### **3.2 Caracterização dos materiais utilizados**

Para definir os traços do concreto foi realizada a caracterização dos agregados, areia e britas, em conformidade com NM 248:2003.

Todos os ensaios realizados nos agregados miúdos e graúdos foram repetidos por duas vezes e os valores médios encontrados serão apresentados neste capítulo.

Além da granulometria dos agregados, foram realizados os ensaios para obtenção da massa unitária, massa específica, dimensão máxima característica, módulo de finura, materiais pulverulentos e teor de umidade destes agregados. Em seguida, serão apresentadas as características físicas e químicas dos cimentos utilizados, estas foram fornecidas pelo fabricante.

Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2015), as qualidades dos agregados podem ser avaliadas por meio de ensaios laboratoriais, visando comparar os resultados a certos índices definidos pelas normas, sendo importante avaliar a resistência ao desgaste, a resistência aos esforços mecânicos, a reatividade potencial e a presença de substâncias nocivas.

Os ensaios granulométricos foram realizados em 19 de outubro de 2017, no laboratório de concreto/argamassa e cerâmicas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e repetidos na data de 08 de fevereiro de 2018, no laboratório de concreto da Faculdade Promove de Sete Lagoas/MG.

### *3.2.1 Agregado miúdo*

Para a composição do concreto, um dos principais materiais a serem utilizados é a areia, que pode ser artificial, conhecida como areias industrializadas obtidas por meio de britagem, ou areia natural, que apesar de ser de difícil produção e extração devido às inúmeras exigências ambientais, ainda é muito utilizada na construção civil.

O agregado miúdo escolhido para composição das dosagens para esta pesquisa foi a areia natural média, conhecida na região de Sete Lagoas/MG como areia lavada média.

Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2015), os agregados miúdos são grãos que passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,15 mm. A areia lavada é um agregado miúdo com granulometria definida pelo módulo de finura (0,15 mm < MF < 4,8 mm) muito utilizada na fabricação de concreto.

Para as dosagens desta pesquisa foi utilizada areia limpa, natural, retirada de leito de rio, conforme ilustrado na figura 2.



Figura 2 – Amostras do agregado miúdo (areia natural média) retidas nas peneiras durante o ensaio de granulometria.

Com a realização do ensaio de granulometria da areia, foi possível identificar seu módulo de finura, este classifica a areia em grossa, média ou fina, conforme previsto no quadro 3.

Quadro 3 - Classificação das areias quanto ao módulo de finura

<b>Tipos</b>	<b>Módulo de Finura (MF)</b>
Areia grossa	MF > 3,3
Areia média	2,4 ≤ MF ≤ 3,3
Areia fina	MF < 2,4

Fonte: (RIBEIRO, PINTO e STARLING, 2015) – Adaptado.

Os resultados dos ensaios de caracterização da areia são mostrados no quadro 4. Dentre os resultados da areia natural, ressalta-se o módulo de finura encontrado

de 2,70, a massa unitária de 1.43 g/cm<sup>3</sup>, a massa específica de 2,59 g/cm<sup>3</sup> e o teor de material pulverulento de 2,04%.

Quadro 4 - Caracterização do agregado miúdo: areia natural média

<b>Areia natural: Análise granulométrica do agregado miúdo – NBR NM 248 (ABNT, 2003).</b>		
Peneiras (mm)	% Retido	% Retido Acumulado
4,8	3,80	3,80
2,4	2,92	6,72
1,2	12,97	19,70
0,6	38,81	58,51
0,3	27,12	85,62
0,15	9,52	95,15
Fundo	4,85	100,00
Total	100,00	-
<b>Características da areia natural</b>		
Classificação	média	Norma da ABNT
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2591,00	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1430,00	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Teor de umidade (%)	5,82	NBR 6467 (ABNT, 2008)
Material pulverulento (%)	2,04	NBR NM 46 (ABNT, 2003)
Módulo de finura	2,70	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
D <sub>máx</sub> (mm)	4,80	NBR NM 248 (ABNT, 2003)

O gráfico que ilustra a composição granulométrica da areia utilizada, em função dos limites inferiores e superiores estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009) está apresentado na figura 3.

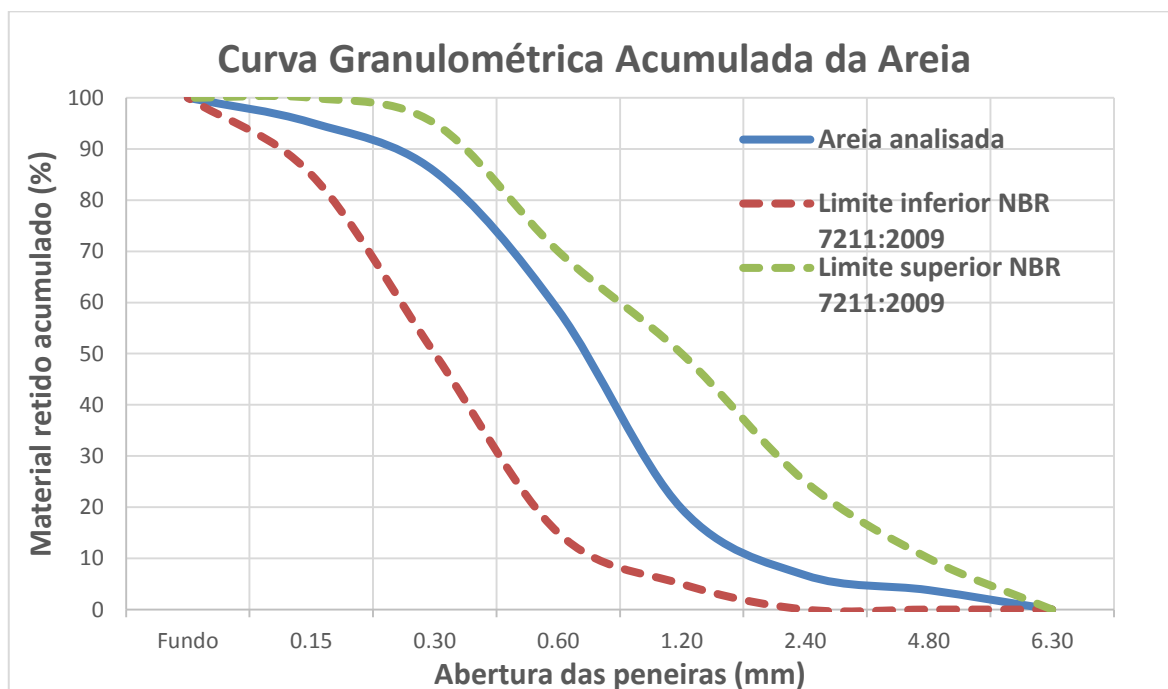


Figura 3 - Curva granulométrica da areia natural, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Para a realização do ensaio de massa unitária da areia, foi utilizada uma balança, uma estufa e um recipiente metálico e, para identificação da massa específica do agregado miúdo, foi utilizado 500 g de areia, balança, estufa e frasco de *Chapman*, conforme demonstrado na figura 4.

O ensaio para determinação da massa unitária da areia foi obtido pela relação entre a massa e o volume de areia, incluindo os vazios. Após secar a areia na estufa, anotou-se a massa do recipiente metálico, encheu-se o recipiente por meio de uma cunha, lançando o agregado de uma altura de 10 a 12 cm do topo do recipiente, em seguida, foi regularizada a superfície do recipiente com uma régua para retirada de excesso. Após pesar o recipiente com o agregado, em seguida obteve-se a massa do agregado solto fazendo a diferença entre a massa do recipiente cheio e a massa do recipiente vazio.

Para se obter a massa específica por meio do frasco de *Chapman*, utilizou-se 500 g de amostra da areia seca em estufa e encheu-se o frasco de *Chapman* com 200 cm<sup>3</sup> de água. Após adicionar a amostra de areia, observou-se que a água subiu até o gargalo, onde foi realizada a leitura do nível atingido pela água.



Figura 4 - Ensaio de massa unitária e massa específica do agregado miúdo.

Para a realização do ensaio para determinação do teor de material pulverulento da areia, foram utilizados 500 g de areia seca, uma balança, estufa, peneiras ABNT 1,2 e 0,075 mm e, um recipiente metálico, conforme ilustra a figura 5.

Para a determinação do teor de material pulverulento, colocou-se a amostra de areia no recipiente (bandeja) recobrimo com água. Após agitar a mistura com o auxílio de uma haste, despejou-se a água de lavagem em uma peneira ABNT 0,075 mm e recuperando o material retido, repetiu-se este procedimento até que a água de lavagem se mostrasse límpida. Por fim, os agregados foram levados a uma estufa para secagem, no qual se pode mensurar a massa final da amostra.



Figura 5 - Ensaio de determinação de material pulverulento do agregado miúdo.

### 3.2.2 Agregados graúdos

Para as dosagens desta pesquisa, optou-se por utilizar britas calcárias números “0” e “1” muito utilizadas em concreto convencionais por se tratar de agregados graúdos, que provém da desagregação das rochas em britadores e, após passar em peneiras selecionadoras, são classificadas de acordo com sua dimensão média, sendo classificado como “Brita 0” quando possui diâmetro mínimo de 4,8 mm e diâmetro máximo de 9,5 mm e como “Brita 1” quando possui diâmetro mínimo de 9,5 mm e diâmetro máximo de 19,0 mm.

#### Brita “0”

A figura 6 ilustra as amostras do agregado graúdo proveniente do ensaio granulométrico realizado para a determinação do diâmetro máximo característico da brita “0”, que apresentou  $D_{m\acute{a}x} = 9,5$  mm.



Figura 6 - Amostras do agregado graúdo (brita "0") utilizadas no ensaio de granulometria.

O quadro 5 apresenta os resultados obtidos dos ensaios de caracterização do agregado graúdo utilizado como brita "0", bem como destaca suas características e o percentual de amostra retida em cada uma das peneiras na avaliação granulométrica.

Quadro 5 - Caracterização do agregado graúdo: brita "0"		
<b>Brita "0": Análise granulométrica do agregado graúdo – NBR NM 248 (ABNT, 2003)</b>		
Peneiras (mm)	% Retido	% Retido Acumulado
12,5	0,00	0,00
9,5	3,70	3,70
6,3	25,22	28,92
4,8	23,79	52,71
Fundo	47,29	100,00
Total	100,00	-
<b>Características da brita "0"</b>		
Classificação	Zona utilizável	Norma da ABNT
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2673,80	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1443,71	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Teor de umidade (%)	1,27	NBR 6467 (ABNT, 2008)
Módulo de finura	0,90	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
D <sub>máx</sub> (mm)	9.50	NBR NM 248 (ABNT, 2003)

O gráfico que ilustra a composição granulométrica da brita "0" utilizada, em função dos limites inferiores e superiores estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009), mostrando o percentual de material retido acumulado em cada peneira, está apresentado na figura 7.

Os ensaios para as determinações da massa unitária e da massa específica da brita "0" e da brita "1" foram executados por procedimentos análogos aos realizados para a areia.



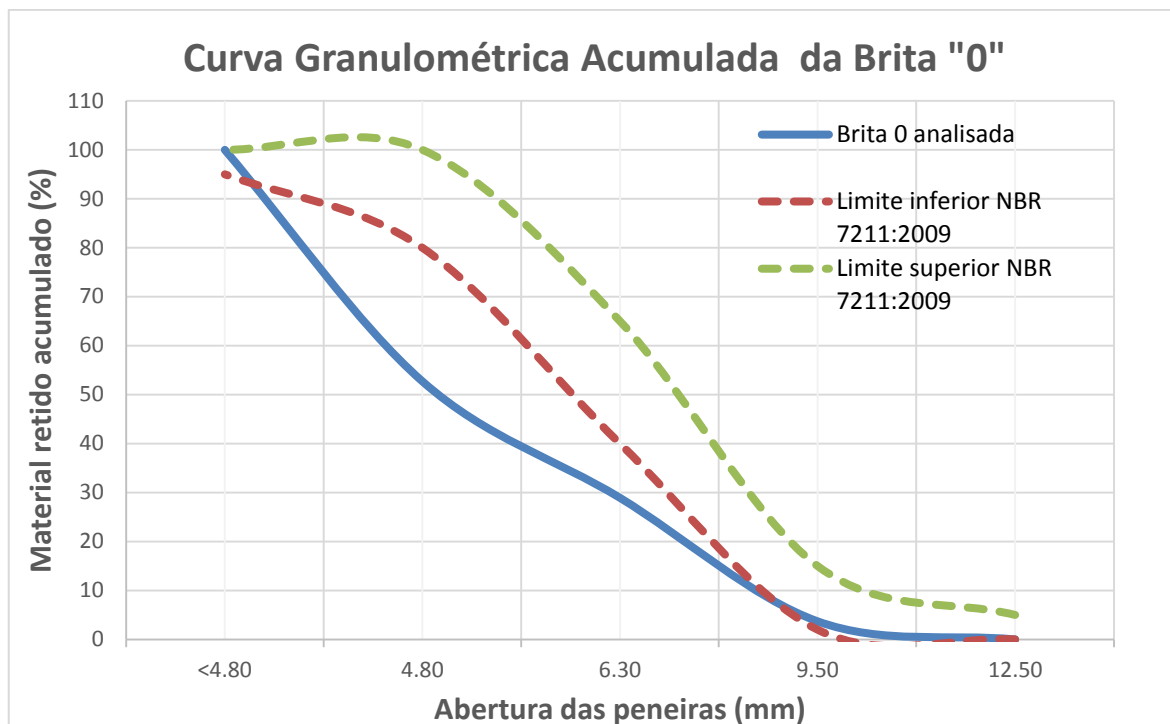


Figura 7 - Curva granulométrica da brita "0", segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Para a realização do ensaio de massa unitária da brita "0" foi utilizada uma balança, uma estufa e um recipiente metálico e para o ensaio para determinação da massa específica desta brita foi utilizado 500 g "0", balança, estufa e frasco de *Chapman*, conforme demonstrado na figura 8.



Figura 8 - Ensaios de massa unitária e massa específica do agregado graúdo (brita "0").

## Brita "1"

A figura 9 ilustra as amostras do agregado graúdo retido nas peneiras durante o ensaio de granulometria para a determinação do diâmetro máximo característico da brita "1", que apresentou  $D_{m\acute{a}x} = 19 \text{ mm}$ .



Figura 9 - Amostras do agregado graúdo (brita "1") retidas nas peneiras durante o ensaio de granulometria.

O quadro 6 apresenta os resultados obtidos dos ensaios de caracterização do agregado graúdo utilizado como brita "1".

Quadro 6 - Caracterização do agregado graúdo: brita "1"		
<b>Brita "1": Análise granulométrica do agregado graúdo – NBR NM 248 (ABNT, 2003)</b>		
Peneiras (mm)	% Retido	% Retido Acumulado
19,0	4.846	4.846
12,5	59.547	64.393
9,5	25.243	89.636
6,3	6.761	96.397
4,8	1.776	98.173
Fundo	1.827	100
Total	100,00	-
<b>Características da brita "1"</b>		
Classificação	Zona utilizável	Norma da ABNT
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2673,80	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1440,24	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Teor de umidade (%)	0,56	NBR 6467 (ABNT, 2008)
Módulo de finura	3,50	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
$D_{m\acute{a}x}$ (mm)	19,00	NBR NM 248 (ABNT, 2003)

A figura 10 representa o gráfico que ilustra a composição granulométrica da brita "1" utilizada na dosagem desta pesquisa.

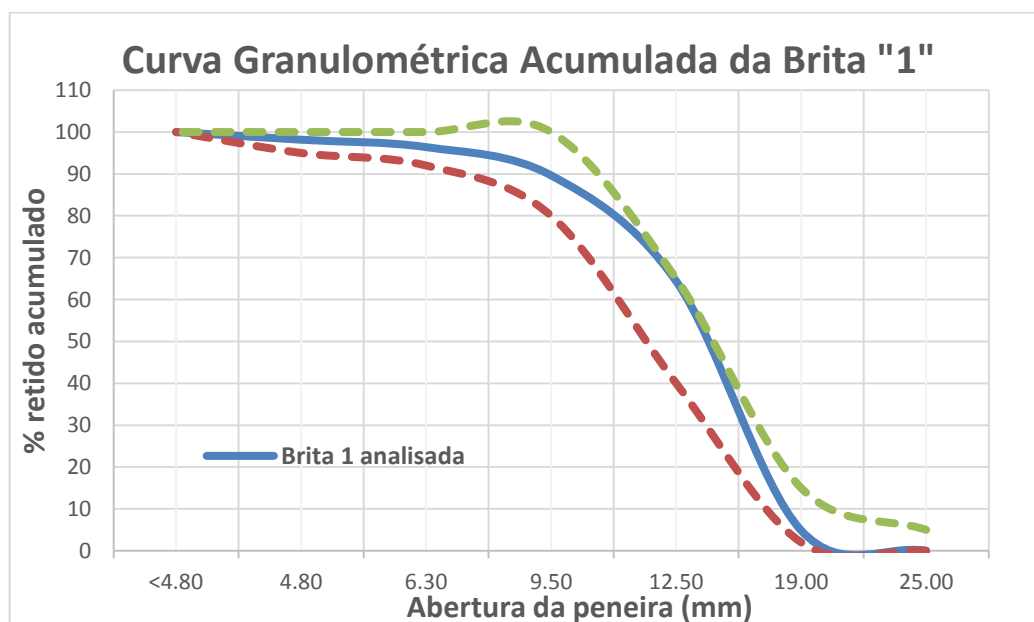


Figura 10 - Curva granulométrica da brita 1, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009).

### 3.2.3 Aditivo plastificante

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), aditivos são materiais adicionados ao concreto durante o processo de mistura em uma quantidade não superior a 5 %, sobre a massa do cimento contido no concreto, e servem para modificar as propriedades da mistura no estado fresco e/ou no estado endurecido.

Com a finalidade de se melhorar a plasticidade do concreto e por se tratar de mistura prolongada, em todos os traços foi utilizado o aditivo plastificante retardador SikaMent-815 no percentual de 0,5 % da massa do cimento utilizado. Optou-se por este produto por ser um aditivo da série dos aditivos mais utilizados pelas concreteiras no estado de Minas Gerais e que permitirá a execução dos ensaios no concreto fresco durante todo o período previsto nesta pesquisa.

De acordo com as especificações técnicas do fabricante (SIKA, 2016), o SikaMent-815 é um aditivo plastificante retardador com alto poder de redução de água e de aceleração de resistência. Ainda, segundo o fabricante, este aditivo

atende aos requisitos técnicos definidos pela ABNT NBR 11768:2011, tipo PR, na dosagem recomendada de 0,3% a 0,55% e tipo SP-I R, na dosagem de 0,6 a 1,0% sobre o peso dos aglomerantes (cimentos e adições se houver).

Este tipo de aditivo é recomendado para todos os tipos de concreto quando se pretende maior plasticidade ou redução de água de amassamento e possui inúmeras características e vantagens.

O manual do fabricante destaca que: melhora as resistências mecânicas e a uniformidade do concreto; reduz a perda de *slump*; não contém adições de cloretos; antecipa as resistências iniciais e, com 28 dias, reduz a retração do concreto; permite mais de 10% nas reduções da água de emassamento; permite a racionalização da produção nas usinas de concreto, possibilitando a fabricação de diversos tipos de concretos com apenas um aditivo e melhora o acabamento superficial.

O fabricante recomenda a não utilização do aditivo na mistura seca, pois o aditivo deve ser adicionado à água de amassamento ou diretamente ao concreto fresco, sendo que em temperatura entre 5°C e 35°C o produto não sofre alteração físico-química que possa afetar seu desempenho.

No quadro 7, são mostradas as principais características do aditivo SikaMent 815.

Dados do Produto	Características
Forma/aspecto	Líquido na cor marrom
Validade	12 meses
Temperatura de armazenamento	Entre 5°C e 35°C
Densidade	1,22 kg/L $\pm$ 0,02 kg/L
pH	5,0 $\pm$ 1,0
Composição básica	Sais sulfonados e carboidratos em meio aquoso

Nas dosagens desenvolvidas para esta pesquisa, após algumas avaliações prévias e por recomendação do fabricante, foi utilizado em todas as dosagens o percentual de 0,5% de aditivo SikaMent 815 da massa dos cimentos utilizados.

### 3.2.4 Cimento Portland

Nas dosagens foram utilizados quatro tipos de cimentos distintos: CP II E 32; CP III 40 RS; CP IV 32 RS e CP V ARI, as características de cada cimento utilizado foram extraídas do Catálogo de Produtos e Solução (LAFARGEHOLCIM, 2018), fornecido pela fabricante Lafarge Holcim, conforme será apresentado a seguir:

CP II E 32 – Cimento *Portland* composto com escória granulada de alto-forno

É o tipo de cimento mais encontrado no mercado por causa da sua versatilidade nas aplicações, podendo ser utilizado em todas as etapas da construção. Tem propriedade de combinar maiores resistências ao ataque de sulfatos com moderado calor de hidratação, permitindo melhor desempenho e acabamento.

Este tipo de cimento pode ser aplicado em concretos estruturais e convencionais para vários tipos de concretagem; em argamassas, em pisos industriais e em reservatórios e telhas de fibrocimento. Normalmente é comercializado em sacos de 50 kg e a granel, sendo produzido em conformidade com os parâmetros previstos na NBR 16697 (ABNT, 2018) – Cimento *Portland* - Requisitos.

CP III 40 RS – Cimento *Portland* de alto-forno resistente a sulfatos

É um tipo de cimento resistente a meios agressivos como sulfatos e reduz o risco de fissuras por ter um baixo calor de hidratação. Apresenta resistências finais elevadas, sendo indicado para uso em obras especiais. A escória adicionada a esse produto faz com que ele seja como um inibidor de reações álcalis agregado, evitando efeitos negativos de expansibilidade e deslocamento estruturais.

Este tipo de cimento pode ser aplicado em concretos para meios agressivos como obras de saneamento básico, fundações, pisos industriais, rurais e sanitários, túneis e galerias, estações de tratamento de água, obras marítimas e em indústrias químicas. Pode ser utilizado em argamassa para peças pré-moldadas, concreto massa para barragens e concreto compactado a rolo. Normalmente é

comercializado em sacos de 50 kg e a granel, sendo produzido em conformidade com os parâmetros previstos na norma NBR 16697 (ABNT, 2018).

#### CP IV 32 RS - Cimento *Portland* pozolânico resistente a sulfatos

Esse cimento pode ser utilizado em todas as obras sob a forma de argamassa, concreto simples, armado, protendido e pré-moldado. É indicado para exposição a ambientes agressivos e de grandes volumes de concreto devido às suas propriedades de tornar o concreto mais impermeável e gerar menor calor de hidratação.

Este tipo de cimento pode ser aplicado em concretos estruturais e convencionais para vários tipos de concretagem, além de argamassas e contrapisos, em obras de saneamento como estações de tratamento de água e esgoto e em fundações. Normalmente é comercializado em sacos de 50 kg e a granel, sendo produzido em conformidade com a norma NBR 16697 (ABNT, 2018).

#### CP V ARI – Cimento *Portland* de alta resistência inicial

É um tipo de cimento que garante uma série de vantagens na produção de pré-moldados de concreto e argamassas e em obras especiais: sua desforma é mais rápida - o que racionaliza o uso das formas e otimiza os custos. Este tipo de cimento protege a armadura e oferece maior plasticidade. Seu processo de produção é controlado para garantir ao consumidor alta qualidade e suas principais características técnicas são alta resistência inicial e final e regularidade nas propriedades físico-químicas.

Pode ser aplicado em obras pré-moldadas como: postes, lajes, vigas e pilares para obras de grande porte, em argamassas especiais, artefatos de concreto como blocos, lajotas e bloquetes, em obras de arte especiais, concretos estruturais e concreto para pisos especiais. Normalmente é comercializado em sacos de 40 kg, 50 kg e a granel, sendo produzido em conformidade com os parâmetros previstos na norma NBR 16697 (ABNT, 2018).

Cada tipo de cimento *Portland*, além de suas características físicas e químicas, possui composição específica e normatizada.

Os ensaios para caracterização de todos os cimentos utilizados nesta pesquisa foram realizados no laboratório do fabricante, e as características físicas dos cimentos utilizados estão apresentadas no quadro 8.

Quadro 8 - Características físicas dos cimentos utilizados

<b>ENSAIOS FÍSICOS DOS CIMENTOS</b>					
<b>TIPO / CLASSE DO CIMENTO</b>		<b>CP II E 32</b>	<b>CP III 40 RS</b>	<b>CP IV 32 RS</b>	<b>CP V ARI</b>
Período dos ensaios		06/02/18 a	06/02/18 a	06/02/18 a	06/02/18 a
Fábrica: Pedro Leopoldo/MG		02/03/18	02/03/18	02/03/18	02/03/18
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )		3000	3030	3000	3030
#325 (%)	Média	5,9	-	-	-
NBR 9202	Desv. Pad.	1,06	-	-	-
	Nº Amostras	8	-	-	-
# 400 (%)	Média	-	4,3	12,1	2,5
IT Holcim	Desv. Pad.	-	0,42	1,09	0,24
	Nº Amostras	-	8	8	8
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Média	3800	4292	5007	4747
NBR NM 16372	Desv. Pad.	58,8	52	112	62
	Nº Amostras	8	8	8	8
Início de pega (min)	Média	199	210	201	131
	Desv. Pad.	9	5	10	6
NBR 16606	Nº Amostras	8	8	8	8
Fim de pega (min)	Média	269	275	270	181
	Desv. Pad.	9	6	12	10
NBR 16606	Nº Amostras	8	8	8	8
R 1 dia (MPa)	Média	6,4	8,8	4,7	29,6
	Desv. Pad.	0,31	0,37	0,25	0,67
	Nº Amostras	8	8	8	8
R 3 dias (MPa)	Média	18,9	22,9	15,1	42,9
	Desv. Pad.	0,55	0,55	0,80	0,48
	Nº Amostras	7	7	7	7
R 7 dias (MPa)	Média	27,2	33	23,4	48,2
	Desv. Pad.	0,47	0,34	1,03	0,86
	Nº Amostras	6	6	6	6
R 28 dias (MPa)	Média	40,7	48,9	35	55,5
	Desv. Pad.	0,76	0,78	0,70	0,63
	Nº Amostras	8	8	8	8

Obs.: IT = Instrução de Trabalho e Resíduo na peneira #200≤6,0% (ABNT NBR 11579, 2013)

Fonte: Lafarge Holcim (2018) – adaptado.

Em conformidade com os certificados dos cimentos fornecidos pela fabricante, as características químicas dos cimentos utilizados estão apresentadas no quadro 9, divididas em cada classe.

Quadro 9: Características químicas dos cimentos utilizados

		ANÁLISE QUÍMICA			
TIPO / CLASSE DO CIMENTO		CP II E 32	CP III 40 RS	CP IV 32 RS	CP V ARI
Período dos ensaios		06/02/18 a	06/02/18 a	06/02/18 a	06/02/18 a
Fábrica: Pedro Leopoldo/MG		02/03/18	02/03/18	02/03/18	02/03/18
PF 1000°C	NBR NM 18	5,81	3,88	4,15	3,63
SiO <sub>2</sub>	NBR 14656	23,32	25,74	29,68	19,28
R.I.	NBR NM 15	1,68	1,15		0,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NBR 14656	6,77	7,96	8,59	4,83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NBR 14656	2,35	2,02	3,13	2,90
CaO	NBR 14656	57,69	53,88	48,01	64,63
MgO	NBR 14656	2,02	2,97	2,41	0,66
SO <sub>3</sub>	NBR 14656	1,68	2,48	1,56	2,90
CO <sub>2</sub>	NBR NM 20	4,99	2,94	2,97	2,93
K <sub>2</sub> O	NBR 14656	0,55	0,53	1,00	0,58
PF 500°C	IT Holcim	0,60	0,73	0,71	0,90
C <sub>3</sub> A (Teórico)	Eq. Bogue	4,64	4,46	3,83	7,45

Observações: IT = Instrução de Trabalho e Resíduo na peneira #200 ≤ 6,0% (NBR 11579)

Fonte: Lafarge Holcim (2018) - adaptado

### 3.2.5 Água

A água a ser utilizada na mistura é primordial para um bom processo de amassamento e primordial para garantir uma boa qualidade do concreto.

Como os ensaios no concreto fresco foram realizados na cidade de Sete Lagoas/MG, foi utilizada água potável proveniente da concessionária local (SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto). Segundo a concessionária, a água disponibilizada para o município se apresenta dentro dos limites normais de potabilidade atendendo às características de qualidade previstas na Portaria nº 36 de 19 de janeiro de 1990, emitida pelo Ministério da Saúde.

### 3.3 Dosagens do concreto e misturas utilizadas

Para as dosagens utilizadas neste trabalho, foram utilizadas as caracterizações dos agregados miúdos e graúdos quanto ao tamanho e a distribuição granulométrica dos grãos que compõem o concreto segundo a norma NBR 7211 (ABNT, 2009) - Agregados para concreto – Especificação, conforme foi apresentado anteriormente.



Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2015), dosagem é a determinação da mistura mais econômica de um concreto de maneira a utilizar os materiais disponíveis, com características capazes de atender às condições de serviço. Desta forma, uma dosagem experimental tem o objetivo de estabelecer o traço do concreto com a resistência e a trabalhabilidade definidas. As dosagens experimentais poderão ser feitas por qualquer método que estabeleça uma correlação entre esses parâmetros, desde que o tipo de dosagem esteja diretamente ligado à fixação da relação água/aglomerante, à resistência de dosagem, às características da obra e definição de uma trabalhabilidade compatível, tanto com os materiais quanto com a execução do concreto.

Na execução do programa experimental foi desenvolvida uma dosagem convencional de referência, para uma resistência de 25 MPa, no qual se variou o tipo de cimento e, em função da variação do tipo de cimento utilizado nas pesquisas, foram realizadas quatro dosagens distintas.

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), conhecendo os materiais, a dosagem de concreto de classe  $\geq$  C20 deve ser definida em dosagem racional e experimental, sendo que a dosagem deve ser refeita toda vez que forem previstas mudanças nas marcas, tipos ou classes dos cimentos ou na procedência e qualidade dos agregados utilizados.

Foram utilizados os cimentos do tipo CP II E 32; CP III 40 RS; CP IV 32 RS e CP V ARI fabricados pela Lafarge Holcim. Para se diferenciar os traços obtidos com estes diferentes tipos de cimento, foram utilizadas 4 (quatro) denominações para as dosagens, sendo referenciadas neste trabalho, respectivamente, como: C25-II (composta pelo cimento CP II E 32), C25-III (composta pelo cimento CP III 40 RS), C25-IV (composta pelo cimento CP IV 32 RS) e C25-V (composta pelo cimento CP V ARI).

Para compor o traço desejado foram utilizados os seguintes agregados: areia lavada média e britas de origem calcária dos tipos "0" e "1" na proporção de 50% cada.

Considerando as classes de agressividade ambiental apresentadas pela (ABNT NBR 6118, 2014), no quadro 10, nesta pesquisa os concretos analisados foram especificados pela classe de agressividade II, na qual o concreto deve atingir uma resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) mínima de 25,0 MPa

A agressividade do meio ambiente deve ser avaliada antes da definição da classe de concreto a ser utilizado. Esta agressividade depende das ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, sem levar em consideração outras ações como as mecânicas, as variações volumétricas de origem térmica e de retração hidráulica que envolvem os conceitos e parâmetros para cada tipo de estrutura de concreto NBR 6118 (ABNT, 2014).

Quadro 10 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana <sup>a,b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup> Industrial <sup>a,b</sup>	Grande
IV	Muito forte	Industrial <sup>a,c</sup> Respingos de maré	Elevado

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Tabela 6.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014, p.17).

A definição da relação água/cimento em massa  $\leq 0,60$  para concreto armado foi adotada em conformidade com a NBR 6118 (ABNT, 2014), em função da correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto, conforme mostrado no quadro 11.

Quadro 11 - Classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b,c</sup>	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto NBR 8953 (ABNT, 2015)	CA	≤ C20	≤ C25	≤ C30	≤ C40
	CP	≤ C25	≤ C30	≤ C35	≤ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na NBR 12655 (ABNT, 2015).  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: Tabela 7.1 da NBR 6118 (ABNT, 2018, p. 18) – adaptado.

### 3.3.1 Método utilizado para as dosagens do concreto

Neste trabalho, optou-se por realizar uma dosagem experimental, na qual se adotou o método da ABCP – Associação Brasileira de Cimento *Portland*.

Como ponto de partida, buscou-se por uma dosagem para concreto bombeável, comumente empregado por uma concreteira da região da grande Belo Horizonte. Foram realizadas quatro dosagens, variando apenas o peso específico de cada cimento utilizado.

A resistência de dosagem foi calculada pela expressão (1), em conformidade com as recomendações da NBR 12655, (ABNT, 2015) e, em função do desvio padrão, aos 28 dias. Os parâmetros utilizados nas dosagens para o cálculo da resistência de dosagem estão apresentados no quadro 13.

A resistência de dosagem foi calculada pela expressão:

$$f_{c,j} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (1)$$

Onde:

$f_{c,j}$  é a resistência de dosagem do concreto à compressão;

$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão, especificada no projeto;

$S_d$  é o desvio padrão da dosagem, que pode variar em três condições distintas (A, B e C), ambas em função do controle da obra.

A condição “A” é aplicável às classes C10 até C80, na qual o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados, podendo adotar o valor de  $S_d = 4,0$  MPa.

A condição “B” é aplicável às classes C10 até C25, na qual o cimento é medido em massa e a água de amassamento medida em massa ou volume com dispositivo dosador, sendo os agregados medidos em volume e o volume de agregados miúdos corrigido através da curva de inchamento estabelecida especificamente para o material utilizado, podendo adotar o valor de  $S_d = 5,5$  MPa.

A condição “C” é aplicável apenas aos concretos não estruturais de classe C10 e C15, na qual o cimento é medido em massa e os agregados são medidos em volume, podendo adotar o valor de  $S_d = 7,0$  MPa.

No desenvolvimento dos traços, para todas as dosagens foi considerado o valor calculado da resistência de dosagem ( $f_{c,i}$ ) como sendo 31,60 MPa.

### *3.3.2 Composição das dosagens pelo Método da ABCP*

Por se tratar de um concreto mais fluido para lançamento bombeável, em conformidade com as aplicações previstas pela NBR 8953 (ABNT, 2015), a classe de consistência definida para as dosagens foi a S160, retratada no quadro 12, com abatimento entre 160 mm e 220 mm.

Quadro 12 – Classes de consistência

Classe	Abatimento (mm)	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado.
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	$\geq 220$	Elementos esbeltos ou com alta densidade de armaduras

Fonte: Tabela 2 da NBR 8953 (ABNT, 2015, p. 3) – adaptado.

No quadro 13 estão apresentados os principais parâmetros para o cálculo da resistência de dosagem e para determinação dos traços que serão utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

Quadro 13: Parâmetros para o cálculo da resistência das dosagens

Parâmetros utilizados no cálculo do $f_{c,i}$	
Resistência característica ( $f_{ck}$ )	25 MPa
Condição de Controle	A
Desvio padrão ( $S_d$ )	4 MPa
Abatimento inicial (S160)	$190 \pm 20$ mm
Proporção de brita 0	50 %
Proporção de brita 1	50 %
Fator a/c	0,60
Teor máximo de ar incorporado	2%

### 3.3.3 Determinação do consumo de materiais

Iniciou-se o processo de dosagem pela determinação da quantidade de água ( $C_a$ ), necessária para fornecer ao concreto fresco a consistência em função do diâmetro máximo característico ( $D_{m\acute{a}x}$ ) do agregado graúdo.

Consumo de água ( $C_a$ )

Considerando um abatimento do tronco de cone na faixa de  $190 \pm 20$  mm, para uma dimensão máxima característica do agregado graúdo ( $D_{m\acute{a}x}$ ) = 19 mm, foram consideradas as informações previstas no quadro 14, no qual se pode determinar um consumo de água aproximado de 225 litros para cada metro cúbico de concreto ( $C_a = 225$  l/m<sup>3</sup>).

Quadro 14 – Consumo de água aproximado (l/m<sup>3</sup>)

Consumo de água aproximado (l/m <sup>3</sup> )					
Abatimento (mm)	Dimensão Máxima Característica do agregado graúdo (mm)				
40 a 60	9,5	19	25	32	38
60 a 80	220	195	190	185	180
80 a 100	225	200	195	190	185
100 a 120	230	205	200	195	190
120 a 140	235	210	205	200	195
140 a 160	240	215	210	205	200
160 a 180	245	220	215	210	205
180 a 200	250	225	220	215	210

Fonte: Ribeiro *et al.* (2015) – adaptado

### Consumo de cimento (C<sub>c</sub>)

A determinação do consumo de cimento (C<sub>c</sub>) foi realizada em função da quantidade de água e da relação água/cimento adotada para as dosagens, representada pela expressão (2), onde:

C<sub>c</sub> é o consumo de cimento, (kg/m<sup>3</sup>);

C<sub>a</sub> é o consumo de água, (l/m<sup>3</sup>);

a/c é o fator água cimento definido para a dosagem.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (2)$$

Considerando C<sub>a</sub> 225 l/m<sup>3</sup> e o fator a/c = 0,60, pode-se encontrar o valor de consumo de cimento em 375 kg para cada metro cúbico de concreto (C<sub>c</sub> =375 kg/m<sup>3</sup>).

### Consumo de agregado graúdo (C<sub>b</sub>)

A determinação do consumo de agregado graúdo (C<sub>b</sub>) foi realizada em função do diâmetro máximo característico das britas e do módulo de finura da areia, no qual se pode obter, pelas informações do quadro 15, o volume compacto seco do agregado graúdo (brita “1”) por metro cúbico de concreto (V<sub>b</sub> = 0,680 m<sup>3</sup>) e para o agregado graúdo (brita “0”) o volume compacto seco por metro cúbico de concreto será (V<sub>b</sub> = 0,555 m<sup>3</sup>).

Quadro 15 – Volume compacto seco ( $V_b$ ) do agregado graúdo por  $m^3$  de concreto

Módulo de finura do agregado miúdo	Dimensão Máxima Característica do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,6	0,665	0,790	0,815	0,840	0,865
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,7	0,555	0,680	0,705	0,730	0,755
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665
3,8	0,445	0,570	0,595	0,620	0,645

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2015) – adaptado.

O consumo de agregado graúdo ( $C_b$ ) pode ser obtido pela expressão (3):

$$C_b = M_{comp} \cdot V_c \quad (3)$$

Onde:

$C_b$  é o consumo de agregado graúdo, ( $kg/m^3$ );

$M_{comp}$  é a massa unitária compactada da brita, ( $kg/m^3$ );

$V_c$  é volume compactado do agregado graúdo ( $m^3$ ).

Para um volume compacto seco do agregado graúdo (brita “1”) por metro cúbico de concreto ( $V_b$ ) de  $0,680 m^3$  e massa unitária compactada ( $M_{comp}$ ) de  $1440,24 kg/m^3$  pode-se obter o consumo de agregado graúdo, em função do  $D_{máx}$  de  $979,36 kg/m^3$ .

Considerando que serão utilizados dois tipos de agregados graúdos (britas “0” e “1”), na proporção de 50% para cada tipo de agregado graúdo, na dosagem será utilizada  $489,68 kg/m^3$  para cada tipo de brita.

Consumo de agregado miúdo ( $C_{areia}$ )

Para se determinar o consumo de agregado miúdo, inicialmente é preciso determinar seu volume ( $V_a$ ), este será obtido em relação aos pesos específicos dos agregados graúdos e do cimento utilizado.

Por se tratar de quatro dosagens distintas, nas quais se varia o tipo de cimento, o consumo de areia poderá ser diferente para algumas das dosagens.

O volume de areia ( $V_a$ ) pode ser encontrado pela expressão 4:

$$V_a = 1 - \left( \frac{C_c}{\delta_{cimento}} + \frac{C_{b1}}{\delta_{brita1}} + \frac{C_{b0}}{\delta_{brita0}} + \frac{C_a}{\delta_{\acute{a}gua}} \right) \quad (4)$$

Onde:

$V_a$  é o consumo de agregado miúdo, ( $dm^3$ );

$C_c$  é o consumo de cimento, (kg);

$C_{b1}$  é o consumo de brita “1”, (kg)

$C_{b0}$  é o consumo de brita “0”, (kg);

$\delta_{cimento}$  é a massa específica do cimento, ( $kg/m^3$ );

$\delta_{brita 1}$  é a massa específica da brita “1”, ( $kg/m^3$ );

$\delta_{brita 0}$  é a massa específica da brita “0”, ( $kg/m^3$ );

$\delta_{\acute{a}gua}$  é a massa específica da água, ( $kg/m^3$ ).

Desta forma, ao se utilizar os cimentos do tipo CP II E 32 e CP IV 32 RS, que possuem massa específica de  $3000 \text{ kg/m}^3$ , encontra-se o seguinte consumo de areia:

$$V_a = 1 - \left( \frac{375}{3000} + \frac{489,68}{2673,80} + \frac{489,68}{2673,80} + \frac{225}{1000} \right)$$

$$V_a = 1 - (0,1250 + 0,1831 + 0,1831 + 0,2250)$$

$$V_a = 0,2837 \text{ m}^3$$

Conhecido o volume de área ( $V_a$ ) e a massa específica da areia ( $\delta_{areia}$ ), pode-se obter o consumo de areia ( $C_{areia}$ ) pela expressão 5:

$$C_{areia} = V_a \times \delta_{areia} \quad (5)$$

$$C_{areia} = 0,2837 \times 2591,00$$

$$C_{areia} = 735,07 \text{ Kg}$$



### 3.3.4 Apresentação do traço

Os agregados graúdos e miúdos utilizados na dosagem foram secos ao ar livre, desta forma, não foi considerado nenhum teor de umidade para estes agregados, dispensando, assim, a correção da umidade. Pode-se determinar o traço unitário ( $T_m$ ), em massa, pela expressão 6:

$$T_m = \frac{C_c}{C_c} : \frac{C_{areia}}{C_c} : \frac{C_{britao}}{C_c} : \frac{C_{brita1}}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (6)$$

$$T_m = \frac{375,00}{375,00} : \frac{735,07}{375,00} : \frac{489,68}{375,00} : \frac{489,68}{375,00} : \frac{225}{375,00}$$

Considerando o consumo de materiais, em massa, para um metro cúbico de concreto, obteve-se o seguinte traço unitário para os cimentos CP II E 32 e CP IV 32 RS:

$$T_m = 1 : 1,96 : 1,31 : 1,31 : 0,60 \quad (\text{Traço unitário em massa}).$$

Nas mesmas condições, utilizando-se os mesmos agregados, alterando o tipo de cimento, ao se utilizar os cimentos CP III 40 RS e CP V ARI, com massa específica 3030 kg/m<sup>3</sup>, encontra-se o consumo de areia ( $C_{areia}$ ) de 738,53, valor este insignificante para a dosagem. Portanto, adotou-se o mesmo traço unitário para todos os cimentos utilizados.

O quadro 16 apresenta as proporções, em massa, do traço desenvolvido e utilizado e as características das dosagens para cada tipo de cimento. Este traço foi fabricado com o objetivo de certificar a dosagem, de testar a metodologia de produção do concreto, bem como de realização dos ensaios, verificando inclusive o atendimento da resistência característica à compressão especificada aos 28 dias. Com esta dosagem, o valor da resistência característica obtido foi plenamente satisfatório, conforme será mostrado posteriormente nos resultados.

Quadro 16 - Características do traço utilizado nos ensaios

Denominação do Traço	C25-II	C25-III	C25-IV	C25-V
Tipo de cimento	CP II E 32	CP III 40 RS	CP IV 32 RS	CP V ARI
Fator a/c	0,60	0,60	0,60	0,60
Aditivo (%)	0,5	0,5	0,5	0,5
Consumo de cimento/m <sup>3</sup>	375 kg	375 kg	375 kg	375 kg
Teor de argamassa (%)	57,61			
Proporção do traço em massa	1 : 1,96 : 1,31 : 1,31 : 0,60			

### 3.3.5 Consumo de materiais para moldagem de corpo de prova cilíndrico

Definido o traço unitário em massa, pela expressão 7, foi possível determinar a quantidade de materiais necessários para a moldagem de um corpo de prova cilíndrico de concreto, com dimensões de 10x20 cm, com volume de 1,57 dm<sup>3</sup>, quando se utilizam os cimentos CP II E 32 e CP IV 32 RS, com massa específica de 3,0 g/dm<sup>3</sup>.

$$C = \frac{V_{cp}}{\frac{T_{m,cimento}}{\delta_{cimento}} + \frac{T_{m,areia}}{\delta_{areia}} + \frac{T_{m,brita 1}}{\delta_{brita 1}} + \frac{T_{m,brita 0}}{\delta_{brita 0}} + \frac{T_{m,\acute{a}gua}}{\delta_{\acute{a}gua}}} \quad (7)$$

$$C = \frac{1,57 dm^3}{\frac{1 kg}{3,0 kg/dm^3} + \frac{1,96 kg}{2,591 kg/dm^3} + \frac{1,31 kg/dm^3}{2,6738 kg/dm^3} + \frac{1,31 kg/dm^3}{2,6738 kg/dm^3} + \frac{0,60 l}{1 kg/dm^3}} = 0,6091$$

Então, o quadro 17 mostra o consumo de materiais necessários para se moldar um corpo de prova de 1,57 dm<sup>3</sup> de concreto:

Quadro 17 – Quantidade de material para dosagem (C25-II e C25-IV)

Material	C	T <sub>m,material</sub> (kg)	Quantidade de material para moldar um corpo de prova cilíndrico 10x20 cm (kg)
Cimento	0,6091	1,00	0,6091
Areia	0,6091	1,96	1,1938
Brita 0	0,6091	1,31	0,7979
Brita 1	0,6091	1,31	0,7979
Água	0,6091	0,60	0,3655
Aditivo	0,6091	0,005	0,0030
Total de material (kg)			3,7672

Nas mesmas condições acima, considerando que a massa específica dos cimentos CP III 40 RS e CP V ARI é de 3,03 g/dm<sup>3</sup>, o quadro 18 apresenta a quantidade de material para moldar um corpo de prova cilíndrico 10x20 cm quando se utilizam estes dois tipos de cimento.

Quadro 18 - Quantidade de material para dosagem (CP III 40 RS e CP V ARI)

<b>Material</b>	<b>C</b>	<b>T<sub>m,material</sub> (kg)</b>	<b>Quantidade de material para moldar um corpo de prova cilíndrico 10x20 cm (kg)</b>
Cimento	0,5888	1,00	0,5888
Areia	0,5888	1,96	1,1525
Brita 0	0,5888	1,31	0,7703
Brita 1	0,5888	1,31	0,7703
Água	0,5888	0,60	0,3528
Aditivo	0,5888	0,005	0,0029
Total de material (kg)			3,6368

Como já visto na revisão de literatura, segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto é classificado como normal quando sua massa específica encontra-se na ordem de 2,4 kg/dm<sup>3</sup>. Desta forma, a massa total de material prevista nesta dosagem se mostrou coerente com o praticado em trabalhos com concreto normal, pois a massa de concreto requerida para moldar um corpo de prova cilíndrico de 1,57 dm<sup>3</sup> para um concreto normal, produz uma massa total de 3,768 kg, massa muito próxima do valor encontrado na dosagem determinada de 3,637 kg.

### 3.3.6 Consumo de material para cada concretagem

Considerando que o concreto foi produzindo em uma betoneira com capacidade de 120 litros, para a realização da pesquisa, o consumo de material previsto para cada ciclo de concretagem está apresentado no quadro 19.

Quadro 19 – Consumo de material para concretagem (em kg)

<b>Material (kg)</b>	<b>Dosagens</b>			
	<b>CP25-II</b>	<b>CP25-III</b>	<b>CP25-IV</b>	<b>CP25-V</b>
Cimento	25,58	24,70	25,58	24,70
Areia	50,14	48,40	50,14	48,40
Brita 1	33,51	32,35	33,51	32,35
Brita 0	33,51	32,35	33,51	32,35
Água	15,35	14,82	15,35	14,82
Aditivo	0,128	0,124	0,128	0,124

### 3.4 Ensaios de início e fim de pega do cimento

Segundo a NBR 16607 (ABNT, 2017), em condições normalizadas de ensaio, o início e final do tempo de pega do cimento são definidos, respectivamente, como

sendo: o período de tempo transcorrido desde o momento em que o cimento entra em contato com a água até o momento em que a agulha de Vicat penetra na pasta e estaciona a  $(6 \pm 2)$  mm da placa base e o período de tempo transcorrido desde o momento em que o cimento entra em contato com a água até o momento em que a agulha de Vicat penetra 0,5 mm na pasta.

O ensaio para avaliação do início e fim de pega dos cimentos, que foram utilizados nesta pesquisa, teve como objetivo confirmar as informações prestadas pelo fabricante dos cimentos e os procedimentos foram executados conforme previsto na norma NBR 16607 (ABNT, 2017), sendo preparada uma pasta de cimento de consistência normal, conforme preconiza a NBR 16606 (ABNT, 2017).

Para a realização deste ensaio foram utilizados 500 g de cimento e os seguintes equipamentos:

- argamassadeira (figura 11);
- aparelho de Vicat semiautomático (figura 12);
- agulha de Vicat para início e fim de pega;
- balança de Precisão de 0,01 g e espátulas metálicas e de borracha;
- régua metálica e copo *Becker*;
- molde tronco cônico e placa de vidro ou metal;
- relógio / cronômetro;

Os ensaios foram realizados em laboratório com a temperatura ambiente de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de 87%. Utilizou-se o aparelho de Vicat semiautomático da marca Contenco (figura 12). Este equipamento possibilitou maior facilidade e precisão na determinação da pasta de consistência e nos tempos de início e fim de pega nas amostras dos cimentos utilizados. Durante a realização dos ensaios,

foi necessário a utilização da sonda de Tetmajer e as agulhas de Vicat para início e fim de pega. O aparelho é dotado de sistema eletrônico que libera a haste móvel do conjunto de penetração e possui um *display* que registra e armazenam os valores de tempos e penetração. Este tipo de equipamento foi desenvolvido para determinação da pasta de consistência normal do cimento *Portland* conforme a norma NBR 16606 (ABNT, 2017), e tempos de início e fim de pega do cimento Portland conforme a norma NBR 16607 (ABNT, 2017).



Figura 11 - Argamassadeira  
Fonte: Contenco (2018)



Figura 12 - Aparelho de Vicat semiautomático  
Fonte: Contenco (2018)

Conforme destacado na imagem ilustrativa da figura 12, os itens básicos do aparelho de Vicat semiautomático são:

- 1 – Haste móvel;
- 2 – Painel de controle;
- 3 – Base;
- 4 – Entrada para cabo elétrico.

#### 3.4.1 Execução do ensaio de tempo de início e fim de pega

Com o objetivo de se conhecer o início e fim de pega de cada cimento nos ciclos de mistura, bem como para se comparar os resultados com as informações

fornecidas pelo fabricante dos cimentos, realizou-se os ensaios de início e fim de pega dos cimentos.

#### Ensaio de consistência normal

Para execução do ensaio, iniciou-se pela preparação da pasta de cimento, na qual foi utilizado 500 g de cada cimento, conforme mostrado na figura 13a.

Foi utilizada uma argamassadeira (figura 13b), na qual verteu-se a água em uma cuba com 500 g de cimento, a mistura ficou em repouso por 30 segundos.

Em seguida ligou-se o misturador em baixa rotação deixando girar por 30 segundos. Após desligar o misturador, raspam-se as paredes da cuba com a espátula e iniciou-se a mistura novamente por mais 60 segundos à velocidade rápida.

Com a pasta pronta, colocou-se o molde sobre a placa base enchendo rapidamente, sendo rapados os excessos com uma espátula metálica e nivelada a pasta no molde com uma régua metálica.

Concluída a moldagem da amostra, levou-se a forma troncocônica para a base do aparelho de Vicat para avaliar a pasta de consistência e posteriormente iniciar o ensaio de pega (figura 13c).

Após algumas tentativas, utilizando os procedimentos previstos na NBR 16606 (ABNT, 2017) pôde-se registrar no quadro 20, o percentual de água de amassamento para cada tipo de cimento.



Figura 13 - Ensaio de consistência normal da pasta de cimento

Para o ensaio de consistência normal realizado no aparelho Vicat semiautomático, colocou-se na ponta inferior da haste móvel a sonda de Tetmajer e na ponta superior a agulha de Vicat para início de pega. Após ligar o aparelho, acionou-se o botão de *reset* por duas vezes para zerar os valores de tempo e memória do equipamento, colocou-se a placa base no equipamento apoiando a sonda de Tetmajer, registrando a altura da sonda. A contagem do tempo foi iniciada na primeira adição de água da pasta.

Após colocar o conjunto placa base/molde com a amostra, encostou-se a sonda até tocar a superfície da pasta e mediu-se a penetração que ficou registrada no *display* após 30 segundos da penetração, repetiu-se estes procedimentos até atingir uma penetração de  $(6 \pm 1)$ mm após 30 segundos do instante em que foi solta a sonda, os resultados para cada tipo de cimento foram apresentados no quadro 20.

Quadro 20 - Percentual de água utilizada na pasta de consistência normal				
Cimentos avaliados				
Tipo	CP II E 32	CP III 40 RS	CP IV32 RS	CP V ARI
Água de consistência (%)	27	30	35	33
Quantidade de cimento (g)	500	500	500	500
Penetração (mm)	5	6	7	6

#### Ensaio de início de pega

Após a preparação da pasta de consistência normal, colocou-se a ponta inferior da haste móvel a agulha de Vicat para determinação do início de pega e na planta superior colocou-se a sonda de Tetmajer.

Com o aparelho ligado, acionou-se o botão *reset* duas vezes para zerar os valores de tempo e memória registrados no equipamento. Com a amostra sobre a placa base do equipamento, apoiou-se a agulha de Vicat para início de pega na base para zerar o valor de penetração.

O tempo de início do ensaio foi registrado no momento em que foi adicionada a primeira água na pasta de consistência.

Em seguida, levantou-se manualmente a haste móvel do equipamento para se colocar o conjunto placa base/molde com a amostra sob a agulha. Desceu-se, então, a haste até que o extremo da agulha tocasse a superfície da pasta, sendo acionado o botão de início de pega. Por se tratar de um aparelho semiautomático, após dois segundos em que foi solta a haste, esta foi liberada e iniciou-se a penetração da agulha na pasta. Após trinta segundos, o processo se encerra e registra no *display* o número da leitura, o tempo decorrido desde o início da mistura e o valor em (mm) correspondente à penetração obtida após 30 segundos. Estes procedimentos foram repetidos, a cada cinco minutos, até se observar a penetração de  $(6 \pm 2)$  mm. Os resultados encontrados estão apresentados no quadro 21.

#### Ensaio de fim de pega

Para aferição do fim de pega de cada pasta preparada, colou-se na ponta inferior da haste móvel do aparelho a agulha de Vicat para determinação do fim de pega, mantendo na ponta superior a sonda de Tetmajer.

Colou-se a placa base e inverteu-se o molde cheio. Em seguida, apoiou-se a agulha na base superior do molde para tarar o equipamento e zerar o valor de penetração. Posteriormente, levantou-se manualmente a haste móvel do equipamento para colocar o conjunto placa base/molde com a amostra sob a agulha, desceu-se a haste até que o extremo da agulha encostasse na superfície da pasta e foi acionado o botão de início de pega. Após dois segundos, a haste foi liberada e a agulha iniciou a penetração na pasta de cimento, sendo que após este tempo o processo foi encerrado e registrado no *display* o tempo de fim de



pega. Este processo foi repetido várias vezes até que a agulha penetrasse apenas 0,5 mm e fosse registrado o final de pega.

Como já se conhecia o tempo de início de pega dos cimentos fornecidos pelo fabricante, após duas horas do início do ensaio, a cada 5 minutos, avaliava-se o início de pega, sendo seu valor obtido em uma única determinação e o resultado do tempo de fim de pega foi avaliado a cada 15 minutos após a identificação do início de pega. Os resultados dos tempos de início e fim de pega foram expressos em horas e minutos e são apresentados no quadro 21 acompanhados das referências normativas que os resultados devem atender para os cimentos ensaiados.

Para tentar avaliar o tempo de retardo de pega, os ensaios foram repetidos com os mesmos tipos de cimentos, porém com adição de 5% de aditivo plastificante que foi utilizado nas dosagens. No entanto, para o percentual de aditivo de utilizado, não houve retardos de pega significantes que pudessem influenciar os resultados dos ensaios realizados.

Os ensaios de início e fim de pega dos cimentos utilizados foram realizados no laboratório da Faculdade Promove de Sete Lagoas/MG.

**Quadro 21 - Tempos de início e fim de pega para cada tipo de cimento**

<b>Tipo de cimento</b>	<b>Referências observadas</b>	<b>Início de pega (minutos)</b>	<b>Fim de pega (minutos)</b>
CP II E 32	Norma da ABNT	≥ 60	≤ 600
	Fabricante	199	269
	Resultado obtido	175	245
CP III 40 RS	Norma da ABNT	≥ 60	≤ 720
	Fabricante	210	275
	Resultado obtido	200	265
CP IV32 RS	Norma da ABNT	≥ 60	≤ 720
	Fabricante	201	270
	Resultado obtido	210	290
CP V ARI	Norma da ABNT	≥ 60	≤ 600
	Fabricante	131	181
	Resultado obtido	133	184

Fonte: (ABNT NBR 16697, 2018) – Adaptado.

### 3.5 Ciclos de mistura

Utilizando o mesmo procedimento realizado na pesquisa de Polesello (2012), o concreto foi misturado na betoneira durante 5 (cinco) minutos e, após a realização dos ensaios do concreto de referência, iniciou-se um ciclo de 5 minutos de agitação e 15 minutos de descanso até o tempo de 8 horas. Adotou-se este ciclo de agitação/descanso devido à dificuldade de se encontrar betoneira que possua baixa rotação que possibilite comparar com a rotação utilizada em caminhão betoneira.

O tempo de repetição de ensaio de abatimento, de teor de ar incorporado, aferição de temperatura do concreto, aferição da massa específica do concreto fresco e moldagem de corpos de prova ocorreram de hora em hora, sendo iniciada sua contagem após o início da mistura (na adição da primeira água de amassamento), ou seja, nos tempos: 1h (T1); 2h (T2); 3h (T3); 4h (T4); 5h (T5); 6h (T6); 7h (T7) e 8h (T8).

### 3.6 Ensaios de abatimento e avaliação da plasticidade do concreto

Para avaliar a qualidade do concreto fresco e a plasticidade durante os ciclos de ensaios, foram realizadas inspeções visuais e realizados os ensaios de abatimento do tronco de cone (*slump test*), conforme previsto na NBR NM 67 (ABNT, 1998). Estes procedimentos foram repetidos a cada hora após o início da mistura.

O ensaio de abatimento é muito utilizado devido à sua facilidade e simplicidade de execução, sendo possível definir o grau de utilização e consistência do concreto para trabalhabilidade em seu estado fresco de forma imediata.

Segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998), este método não é aplicável a concreto que possua agregado graúdo com dimensão nominal superior a 37,5 mm, sendo sua utilização aceitável em concretos plásticos e coesivos.

Para a realização deste ensaio, foi utilizado o conjunto “*slump test*” completo, composto por tronco cônico, de diâmetros de 20 e 10 cm e altura 30 cm; funil, haste metálica de 16 mm de diâmetro, concha e base para abatimento, conforme mostrado nas figuras 13 e 14.

Neste ensaio, a massa de concreto foi colocada em três camadas de igual volume, cada uma adensada com 25 golpes com uma haste padrão. Em seguida, nivelou-se o concreto e retirou-se o tronco cônico lentamente na vertical e por fim mediu-se o abatimento.

Na primeira avaliação, no tempo T1, pretendia-se obter um abatimento de  $190 \pm 20$  mm por se tratar de uma dosagem para uma consistência alta e muito utilizada para bombeamento, o que facilitaria, ainda, a trabalhabilidade do concreto durante a mistura prolongada de até 8 horas.

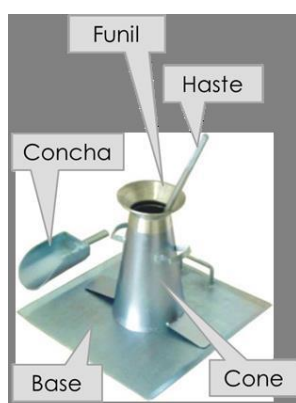


Figura 14 - Kit *slump test*  
Fonte: Protefix (2017)

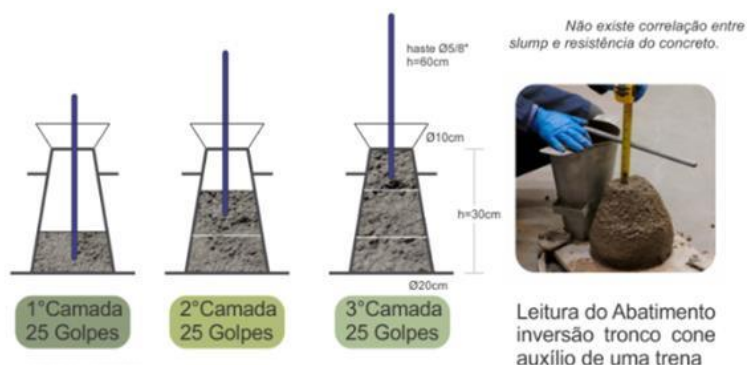


Figura 15 - Procedimentos para o ensaio de abatimento  
Fonte: Mediterrânea (2017)

O ensaio foi realizado a cada hora de mistura para todos os ciclos de mistura para as quatro dosagens pesquisadas: CP25-II, CP25-III, CP25-IV e CP25-V, no qual se buscou conhecer a perda de abatimento e de plasticidade no decorrer do tempo de mistura, conforme mostrado na figura 16.



Figura 16 - Perda de abatimento durante o tempo de mistura da dosagem CP25-II

### 3.7 Monitoramentos da temperatura do concreto

É importante conhecer a temperatura do concreto durante a realização dos ensaios. Considerando que a mistura será prolongada por 8 horas e que poderá ocorrer alterações na temperatura do concreto durante a mistura, utilizou-se de um termômetro para monitorar a possível alteração de temperatura no interior do concreto devido às reações químicas exotérmicas conhecidas como calor de hidratação.

A mistura foi realizada em laboratório à temperatura ambiente, a cada hora de mistura durante os ciclos de ensaios foram registradas as temperaturas no interior do concreto conforme mostrado na figura 17, este processo se repetiu durante toda a mistura para os quatro tipos de dosagens avaliadas.



Figura 17 - Monitoramento da temperatura do concreto fresco durante a mistura

### 3.8 Avaliações da massa específica do concreto fresco durante a mistura

A massa específica da unidade de volume do concreto fresco adensado inclui o volume de ar aprisionado e incorporado, sendo que o ar incorporado é o somatório do ar que não foi eliminado durante o adensamento do concreto e os introduzidos por aditivos (ABNT NBR 9833, 2009).

Os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios foram formados por balança de precisão, haste metálica lisa de 16 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento, régua metálica, martelo de borracha e recipiente de medida de forma cilíndrica de volume de 9,42 litros.

#### 3.8.1 Execução do ensaio de massa específica do concreto fresco

Para o ensaio, o concreto foi colocado no recipiente, em três camadas de 10 cm, sendo adensados manualmente com 25 golpes distribuídos com a haste metálica por camada, sem atingir a camada imediatamente inferior, sendo realizado o rasamento e a limpeza de toda superfície do recipiente após a compactação da última camada, conforme mostrado na figura 18. Em seguida, o recipiente foi colocado na balança para aferição da massa total (kg). Conhecido o volume ( $\text{dm}^3$ ) e a massa (kg) do recipiente, pode-se calcular a massa específica das amostras.



Figura 18 - Preparação da amostra para ensaio de massa específica do concreto fresco

Este procedimento foi repetido para todos os ciclos de concretagem das quatro dosagens avaliadas.

### **3.9 Ensaios de teor de ar incorporado no concreto**

A NBR NM 47 (ABNT, 2002) define o teor de ar como sendo “volume de ar aprisionado ou incorporado ao concreto, expresso em porcentagem do volume total de concreto fresco adensado”.

O ensaio foi realizado de acordo com as diretrizes da norma NBR NM 47 (ABNT, 2002) – Determinação do teor de ar em concreto fresco: Método pressométrico.

Para a realização deste ensaio, foram utilizados os seguintes equipamentos: Medidor de teor de ar incorporado ao concreto fresco, composto recipiente de medida cilíndrico de capacidade de 9,42 dm<sup>3</sup>, bomba de ar, válvulas, manômetro e acessórios, este é um medidor tipo “B”, normatizado pela NBR NM 47 (ABNT, 2002), haste metálica lisa de 16 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento, régua, desempenadeira, martelo de borracha, concha e pano.

#### *3.9.1 Execução do ensaio de teor de ar incorporado ao concreto*

Devido ao processo de adensamento ser manual, o recipiente foi preenchido com concreto em três camadas. Foram aplicados, uniformemente distribuídos, 44 golpes em cada camada, batendo com um martelo de borracha levemente na área externa do recipiente para evitar a presença de vazios (de 10 a 15 vezes). Após o adensamento da última camada, foi nivelado concreto com uma régua (rasamento). Em seguida, limpou-se e umedeceu-se a tampa, fechando o molde com movimentos curtos e firmes. Os dois registros do equipamento foram abertos, sendo introduzida água em um deles com auxílio de uma seringa para que o ar existente entre a tampa e a superfície do concreto fosse eliminado, inclinou-se levemente o aparelho de um lado para outro visando garantir a saída do ar aprisionado sob a tampa. Fechados os registros e a válvula de alívio de

pressão, aplicou-se 0,1 MPa de pressão inicial, sempre verificando o aparelho para que não houvesse vazamento de ar pelo outro registro aberto. Em seguida, fechou-se este registro e abriu-se a válvula de transmissão de pressão para fazer a leitura do ar incorporado.

Os ensaios foram repetidos pelo menos duas vezes a cada hora de mistura para todos as dosagens avaliadas, sendo os resultados médios encontrados, em porcentagens, anotados para cada hora de mistura.



Figura 19 - Procedimentos de ensaio de teor de ar incorporado (pressométrico)

### 3.10 Moldagens dos corpos de prova.

Foram moldados 4 (quatro) corpos de prova cilíndricos de dimensões (10 x 20) cm para cada hora analisada, totalizando 32 (trinta e dois) corpos de prova para cada ciclo de mistura. Como o ensaio foi repetido para os 4 (quatro) tipos distintos de cimento, foram moldados um total de 128 (cento e vinte e oito) corpos de prova, nas condições previstas na NBR 5738 (ABNT, 2015).

O preparo das amostras a serem usadas nos ensaios seguiram os padrões exigidos pela NBR NM 33 (ABNT, 1998) – Concreto: amostragem de concreto fresco, no qual os corpos de prova possuem o tamanho, no mínimo, três vezes maior do que a dimensão nominal máxima do agregado gráudo previsto na dosagem.

Antes das moldagens, os moldes metálicos foram revestidos internamente com desmoldante da marca Viapol, tipo desforma plus. É um produto à base de óleos orgânicos emulsionados em água que não danifica nem interfere na composição do concreto e tem como objetivo facilitar a desforma, conforme mostrado na figura 20.



Figura 20 - Aplicação de desmoldante em moldes cilíndricos

Os moldes foram apoiados sobre uma superfície fixa e horizontal, por meio de uma concha. Foram preenchidos com concreto em duas camadas, cada camada foi adensada manualmente com uma haste metálica sendo aplicados 12 golpes.

Após a quarta hora de ensaio, devido à perda de plasticidade do concreto, estes foram moldados nas mesmas condições que os demais, porém seu adensamento se deu por vibração, por meio de imersão de mangote de diâmetro 25 mm.

Concluídas as moldagens, os corpos de provas foram cobertos para preservação da água. Conforme mostrado na figura 21, após 24 horas da moldagem, os corpos de prova foram identificados e submetidos à cura submersa em água saturada com cal, à temperatura ambiente, por um período de 7 dias.



Figura 21 - Moldagem e cura dos corpos de prova



### 3.11 Preparações dos corpos de prova.

Logo após o período de cura, na idade de 7 dias, foi realizada a preparação das bases dos corpos de prova por meio da retificação mecânica. Este procedimento foi realizado no laboratório de concreto da Pós-Graduação da Universidade FUMEC, conforme mostrado na figura 22.



Figura 22 - Retífica dos corpos de prova na idade de 7 dias.

Após a retífica dos corpos de prova, estes foram levados para o laboratório. Na idade de 26 dias, foram realizados os ensaios de resistividade elétrica e aos 28 dias, os ensaios de módulo de elasticidade e resistência à compressão. Esta diferença de idade se deve ao fato de que o ensaio de resistividade ocorreu com os corpos de prova saturados por 48 horas e os demais com as amostras secas.



Figura 23 - Medição e pesagens dos corpos de prova

Para avaliação da densidade aparente das amostras de concreto das dosagens os corpos de provas foram medidos e pesados conforme mostrado na figura 23.

### 3.12 Ensaios de Resistividade Elétrica

Assim como outros materiais, o concreto possui propriedades elétricas que podem caracterizá-lo pela sua resistividade elétrica. Os ensaios de resistividade elétrica do concreto tem o objetivo de avaliar a homogeneidade do material pela passagem de corrente elétrica, desta forma, para este ensaio, foram realizados dois tipos de ensaios para avaliação da resistividade elétrica volumétrica e resistividade elétrica superficial.

#### 3.12.1 Resistividade elétrica volumétrica

O ensaio de determinação de resistividade elétrica volumétrica foi realizado conforme previsto na NBR 9204 (ABNT, 2012).

Para o ensaio de resistividade volumétrica, foram utilizados dois eletrodos conectados ao corpo de prova de concreto. Uma corrente elétrica foi aplicada aos eletrodos que criou uma diferença de potencial, sendo que essa diferença de potencial é medida adotando um valor para a resistência.

Para realização dos ensaios foram utilizados os mesmos corpos de prova utilizados para aferição do módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão.

Nos ensaios de resistividade elétrica foi utilizada uma fonte de corrente contínua, aplicando-se uma tensão de  $50 \pm 0,5$  V entre dois eletrodos de mercúrio nas faces dos corpos de prova, sendo que um terceiro eletrodo foi utilizado para minimizar os erros em função das falhas de superfície. Em seguida, após a aplicação da tensão, a corrente elétrica gerada foi medida e a resistividade calculada pela expressão 9.

$$\rho = \frac{(A.R)}{L} \quad (9)$$

Onde  $R$  é a resistência elétrica do material ( $\Omega/m$ );  $\rho$  é a resistividade elétrica específica do material ( $\Omega.m$ );  $L$  é o comprimento (m) e  $A$  é a área de seção transversal ( $m^2$ ).

A resistência elétrica pode ser encontrada por meio da expressão 10.

$$R = \frac{CH1-CH2}{CH2} \cdot \text{Resistência Chant} \quad (10)$$

Onde  $R$  é a resistência elétrica ( $\Omega$ );  $CH1$  é a tensão do circuito (V) e  $CH2$  a tensão medida no material (V) e a resistência *Chant* do banco de resistência ( $\Omega$ ).

Os ensaios para a determinação da resistividade elétrica volumétrica foram realizados no laboratório de Ensaio Especiais do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da UFMG, no equipamento mostrado na figura 24.



Figura 24 - Equipamento para medição da resistividade volumétrica da UFMG

As especificações técnicas dos equipamentos que compõem o medidor de resistividade elétrica volumétrica utilizado na pesquisa estão apresentadas no quadro 2.

Quadro 22 - Características do equipamento - resistividade elétrica volumétrica

Equipamento Marca Tektronix	Gerador de Tensão – Marca Politerm
Serial Nº TDS 1012B C065459	Modelo FG-8102 2MHz
Voltage Range: 100-240V 115V	Voltage 115V – 230V
Frequency: 50-60Hz 400Hz	Sweep/Function Generator
Power Max: 30 Watts	Fuse: 0.5A, F 0,2A,F – PWR Max: 15W

Em conformidade com a NBR 9204 (ABNT, 2012), os corpos de prova foram curados, e na idade de sete dias foram retificados. Com a intenção de garantir uma boa saturação dos corpos de prova, estes foram colocados em um tanque com água potável, fornecida pela concessionária local, permanecendo submersos pelo período de 48 horas. Para a realização dos ensaios foi definida uma frequência de 40 Hz, amplitude de 5-10V e resistência *Chant* de 671.94  $\Omega$ .

Os ensaios foram realizados em laboratório a uma temperatura ambiente e com umidade relativa do ar acima de 60%.

A relação entre a resistividade do concreto e a taxa de corrosão ainda é sujeita a estudo. No entanto, como regra, algumas referências podem ser adotadas. Na tabela 1, apresenta-se uma referência muito utilizada, proposta por Polder *et al.* (2000) a qual sugere a interpretação dos valores de resistividade em relação ao risco de corrosão para o concreto com ensaios realizados em temperatura próxima de 20° C.

Tabela 1 - Risco de corrosão das armaduras associado com a resistividade elétrica do concreto

Resistividade Elétrica do Concreto ( $\Omega.m$ )	Risco de corrosão das armaduras
< 100	Alto
100 a 500	Moderado
500 a 1000	Baixo
> 1000	Insignificante

Fonte: (POLDER, ANDRADE, *et al.*, 2000)

### 3.12.2 Resistividade elétrica superficial

A resistividade elétrica superficial foi realizada pelo método dos quatro eletrodos, conhecido como método de Wenner, que é um ensaio simples, rápido e prático. Este método consiste na utilização de uma sonda com quatro eletrodos posicionados linearmente e equidistantes. Quando se libera a corrente elétrica, forma-se um campo elétrico e os pontos receptores da sonda captam a diferença de potencial ocorrida, conforme mostrado na figura 25.

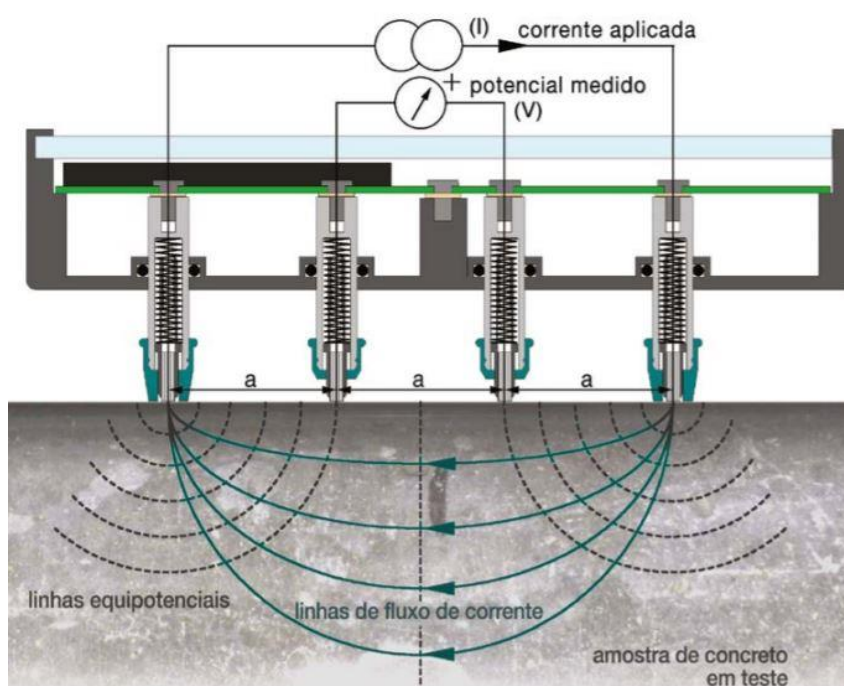


Figura 25 - Princípio de medição do *Resipod*  
Fonte: Proceq (2018).

Segundo o fabricante, este aparelho (*Resipod*) foi desenvolvido para medir a resistividade elétrica do concreto ou rocha, no qual se aplica uma corrente às duas sondas nas extremidades e a diferença potencial é medida entre as duas sondas internas e a resistividade calculada depende do espaçamento destas sondas. Desta forma, um espaçamento maior das sondas fornece uma medição mais consistente quando medindo em um material não homogêneo, como o concreto. Neste equipamento o padrão industrial mais adequado de espaçamento das sondas é 50 mm, porém existem equipamentos com espaçamentos diferentes.

O fabricante afirma “ainda”, que o ensaio de resistividade superficial é um teste muito mais rápido e fácil para estimar a permeabilidade do concreto, sendo um método de teste comprovado e amadurecido que pode substituir o teste rápido de permeabilidade de cloretos, que é bem mais trabalhoso.

Os resultados são obtidos imediatamente pelo visor do equipamento, conforme mostrado na figura 26.



Figura 26 - Ensaio de resistividade elétrica superficial em corpos de prova.

Os ensaios foram realizados em laboratório, em temperatura ambiente e umidade relativa do ar acima de 60%. Antes da realização dos ensaios, os corpos de prova foram saturados por um período de 48 horas.

A fim de se realizar uma comparação entre a resistividade de todos os concretos estudados, a idade de 26 dias foi escolhida, pois foi a idade cujas leituras foram efetivadas para todos os casos. A variação da resistividade de cada concreto com o tempo será apresentada de forma a permitir a análise com base na mistura prolongada de 8 horas.

### 3.13 Ensaios de Módulo de Elasticidade

Para avaliação da rigidez do concreto moldado a cada hora de mistura, durante a mistura de oito horas, é importante a realização do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico.

#### 3.13.1 Módulo elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico corresponde a uma pequena deformação instantânea, também considerado módulo tangente inicial, que pode ser determinado no ensaio estático, portanto, bem maior do que o módulo secante determinado por carregamento de corpos de prova (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A NBR 15630 (ABNT, 2008), que trata da determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica para argamassas, estabelece que o módulo de elasticidade dinâmico deve ser calculado por meio da expressão 11.

$$E_d = \rho V^2 \cdot \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (11)$$

$E_d$  – Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)

$\rho$  – Densidade do corpo de prova (kg/m<sup>3</sup>)

V – Velocidade de pulso (km/s)

$\nu$  – coeficiente de *Poisson* (adotado 0,2)

No primeiro momento, pensou-se em realizar o ensaio por meio de ultrassom com propagação de onda ultrassônica, mas devido à dificuldade de encontrar um equipamento disponível para realização dos ensaios, optou-se por realizar os ensaios por meio de frequência ressonante.

Antes de se iniciar os ensaios de módulo de elasticidade por frequência ressonante, foram registradas as medidas dos diâmetros e comprimentos dos corpos de provas, com precisão 0,1 mm.

Segundo Almeida (2012), as expressões 12, 13, e 14 para calcular o módulo de elasticidade longitudinal, em função da frequência fundamental longitudinal (Hz), massa (kg) e dimensões do corpo de prova (m), são provenientes da norma americana (ASTM C 215, 2008).

$$E_d = P \cdot m \cdot F_r^2 \quad (12)$$

Onde  $m$  é a massa da amostra (kg) e  $F_r$  é a frequência fundamental longitudinal (Hz).

A equação para calcular o módulo de elasticidade dinâmico longitudinal (GPa), é:

$$E_d = 4 \cdot F_r^2 \cdot L^2 \cdot P \cdot 10^{-9} \text{ (GPa)} \quad (13)$$

Onde  $L$  é o comprimento da amostra;  $F_r$  é a frequência do modo fundamental de vibração longitudinal (Hz) e  $P$  é a massa específica (kg/m<sup>3</sup>).

Para o caso de corpo de prova circular deve-se utilizar a equação corrigida conforme abaixo.

$$E_d = 5,093 \cdot \frac{L}{d^2} \cdot m \cdot F_r^2 \cdot 10^{-9} \text{ (GPa)} \quad (14)$$

Onde  $L$  é o comprimento da amostra,  $d$  é o diâmetro (m),  $m$  é a massa da amostra (kg) e  $F_r$  é a frequência do modo fundamental de vibração longitudinal (Hz).

A figura 27 mostra o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico por frequência ressonante, realizado no aparelho disponibilizado no Laboratório de Ensaio Especiais do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da UFMG.



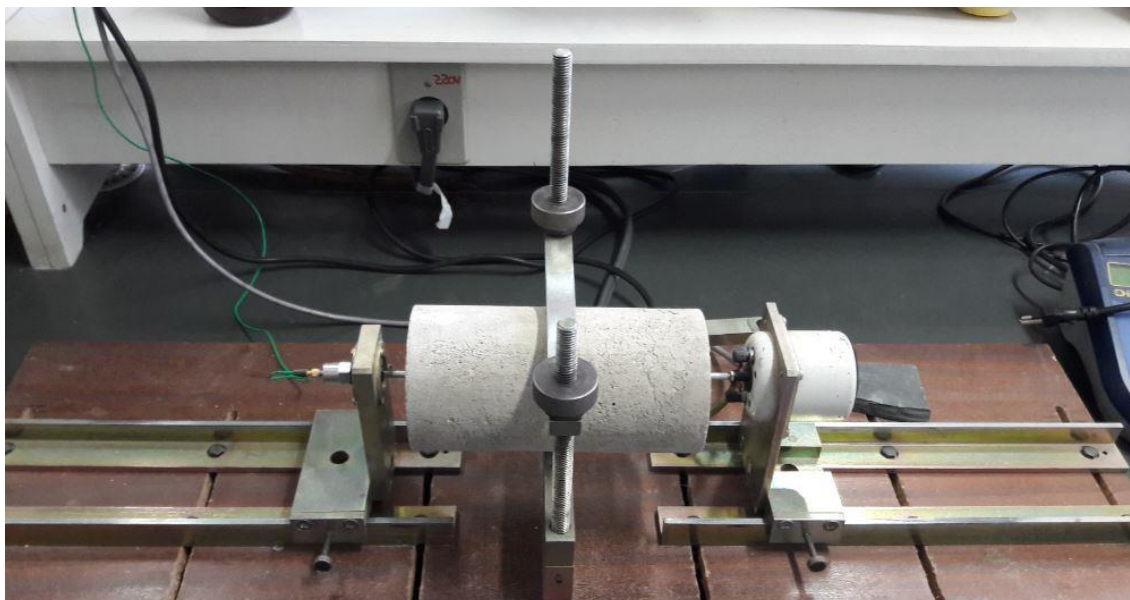


Figura 27 - Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico por frequência ressonante.

### 3.14 Ensaio de Resistência à Compressão

A determinação da resistência à compressão é o ensaio mais comum para avaliação do concreto empregado em estruturas, e muitas das características desejáveis do mesmo são relacionadas a essa propriedade. Pode-se atribuir a ampla utilização deste ensaio a três principais fatores: inicialmente, pela relação direta entre a resistência do concreto com a capacidade da estrutura em resistir às cargas aplicadas; em seguida, pela facilidade de execução do ensaio e, finalmente, pela possibilidade do desenvolvimento de correlações entre a resistência com outras propriedades do concreto, que podem ser avaliadas em outros ensaios.

Neste trabalho, a determinação da resistência à compressão foi realizada nos 4 (quatro) corpos de prova de cada ciclo estudado, utilizando os padrões recomendados pela NBR 5739 (ABNT, 2018).

Os corpos de prova foram devidamente medidos e retificados e os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados no Laboratório de Concreto da UFMG em uma prensa modelo I-3025-B, marca EMIC, conforme apresentado na

figura 28, em conformidade com as recomendações da norma da ABNT NBR 5739:2018.

Para fins de comparação dos resultados, em cada data de rompimento, foram rompidos quatro corpos de prova, para cada ciclo de mistura, na idade de 28 dias.



Figura 28 - Prensa EMIC 200 toneladas da UFMG.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Plasticidade e abatimento do concreto durante a mistura

Seguindo os procedimentos recomendados pela NBR NM 67 (ABNT, 1998), os monitoramentos da consistência durante os tempos de ensaios foram realizados por meio do ensaio “*slump test*”. Conforme mostrado no gráfico da figura 29, esse ensaio foi repetido a cada hora durante a mistura, para todas as dosagens estudadas. Os resultados das avaliações estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de abatimento para as dosagens

Avaliação da consistência do concreto durante a mistura (cm)				
Tempo de mistura (h)	Dosagens avaliadas durante a pesquisa			
	CP25-II	CP25-III	CP25-IV	CP25-V
1	21.0	21.0	18.0	18.0
2	18.0	11.0	10.0	12.0
3	15.5	8.7	7.5	10.0
4	10.0	6.7	6.0	5.0
5	7.0	4.0	2.5	3.0
6	3.5	2.8	2.2	0.0
7	1.9	2.1	1.5	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0

Logo após a primeira hora de mistura já se pode perceber uma notável perda de abatimento para as dosagens CP25-III, CP25-IV e CP25-V de, respectivamente, 47,61%, 44,44% e 33,33%.

Pelos resultados das medições do abatimento durante o tempo de mistura, pode-se observar que houve uma grande perda de plasticidade do concreto fresco no decorrer da mistura. Passados 300 minutos de mistura, constatou-se que o concreto não retratava boas condições de plasticidade e trabalhabilidade, sendo que todas as dosagens estudadas apresentaram abatimento nulo no final das oito horas de ensaio, exceto para a dosagem CP25-V, composta pelo cimento CP V ARI que, após quatro horas de mistura, começou apresentar uma acelerada perda de consistência, seguida de grande perda de trabalhabilidade, atingindo o abatimento nulo com seis horas de mistura.

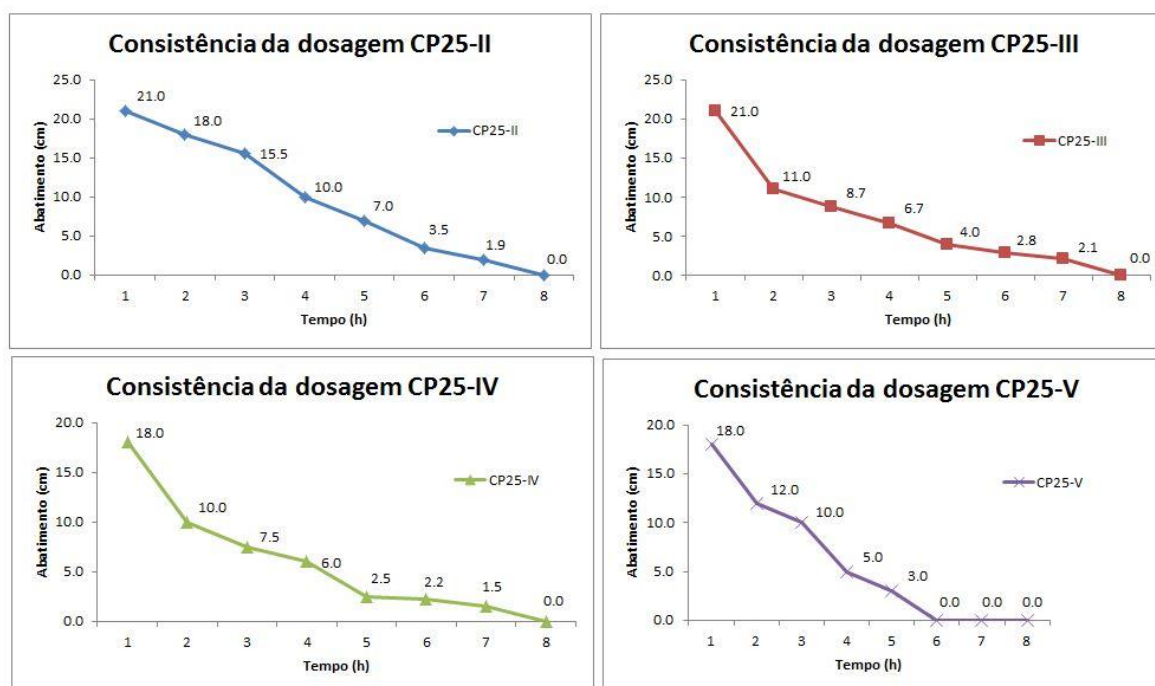


Figura 29 - Gráficos com os monitoramentos dos abatimentos das dosagens estudadas.

## 4.2 Temperaturas do concreto durante a mistura

Os ensaios foram realizados a uma temperatura ambiente, conforme resultados apresentados na figura 30. A cada hora durante a mistura realizou-se o monitoramento da temperatura detalhada na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados dos monitoramentos da temperatura do concreto para cada hora de mistura das dosagens

Temperatura do concreto monitorada na mistura (°C)				
Tempo de mistura (h)	Dosagens avaliadas durante a pesquisa			
	CP25-II	CP25-III	CP25-IV	CP25-V
1	22	23	25	22
2	23	23	27	22
3	22	22	27	23
4	22	22	27	22
5	22	22	25	22
6	22	22	25	22
7	21	21	25	21
8	21	21	24	21

A temperatura do concreto na mistura acompanhou a temperatura ambiente.

O gráfico de barras apresentado na figura 30 retrata a variação da temperatura da mistura para cada ciclo de mistura, durante as oito horas de ensaio, mostrando uma pequena variação da temperatura a cada hora de ensaio.

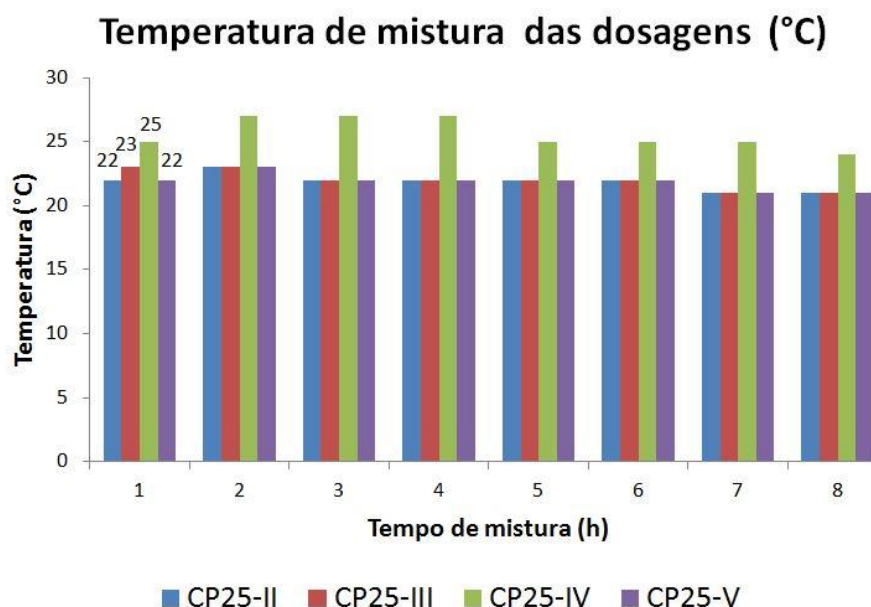


Figura 30 - Monitoramento da temperatura da mistura das dosagens (°C)

### 4.3 Massa específica e densidade aparente do concreto das dosagens

A tabela 4 mostra os resultados da massa específica do concreto no estado fresco para as quatro dosagens estudadas, conforme nomenclatura descrita anteriormente, para cada amostra, a cada hora de ensaio.

Tabela 4 - Resultados das aferições da massa específica do concreto fresco para cada hora de mistura das dosagens

Tempo de mistura (h)	Massa Específica do Concreto Fresco (kg/m <sup>3</sup> )			
	Dosagens avaliadas durante a pesquisa			
	CP25-II	CP25-III	CP25-IV	CP25-V
1	2400.33	2443.77	2417.91	2381.35
2	2423.21	2428.58	2370.46	2351.47
3	2421.56	2415.71	2353.95	2340.44
4	2358.87	2400.13	2343.75	2313.71
5	2364.07	2381.30	2323.62	2296.32
6	2342.25	2354.71	2318.31	2287.99
7	2343.34	2339.36	2310.63	2276.71
8	2334.32	2333.13	2307.71	2051.25

A massa específica do concreto fresco é um parâmetro importante para avaliar indiretamente o teor de ar incorporado (aprisionado) no material. Esse teor, se elevado, pode levar a reduções significativas na resistência do concreto.

A tabela 5 mostra os resultados da densidade aparente do concreto na idade de 28 dias para as quatro dosagens estudadas, conforme nomenclatura descrita anteriormente, para cada amostra, a cada hora de ensaio.

Tabela 5 - Resultados das aferições da densidade aparente do concreto aos 28 dias para cada hora de mistura das dosagens

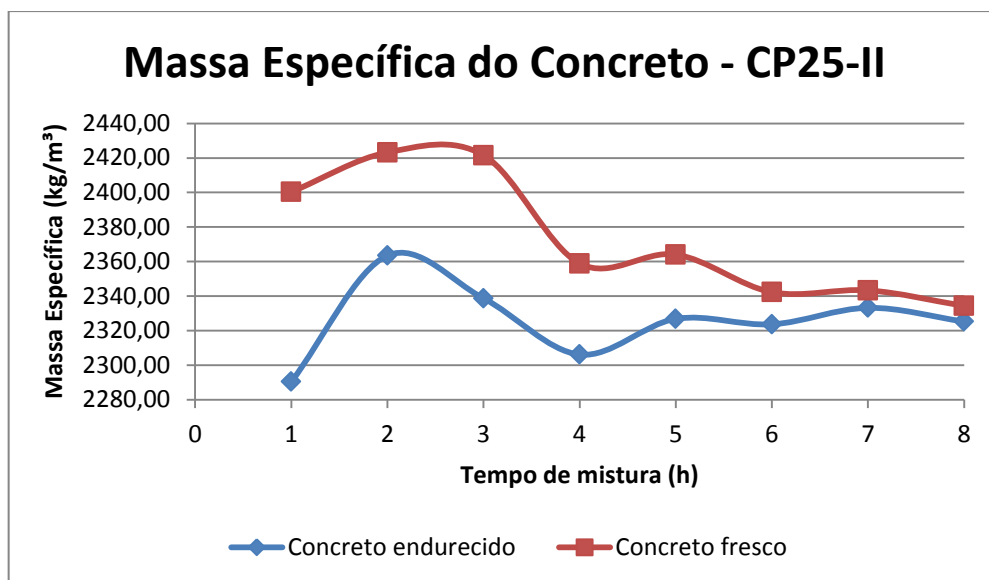
<b>Densidade Aparente do Concreto aos 28 dias (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
<b>Tempo de mistura (h)</b>	<b>Dosagens avaliadas durante a pesquisa</b>			
	CP25-II	CP25-III	CP25-IV	CP25-V
1	2290.40	2370.93	2320.23	2296.61
2	2363.46	2370.47	2316.29	2295.01
3	2338.70	2369.77	2313.37	2293.42
4	2306.16	2364.82	2311.32	2290.24
5	2326.85	2360.26	2310.11	2282.28
6	2323.66	2340.11	2306.44	2279.10
7	2333.21	2328.46	2302.55	2266.37
8	2325.25	2323.61	2300.35	2041.96

Os gráficos mostrados nas figuras 31a, 31b, 31c e 31d apresentam uma comparação entre a massa específica do concreto fresco e a densidade aparente do concreto aos 28 dias de cada dosagem, a cada hora de ensaios.

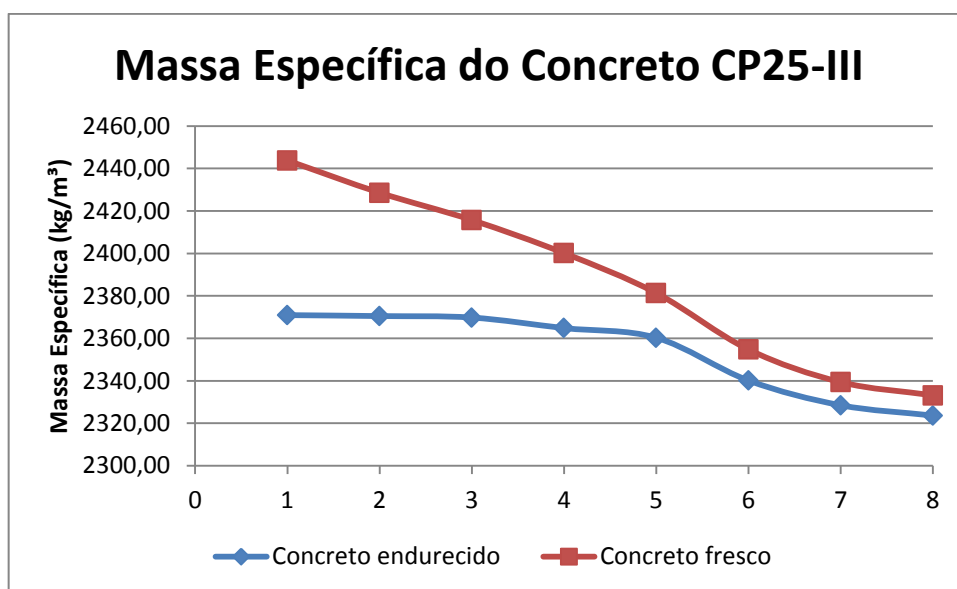
Pelos gráficos, é possível perceber uma tendência da redução da massa específica do concreto fresco para todas as dosagens estudadas no decorrer do tempo de mistura. Esta tendência se deve à perda de água para o meio, proveniente do atrito do concreto com a betoneira e ao princípio de endurecimento do concreto, mostrando também a diminuição da densidade do concreto aos 28 dias, o que se justifica pela perda de água no processo de endurecimento do concreto neste período.

Pelos gráficos das figuras 31a, 31b, 31c e 31d, pode-se observar que ao passar do tempo de mistura, a cada hora, a massa específica, tanto do concreto fresco quanto da densidade aparente do concreto aos 28 dias de idade, sofreram

reduções, todas as dosagens tiveram este comportamento. Porém, a dosagem CP25-V, conforme mostrado na figura 31d, por ser composta por cimento CP V ARI, em função das particularidades deste cimento e das dificuldades encontradas durante a mistura com seu endurecimento rápido, foi a que demonstrou maior perda de massa específica nas últimas horas de mistura.



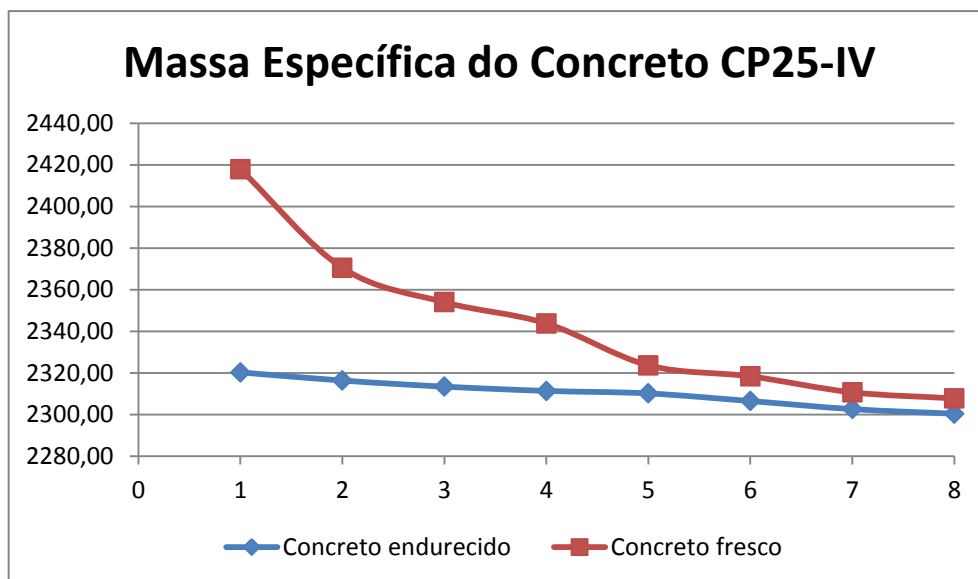
(a)



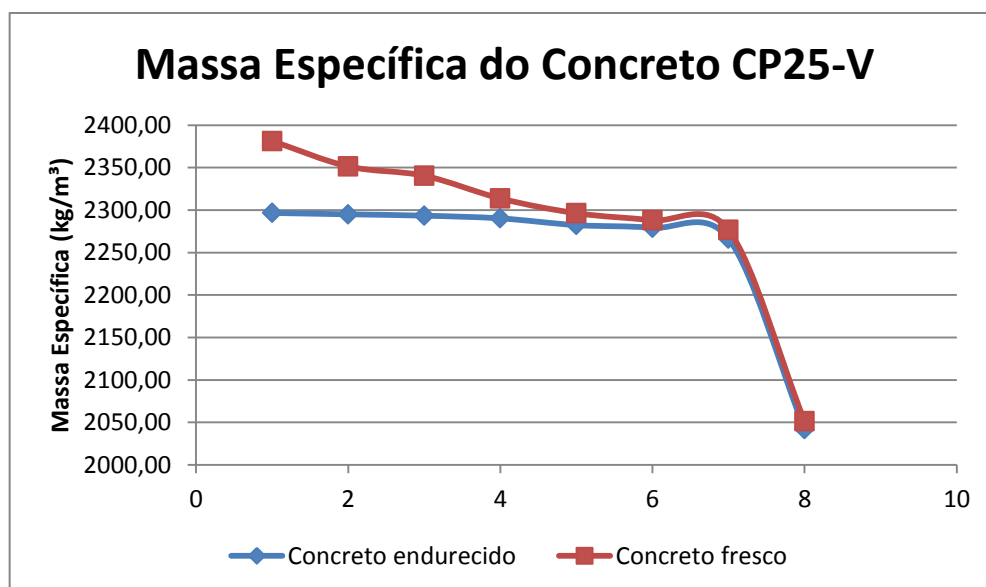
(b)

(continua)

(continuação)



(c)



(d)

Figura 31 - Gráficos com os resultados da massa específica do concreto fresco e aos 28 dias em kg/m<sup>3</sup> de todas as dosagens estudadas para cada hora de ensaio.

#### 4.4 Ar incorporado durante a mistura

É importante conhecer a quantidade de ar que fica aprisionado no concreto durante a mistura. Grandes quantidades de ar aprisionado no concreto contribuem para a redução de sua resistência, desta forma, para cada dosagem



estudada, foram realizadas três medições do teor de ar incorporado pelo método pressométrico a cada hora de mistura. Os resultados médios obtidos foram apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Resultados das medidas do teor de ar incorporado para cada hora de mistura das dosagens

<b>Teor de ar Incorporado do concreto fresco (%)</b>				
<b>Tempo de mistura (h)</b>	<b>Dosagens avaliadas durante a pesquisa</b>			
	<b>CP25-II</b>	<b>CP25-III</b>	<b>CP25-IV</b>	<b>CP25-V</b>
1	0.02	0.06	0.05	0.07
2	0.02	0.07	0.05	0.15
3	1.60	0.03	0.04	0.03
4	0.03	0.23	0.10	0.03
5	0.03	0.02	0.05	0.02
6	0.03	0.03	0.05	0.02
7	0.03	0.03	0.03	0.03
8	0.05	0.03	0.03	0.03

## 4.5 Resistividades elétricas a cada tempo de mistura

### 4.5.1 Resistividade elétrica volumétrica

Os resultados obtidos através dos ensaios de resistividade elétrica volumétrica realizados nos corpos de prova moldados, a cada hora de mistura, para todas as dosagens, são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Resultados das medidas da resistividade elétrica volumétrica para cada hora de mistura das dosagens

<b>Resistividade Elétrica Volumétrica (<math>\Omega.m</math>) aos 26 dias</b>				
<b>Tempo de mistura (h)</b>	<b>Dosagens avaliadas durante a pesquisa</b>			
	<b>CP25-II</b>	<b>CP25-III</b>	<b>CP25-IV</b>	<b>CP25-V</b>
1	108.89	171.94	89.15	50.70
2	105.42	171.85	89.01	48.99
3	104.86	168.69	87.55	48.41
4	93.06	166.63	86.62	47.45
5	92.39	163.05	87.54	46.98
6	87.47	162.97	86.42	45.76
7	87.17	161.87	86.33	45.59
8	86.30	158.33	79.09	42.62

A resistividade elétrica volumétrica, entre outros propósitos, pode delinear a qualidade da produção do concreto, mostrando se o mesmo apresenta condição para proteger as armaduras. Com os resultados da resistividade elétrica é possível classificar o risco de corrosão das armaduras protegidas pelo concreto.

O gráfico apresentado na figura 32 mostra uma comparação entre os resultados da resistividade elétrica volumétrica das dosagens estudadas, na idade de 26 dias, no qual se percebe que, para todas as dosagens avaliadas, há uma tendência de diminuição da resistividade para cada hora de mistura.

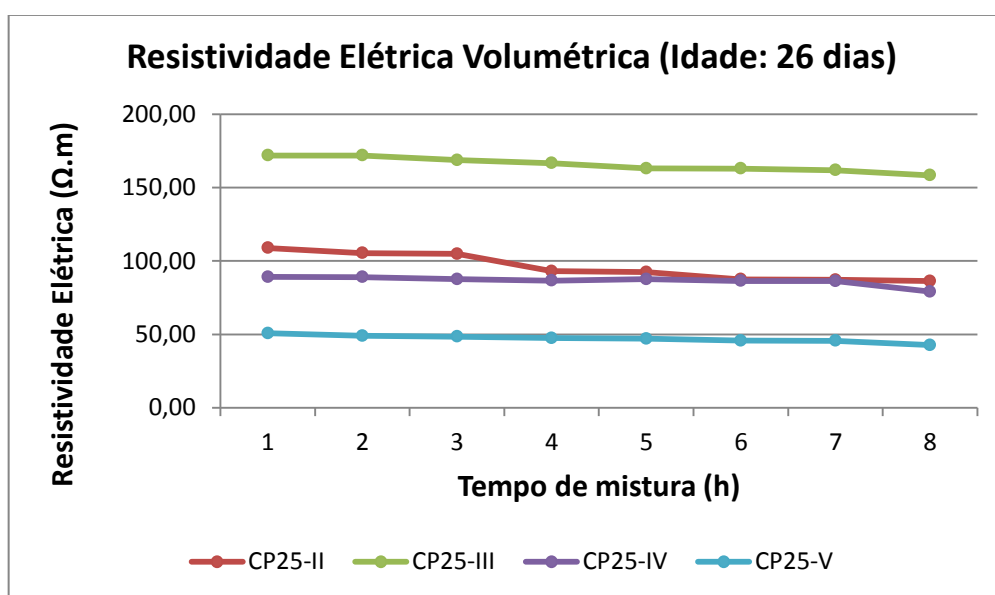


Figura 32 - Gráfico com os resultados das medidas da resistividade elétrica volumétrica para cada hora de mistura das dosagens

#### 4.5.2 Resistividade elétrica superficial

A resistividade elétrica do concreto é muito utilizada como parâmetro indireto para avaliação da difusão iônica e da resistência à penetração de agentes provedores de ataques químicos, além de fornecer referências para avaliação do risco de corrosão das armaduras.

Os resultados obtidos através dos ensaios de resistividade elétrica superficial nos corpos de prova moldados, a cada hora de mistura, para todas as dosagens, são

mostrados na tabela 8, a qual apresenta os valores médios das avaliações realizadas. Conforme pode ser observado na figura 33, apesar da superfície das amostras atingirem valores maiores de resistividade, estes resultados mostram a mesma tendência de redução da resistividade do concreto a cada tempo de mistura.

Tabela 8 - Resultados das medidas da resistividade elétrica superficial para cada hora de mistura das dosagens

Resistividade Elétrica Superficial ( $\Omega.m$ ) aos 26 dias				
Tempo de mistura (h)	Dosagens avaliadas durante a pesquisa			
	CP25-II	CP25-III	CP25-IV	CP25-V
1	250.13	338.10	117.69	111.88
2	240.13	331.40	113.38	110.00
3	233.81	323.30	113.25	108.63
4	232.69	312.40	107.63	105.50
5	218.25	282.30	109.88	103.31
6	217.94	265.60	106.06	102.81
7	216.56	262.70	100.81	102.63
8	213.63	245.80	98.81	93.50

Na figura 33, observa-se o gráfico com os valores obtidos nos ensaios de resistividade elétrica superficial, realizados pelo método de Wenner com equipamento portátil.

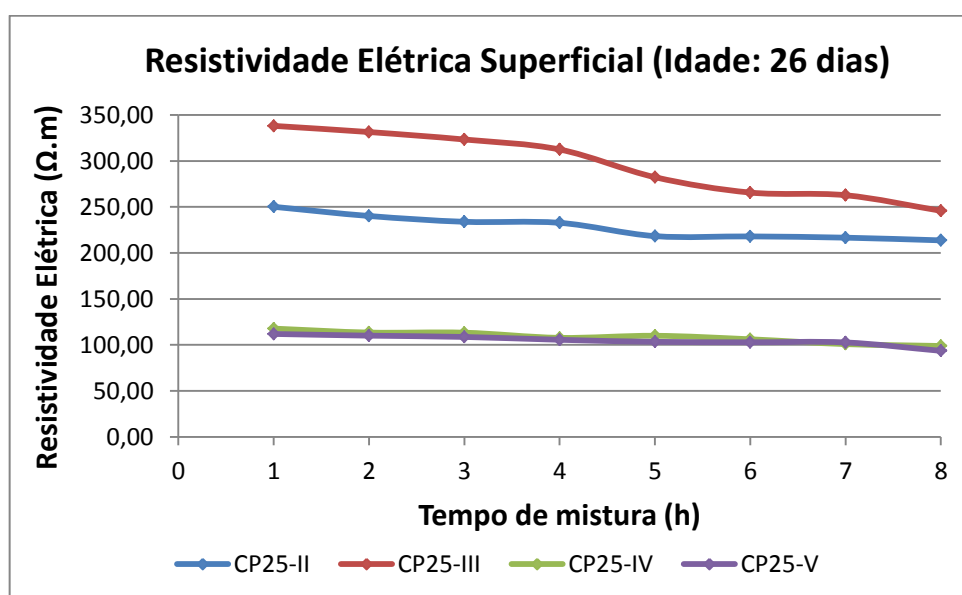


Figura 33 - Gráfico com os resultados das medidas da resistividade elétrica superficial para cada hora de mistura das dosagens.

#### 4.6 Módulos de elasticidade dinâmicos a cada tempo de mistura

Os resultados dos valores da frequência natural de vibração ( $F_r$ ), da alta frequência ( $F_h$ ), da baixa frequência ( $F_l$ ), do coeficiente de qualidade ( $Q$ ), da frequência inicial de medição ( $F_e$ ), da frequência final de medição ( $F$ ), da tensão de ensaio ( $V$ ), das médias individuais de cada amostra e demais tratamentos estatísticos estão no Apêndice A.

Na tabela 9 encontram-se os valores médios dos resultados dos ensaios de módulo de elasticidade por frequência ressonante, estimados em GPa, na idade de 28 dias.

Para a realização dos ensaios, para que se fosse possível comparar os resultados encontrados com cada uma das dosagens avaliadas, foram respeitados todos os parâmetros de moldagem, cura, preparação e execução dos ensaios, com alteração apenas para o tipo de cimento utilizado para cada dosagem.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico para cada hora de mistura das dosagens

<b>Módulo de Elasticidade Dinâmico (GPa) aos 28 dias</b>				
<b>Tempo de mistura (h)</b>	<b>Dosagens avaliadas durante a pesquisa</b>			
	CP25-II	CP25-III	CP25-IV	CP25-V
1	36.34	37.46	33.67	38.25
2	36.73	40.89	32.90	31.92
3	39.72	38.39	36.01	30.57
4	35.80	36.40	37.12	35.69
5	34.85	37.80	32.48	36.21
6	36.81	36.12	31.78	35.99
7	35.74	38.01	34.20	32.70
8	35.20	31.94	31.61	27.85

O gráfico da evolução do módulo de elasticidade dinâmico para cada hora de mistura das dosagens estudadas está representado na figura 34.

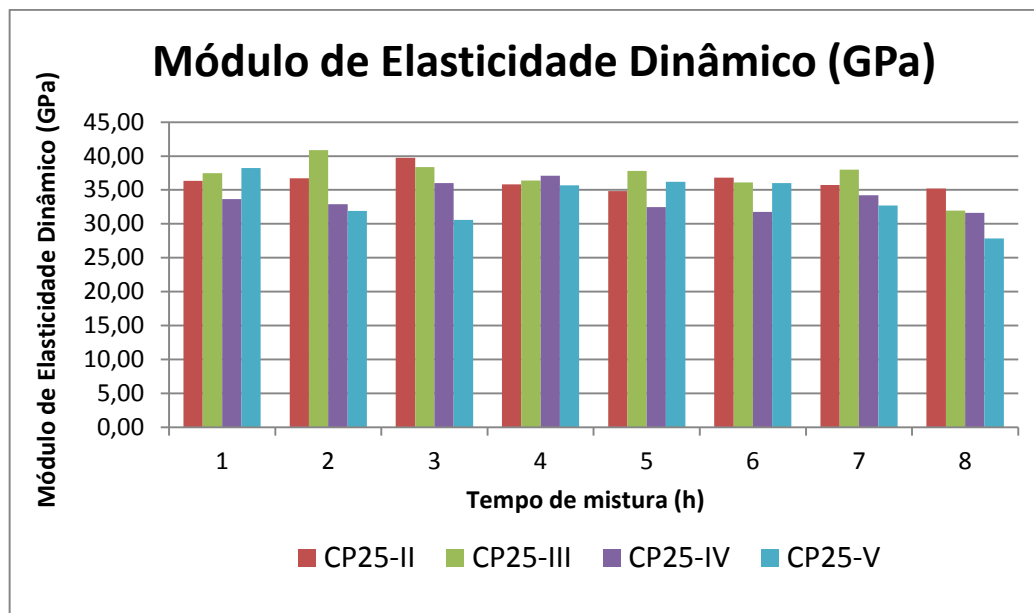


Figura 34 - Gráfico com os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico para cada hora de mistura das dosagens.

#### 4.7 Resistências à compressão a cada tempo de mistura

Os valores médios dos resultados dos ensaios de resistência à compressão das amostras, estimados em MPa, na idade de 28 dias, encontram-se na tabela 10.

Tabela 10 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão para cada hora de mistura das dosagens

Tempo de mistura (h)	Resistência à Compressão (MPa) aos 28 dias							
	Dosagens avaliadas durante a pesquisa							
	CP25-II		CP25-III		CP25-IV		CP25-V	
	$f_{cm}$	$f_{ckest}$	$f_{cm}$	$f_{ckest}$	$f_{cm}$	$f_{ckest}$	$f_{cm}$	$f_{ckest}$
1	30.27	29.89	30.50	29.27	29.02	28.40	27.50	25.73
2	26.06	24.07	28.16	27.12	27.86	25.91	25.88	25.33
3	27.27	26.49	29.82	29.67	29.28	28.08	25.47	25.32
4	25.65	24.40	31.03	30.23	30.29	29.96	27.99	25.51
5	25.89	25.35	30.14	27.48	28.94	27.57	28.53	27.74
6	26.29	23.89	29.17	26.51	29.78	29.43	29.25	27.54
7	28.41	27.10	29.76	29.39	29.23	27.32	25.54	23.13
8	24.78	22.61	30.19	28.88	28.77	26.83	11.89	11.19

$f_{ckest}$  - resistência característica estimada

$f_{cm}$  - resistência média do concreto à compressão

O gráfico da evolução da resistência à compressão, para cada hora de mistura das dosagens estudadas, está representado na figura 35.

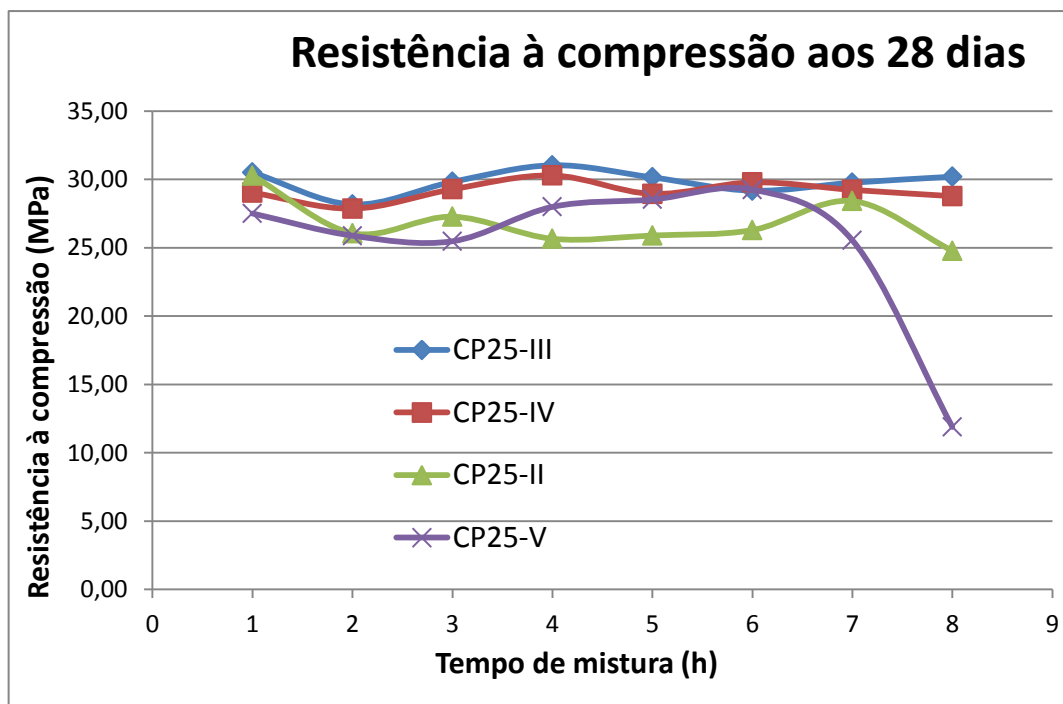


Figura 35 - Gráfico com os resultados dos ensaios de resistência à compressão para cada hora de mistura das dosagens.

Os resultados da avaliação da resistência à compressão de cada corpo de prova individualmente, bem como suas medidas (largura e comprimento), áreas superficiais, médias parciais, desvio padrão, coeficiente de variação e demais tratamentos estatísticos das amostras encontram-se no Apêndice A.

## **5 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS**

Com o planejamento das atividades que foram realizadas durante a pesquisa, foi possível otimizar os recursos e o tempo necessário no desenvolvimento do trabalho, objetivando alcançar resultados confiáveis que possibilitaram uma boa interpretação dos dados a serem analisados, permitindo condições para representar fielmente as informações obtidas nos ensaios previstos neste trabalho.

### **5.1 Plasticidade e abatimento do concreto durante a mistura**

Considerando que a consistência não foi corrigida com água ou aditivo durante a realização da mistura, já se esperava uma grande perda de abatimento e plasticidade do concreto durante a realização dos ensaios. A redução da consistência e da plasticidade pode ser justificada pela perda de água para o meio durante a agitação produzida pela betoneira.

Neste sentido, Erdoğan (2005) afirma que a mistura prolongada do concreto acelera o endurecimento e permite uma perda no abatimento e que em alguns casos pode dificultar a utilização do concreto, principalmente quando realizada em longos períodos de transporte, o que geralmente acontece com concreto pré-misturado.

Para Mehta e Monteiro (2008), pode haver perda de abatimento com o tempo quando o concreto é remisturado periodicamente ou mantido em reduzido estado de agitação, porém não representa nenhum tipo de problema sério para o lançamento e adensamento do concreto fresco se for realizado nos primeiros 90 minutos. Esta perda ocorre quando a água livre da mistura é consumida pelas reações de hidratação, por absorção nas superfícies dos produtos de hidratação e por evaporação.

Pelos resultados, pode-se observar que as dosagens CP25-III e CP25-IV apresentaram consideráveis perdas de abatimento na segunda hora após o início da pesquisa, cerca de 40% de perda no abatimento inicial. Após a terceira hora, tiveram um comportamento semelhante no abatimento a cada hora de ensaio, mantendo uma perda gradativa de abatimento até atingirem o abatimento nulo, no final das oito horas de mistura.

No decorrer dos ensaios, pode-se observar que a dosagem CP25-II foi a mistura que mais se manteve trabalhável durante o tempo de mistura, sendo que passados quase seis horas do início da mistura ainda se mostrava trabalhável, mesmo com perda de mais de 80 % de abatimento, uma justificativa para este fato se deve ao alto teor de adição de escória utilizado no cimento CP II E 32.

Devido a utilização do cimento CP V ARI de endurecimento mais rápido, a dosagem mais difícil de se trabalhar por longo período, nas condições propostas neste trabalho, foi a CP25-V. Pode-se observar que nesta dosagem, na quinta hora de mistura, houve mais de 83% de perda de abatimento, quando comparado ao abatimento inicial.

## **5.2 Temperaturas do concreto durante a mistura**

O cimento utilizado no concreto é a única fonte geradora de calor e deve ser um dos fatores de notável importância a ser considerado durante a dosagem do mesmo, pois o calor de hidratação pode provocar o aumento da temperatura do concreto durante a mistura. Desta forma, considerando a energia liberada nas reações exotérmicas da hidratação do cimento, esperava-se um aumento da temperatura a cada tempo de mistura avaliada, principalmente após o tempo de início de pega dos cimentos utilizados. Porém, os resultados mostraram que não houve significativas alterações da temperatura do concreto durante as oito horas de mistura para nenhuma das dosagens pesquisadas. Pode-se observar que, durante a mistura, o concreto do interior da betoneira manteve-se praticamente na mesma temperatura do ambiente do laboratório e, durante as medidas realizadas,



não se notou considerável aumento de temperatura proveniente do calor de hidratação.

É importante registrar que todas as misturas foram realizadas entre 14h e 22h, o que pode justificar as oscilações das temperaturas observadas.

Neville e Brooks (2013) afirmam que a pega é causada pela hidratação dos compostos do clínquer e provoca a elevação da temperatura na pasta de cimento. O início de pega corresponde a uma rápida elevação e o fim de pega corresponde ao pico de temperatura.

Apesar de Kirca, Turanli e Erdoğan (2002) terem observado uma pequena elevação da temperatura do concreto em uma mistura prolongado por até quatro horas para o concreto de C25 e C30, justificada pela produção de calor nas reações exotérmicas de hidratação, como mostrado no gráfico da figura 30, não se observou variações consideráveis na temperatura do concreto a cada hora de mistura.

### **5.3 Massas específicas do concreto**

Pode-se observar que ao longo do tempo de mistura houve uma redução na massa específica do concreto fresco, isto pode ser facilmente justificado pela perda de água durante a mistura, conforme mostrado nos resultados dos ensaios de abatimento.

Conforme foi apresentado na tabela 5, antes da realização do ensaio de resistência à compressão, todos os corpos de prova de cada dosagem foram medidos e pesados, podendo-se avaliar a densidade aparente de cada amostra. Desta forma, pode-se observar que, a cada hora de mistura, as médias das densidades para cada ciclo de mistura, independente do tipo de cimento utilizado, apresentaram redução, mostrando que houve perda de massa das amostras após os 28 dias. Acredita-se que este fato está relacionado à perda de água para o meio e para as reações de hidratação durante o tempo observado.

Assim como ocorrido na massa específica do concreto fresco, a densidade aparente manteve a tendência de se reduzir a cada hora de mistura, mostrando que a cada hora as amostras de concreto se tornavam menos densas, mesmo assim, todas as amostras avaliadas mostram valores de massa específica e densidade aparente dentro da normalidade para as dosagens estudadas.

#### **5.4 Ar incorporado durante a mistura**

Durante os ensaios, foram encontrados valores muito baixos para o teor de ar incorporado em cada hora de mistura, para todas as dosagens pesquisadas. Com exceção da medida realizada na terceira hora de ensaio da dosagem CP25-II, na qual se obteve um teor médio de 1,6% de ar incorporado no concreto, para todas as demais dosagens (CP25-III, CP25-IV e CP25-V), em todos os tempos de mistura avaliados, foram observados teores menores que 0,5% de ar aprisionado no concreto.

Considerando que os teores de ar incorporado no concreto durante a mistura encontrados apresentaram valores insignificativos para todas as medições, tendo em vista que os valores encontrados foram bem inferiores aos 2% de ar incorporado esperados na primeira hora de mistura e por não ter sido possível conferir a calibração do equipamento antes da realização dos ensaios, os resultados obtidos neste trabalho, para avaliação desta propriedade, foram considerados inconclusivos.

#### **5.5 Resistividades elétricas do concreto a cada tempo de mistura**

Com a realização dos ensaios de resistividade elétrica foi possível conhecer algumas informações sobre a microestrutura e a porosidade do concreto nas primeiras idades, conforme será apresentado a seguir.

Para Polder, *et al.* (2000), o valor absoluto da resistividade medida em uma estrutura pode ser interpretado se o tipo de cimento é conhecido, podendo comparar a resistividade observada com outros valores de referência para esse tipo de cimento nas mesmas condições de exposição.

### 5.5.1 Resistividade elétrica volumétrica

Nos ensaios de resistividade elétrica volumétrica, realizados na idade de 26 dias, pode-se observar que a dosagem CP25-III, produzida com cimento CP III 40 RS, foi a que apresentou os resultados mais satisfatórios quando comparada às outras dosagens e a dosagem CP25-V foi a que apresentou os menores resultados de resistividade elétrica volumétrica. Em quase todos os tempos de análise foram obtidos resultados inferiores a 50  $\Omega$ .m.

Neste sentido Polder *et al.* (2000) afirma que, se uma estrutura de concreto estiver molhada e apresentar resistividade média na faixa de 50  $\Omega$ .m, significa que a relação água/cimento deste concreto deve ser bastante alta e, se os fatores de despassivação estiverem presentes (por exemplo: exposição a sais de gelo), o risco de corrosão será, relativamente, muito elevado.

Ao se comparar os resultados obtidos para a resistividade elétrica volumétrica, apresentados na tabela 6 com as referências sugeridas por Polder *et al.* (2000) mostradas na tabela 1, pode-se notar um risco moderado de corrosão das armaduras para as amostras produzidas durante as três primeiras horas de ensaios da dosagem CP25-II, sendo que este risco aumenta a partir da quarta hora de mistura. Observa-se, ainda, que para a dosagem CP25-IV todos os valores de resistividade elétrica volumétrica se mostraram inferiores a 100  $\Omega$ .m, com alto risco de corrosão das armaduras.

Notou-se, ainda, que para a dosagem CP25-IV, na oitava hora de mistura, houve uma maior queda da resistividade elétrica volumétrica quando comparada com as outras dosagens.

Os valores obtidos para as dosagens CP25-II e CP25-IV, produzidas, respectivamente, com os cimentos CP II E 32 e CP IV 32 RS, mostraram resultados parecidos, porém a dosagem CP25-II apresentou resistividade mais elevada para os tempos avaliados, sendo que todas as medidas encontradas para a dosagem CP25-IV se mostraram abaixo de 100  $\Omega$ .m.

Resultados de resistividade elétrica no concreto inferiores a 100  $\Omega$ .m, podem mostrar que o concreto avaliado está com porosidade muito alta, o que favorece o surgimento de manifestações patológicas, Polder *et al.* (2000).

Segundo Lencioni e Lima (2010), até que a hidratação do cimento esteja estável, o aumento da idade do concreto proporciona o aumento da resistividade elétrica.

A resistividade elétrica volumétrica avalia as camadas mais internas das amostras do concreto, contudo deve-se levar em consideração que os ensaios foram realizados em corpos de prova com pouca idade, e espera-se que haja um significativo aumento da resistividade do concreto com o decorrer do tempo.

Por fim, os resultados dos ensaios de resistividade elétrica mostraram que, independente do tipo de cimento utilizado, a cada hora de mistura, os valores de resistividade elétrica do concreto das amostras diminuem.

### *5.5.2 Resistividade elétrica superficial*

Assim como na resistividade elétrica volumétrica, a dosagem CP25-III foi a que apresentou os melhores resultados para a resistividade elétrica superficial.

Para este ensaio, os resultados mostraram que dosagem CP25-III foi a que teve a maior diferença percentual entre a medida da primeira hora de mistura e a medida realizada a oito horas de mistura, com mais de 27% de redução na resistividade no decorrer da mistura. Porém, pode-se observar que no final das oito horas todas as amostras apresentaram resultados aceitáveis para resistividade elétrica superficial.

Ao se avaliar o potencial de corrosão das armaduras, pelas referências propostas por Polder *et al.* (2000), mostradas na tabela 1, todas as dosagens apresentaram risco moderado, resultado este satisfatório se for considerado que os ensaios foram realizados em corpo de prova com idade de 26 dias.

Como previsto nos resultados da resistividade elétrica volumétrica, os dados obtidos nos ensaios da resistividade elétrica superficial confirmaram a tendência da diminuição da resistividade elétrica a cada tempo de mistura. Como exemplo, pode-se citar os resultados da dosagem CP25-V que, na primeira hora de mistura, apresentou uma resistividade de 111,88  $\Omega.m$  e, na oitava hora de mistura, este valor baixou para 93,50  $\Omega.m$ . Isto mostra que a cada hora de mistura as amostras estão mais porosas e, conseqüentemente, mais suscetíveis aos ataques químicos. Porém é importante lembrar que os ensaios de resistividade elétrica, apesar de conseguir identificar a porosidade do concreto, não mostram se os poros estão conectados entre si.

## **5.6 Módulo de elasticidade dinâmico a cada tempo de mistura**

O módulo de elasticidade avalia a resistência do concreto à deformação elástica. Trata-se de um parâmetro que mostra a rigidez do material, porém, devido ao concreto ser um material que não obedece à lei de Hooke, tanto sob esforços de compressão, como de tração, os resultados para a determinação deste módulo por meio de frequência ressonante, por ser mais preciso, podem mostrar bem o comportamento do concreto durante os ciclos de mistura.

Para se evitar erros na obtenção dos valores do módulo de elasticidade por frequência ressonante, os ensaios foram realizados com os corpos de provas cilíndricos, limpos, retificados nas duas extremidades e secos à temperatura ambiente.

Amostras de concreto úmidas apresentam um aumento no valor do módulo de elasticidade em comparação com amostras de um mesmo concreto, ensaiado na condição seca. (MEHTA e MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 2016).

Os resultados dos ensaios de frequência ressonante, para avaliação do módulo de elasticidade dinâmico das amostras das dosagens pesquisadas e apresentados na tabela 9, mostraram que não houve consideráveis alterações nas medidas médias dos módulos de elasticidade para todas as dosagens estudadas em até sete horas de mistura, mostrando apenas uma leve tendência da redução deste módulo de elasticidade para a oitava hora de mistura.

A média dos valores do módulo de elasticidade para as dosagens CP25-II; CP25-III; CP25-IV e CP25-V, nas oito horas de mistura, foram, respectivamente, 36,40 GPa; 37,13 GPa; 33,72 GPa e 33,65 GPa, sendo que a dosagem CP25-V foi a que apresentou a menor média, ficando cerca de 9,37% menor que a maior média observada na dosagem CP25-III. Isto mostrou um melhor comportamento do cimento CP III 40 RS, que apresentou melhores resultados de módulo de elasticidade nos ensaios realizados. Já o cimento CP V ARI, em razão de suas particularidades, mostrou uma tendência a perder rigidez após cinco horas de mistura.

Comparados com o concreto referência das primeiras horas de moldagem, em que ainda não se havia iniciado a pega de nenhum dos cimentos utilizados, para as primeiras sete horas de mistura, os valores médios do módulo de elasticidade dinâmico para todas as dosagens foram satisfatórios, não se observando grandes variações a cada hora de mistura, com exceção para a dosagem CP25-V que teve uma redução maior que 10% no módulo de elasticidade para a oitava hora.

### **5.7 Resistências à compressão a cada tempo de mistura**

Conforme resultados dos ensaios de resistência à compressão, mostrados no gráfico da figura 35 e na tabela 10, pode-se observar que para todas as dosagens, nas primeiras sete horas de mistura, houve manutenção ou mesmo ganho de resistência. Este fato pode ser justificado pela evaporação de água durante a mistura proporcionando assim uma redução no fator água/cimento.

Neste sentido, nas pesquisas realizadas com misturas prolongadas, pode-se observar a manutenção ou ganho da resistência média à compressão aos 28 dias, o que pode ser explicado pela perda de água para o ambiente com consequente diminuição da relação a/c efetiva da mistura. Erdoğdu (2005), Kirca, Turanlı e Erdogan (2002) e Polesello (2012), registraram em seus estudos essa perda de água com consequente ganho de resistência para distintas dosagens quando mantidos por até 6 horas de mistura.

Na pesquisa realizada por Alhozaimy (2007), observou-se também um incremento na resistência do concreto quando há perda de abatimento e não ocorre correção da trabalhabilidade com adição de água ou aditivo.

Outro fato que pode justificar o aumento da resistência em misturas prolongadas, destacado por Kirca, Tunli e Erdoğdu (2002), é o progresso da hidratação, no qual os produtos de hidratação são retirados da superfície dos grãos de cimento, deixando o cimento mais fino, com isso, gerando maior quantidade de hidratação e permitindo o aumento da resistência à compressão em misturas prolongadas.

Corroborando com esta ideia e com os resultados obtidos nesta pesquisa, Ravina e Soroka (1994) relacionam o incremento na resistência ao efeito de moagem, em função da agitação provocada pela betoneira, por repelir os produtos de hidratação dos grãos de cimento deixando-os mais finos durante a mistura.

Já na oitava hora de mistura, pode-se observar que as dosagens CP25-V e CP25-II mostraram uma queda de resistência, atingindo valores inferiores a 25 Mpa, que foi o estabelecido para estas dosagens. Um fator que pode justificar esta perda de resistência é a dificuldade encontrada para adensar o concreto das amostras sem correção da trabalhabilidade, que pode permitir o surgimento de falhas ou vazios.

Durante os ensaios realizados com a dosagem CP25-V, pode-se verificar uma rápida perda de plasticidade e um endurecimento mais rápido. A partir da quarta hora de mistura, a trabalhabilidade do concreto já se mostrava deficitária dificultando a moldagem dos corpos de prova que, ao serem desformados,

apresentaram falhas e vazios visíveis, o que pode justificar a perda de resistência de mais de 47% para esta dosagem na última hora de ensaio.

No entanto, na média dos resultados obtidos individualmente para cada dosagem, durante as oito horas de mistura, todos os concretos obtiveram resistência à compressão superior à 25 Mpa, prevista no cálculo dos traços avaliados.

Nas pesquisas realizadas por Polesello (2012), este afirma que o tempo de mistura mostrou-se significativo e que nas pesquisas realizadas em laboratório e em central de dosagem, com os cimentos CP IV e CP II, houve aumento de resistência durante mistura prolongada de até 6 horas.

Os resultados obtidos para resistência à compressão, encontrados nesta pesquisa, concordaram com os resultados apresentados por Polesello (2012, p. 75) para os cimentos CP II e CP IV de outro fabricante, conforme mostrado na figura 36.

Ao se comparar os resultados de Polesello (2012), mostrados nos gráficos da figura 36 (a) e (b), com os resultados apresentados no gráfico da figura 36, observa-se uma grande similaridade na tendência para a resistência à compressão em misturas prolongadas compostas pelos cimentos CP II e CP IV, independente do fator água cimento utilizado.

Os valores obtidos para a resistência à compressão mostrados neste trabalho, bem como os encontrados por Polesello (2012), mostraram que existe uma tendência de não haver perdas significativas de resistência à compressão, no decorrer do tempo, em misturas prolongadas, quando não se adiciona água, além da prevista na dosagem, durante o processo de mistura.



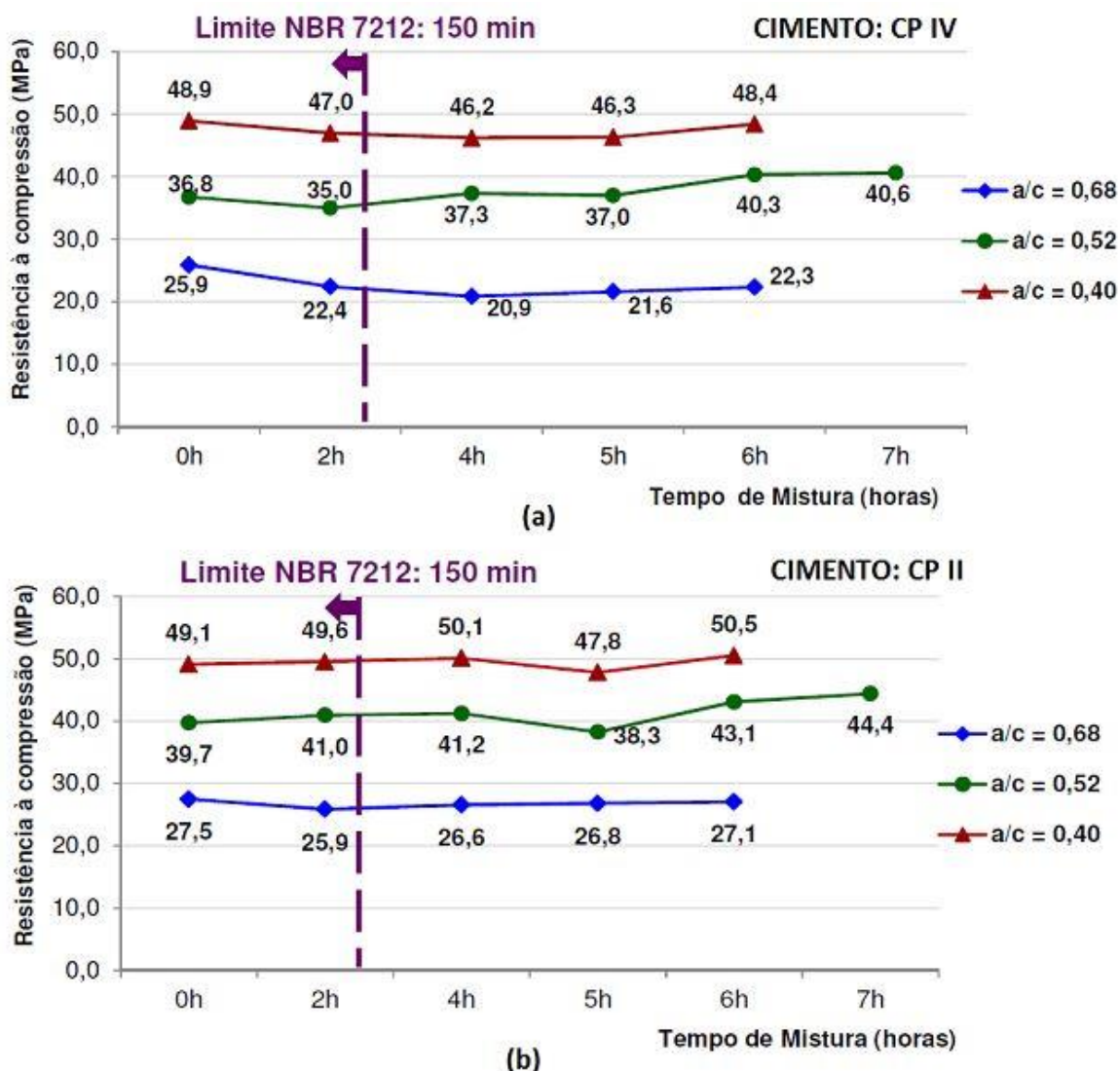


Figura 36 - Resistência média à compressão aos 28 dias dos concretos com os cimentos CP IV (a) e CP II (b) produzidos em laboratório.  
Fonte: Polesello (2012 p. 75)

## 5.8 Relação entre as resistências à compressão e os módulos de elasticidade

As figuras 37 a 40 apresentam os gráficos individuais, entre as resistências médias à compressão e os módulos de elasticidade dinâmico de cada dosagem pesquisada.

Conforme mostrado nas figuras 37, 38 e 39, no geral, para as dosagens CP25-II, CP25-III e CP25-V, na idade de 28 dias, pode-se perceber uma tendência do

módulo de elasticidade acompanhar o crescimento da resistência e diminuir com a redução desta, porém, espera-se que os valores do módulo de elasticidade cresçam mais que a resistência com o passar do tempo.

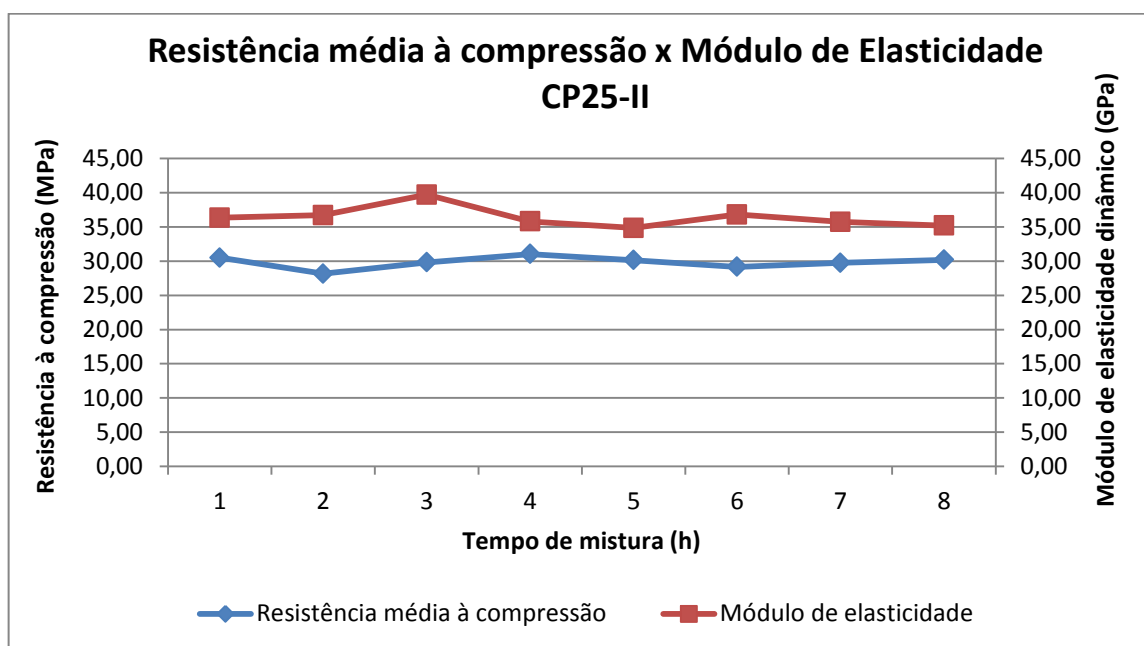


Figura 37 - Gráfico entre a resistência média à compressão e o módulo de elasticidade para a dosagem CP25-II.

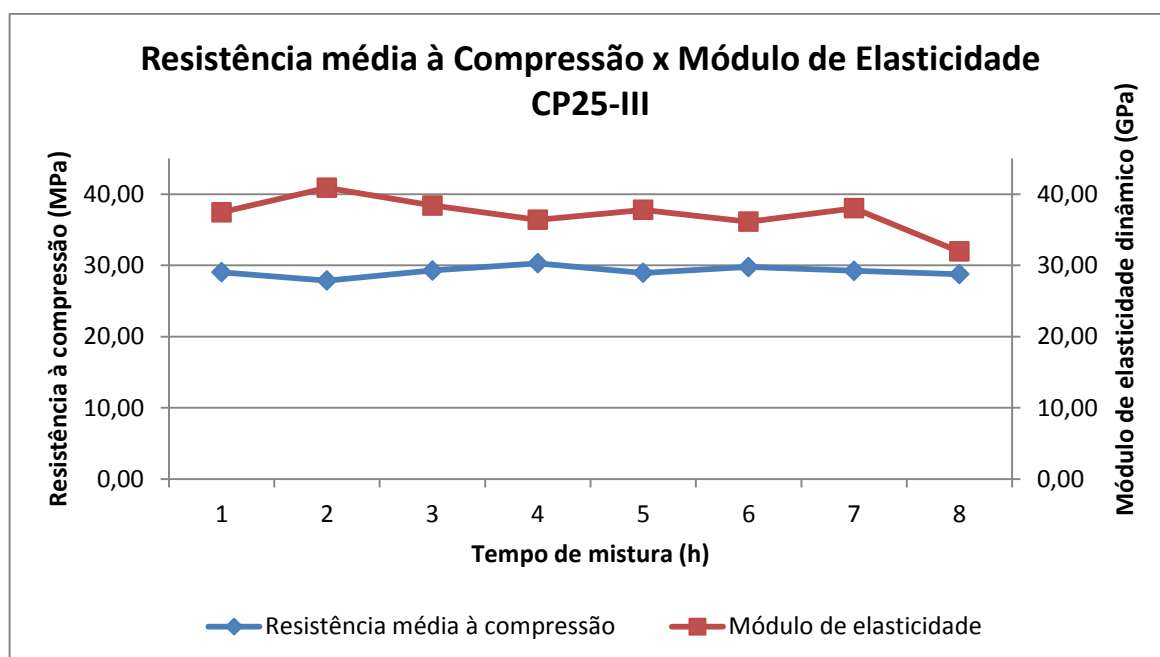


Figura 38 - Gráfico entre a resistência média à compressão e o módulo de elasticidade para a dosagem CP25-III.

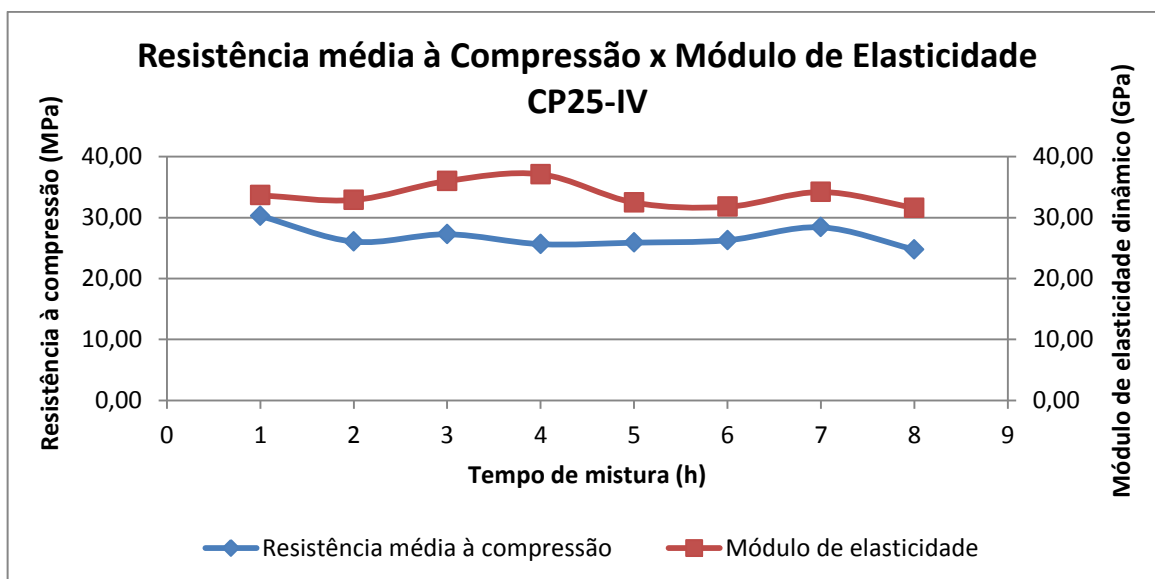


Figura 39 - Gráfico entre a resistência média à compressão e o módulo de elasticidade para a dosagem CP25-IV.

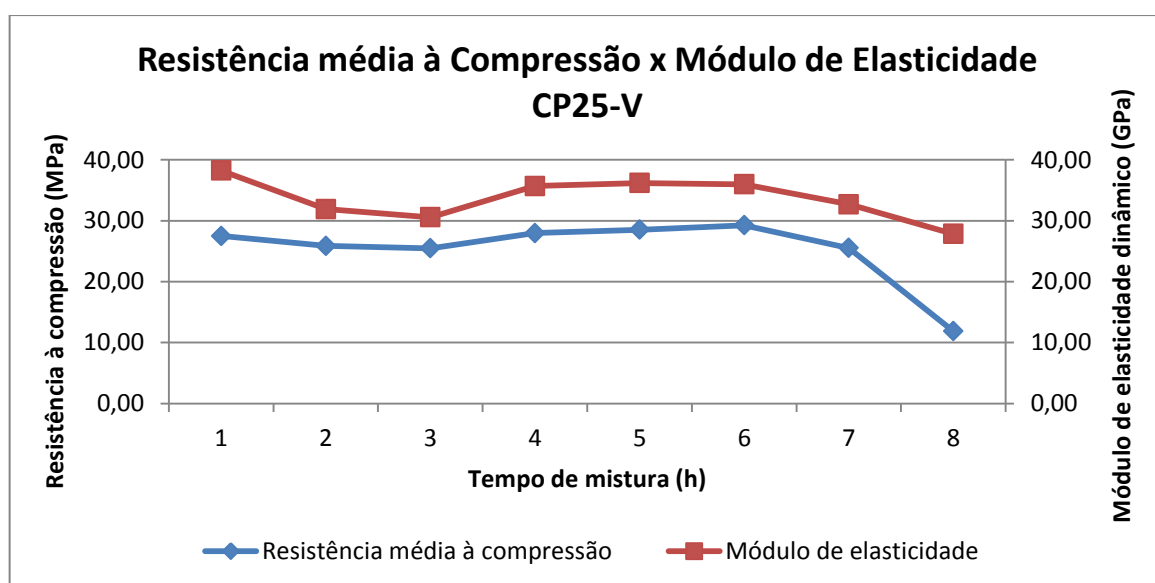


Figura 40 - Gráfico entre a resistência média à compressão e o módulo de elasticidade para a dosagem CP25-V.

Mehta e Monteiro (2008) e Neville (2016) afirmam que o módulo de elasticidade possui uma taxa de crescimento mais alta que o da resistência à compressão, explicando que o fato de o módulo de elasticidade apresentar uma taxa de crescimento mais elevada que a da resistência à compressão se deve à redução da porosidade da zona de transição, por meio das lentas reações químicas da pasta de cimento e sua interação com os agregados. Considerando ainda que a existência de vazios capilares, microfissuras e cristais orientados de hidróxido de

cálcio, por serem mais presentes na zona de transição do que na pasta de cimento, contribuem para o resultado do módulo de elasticidade do concreto.

Para a dosagem CP25-IV o gráfico da figura 40 mostra que na quarta hora de mistura houve um aumento do módulo de elasticidade, enquanto a resistência reduzia, já a partir da quinta hora de mistura, o módulo de elasticidade voltou a acompanhar os valores da resistência.

A figura 41 apresenta, de modo geral, a comparação entre os resultados obtidos para as resistências à compressão (MPa) e os módulos de elasticidade dinâmicos (GPa) para todas as dosagens, na idade de 28 dias.

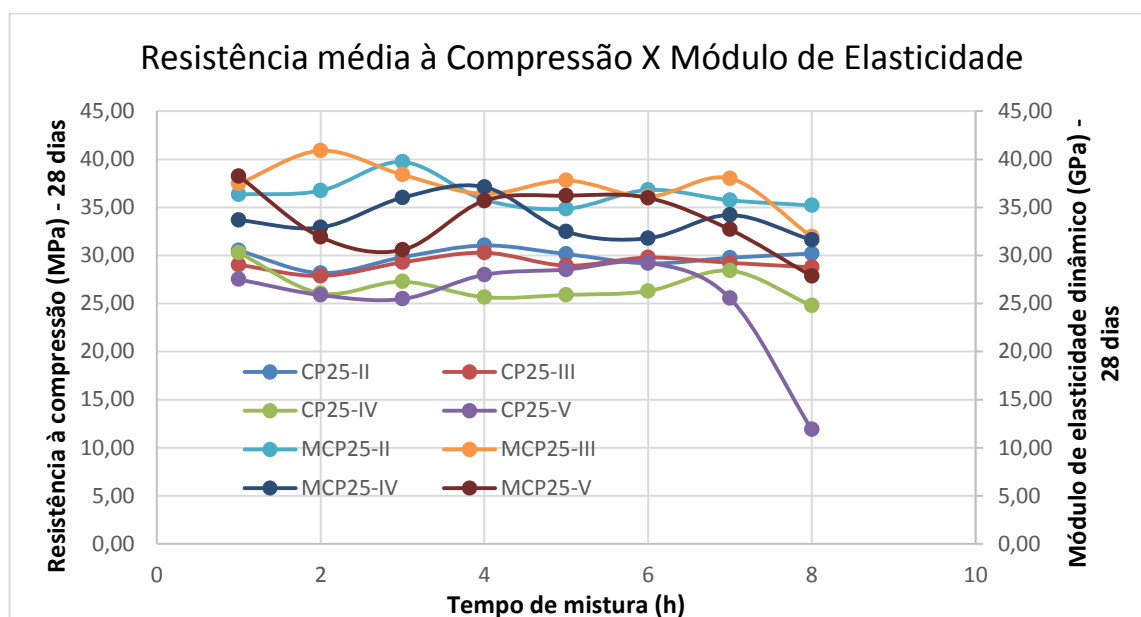


Figura 41 - Gráfico geral entre a resistência média à compressão e o módulo de elasticidade dinâmico.

Por fim, a figura 41 mostra o comportamento de cada tipo de cimento durante as oito horas de mistura. Pode-se perceber que, de maneira geral o módulo de elasticidade foi acompanhando o resultado da resistência a cada hora de mistura. Para nenhuma das dosagens estudadas foi observado correlação entre os resultados do módulo de elasticidade e a resistência média à compressão.

## 5.9 Relação entre a resistência média à compressão e as resistividades elétricas

Com os resultados dos ensaios, pode-se perceber uma correlação entre a resistência à compressão, a resistividade elétrica do concreto e o tempo de mistura, conforme pode ser observado nas figuras 42 a 45.

Para cada dosagem, a cada hora de mistura, observou-se que enquanto ocorria ganho ou manutenção da resistência média durante o tempo de mistura, o valor médio da resistividade elétrica volumétrica do concreto continuava a diminuir. Este fenômeno se repetiu para todos os tipos de cimentos e mostrou que, apesar do concreto estar ganhando resistência e a resistência ter tendência de aumentar ao longo do tempo, as amostras avaliadas, com maiores tempo de mistura, se mostravam mais porosas e o concreto mais vulnerável a ataques químicos.

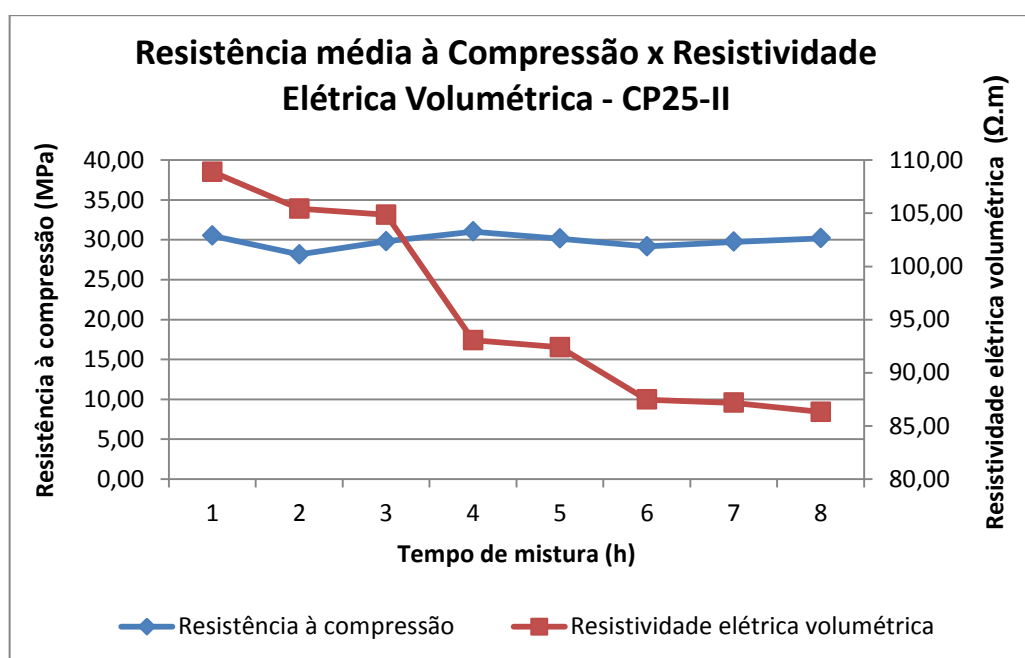


Figura 42 - Correlação entre a resistência média à compressão e a resistividade elétrica volumétrica para a dosagem CP25-II.

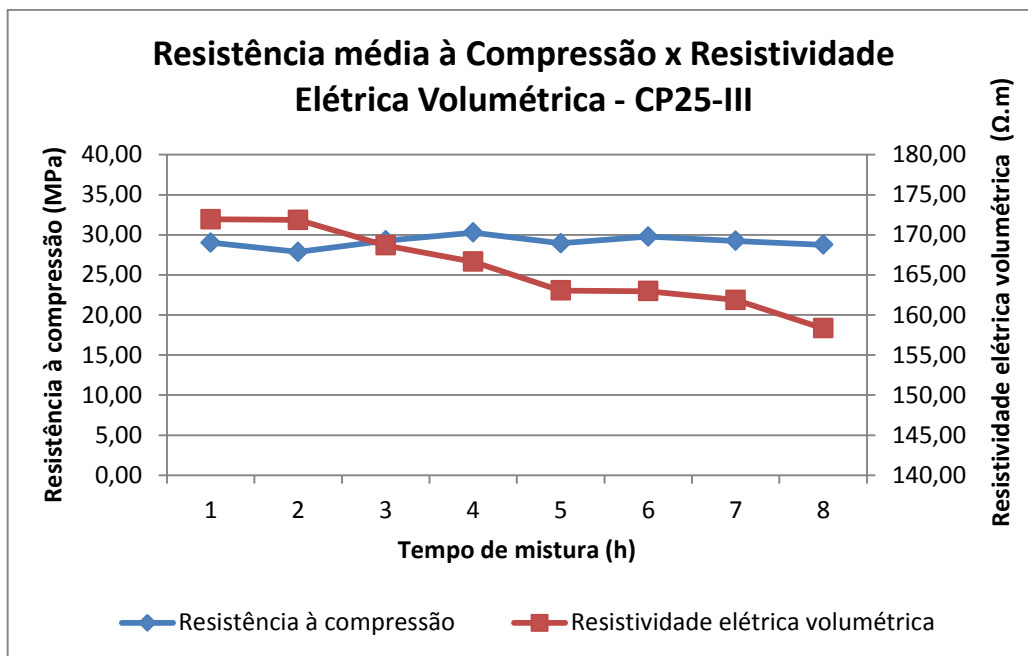


Figura 43 - Correlação entre a resistência média à compressão e a resistividade elétrica volumétrica para a dosagem CP25-III.

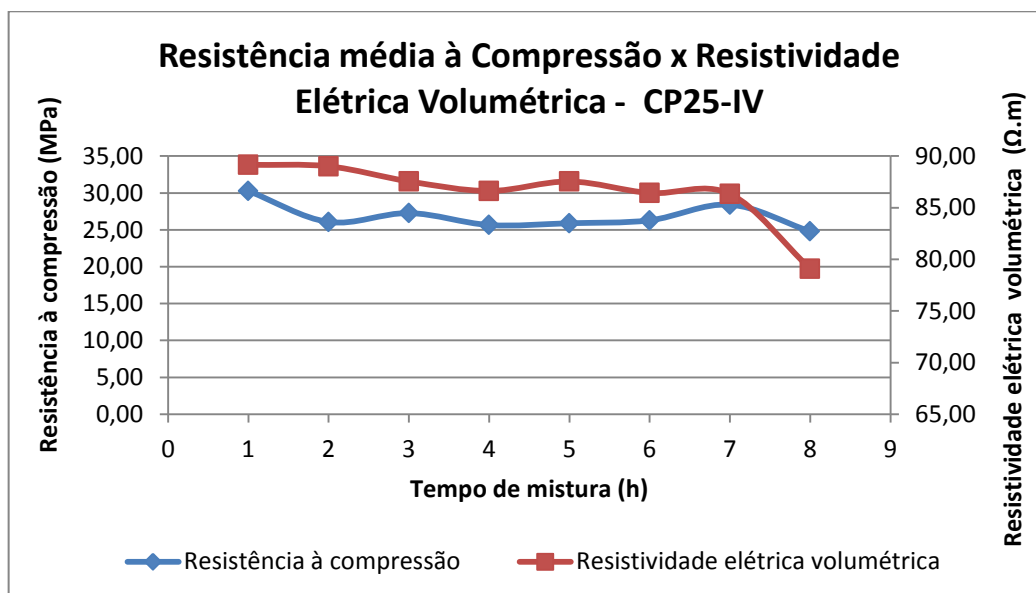


Figura 44 - Correlação entre a resistência média à compressão e a resistividade elétrica volumétrica para a dosagem CP25-IV.

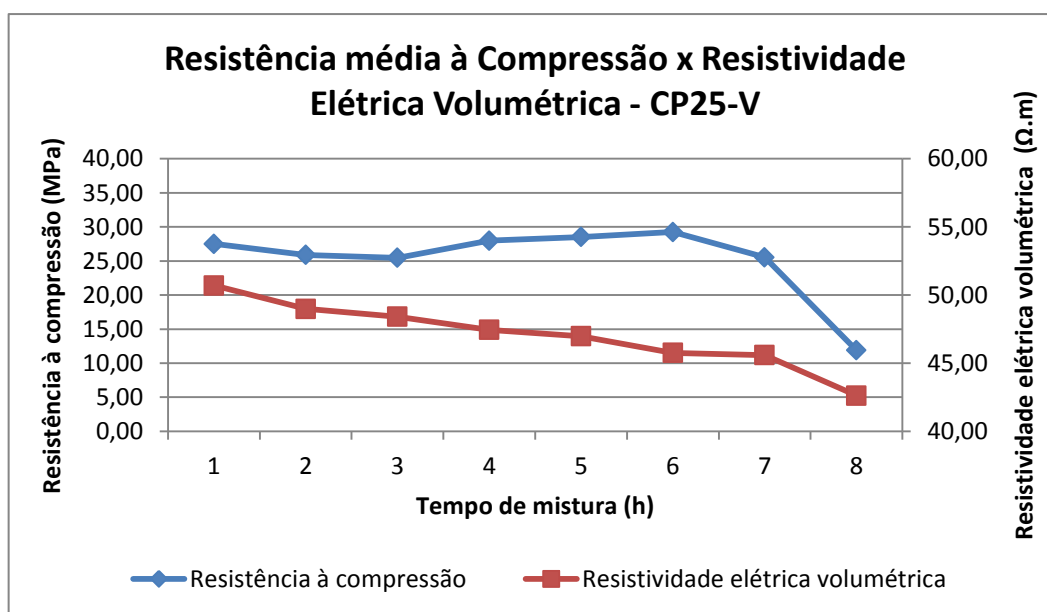


Figura 45 - Correlação entre a resistência média à compressão e a resistividade elétrica volumétrica para a dosagem CP25-V.

Da mesma forma, ao avaliar a relação entre a resistência à compressão e a resistividade elétrica superficial, para todas as dosagens, observou-se o mesmo comportamento, confirmando que a cada hora de mistura a resistividade do concreto tende a diminuir.

### 5.10 Relação entre a resistência média à compressão e a densidade aparente

Assim como houve relação entre a resistência à compressão o módulo de elasticidade e a resistividade elétrica do concreto, também foi possível fazer esta relação com a densidade aparente em função do tempo de mistura.

Nas figuras 46 a 49 são apresentados os gráficos com os valores médios das resistências e dos valores encontrados para a densidade aparente das amostras, na idade de 28 dias.

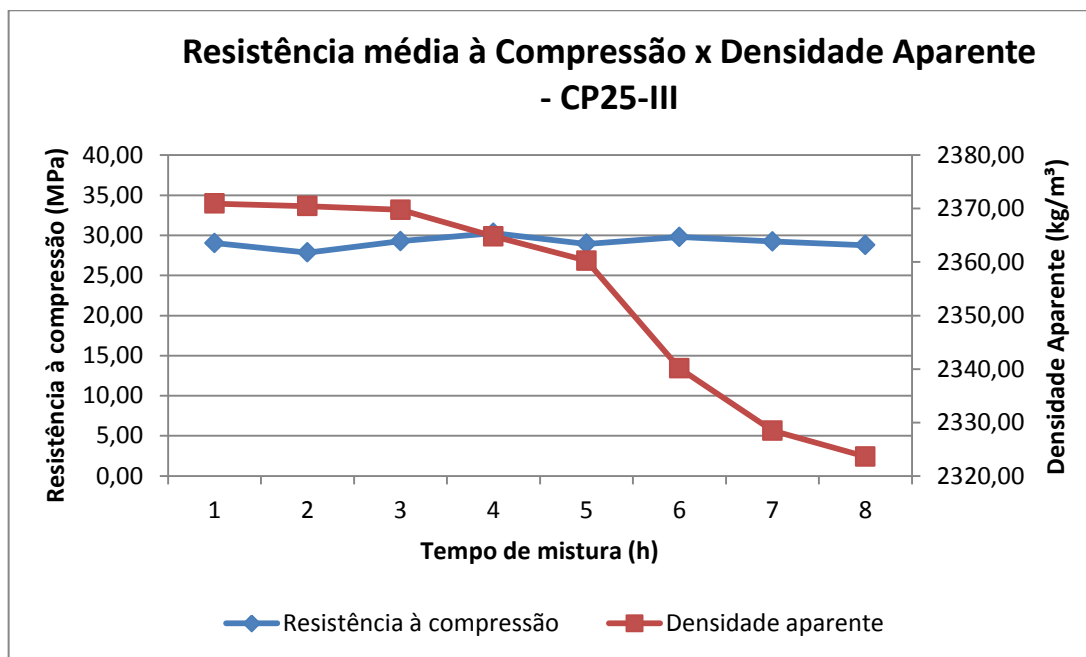


Figura 46 - Correlação entre a resistência média à compressão e a densidade aparente para a dosagem CP25-III.

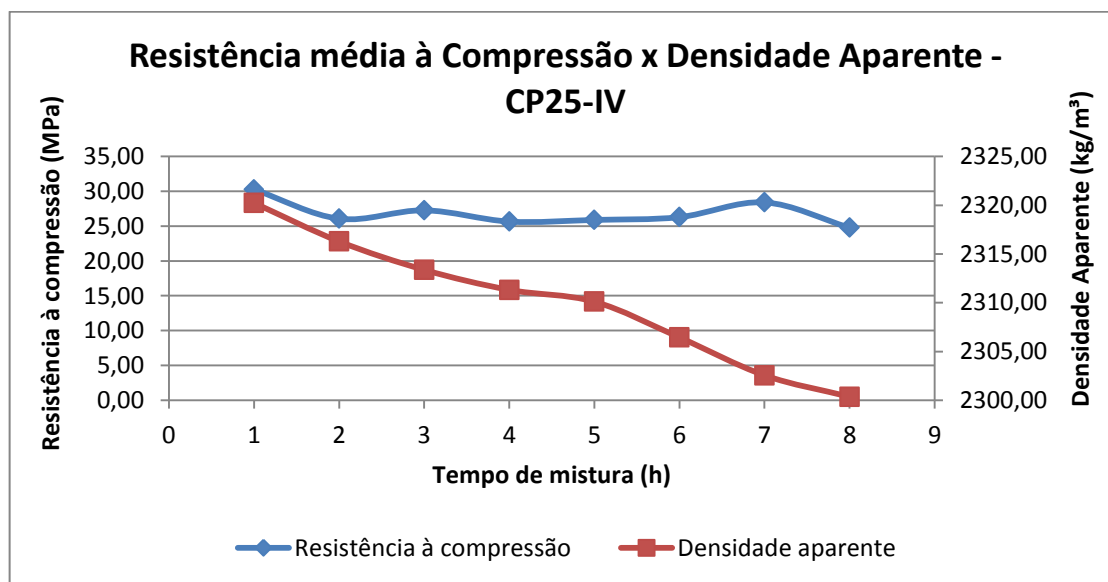


Figura 47 - Correlação entre a resistência média à compressão e a densidade aparente para a dosagem CP25-IV.



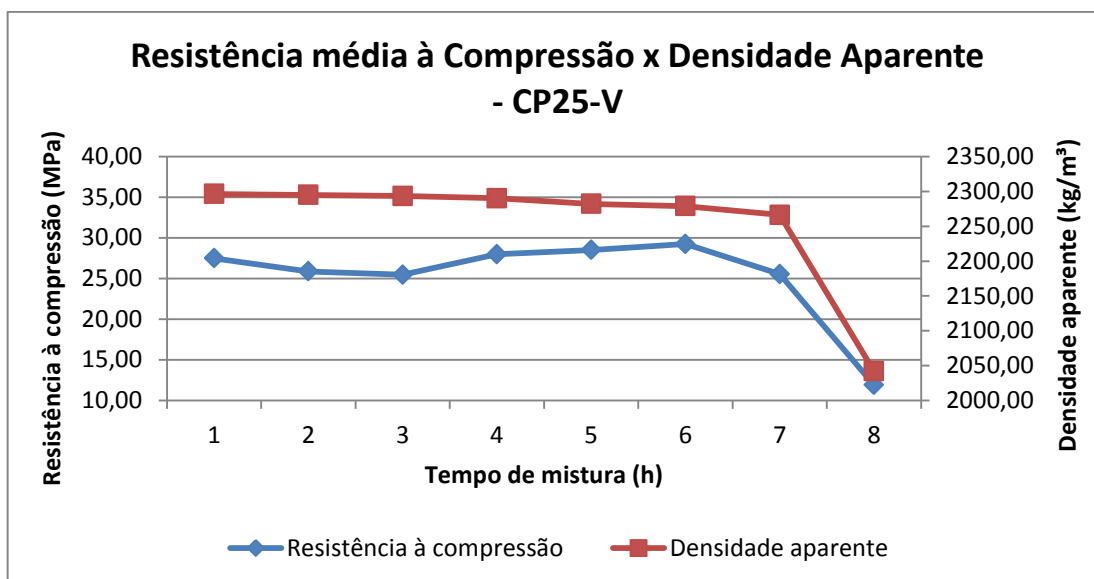


Figura 48 - Correlação entre a resistência média à compressão e a densidade aparente para a dosagem CP25-V.

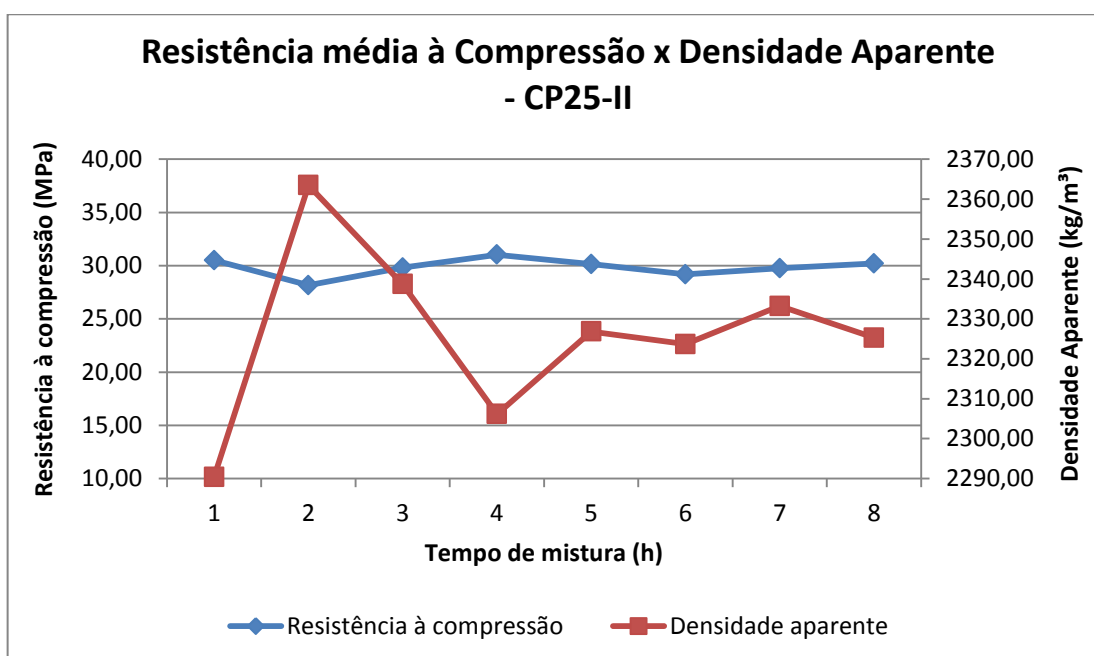


Figura 49 - Correlação entre a resistência média à compressão e a densidade aparente para a dosagem CP25-II.

Como se pode perceber pelos gráficos apresentados nas figuras 46 a 48, as dosagens CP25-III, CP25-IV e CP25-V mostram que, enquanto a resistência média tende a se manter ou mesmo aumentar, ainda assim a densidade tende a diminuir a cada hora de mistura, mostrando que, apesar de não haver perda

significante da resistência durante as oito horas de mistura, as amostras avaliadas possuem mais vazios a cada hora de avaliação.

Já para a dosagem CP25-II pode-se observar, pelo gráfico da figura 49, que entre a primeira e terceira hora de mistura houve um aumento da densidade enquanto a resistência baixava, sendo que, a partir da quarta hora, volta a aparecer a tendência da redução da densidade, enquanto a resistência se mantém com oscilações pouco significativas.

## 6 CONCLUSÕES

Por conseguinte, por meio dos resultados desta pesquisa pode-se destacar algumas considerações importantes.

Com os ensaios experimentais que foram realizados para o concreto fresco e para o concreto endurecido, nos diversos ciclos de mistura prolongada por 8 horas, foi possível conhecer as principais propriedades do concreto, tais como: massa específica, plasticidade, temperatura do concreto durante a mistura, resistividade elétrica volumétrica e superficial, módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão. Apenas a avaliação do ar incorporado apresentou resultados inconclusivos e vários ensaios foram realizados após o início de pega do cimento, ou seja, com o concreto vencido, o que permitiu conhecer o comportamento do concreto nesta situação em uma mistura prolongada de até oito horas.

A diminuição da água de amassamento durante a mistura prolongada provoca a perda de plasticidade com o tempo e as dosagens realizadas com cimento CP V ARI, por ser um cimento com menor tempo de início e fim de pega, tendem a diminuir a plasticidade do concreto em menor espaço de tempo, quando comparadas com os outros traços dosados com diferentes tipos de cimentos.

A perda de abatimento é provocada pelo consumo da água livre da mistura pelas reações de hidratação e por evaporação. Trata-se de fenômeno comum para todos os tipos de dosagem proveniente da perda de fluidez no decorrer do tempo que compromete a plasticidade do concreto e reduz a trabalhabilidade.

Pode-se concluir que o tipo de cimento utilizado influencia na perda de abatimento e plasticidade, sendo que o cimento CP V ARI além de apresentar perda de abatimento em pouco tempo de mistura, se mostrou menos plástico durante todo o tempo de mistura. O cimento CP III 40 RS foi o que apresentou o melhor comportamento em relação à plasticidade e trabalhabilidade na mistura de oito horas.

Com o monitoramento da temperatura, notou-se que não houve significativa alteração da temperatura do concreto durante as oito horas de mistura para cada tipo de dosagem estudada, mostrando que a temperatura do concreto acompanhou a temperatura ambiente durante a mistura.

A comparação entre os valores encontrados para a massa específica do concreto fresco e os valores das densidades aparentes, para todas as dosagens, mostraram que, em misturas prolongadas, a cada hora, diminuem-se os valores da massa específica do concreto fresco e reduzem os valores das densidades aparentes do concreto. Essas reduções são motivadas pela perda de água para o meio e para as reações de hidratação do cimento na fase de endurecimento.

Ainda sobre a massa específica pode-se concluir que, para cada hora de ensaio das dosagens avaliadas, há uma tendência da redução da massa específica ao longo do tempo de mistura. Contudo, para todas as dosagens avaliadas, a cada hora de mistura, a massa específica do concreto fresco se mostrou dentro das normalidades para um concreto convencional.

Os resultados das medições do teor de ar incorporado para cada hora de mistura das dosagens estudadas se mostraram inconclusivos. Acredita-se ter ocorrido falhas nas medições em função da falta de calibração do equipamento.

Pode-se concluir ainda que, a cada hora de mistura, existe uma tendência de redução da resistividade elétrica do concreto, mostrando que misturas prolongadas podem deixar o concreto mais propenso aos ataques químicos devido o aumento de porosidade do concreto, sugerindo que, quanto maior o tempo de mistura, menor será a resistividade do concreto. Porém, como as avaliações foram realizadas na idade de 26 dias é de se esperar que a resistividade venha aumentar ao logo do tempo.

Para os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade, pode-se concluir que a partir da sétima hora de mistura, existe uma tendência para redução no valor do módulo de elasticidade para as dosagens estudadas, principalmente para a dosagem CP25-V quando comparada aos demais resultados. Mesmo assim, os

resultados observados não tiveram perdas significativas se comparadas às médias encontradas e, no geral, acompanharam os valores de resistência à compressão.

Para as avaliações individuais das amostras das dosagens, pode-se concluir que a dosagem CP25-III foi a que melhor se comportou durante as oito horas de misturas, foi a que se manteve mais trabalhável, alcançando os melhores resultados médios para massa específica, densidade, resistividade elétrica, módulo de elasticidade e resistência à compressão. Porém, a dosagem CP25-V foi a dosagem que obteve os piores resultados quando comparados ao comportamento das demais dosagens durante as oito horas de mistura.

Portanto, esta pesquisa mostrou que para as propriedades avaliadas, os cimentos que melhor se comportaram durante a mistura de oito horas foram, respectivamente, o CP III 40 RS, CP II E 32, CP IV 32 RS e CP V ARI. Sendo que, apenas para a média das resistências à compressão, o CP IV 32 RS se comportou melhor que o CP II E 32.

Destarte, é importante registrar um destaque para o cimento CP III 40 RS e para o CP V ARI que, respectivamente, apresentaram o melhor e o pior comportamento durante o estudo para mistura prolongada de oito horas, sendo que o motivo para os melhores resultados atingidos pela dosagem CP25-III são as características da composição do cimento CP III 40 RS, pois conforme visto no item 3.24 deste trabalho e no quadro 23, trata-se de um cimento de alto-forno, de baixa permeabilidade, resistente a meios agressivos como sulfatos, com um baixo calor de hidratação, com regularidade nas propriedades físico-químicas e resistências finais elevadas com alta composição de escória.

Já o cimento CP V ARI, é um tipo de cimento que não possui adições com alta dosagem de clínquer, apesar de oferecer maior plasticidade no início da mistura, possui tempo de pega mais rápido, tendo como principal característica a alta resistência inicial.

Quadro 23 - Limite de composição dos cimentos Portland (em porcentagem de massa)

Designação Cimento Portland	Sigla	Clínquer + sulfato de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Comum	CP I	95 – 100	0 – 5	0 – 5	0 – 5
Comum com adição	CP I-S	90 – 94	0	0	6 – 10
Composto com escória	CP II-E	51 – 94	6 – 34	0	0 – 15
Composto com material pozolânico	CP II-Z	71 – 94	0	6 – 14	0 – 15
Composto com material carbonático	CP II-F	75 – 89	0	0	11 – 25
Alto-forno	CP III	25 – 65	35 – 75	0	0 – 10
Pozolânico	CP IV	45 – 85	0	15 – 50	0 – 10
Alta resistência Inicial	CP V-ARI	90 – 100	0	0	0 - 10
Branco estrutural	CPB	75 – 100	0	0	0 – 25
Branco não estrutural	CPB	50 – 74	0	0	26 - 50

\*No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno.

Fonte: (ABNT NBR 16697, 2018) – adaptado.

Finalmente ainda se pode concluir que existe uma tendência de redução da densidade do concreto em misturas prolongadas de até oito horas, mesmo sem significativas alterações na resistência à compressão neste mesmo período.

Para as dosagens avaliadas na mistura de oito horas, a cada hora de mistura, o módulo de elasticidade acompanha ou supera os aumentos da resistência à compressão.

Em misturas prolongadas, a cada hora de mistura, apesar de não haver grandes perdas de resistência à compressão, há uma nítida redução da resistividade do concreto o que pode mostrar que a cada hora de mistura o concreto produzido seja mais poroso, não sendo possível precisar se há interconexões entre os poros.

Conforme mostrado na figura 50, nas inspeções visuais dos corpos de provas moldados durante a pesquisa, pode-se facilmente observar que as amostras com tempo de mistura superior a cinco horas apresentavam pequenas falhas de

concretagem (ocorridas durante a moldagem dos corpos de provas devido à baixa plasticidade) sendo ainda mais perceptíveis na oitava hora de mistura.

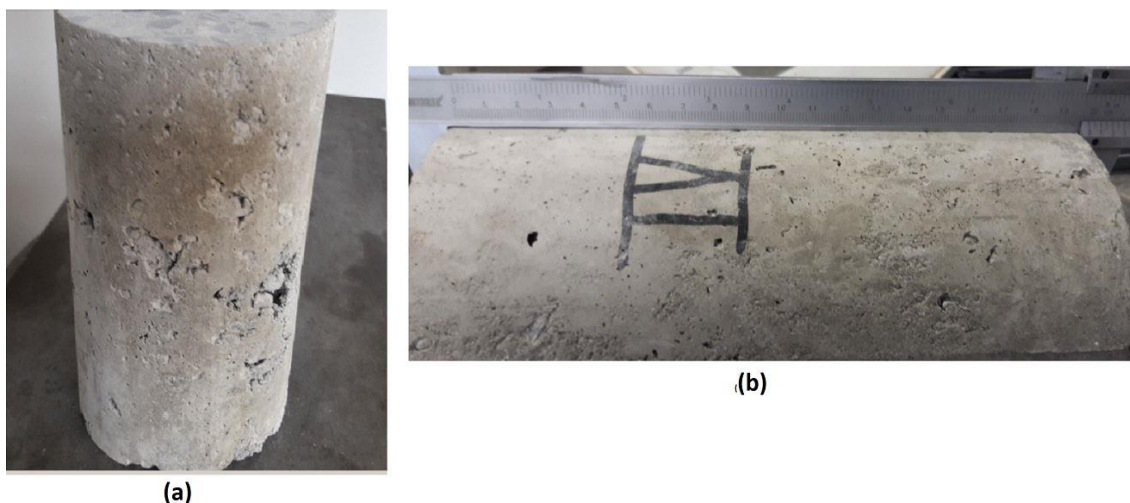


Figura 50 - Corpo de prova da 7<sup>a</sup> hora (a) e da 4<sup>a</sup> hora (b) - Dosagem CP25-III.

### 6.1 Considerações finais

Este estudo foi desenvolvido para uma mistura prolongada de até oito horas, na qual se avaliou algumas das principais propriedades do concreto, tais como: consistência, plasticidade, massa específica, densidade, módulo de elasticidade, resistividade elétrica e resistência à compressão. Porém, acredita-se que pode haver maiores perdas significativas destas propriedades após esse tempo avaliado.

A perda de abatimento pode ser atribuída à perda de água para o meio por evaporação, o que ocasiona a diminuição da água na mistura, baixando a relação água cimento e esta redução proporciona condições para ganho de resistência.

O tipo do cimento se mostrou representativo no desempenho das propriedades avaliadas na mistura prolongada, com destaque para o cimento CP V ARI, que mais se diferenciou dos comportamentos dos demais cimentos avaliados e apresentou os piores resultados para mistura prolongada. Tal fato pode ser justificado devido ao endurecimento mais rápido pelas suas características e

composição serem voltadas para atingir altas resistências em curto espaço de tempo.

Um dos maiores desafios observados durante a pesquisa foi a dificuldade de se trabalhar com concreto convencional com *slump* muito baixo ou até mesmo nulo. Sabe-se que essa dificuldade é ainda maior nos canteiros de obras, onde em situações em que o concreto perde consistência, fica cada vez mais difícil o adensamento, provocando falhas de concretagens que podem comprometer um elemento estrutural por inteiro.

Ainda assim, é possível trabalhar com concretos de mistura prolongada. Com os atrasos no lançamento do concreto pode-se facilmente se deparar com situações de perda de consistência e trabalhabilidade em canteiros de obras, nas quais se deve evitar no máximo a utilização de água além da prevista na dosagem, com o intuito de querer melhorar a trabalhabilidade, devido ao conceito de que a adição de água no concreto, sem o devido controle tecnológico, é prejudicial à resistência mecânica do concreto, principalmente se isto ocorrer em concretos vencidos já em fase de endurecimento.

Os resultados mostraram que, mesmo com a utilização de aditivo plastificante, após 5 horas de mistura, há significativa perda de plasticidade dificultando o adensamento do concreto. Notou-se, ainda, uma tendência dos valores do módulo de elasticidade dinâmico ao longo do tempo de ensaio acompanharem os valores de resistência à compressão, mas sem haver correlações entre estes valores, porém pode-se perceber uma significativa diminuição da resistividade elétrica do concreto a cada hora de mistura.

Este trabalho permitiu concluir que alguns cuidados devem ser tomados para se trabalhar com concreto de misturas prolongadas, principalmente a partir da sexta hora de mistura, pois a perda de plasticidade do concreto dificulta o lançamento e o adensamento do concreto, proporcionando aumento de vazios que baixam a sua resistividade elétrica e o deixa mais propício aos ataques químicos.



Em misturas prolongadas não há significativa perda de resistência à compressão, o que leva a crer, guardados os devidos cuidados, ser possível utilizar o concreto após o tempo recomendado pela norma brasileira. No entanto, até que sejam realizados outros estudos mais aprofundados relacionados à durabilidade do concreto em mistura prolongada, não havendo previsão de uso de aditivos retardadores de pega na composição da dosagem, é recomendado seguir o tempo limite de lançamento e adensamento do concreto previsto pela NBR 7212:2012 de no máximo 150 minutos após a adição da primeira água de mistura.

A norma brasileira NBR 7212 (ABNT, 2012) recomenda a não utilização de concretos com mais de duas horas e meia após a adição da primeira água. Este trabalho mostrou ser possível trabalhar com concreto com tempos superiores aos recomendados. Porém, nem todas as propriedades do concreto foram avaliadas, o que faz acreditar que, mesmo não havendo perdas significativas de resistência à compressão, módulo de elasticidade, massa específica, densidade aparente e aumento excessivo de temperatura, ainda assim, acredita-se que para as recomendações propostas pela referida norma, levou-se em consideração outros fatores para limitar o tempo de uso, com o intuito de garantir a vida útil e a durabilidade das estruturas de concreto produzidas com concreto usinado.

## **6.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Considerando ainda o tema principal desta pesquisa e por haver pouca literatura sobre a utilização de concreto vencido e mistura prolongada, são apresentadas a seguir algumas propostas de pesquisa futuras:

- investigar a porosidade e interconexão dos poros do concreto produzido em mistura prolongada;
- Pesquisar e avaliar os aspectos de durabilidade do concreto de mistura prolongada;

- avaliar a homogeneidade do concreto de mistura prolongada e o comportamento em relação à penetração de íons cloreto; profundidade de carbonatação; teor de umidade de equilíbrio; difusividade de água e penetração de água sob pressão;
- estudar a distribuição e as dimensões de poros e índices de vazios em concretos de misturas prolongadas;
- apurar o desempenho de outros aditivos nas misturas prolongadas;
- pesquisar métodos, aditivos e adições para manter a trabalhabilidade e plasticidade do concreto em misturas prolongadas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland, preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 16606**: Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 16607**: Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7212:** Execução de concreto dosado em central - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 8522:** Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 8953:** Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 9204:** Concreto endurecido - Determinação da resistividade elétrica volumétrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 9833:** Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 33:** Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 47:** Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico. Rio de Janeiro, 2002.

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

ALHOZAIMY, A. M. Effect of retempering on the compressive strength of ready-mixed concrete in hot-dry environments. **Cement & Concrete Composites** **29**, 20 October 2007. 124-127.

ALMEIDA, S. M. D. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de cimento Portland através de ensaios de compressão simples e frequência ressonante**. 2012. 213 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural, 2000. p. 49-83.

ARAÚJO, U. C.; GOULART, D. P.; OLIVEIRA, C. F. Avaliação da perda de desempenho de estrutura executada com concreto usinado vencido. In: XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, 2017, Crato. **Anais...** Ceará 7-9 September 2017. p. 406 a 423.

AZARSA, P.; GUPTA, R. Electrical Resistivity of Concrete for Durability Evaluation: A Review. **Advances in Materials Science and Engineering**, May 2017. 30.

BARBAR, J. S. **Influência do teor de ar incorporado no desempenho de concretos com diferentes teores de agregados**. 2016. 150 f. Tese (doutorado) – USP - Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2016.

BASKOCA, A.; OZKUL, M. H.; ARTIRMA, S. Effect of chemical admixtures on workability and strength properties of prolonged agitated concrete. **Cement and Concrete Research**, USA, 17 february 1998. 737 - 747.

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

COSTA, J. M.; AZZI, S. S. Comparação da resistência elétrica superficial e volumétrica do concreto em cimento portland CP IV. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, 8, n. 1<sup>a</sup>, 01 JAN/JUN 2017 2017. 36-46.

DUARTE, A. S. L. et al. Determinação da resistividade elétrica e da porosidade aberta de compósitos cimentícios de engenharia. In: 21<sup>o</sup> CBECMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 2014, Cuiabá, **Anais...** Cuiabá 09 a 13 novembro 2014. p. 2194 a 2211.

ERDOĞDU, Ş. Effect of retempering with superplasticizer admixtures on slump loss and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing. **Cement and Concrete Research**, 35, 2005. 907-912.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. São Paulo: PINI, v. 1, 2008.

KIRCA, O.; TURANLI, L.; ERDOĞAN, T. Y. Effects of retempering on consistency and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing. **Cement and Concrete Research** 32, 2 October 2002. 441-445.

LAFARGEHOLCIM. **Catálogo de Produtos e Soluções**. Rio de Janeiro, p. 46-52. 2018.

LENCIONI, J. W.; LIMA, M. G. D. Principais fatores intervenientes nas medidas de resistividade. In: XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, 6., 2010, Córdoba. **Anais...**, Argentina, 2 a 4 junho 2010.

MASCOLO, R. **Concreto Usinado: Análise da avaliação de resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira**. 2012. 130 f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3 ed. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5<sup>o</sup>. ed. Porto Alegre: Bookman, v. 1, 2016. 888 p. ISBN ISBN 978-85-8260-365-9. Livro.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Tradução de Ruy Alberto Creminini. 2<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre: Bookman, v. 1, 2013. 448 p. ISBN ISBN 978-85-8260-071-9. Livro.

PACHECO, J. et al. Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto. In: 56<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Concreto - CBC2014, 2014, Natal. **Anais...** Natal, 07 outubro 2014. Natal.

PACHECO, J.; HELENE, P.; ENGENHARIA, P. Entenda o Concreto: Controle da resistência do concreto – 2<sup>a</sup> Parte. **Revista Ibracon**, Gramado, 2013. 90-98. 55<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Concreto.

PEREIRA, M. D. S. **Controle da Resistência do Concreto: Paradigmas e Variabilidades - Estudo de Caso**. 2008. 229 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 5<sup>a</sup> edição. ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1978. 307 p.

POLDER, R. et al. Test methods for on site measurement of resistivity of concrete. **RILEM TC 154-EMC: Electrochemical Techniques for measuring. Materials and Structures/Matériaux et Constructins**, Madrid, 33, December 2000. 603-611.

POLESELLO, E. **Avaliação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água de Concretos Utilizados após o Tempo Máximo de Mistura e Transporte Especificado pela NBR 7212**. 2012. 141 f. Dissertação de mestrado

- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

POLESELLO, E. et al. O limite de tempo especificado pela NBR 7212, para mistura e transporte do concreto, pode ser ultrapassado? **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. Volume 6, p. 339-359, 05 Abril 2013. ISSN 1983-4195.

RAHMAN, M. M. et al. Mixing time effects on properties of self compacting concrete. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, Vol. 6, n. 8, August 2011. 108 - 114.

RAVINA, D.; SOROKA, I. Slump loss and compressive strength of concrete made with WRR and HRWR admixtures and subjected to prolonged mixing. **Cement and Concrete Research**, **24**, 3 February 1994. 1455-1462.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 4ª edição. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2015.

SIKA. **Manual Técnico de Produtos Sika**. Osasco, p. 78-79. 2016.

SILVA, L. M. A. E. **Resistividade Elétrica Superficial do Concreto: Influência da cura**. 2016. 68 f. Monografia (Projeto Final do Curso Engenharia Civil), - Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2016.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. London: [s.n.], 1990.

TEIXEIRA, M. M. Resistividade Elétrica. **Brasil Escola**, 2018. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/resistividade-eletrica.htm>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

TEIXEIRA, R. B.; PELISSER, F. Análise da perda de resistência à compressão do concreto com adição de água para correção da perda de abatimento ao longo do tempo. **Revista de Iniciação Científica**, Criciúma, 5, 2007. 1-15.



THOMAZ, E. C. S. **Hidratação do Cimento Portland**, 2011. Disponível em: <<http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/index.html>>. Acesso em: 28 jun. 2018. 14 p.

ZANETTI, J. J. Tempo de utilização do concreto em estado fresco: contestação de paradigma. In: 57º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2015, 2015, Bonito. **Anais...** Mato Grosso do Sul, outubro 2015.

**APÊNDICE A - Planilhas demonstrativas dos cálculos do módulo de elasticidade dinâmico, da resistência à compressão, da resistividade elétrica superficial, da resistividade elétrica volumétrica e da massa específica.**

<b>RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (18/04/2018) - CP25-II</b>																		
Tempo (h)	Corpos de Prova 28 dias	Peso (kg)	$\phi$ (cm)	L (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (Kgf)	$f_c$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Desv. Pad. (Se)	Coef. Var. (CVe)	$f_{cm}$ (MPa) mínimo	$f_{cm}$ (MPa) máximo	$f_{cm}$ (MPa) novo	$f_{cm}$ (MPa) adotado	$f_{ckest}$ (MPa)	Novo (Se)	Novo (Cve)	Nível da NBR5739
1	T1 -1	3.63	10.00	19.80	7853.98	24.112.00	30.11	30.98	1.43	4.61	29.55	32.40	30.11	30.27	29.89	0.23	0.76	Excelente
	T1 -2	3.62	9.90	20.00	7697.69	25.980.00	33.10						-					
	T1 -3	3.64	9.90	20.00	7697.69	23.680.00	30.17						30.17					
	T1 -4	3.65	9.90	20.00	7697.69	23.968.00	30.53						30.53					
2	T2 -1	3.60	10.00	20.00	7853.98	21.828.00	27.25	27.58	3.18	11.54	24.39	30.76	27.25	26.06	24.07	1.21	4.64	Bom
	T2 -2	3.59	10.00	19.80	7853.98	20.903.00	26.10						26.10					
	T2 -3	3.58	10.00	19.80	7853.98	19.893.00	24.84						24.84					
	T2 -4	3.60	9.70	19.50	7389.81	24.202.00	32.12						-					
3	T3 -1	3.67	9.90	20.00	7697.69	19.905.00	25.36	27.39	1.78	6.50	25.61	29.17	-	27.27	26.49	0.47	1.73	Excelente
	T3 -2	3.66	10.00	20.00	7853.98	23.752.00	29.66						-					
	T3 -3	3.66	10.00	20.00	7853.98	21.573.00	26.94						26.94					
	T3 -4	3.63	10.00	20.00	7853.98	22.108.00	27.60						27.60					
4	T4 -1	3.65	10.00	19.80	7853.98	21.000.00	26.22	25.17	1.14	0.29	24.03	26.32	26.22	25.65	24.40	0.76	2.96	Excelente
	T4 -2	3.59	10.00	19.50	7853.98	19.004.00	23.73						-					
	T4 -3	3.63	10.00	19.90	7853.98	19.856.00	24.79						24.79					
	T4 -4	3.62	10.00	19.90	7853.98	20.781.00	25.95						25.95					
5	T5 -1	3.68	10.00	20.00	7853.98	20.550.00	25.66	26.16	1.62	6.18	24.55	27.78	25.66	25.89	25.35	0.33	1.29	Excelente
	T5 -2	3.65	10.00	20.00	7853.98	20.927.00	26.13						26.13					
	T5 -3	3.65	10.00	20.00	7853.98	22.717.00	28.36						-					
	T5 -4	3.64	10.00	20.00	7853.98	19.625.00	24.50						-					

(continua)

(continuação)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (18/04/2018) - CP25-II																		
Tempo (h)	Corpos de Prova 28 dias	Peso (kg)	$\phi$ (cm)	L (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (Kgf)	$f_c$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Desv. Pad. (Se)	Coef. Var. (CVe)	$f_{cm}$ (MPa) mínimo	$f_{cm}$ (MPa) máximo	$f_{cm}$ (MPa) novo	$f_{cm}$ (MPa) adotado	$f_{ckest}$ (MPa)	Novo (Se)	Novo (Cve)	Nível da NBR5739
6	T6 -1	3.68	10.00	20.00	7853.98	21.877.00	27.32	26.13	2.71	10.39	23.42	28.85	27.32	26.29	23.89	1.45	5.52	Razoável
	T6 -2	3.69	10.00	20.00	7853.98	20.233.00	25.26						25.26					
	T6 -3	3.62	10.00	20.00	7853.98	23.326.00	29.13						-					
	T6 -4	3.61	10.00	20.00	7853.98	18.273.00	22.82						-					
7	T7 -1	3.69	10.00	20.00	7853.98	22.303.00	27.85	28.83	3.51	12.17	25.32	32.34	27.85	28.41	27.10	0.80	2.80	Excelente
	T7 -2	3.65	10.00	20.00	7853.98	23.204.00	28.97						28.97					
	T7 -3	3.67	10.00	20.00	7853.98	20.051.00	25.04						-					
	T7 -4	3.65	10.00	20.00	7853.98	26.808.00	33.47						-					
8	T8 -1	3.75	10.00	20.00	7853.98	12.576.00	15.70	23.71	5.85	24.66	17.86	29.55	-	24.78	22.61	1.31	5.30	Excelente
	T8 -2	3.59	10.00	20.00	7853.98	20.587.00	25.71						25.71					
	T8 -3	3.67	10.00	20.00	7853.98	23.688.00	29.58						-					
	T8 -4	3.60	10.00	20.00	7853.98	19.100.00	23.85						23.85					

Tempo (h)	Idade 26 dias	Resistência chant	$\phi$ (m)	L (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Resistividade Elétrica Volumétrica - data 16/04/2018 - CP25-II						Média	Des. Pad	Valor mín.	Valor máx.	Valor ( $\Omega$ .m)
						Ch 01 RMS (V)	Ch 02 RMS (V)	Frequência (hz)	Ch02 PaP (V)	R (Ohm)	Resistividade (Ohm.m)					
1	T1 -1	671.94	0.10	0.20	.007854	9.00	1.79	40	5.20	2.706.53	106.29	111.17	6.73	104.44	117.90	108.89
	T1 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	9.00	1.67	40	4.88	2.949.29	115.82					
	T1 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	7.99	1.61	40	4.72	2.662.72	104.56					
	T1 -4	671.94	0.10	0.20	.007854	7.99	1.46	40	4.40	3.005.32	118.02					
2	T2 -1	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.59	40	4.96	2.691.99	105.71	113.62	17.63	95.99	131.25	105.42
	T2 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	9.98	1.60	40	4.80	3.519.29	138.20					
	T2 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	7.97	1.70	40	5.12	2.478.27	97.32					
	T2 -4	671.94	0.10	0.20	.007854	7.99	1.51	40	4.40	2.883.56	113.24					
3	T3 -1	671.94	0.10	0.20	.007854	7.98	1.64	40	4.76	2.597.62	102.01	112.03	14.69	97.34	126.71	104.86
	T3 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	7.97	1.55	40	4.60	2.783.13	109.29					
	T3 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	8.00	1.32	40	3.96	3.400.42	133.53					
	T3 -4	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.62	40	4.24	2.629.69	103.27					
4	T4 -1	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.77	40	5.16	2.349.89	92.28	94.52	3.01	91.52	97.53	93.06
	T4 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	7.93	1.67	40	4.88	2.518.77	98.91					
	T4 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.76	40	5.28	2.367.06	92.95					
	T4 -4	671.94	0.10	0.20	.007854	7.98	1.75	40	5.20	2.392.11	93.94					
5	T5 -1	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.57	40	4.72	2.734.84	107.40	96.14	7.62	88.52	103.76	92.39
	T5 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	7.93	1.75	40	5.20	2.372.91	93.18					
	T5 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	7.93	1.79	40	5.28	2.304.87	90.51					
	T5 -4	671.94	0.10	0.20	.007854	7.95	1.75	40	5.28	2.380.59	93.49					
6	T6 -1	671.94	0.10	0.20	.007854	7.95	1.75	40	5.12	2.380.59	93.49	88.97	3.08	85.89	92.05	87.47
	T6 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.83	40	5.36	2.250.82	88.39					
	T6 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	7.94	1.85	40	5.44	2.211.95	86.86					
	T6 -4	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.85	40	5.44	2.219.22	87.15					

(continua)

(continuação)

Tempo (h)	Idade 26 dias	Resistência chant	$\phi$ (m)	L (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Resistividade Elétrica Volumétrica - data 16/04/2018 - CP25-II						Des. Pad	Valor mín.	Valor máx.	Valor ( $\Omega$ .m)	
						Ch 01 RMS (V)	Ch 02 RMS (V)	Frequência (hz)	Ch02 PaP (V)	R (Ohm)	Resistividade (Ohm.m)					Média
7	T7 -1	671.94	0.10	0.20	.007854	7.93	1.86	40	5.04	2.192.84	86.11	88.81	3.38	85.43	92.18	87.17
	T7 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	7.94	1.83	40	5.12	2.243.47	88.10					
	T7 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	7.92	1.74	40	5.12	2.386.55	93.72					
	T7 -4	671.94	0.10	0.20	.007854	7.97	1.85	40	4.88	2.222.85	87.29					
8	T8 -1	671.94	0.10	0.20	.007854	7.93	1.86	40	5.12	2.192.84	86.11	86.68	0.98	85.70	87.66	86.30
	T8 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	7.94	1.87	40	4.96	2.181.11	85.65					
	T8 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.85	40	4.96	2.219.22	87.15					
	T8 -4	671.94	0.10	0.20	.007854	7.92	1.83	40	4.96	2.236.13	87.81					

Tempo (h)	Resistividade Elétrica Superficial (16/04/2018) - CP25-II – idade: 26 dias				Média	Resistividade Considerada ( $\Omega.m$ )
	M1 ( $\Omega.cm$ )	M2 ( $\Omega.cm$ )	M3 ( $\Omega.cm$ )	M4 ( $\Omega.cm$ )	M4 ( $\Omega.cm$ )	
1	20.00	21.70	21.40	19.80	20.73	250.13
	25.90	24.60	26.20	26.30	25.75	
	26.40	26.60	28.00	28.20	27.30	
	27.40	26.20	26.20	25.30	26.28	
2	23.40	22.30	22.30	23.20	22.80	240.13
	22.30	23.40	23.50	22.30	22.88	
	24.00	24.20	22.80	23.90	23.73	
	26.30	25.80	27.50	27.00	26.65	
3	23.70	22.40	21.30	22.90	22.58	233.81
	25.80	26.20	24.10	22.10	24.55	
	21.20	21.50	22.10	21.50	21.58	
	25.00	27.10	23.80	23.40	24.83	
4	30.70	26.20	28.80	29.60	28.83	232.69
	20.20	21.00	21.80	21.00	21.00	
	22.60	24.60	21.50	21.70	22.60	
	21.60	20.20	20.20	20.60	20.65	
5	22.30	22.30	22.30	23.30	22.55	218.25
	20.20	22.00	21.80	22.00	21.50	
	22.60	24.60	21.50	21.70	22.60	
	21.60	20.20	20.20	20.60	20.65	
6	21.60	21.20	25.00	22.00	22.45	217.94
	20.20	20.90	19.70	20.00	20.20	
	22.40	22.20	21.60	22.10	22.08	
	22.10	22.40	22.70	22.60	22.45	
7	20.20	20.00	20.30	20.90	20.35	216.56
	22.40	22.30	22.00	22.10	22.20	
	21.60	22.20	22.10	21.50	21.85	
	21.40	22.30	22.40	22.80	22.23	
8	21.60	20.90	21.30	21.80	21.40	213.63
	22.10	21.50	21.20	22.40	21.80	
	21.50	20.30	22.10	20.90	21.20	
	22.70	20.60	20.90	20.00	21.05	

<b>MASSA ESPECÍFICA UTILIZADA NO CÁLCULO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (18/04/2018) – CP25-II</b>							
Idade 28 dias	Diâmetro (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Média (kg/m <sup>3</sup> )
T1 -1	0.10	0.20	0.00785398	0.0015550884	3.63	2.334.27	2.355.20
T1 -2	0.10	0.20	0.00769769	0.0015395375	3.62	2.351.36	
T1 -3	0.10	0.20	0.00769769	0.0015395375	3.64	2.364.35	
T1 -4	0.10	0.20	0.00769769	0.0015395375	3.65	2.370.84	
T2 -1	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.60	2.291.83	2.350.19
T2 -2	0.10	0.20	0.00785398	0.0015550884	3.59	2.308.55	
T2 -3	0.10	0.20	0.00785398	0.0015550884	3.58	2.302.12	
T2 -4	0.10	0.20	0.00738981	0.0014410132	3.60	2.498.24	
T3 -1	0.10	0.20	0.00769769	0.0015395375	3.67	2.383.83	2.338.70
T3 -2	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.66	2.330.03	
T3 -3	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.66	2.330.03	
T3 -4	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.63	2.310.93	
T4 -1	0.10	0.20	0.00785398	0.0015550884	3.65	2.347.13	2.332.47
T4 -2	0.10	0.20	0.00785398	0.0015315264	3.59	2.344.07	
T4 -3	0.10	0.20	0.00785398	0.0015629423	3.63	2.322.54	
T4 -4	0.10	0.20	0.00785398	0.0015629423	3.62	2.316.14	
T5 -1	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.68	2.342.76	2.326.85
T5 -2	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.65	2.323.66	
T5 -3	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.65	2.323.66	
T5 -4	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.64	2.317.30	
T6 -1	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.68	2.342.76	2.323.66
T6 -2	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.69	2.349.13	
T6 -3	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.62	2.304.56	
T6 -4	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.61	2.298.20	
T7 -1	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.69	2.349.13	2.333.21
T7 -2	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.65	2.323.66	
T7 -3	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.67	2.336.39	
T7 -4	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.65	2.323.66	
T8 -1	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.75	2.387.32	2.325.25
T8 -2	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.59	2.285.46	
T8 -3	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.67	2.336.39	
T8 -4	0.10	0.20	0.00785398	0.0015707963	3.60	2.291.83	

Tempo (h)	Idade 28 dias	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (18/04/2018) - CP25-II (FREQUÊNCIA RESSONANTE) - 28 dias												
		Fr (Hz)	Fl(Hz)	Fh(Hz)	Q	Fs(Hz)	Fe(Hz)	Tensão (V)	E (GPa)	Média por Série	Desvio Padrão	E (GPa) mínimo	E (GPa) máximo	E (GPa) adotado
1	T1 -1	11.050.00	10.830.00	11.320.00	22.55	8.500.00	11.500.00	0.50	44.70	39.21	5.48	33.73	44.68	37.38
	T1 -2	10.590.00	10.540.00	10.790.00	42.36	8.500.00	11.500.00	0.50	42.19					
	T1 -3	9.230.00	9.200.00	10.300.00	8.39	8.500.00	11.500.00	0.50	32.23					
	T1 -4	9.970.00	9.930.00	10.190.00	38.35	8.500.00	11.500.00	0.50	37.71					
2	T2 -1	10.430.00	10.330.00	10.720.00	26.74	8.500.00	11.500.00	0.50	39.38	35.68	3.25	32.43	38.93	36.73
	T2 -2	9.490.00	9.440.00	9.910.00	20.19	8.500.00	11.500.00	0.50	32.51					
	T2 -3	9.380.00	9.240.00	9.590.00	26.80	8.500.00	11.500.00	0.50	33.43					
	T2 -4	9.900.00	9.860.00	10.140.00	35.36	8.500.00	11.500.00	0.50	37.38					
3	T3 -1	9.720.00	9.700.00	9.960.00	37.38	8.500.00	11.500.00	0.50	35.22	39.33	3.21	36.12	42.54	39.59
	T3 -2	10.170.00	10.130.00	10.390.00	39.12	8.500.00	11.500.00	0.50	38.56					
	T3 -3	10.740.00	10.590.00	11.090.00	21.48	8.500.00	11.500.00	0.50	42.65					
	T3 -4	10.540.00	10.490.00	10.760.00	39.04	8.500.00	11.500.00	0.50	40.89					
4	T4 -1	10.210.00	9.310.00	9.590.00	36.46	8.500.00	11.500.00	0.50	37.17	36.05	0.89	35.17	36.94	35.68
	T4 -2	9.840.00	9.860.00	10.120.00	37.85	8.500.00	11.500.00	0.50	35.62					
	T4 -3	9.947.00	10.100.00	10.480.00	26.18	8.500.00	11.500.00	0.50	36.30					
	T4 -4	9.680.00	9.700.00	9.990.00	33.38	8.500.00	11.500.00	0.50	35.12					
5	T5 -1	9.930.00	9.890.00	10.280.00	25.46	8.500.00	11.500.00	0.50	36.66	32.90	5.07	27.83	37.97	34.85
	T5 -2	8.530.00	8.500.00	8.760.00	32.81	8.500.00	11.500.00	0.50	27.05					
	T5 -3	10.070.00	10.030.00	10.470.00	22.89	8.500.00	11.500.00	0.50	37.60					
	T5 -4	8.990.00	8.870.00	9.200.00	27.24	8.500.00	11.500.00	0.50	30.29					
6	T6 -1	10.010.00	9.020.00	9.290.00	37.07	8.500.00	11.500.00	0.50	37.66	36.81	0.88	35.93	37.69	36.81
	T6 -2	9.985.00	8.890.00	9.810.00	10.85	8.500.00	11.500.00	0.50	37.47					
	T6 -3	9.890.00	9.150.00	9.500.00	28.26	8.500.00	11.500.00	0.50	36.07					
	T6 -4	9.900.00	9.730.00	10.080.00	28.29	8.500.00	11.500.00	0.50	36.04					

(continua)



(continuação)

Tempo (h)	Idade 28 dias	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (18/04/2018) - CP25-II (FREQUÊNCIA RESSONANTE) - 28 dias												
		Fr (Hz)	Fl(Hz)	Fh(Hz)	Q	Fs(Hz)	Fe(Hz)	Tensão (V)	E (GPa)	Média por Série	Desvio Padrão	E (GPa) mínimo	E (GPa) máximo	E (GPa) adotado
7	T7 -1	9.530.00	9.400.00	9.810.00	23.24	8.500.00	11.500.00	0.50	34.14	36.70	3.30	33.39	40.00	35.74
	T7 -2	10.310.00	10.130.00	10.780.00	15.86	8.500.00	11.500.00	0.50	39.52					
	T7 -3	10.290.00	10.250.00	10.500.00	41.16	8.500.00	11.500.00	0.50	39.58					
	T7 -4	9.500.00	9.470.00	9.740.00	35.19	8.500.00	11.500.00	0.50	33.55					
8	T8 -1	9.470.00	9.430.00	9.870.00	21.52	8.500.00	11.500.00	0.50	34.26	35.42	1.15	34.27	36.57	35.20
	T8 -2	9.810.00	10.300.00	10.570.00	36.33	8.500.00	11.500.00	0.50	35.19					
	T8 -3	9.950.00	10.290.00	10.850.00	17.77	8.500.00	11.500.00	0.50	37.01					
	T8 -4	9.800.00	9.400.00	9.680.00	35.00	8.500.00	11.500.00	0.50	35.22					

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (23/03/2018) - CP25-III																		
Tempo (h)	Corpos de Prova 28 dias	Peso (kg)	$\phi$ (cm)	L (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (Kgf)	$f_c$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Desv. Pad. (Se)	Coef. Var. (Cve)	$f_{cm}$ (MPa) mínimo	$f_{cm}$ (MPa) máximo	$f_{cm}$ (MPa) novo	$f_{cm}$ (MPa) adotado	$f_{ckest}$ (MPa)	Novo (Se)	Novo (Cve)	Nível da NBR5739
1	T1 -1	3.63	10.00	19.40	7.853.98	24188.45	30.2	30.43	0.63	2.07	29.80	31.06		30.50	29.27	0.75	2.45	Excelente
	T1 -2	3.60	10.00	19.50	7.853.98	25045.61	31.3											
	T1 -3	3.64	9.95	19.50	7.775.64	24151.78	30.5											
	T1 -4	3.57	9.99	19.40	7.830.44	23776.83	29.8											
2	T2 -1	3.64	10.00	19.50	7.853.98	23212.11	29.0	28.19	0.72	2.57	27.47	28.92		28.16	27.12	0.63	2.25	Excelente
	T2 -2	3.63	9.99	19.50	7.835.14	21933.24	27.5											
	T2 -3	3.60	9.99	19.50	7.840.64	22874.75	28.6											
	T2 -4	3.63	9.99	19.50	7.839.07	22155.10	27.7											
3	T3 -1	3.63	10.00	19.50	7.853.98	23299.39	29.1	29.64	0.37	1.25	29.27	30.00		29.82	29.67	0.09	0.00	Excelente
	T3 -2	3.61	9.98	19.50	7.823.38	23859.82	29.9											
	T3 -3	3.65	9.98	19.50	7.817.11	23760.09	29.8											
	T3 -4	3.59	9.99	19.50	7.840.64	23772.92	29.7											
4	T4 -1	3.61	9.95	19.50	7.775.64	24876.93	31.4	31.19	1.81	5.81	29.38	33.00	31.4	31.03	30.23	0.49	1.57	Excelente
	T4 -2	3.61	10.00	19.50	7.853.98	23359.71	29.2											
	T4 -3	3.62	10.00	19.50	7.853.98	26852.52	33.5											
	T4 -4	3.62	10.00	19.55	7.853.98	24576.23	30.7											
5	T5 -1	3.62	10.00	19.60	7.851.63	24743.08	30.9						30.9	30.14	27.48	1.62	5.36	Razoável
	T5 -2	3.63	9.97	19.70	7.809.28	23627.40	29.7											
	T5 -3	3.63	9.99	19.60	7.830.44	21897.49	27.4											
	T5 -4	3.63	9.99	19.60	7.834.36	26026.53	32.6											

(continua)

(continuação)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (23/03/2018) - CP25-III																		
Tempo (h)	Corpos de Prova 28 dias	Peso (kg)	$\phi$ (cm)	L (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (Kgf)	$f_c$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Desv. Pad. (Se)	Coef. Var. (Cve)	$f_{cm}$ (MPa) mínimo	$f_{cm}$ (MPa) máximo	$f_{cm}$ (MPa) novo	$f_{cm}$ (MPa) adotado	$f_{ckest}$ (MPa)	Novo (Se)	Novo (Cve)	Nível da NBR5739
6	T6 -1	3.61	9.99	19.55	7.842.99	23604.48	29.5	25.68	7.11	27.71	18.56	32.79	29.5	29.17	26.51	1.62	5.54	Razoável
	T6 -2	3.61	10.00	19.70	7.853.98	24497.39	30.6						30.6					
	T6 -3	3.61	10.00	19.70	7.853.98	12165.27	15.2											
	T6 -4	3.62	10.00	19.70	7.853.98	21953.41	27.4						27.4					
7	T7 -1	3.59	9.99	19.70	7.841.42	21617.88	27.0	29.48	1.81	6.13	27.68	31.29		29.76	29.39	0.22	0.75	Excelente
	T7 -2	3.57	9.99	19.60	7.840.64	23917.09	29.9						29.9					
	T7 -3	3.60	10.00	19.70	7.853.98	25133.62	31.4											
	T7 -4	3.61	10.00	19.65	7.850.84	23694.32	29.6						29.6					
8	T8 -1	3.62	10.05	19.70	7.932.72	20379.35	25.2	28.94	2.58	8.93	26.36	31.53		30.19	28.88	0.80	2.64	Excelente
	T8 -2	3.54	10.00	19.45	7.853.98	24710.08	30.9						30.9					
	T8 -3	3.57	10.00	19.50	7.853.20	24363.55	30.4						30.4					
	T8 -4	3.58	9.97	19.70	7.801.45	23314.79	29.3						29.3					

Tempo (h)	Idade 26 dias	Resistência chant	$\phi$ (m)	L (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Resistividade Elétrica Volumétrica - data 21/03/2018 - CP25-III						Média (Ω.m)	Des. Pad
						Ch 01 RMS (V)	Ch 02 RMS (V)	Frequência (hz)	Ch02 PaP (V)	R (Ohm)	Resistividade (Ohm.m)		
1	T1 -1	671.94	0.10	0.20	.007854	7.94	1.07	40	3.14	4.314.23	173.76	171.94	3.53
	T1 -2	671.94	0.10	0.20	.007823	7.98	1.06	40	3.12	4.386.63	175.99		
	T1 -3	671.94	0.10	0.20	.00.817	7.95	1.09	40	3.12	4.228.91	169.53		
	T1 -4	671.94	0.10	0.20	.007841	7.96	1.10	40	3.24	4.190.46	168.49		
2	T2 -1	671.94	0.10	0.20	.007854	7.97	1.11	40	3.28	4.152.71	167.26	171.85	3.22
	T2 -2	671.94	0.10	0.20	.007835	7.96	1.08	40	3.16	4.280.51	171.99		
	T2 -3	671.94	0.10	0.20	.007841	7.96	1.07	40	3.18	4.326.79	173.97		
	T2 -4	671.94	0.10	0.20	.007839	7.97	1.07	40	3.12	4.333.07	174.19		
3	T3 -1	671.94	0.10	0.20	.007843	7.96	1.10	40	3.24	4.190.46	168.11	168.69	2.59
	T3 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.10	40	3.26	4.190.46	167.07		
	T3 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.07	40	3.12	4.326.79	172.50		
	T3 -4	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.10	40	3.22	4.190.46	167.07		
4	T4 -1	671.94	0.10	0.20	.007852	7.96	1.12	40	3.30	4.103.63	164.39	166.63	3.04
	T4 -2	671.94	0.10	0.20	.007809	7.95	1.10	40	3.20	4.184.35	165.87		
	T4 -3	671.94	0.10	0.20	.007830	7.94	1.11	40	3.26	4.134.55	165.18		
	T4 -4	671.94	0.10	0.20	.007834	7.96	1.08	40	3.16	4.280.51	171.10		
5	T5 -1	671.94	0.10	0.19	.007088	7.95	1.10	40	3.22	4.184.35	152.88	163.05	7.12
	T5 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	7.95	1.10	40	3.26	4.184.35	168.53		
	T5 -3	671.94	0.10	0.20	.007.776	7.95	1.12	40	3.30	4.097.63	163.39		
	T5 -4	671.94	0.10	0.19	.007830	7.96	1.11	40	3.26	4.146.66	167.37		
6	T6 -1	671.94	0.10	0.20	.007776	7.95	1.14	40	3.32	4.013.96	160.06	162.97	2.67
	T6 -2	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.14	40	3.34	4.019.85	161.91		
	T6 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.13	40	3.32	4.061.37	163.58		
	T6 -4	671.94	0.10	0.20	.007854	7.95	1.11	40	3.24	4.140.60	166.34		

(continua)

(continuação)

Tempo (h)	Idade 26 dias	Resistência chant	$\phi$ (m)	L (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Resistividade Elétrica Volumétrica - data 21/03/2018 - CP25-III							Desvio Padrão
						Ch 01 RMS (V)	Ch 02 RMS (V)	Frequência (hz)	Ch02 PaP (V)	R (Ohm)	Resistividade (Ohm.m)	Média (Ω.m)	
7	T7 -1	671.94	0.10	0.20	.007933	7.93	1.17	40	3.44	3.882.32	156.33	161.87	5.72
	T7 -2	671.94	0.10	0.19	.007854	7.96	1.16	40	3.40	3.938.96	159.06		
	T7 -3	671.94	0.10	0.20	.007853	7.92	1.09	40	3.20	4.210.41	169.57		
	T7 -4	671.94	0.10	0.20	.007801	7.96	1.12	40	3.28	4.103.63	162.51		
8	T8 -1	671.94	0.10	0.20	.007841	7.95	1.12	40	3.28	4.097.63	163.10	158.33	3.49
	T8 -2	671.94	0.10	0.20	.007841	7.96	1.17	40	3.44	3.899.55	155.99		
	T8 -3	671.94	0.10	0.20	.007854	7.96	1.17	40	3.44	3.899.55	155.47		
	T8 -4	671.94	0.10	0.20	.007851	7.95	1.15	40	3.36	3.973.21	158.74		

Tempo (h)	Resistividade Elétrica Superficial (21/03/2018) - CP25-III – Idade: 26 dias				Média	Resistividade Considerada ( $\Omega.m$ )
	M1 ( $\Omega.cm$ )	M2 ( $\Omega.cm$ )	M3 ( $\Omega.cm$ )	M4 ( $\Omega.cm$ )	M4 ( $\Omega.cm$ )	
1	32.00	33.20	31.40	36.20	33.20	338.10
	34.80	35.10	35.10	33.26	34.57	
	31.40	32.40	32.20	32.20	32.05	
	35.20	35.40	35.40	35.70	35.43	
2	32.80	32.90	33.20	32.54	32.86	331.40
	33.20	33.20	33.40	33.10	33.23	
	33.20	33.50	33.20	33.00	33.23	
	33.40	33.50	33.50	32.60	33.25	
3	32.20	32.40	32.60	32.58	32.45	323.30
	32.10	32.40	32.10	32.10	32.18	
	32.10	32.10	32.40	32.20	32.20	
	32.10	32.90	32.80	32.20	32.50	
4	31.10	31.20	31.20	31.10	31.15	312.40
	30.90	30.90	31.20	31.10	31.03	
	31.90	31.50	31.40	31.80	31.65	
	31.10	31.20	31.20	31.04	31.14	
5	29.20	29.20	29.40	29.40	29.30	282.30
	28.10	28.20	27.90	27.90	28.03	
	27.80	27.80	27.90	28.70	28.05	
	27.20	27.60	27.70	27.68	27.55	
6	26.30	26.30	26.40	26.50	26.38	265.60
	26.40	27.10	27.10	26.56	26.79	
	26.30	26.80	26.60	26.80	26.63	
	26.40	26.50	26.50	26.40	26.45	
7	26.30	26.30	26.40	26.72	26.43	262.70
	26.30	26.30	26.40	26.40	26.35	
	26.10	26.20	26.10	26.10	26.13	
	26.30	26.10	26.10	26.20	26.18	
8	24.30	24.30	24.20	24.20	24.25	245.80
	24.40	24.50	24.50	24.20	24.40	
	24.90	24.90	24.80	24.88	24.87	
	24.80	24.60	24.90	24.90	24.80	

<b>MASSA ESPECÍFICA UTILIZADA NO CÁLCULO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (23/03/2018) – CP25-III</b>							
Idade 28 dias	Diâmetro (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Média (kg/m <sup>3</sup> )
T1 -1	0.1000	0.1950	0.00785398	0.001532	3.63	2.370.18	2.365.92
T1 -2	0.0998	0.1950	0.00782338	0.001526	3.60	2.359.79	
T1 -3	0.0998	0.1950	0.00781711	0.001524	3.64	2.387.92	
T1 -4	0.0999	0.1950	0.00784064	0.001529	3.57	2.334.98	
T2 -1	0.1000	0.1950	0.00785398	0.001532	3.64	2.376.71	2.369.86
T2 -2	0.0999	0.1950	0.00783514	0.001528	3.63	2.375.88	
T2 -3	0.0999	0.1950	0.00784064	0.001529	3.60	2.354.60	
T2 -4	0.0999	0.1950	0.00783907	0.001529	3.63	2.374.69	
T3 -1	0.0999	0.1955	0.00784299	0.001533	3.63	2.367.44	2.345.15
T3 -2	0.1000	0.1970	0.00785398	0.001547	3.61	2.333.20	
T3 -3	0.1000	0.1970	0.00785398	0.001547	3.65	2.359.05	
T3 -4	0.1000	0.1970	0.00785398	0.001547	3.59	2.320.27	
T4 -1	0.1000	0.1960	0.00785163	0.001539	3.61	2.345.80	2.408.20
T4 -2	0.0997	0.1970	0.00780928	0.001538	3.61	2.346.55	
T4 -3	0.0999	0.1960	0.00783044	0.001535	3.62	2.358.67	
T4 -4	0.0999	0.1960	0.00783436	0.001536	3.62	2.357.49	
T5 -1	0.0950	0.1940	0.00708822	0.001375	3.62	2.632.51	2.433.44
T5 -2	0.1000	0.1950	0.00785398	0.001532	3.63	2.370.18	
T5 -3	0.0995	0.1950	0.00777564	0.001516	3.63	2.394.07	
T5 -4	0.0999	0.1940	0.00783044	0.001519	3.63	2.389.57	
T6 -1	0.0995	0.1950	0.00777564	0.001516	3.61	2.380.87	2.349.99
T6 -2	0.1000	0.1950	0.00785398	0.001532	3.61	2.357.13	
T6 -3	0.1000	0.1950	0.00785398	0.001532	3.61	2.357.13	
T6 -4	0.1000	0.1955	0.00785398	0.001535	3.62	2.357.61	
T7 -1	0.1005	0.1970	0.00793272	0.001563	3.59	2.297.24	2.335.48
T7 -2	0.1000	0.1945	0.00785398	0.001528	3.57	2.337.00	
T7 -3	0.1000	0.1950	0.00785320	0.001531	3.60	2.350.83	
T7 -4	0.0997	0.1970	0.00780145	0.001537	3.61	2.348.91	
T8 -1	0.0999	0.1970	0.00784142	0.001545	3.62	2.343.41	2.318.73
T8 -2	0.0999	0.1960	0.00784064	0.001537	3.54	2.303.54	
T8 -3	0.1000	0.1970	0.00785398	0.001547	3.57	2.307.34	
T8 -4	0.1000	0.1965	0.00785084	0.001543	3.58	2.320.62	

Tempo (h)	Idade 28 dias	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (23/03/2018) - CP25-III (FREQUÊNCIA RESSONANTE) - 28 dias												
		Fr (Hz)	Fl(Hz)	Fh(Hz)	Q	Fs(Hz)	Fe(Hz)	Tensão (V)	E (GPa)	Média por Série	Desvio Padrão	E (GPa) mínimo	E (GPa) máximo	E (GPa) adotado
1	T1 -1	10.590.00	10.540.00	10.790.00	42.36	8.500.00	11.500.00	0.50	40.22	38.15	2.26	35.89	40.41	37.46
	T1 -2	10.110.00	10.100.00	10.350.00	40.44	8.500.00	11.500.00	0.50	36.54					
	T1 -3	10.460.00	10.410.00	10.670.00	40.23	8.500.00	11.500.00	0.50	39.95					
	T1 -4	10.070.00	10.030.00	10.290.00	38.73	8.500.00	11.500.00	0.50	35.88					
2	T2 -1	10.620.00	10.710.00	11.140.00	24.70	8.500.00	11.500.00	0.50	40.76	39.98	1.83	38.15	41.82	40.89
	T2 -2	10.200.00	10.190.00	10.410.00	46.36	8.500.00	11.500.00	0.50	37.26					
	T2 -3	10.610.00	10.600.00	10.830.00	46.13	8.500.00	11.500.00	0.50	40.66					
	T2 -4	10.697.00	10.380.00	10.770.00	27.43	8.500.00	11.500.00	0.50	41.25					
3	T3 -1	10.450.00	10.290.00	10.750.00	22.72	8.500.00	11.500.00	0.50	39.30	39.31	1.97	37.35	41.28	38.39
	T3 -2	10.750.00	10.390.00	10.950.00	19.20	8.500.00	11.500.00	0.50	42.09					
	T3 -3	10.280.00	10.160.00	10.490.00	31.15	8.500.00	11.500.00	0.50	37.74					
	T3 -4	10.260.00	10.210.00	10.470.00	39.46	8.500.00	11.500.00	0.50	38.12					
4	T4 -1	9.690.00	9.640.00	10.190.00	17.62	8.500.00	11.500.00	0.50	33.66	35.71	1.37	34.34	37.08	36.40
	T4 -2	10.045.00	8.700.00	8.960.00	38.63	8.500.00	11.500.00	0.50	36.28					
	T4 -3	10.060.00	8.700.00	9.000.00	33.53	8.500.00	11.500.00	0.50	36.48					
	T4 -4	10.040.00	8.800.00	9.050.00	40.16	8.500.00	11.500.00	0.50	36.44					
5	T5 -1	10.210.00	10.200.00	10.510.00	32.94	8.500.00	11.500.00	0.50	38.18	36.55	2.57	33.98	39.12	37.80
	T5 -2	9.500.00	9.270.00	9.790.00	18.27	8.500.00	11.500.00	0.50	32.80					
	T5 -3	10.260.00	9.900.00	10.330.00	23.86	8.500.00	11.500.00	0.50	38.24					
	T5 -4	10.135.00	10.400.00	10.760.00	28.15	8.500.00	11.500.00	0.50	36.97					
6	T6 -1	9.950.00	10.700.00	10.950.00	39.80	8.500.00	11.500.00	0.50	35.86	36.54	0.87	35.67	37.40	36.12
	T6 -2	10.030.00	10.740.00	10.990.00	40.12	8.500.00	11.500.00	0.50	36.44					
	T6 -3	9.980.00	10.460.00	10.700.00	41.58	8.500.00	11.500.00	0.50	36.07					
	T6 -4	10.200.00	10.170.00	10.440.00	37.78	8.500.00	11.500.00	0.50	37.79					

(continua)



(continuação)

Tempo (h)	Idade 28 dias	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (23/03/2018) - CP25-III (FREQUÊNCIA RESSONANTE) - 28 dias												
		Fr (Hz)	Fl(Hz)	Fh(Hz)	Q	Fs(Hz)	Fe(Hz)	Tensão (V)	E (GPa)	Média por Série	Desvio Padrão	E (GPa) mínimo	E (GPa) máximo	E (GPa) adotado
7	T7 -1	10.385.00	11.240.00	11.490.00	41.54	8.500.00	11.500.00	0.50	38.91	37.21	1.74	35.47	38.96	38.01
	T7 -2	10.200.00	10.190.00	10.420.00	44.35	8.500.00	11.500.00	0.50	37.14					
	T7 -3	9.820.00	9.800.00	10.030.00	42.70	8.500.00	11.500.00	0.50	34.83					
	T7 -4	10.250.00	11.150.00	11.460.00	33.06	8.500.00	11.500.00	0.50	37.97					
8	T8 -1	10.180.00	10.130.00	10.390.00	39.15	8.500.00	11.500.00	0.50	37.27	31.91	4.55	27.37	36.46	31.94
	T8 -2	9.330.00	9.060.00	9.830.00	12.12	8.500.00	11.500.00	0.50	30.53					
	T8 -3	9.700.00	8.980.00	10.240.00	7.70	8.500.00	11.500.00	0.50	33.36					
	T8 -4	8.560.00	8.500.00	8.990.00	17.47	8.500.00	11.500.00	0.50	26.50					

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (25/05/2018) - CP25-IV																		
Tempo (h)	Corpos de Prova 28 dias	Peso (kg)	$\phi$ (cm)	L (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (Kgf)	$f_c$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Desv. Pad. (Se)	Coef. Var. (CVe)	$f_{cm}$ (MPa) mínimo	$f_{cm}$ (MPa) máximo	$f_{cm}$ (MPa) novo	$f_{cm}$ (MPa) adotado	$f_{ckest}$ (MPa)	Novo (Se)	Novo (Cve)	Nível da NBR5739
1	T1 -1	3.480	9.90	19.70	7.697.68	23.000.00	29.3	28.70	0.71	2.47	27.99	29.41	29.30	29.02	28.40	0.38	1.30	Excelente
	T1 -2	3.550	10.00	19.50	7.853.98	22.900.00	28.6						28.59					
	T1 -3	3.600	10.00	19.80	7.853.98	22.218.00	27.7											
	T1 -4	3.500	10.00	19.60	7.853.98	23.362.00	29.2						29.17					
2	T2 -1	3.520	10.00	19.50	7.853.98	22.790.00	28.5	27.22	1.60	5.87	25.62	28.82	28.46	27.86	25.91	1.18	4.25	Bom
	T2 -2	3.530	10.00	19.50	7.853.98	21.220.00	26.5						26.50					
	T2 -3	3.540	10.00	19.60	7.853.98	22.924.00	28.6						28.62					
	T2 -4	3.570	10.00	19.70	7.853.98	20.270.00	25.3											
3	T3 -1	3.550	10.00	19.70	7.853.98	22.778.00	28.4	28.97	0.86	2.95	28.11	29.82	28.44	29.28	28.08	0.73	2.48	Excelente
	T3 -2	3.540	10.00	19.60	7.853.98	22.461.00	28.0											
	T3 -3	3.580	10.00	19.60	7.853.98	23.837.00	29.8						29.76					
	T3 -4	3.550	10.00	19.60	7.853.98	23.727.00	29.6						29.63					
4	T4 -1	3.550	10.00	19.80	7.853.98	23.314.00	29.1	29.99	0.61	2.03	29.38	30.60		30.29	29.96	0.20	0.65	Excelente
	T4 -2	3.560	10.00	19.40	7.853.98	24.434.00	30.5						30.51					
	T4 -3	3.560	10.00	19.70	7.853.98	24.190.00	30.2						30.20					
	T4 -4	3.590	10.00	19.70	7.853.98	24.141.00	30.1						30.14					
5	T5 -1	3.610	10.00	19.75	7.853.98	24.580.00	30.7	29.38	1.12	3.83	28.25	30.50		28.94	27.52	0.86	2.98	Excelente
	T5 -2	3.600	10.00	19.80	7.853.98	22.729.00	28.4						28.38					
	T5 -3	3.560	10.00	19.70	7.853.98	23.971.00	29.9						29.93					
	T5 -4	3.580	10.00	19.80	7.853.98	22.827.00	28.5						28.50					

(continua)

(continuação)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (25/05/2018) - CP25-IV																		
Tempo (h)	Corpos de Prova 28 dias	Peso (kg)	$\phi$ (cm)	L (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (Kgf)	$f_c$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Desv. Pad. (Se)	Coef. Var. (Cve)	$f_{cm}$ (MPa) mínimo	$f_{cm}$ (MPa) máximo	$f_{cm}$ (MPa) novo	$f_{cm}$ (MPa) adotado	$f_{ckest}$ (MPa)	Novo (Se)	Novo (Cve)	Nível da NBR5739
6	T6 -1	3.580	10.00	19.80	7.853.98	23.971.00	29.9	29.62	0.36	1.23	29.26	29.98	29.93	29.78	29.43	0.21	0.72	Excelente
	T6 -2	3.600	10.00	19.80	7.853.98	23.922.00	29.9						29.87					
	T6 -3	3.600	10.00	19.80	7.853.98	23.338.00	29.1											
	T6 -4	3.610	10.00	19.80	7.853.98	23.654.00	29.5						29.53					
7	T7 -1	3.580	10.00	19.80	7.853.98	24.641.00	30.8	29.32	1.30	4.42	28.03	30.62		29.23	27.32	1.16	3.97	Muito bom
	T7 -2	3.570	10.00	19.70	7.853.98	22.474.00	28.1											
	T7 -3	3.630	10.00	19.80	7.853.98	22.754.00	28.4						28.41					
	T7 -4	3.610	10.00	19.80	7.853.98	24.068.00	30.1						30.05					
8	T8 -1	3.620	10.00	19.80	7.853.98	24.105.00	30.1	29.35	1.50	5.12	27.85	30.85	30.10	28.77	26.83	1.18	4.09	Bom
	T8 -2	3.600	10.00	19.80	7.853.98	22.705.00	28.3						28.35					
	T8 -3	3.610	10.00	19.85	7.853.98	24.896.00	31.1											
	T8 -4	3.630	10.00	19.90	7.853.98	22.315.00	27.9						27.86					

Tempo (h)	Idade 26 dias	Resistência chant	$\phi$ (m)	L (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Resistividade Elétrica Volumétrica – data 23/05/2018 - CP25-IV						Média	Des. Pad	Valor mín.	Valor máx.	Valor (Ω.m)
						Ch 01 RMS (V)	Ch 02 RMS (V)	Frequência (hz)	Ch02 PaP (V)	R (Ohm)	Resistividade (Ohm.m)					
1	T1 -1	671.94	0.10	0.20	.00770	7.91	1.79	40	5.20	2.297.36	89.77	90.15	2.13	88.01	92.28	89.15
	T1 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.95	1.79	40	5.20	2.312.37	93.14					
	T1 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.84	40	5.40	2.220.32	88.07					
	T1 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.83	40	5.30	2.236.13	89.60					
2	T2 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.85	40	5.40	2.204.69	88.80	89.25	0.54	88.70	89.79	89.01
	T2 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.84	40	5.30	2.220.32	89.43					
	T2 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.84	40	5.30	2.216.67	88.82					
	T2 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.93	1.82	40	5.20	2.255.80	89.93					
3	T3 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.84	40	5.30	2.220.32	88.52	86.67	2.46	84.21	89.12	87.55
	T3 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.92	40	5.60	2.096.31	84.00					
	T3 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.90	40	5.50	2.125.45	85.17					
	T3 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.84	40	5.52	2.220.32	88.97					
4	T4 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.90	1.88	40	5.48	2.151.64	85.35	86.35	2.73	83.62	89.08	86.62
	T4 -2	671.94	0.10	0.19	.00785	7.90	1.95	40	5.68	2.050.28	83.00					
	T4 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.85	40	5.40	2.204.69	87.90					
	T4 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.83	40	5.30	2.236.13	89.15					
5	T5 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.85	40	5.40	2.201.06	87.53	87.71	0.46	87.25	88.18	87.54
	T5 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.84	40	5.40	2.216.67	87.93					
	T5 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.90	1.84	40	5.30	2.213.02	88.23					
	T5 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.90	1.85	40	5.40	2.197.43	87.16					
6	T6 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.85	40	5.40	2.201.06	87.31	86.42	2.20	84.22	88.62	86.42
	T6 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.85	40	5.40	2.201.06	87.31					
	T6 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.84	40	5.30	2.216.67	87.93					
	T6 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.92	40	5.60	2.096.31	83.15					

(continua)

(continuação)

Tempo (h)	Idade 26 dias	Resistência chant	$\phi$ (m)	L (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Resistividade Elétrica Volumétrica - data 23/05/2018 - CP25-IV						Des. Pad	Valor mín.	Valor máx.	Valor ( $\Omega$ .m)	
						Ch 01 RMS (V)	Ch 02 RMS (V)	Frequência (hz)	Ch02 PaP (V)	R (Ohm)	Resistividade (Ohm.m)					Média
7	T7 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.86	40	5.40	2.189.22	86.84	85.12	2.61	82.51	87.73	86.33
	T7 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.86	40	5.30	2.185.61	87.14					
	T7 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.89	40	5.50	2.143.81	85.04					
	T7 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.95	40	5.60	2.053.72	81.46					
8	T8 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	2.00	40	5.84	1.985.58	78.76	79.11	0.53	78.58	79.64	79.09
	T8 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.90	1.98	40	5.76	2.009.03	79.69					
	T8 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	2.00	40	5.84	1.985.58	78.56					
	T8 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.98	40	5.76	2.012.43	79.42					

Tempo (h)	Resistividade Elétrica Superficial (23/05/2018) - CP25-II – Idade: 26 dias				Média	Resistividade Considerada ( $\Omega.m$ )
	M1 ( $\Omega.cm$ )	M2 ( $\Omega.cm$ )	M3 ( $\Omega.cm$ )	M4 ( $\Omega.cm$ )	M4 ( $\Omega.cm$ )	
1	11.90	11.90	12.10	11.60	11.88	117.69
	12.50	12.40	12.40	12.50	12.45	
	10.90	11.70	12.00	11.00	11.40	
	11.30	11.70	11.20	11.20	11.35	
2	11.80	11.40	11.00	11.20	11.35	113.38
	11.30	11.00	11.90	11.20	11.35	
	11.20	11.70	11.00	10.90	11.20	
	12.30	11.60	10.80	11.10	11.45	
3	11.40	11.70	11.60	10.90	11.40	113.25
	12.40	11.40	10.30	11.50	11.40	
	11.60	10.30	11.80	11.90	11.40	
	10.80	10.90	11.30	11.40	11.10	
4	10.90	11.50	10.70	10.50	10.90	107.63
	10.50	10.50	9.80	10.50	10.33	
	10.90	10.70	10.70	10.30	10.65	
	10.50	11.60	11.00	11.60	11.18	
5	10.80	11.00	11.10	10.60	10.88	109.88
	11.30	11.70	11.40	11.60	11.50	
	11.00	11.20	10.90	10.90	11.00	
	10.70	11.20	10.30	10.10	10.58	
6	12.30	10.00	10.20	10.20	10.68	106.06
	10.40	10.50	10.20	11.20	10.58	
	10.20	10.90	11.30	9.40	10.45	
	10.30	10.80	10.50	11.30	10.73	
7	9.80	9.80	10.40	10.10	10.03	100.81
	9.60	10.70	10.60	10.10	10.25	
	9.50	10.90	10.10	10.10	10.15	
	9.50	9.30	10.30	10.50	9.90	
8	9.90	9.20	9.60	10.70	9.85	98.81
	10.10	9.60	9.80	10.10	9.90	
	10.10	9.60	9.10	11.00	9.95	
	10.10	10.40	9.10	9.70	9.83	

<b>MASSA ESPECÍFICA UTILIZADA NO CÁLCULO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (25/05/2018) – CP25-IV</b>							
Idade 24 dias	Diâmetro (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Média (kg/m <sup>3</sup> )
T1 - 1	0.0990	0.1970	0.00769769	0.001516	3.48	2.294.84	2.299.95
T1 - 2	0.1000	0.1950	0.00785398	0.001532	3.55	2.317.95	
T1 - 3	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.60	2.314.98	
T1 - 4	0.1000	0.1960	0.00785398	0.001539	3.50	2.273.64	
T2 - 1	0.1000	0.1950	0.00785398	0.001532	3.52	2.298.36	2.300.93
T2 - 2	0.1000	0.1950	0.00785398	0.001532	3.53	2.304.89	
T2 - 3	0.1000	0.1960	0.00785398	0.001539	3.54	2.299.63	
T2 - 4	0.1000	0.1970	0.00785398	0.001547	3.57	2.307.34	
T3 - 1	0.1000	0.1970	0.00785398	0.001547	3.55	2.294.42	2.301.72
T3 - 2	0.1000	0.1960	0.00785398	0.001539	3.54	2.299.63	
T3 - 3	0.1000	0.1960	0.00785398	0.001539	3.58	2.325.61	
T3 - 4	0.1000	0.1960	0.00785398	0.001539	3.55	2.306.12	
T4 - 1	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.55	2.282.83	2.313.55
T4 - 2	0.1000	0.1940	0.00785398	0.001524	3.56	2.336.46	
T4 - 3	0.1000	0.1970	0.00785398	0.001547	3.56	2.300.88	
T4 - 4	0.1000	0.1970	0.00785398	0.001547	3.59	2.320.27	
T5 - 1	0.1000	0.1975	0.00785398	0.001551	3.61	2.327.29	2.309.48
T5 - 2	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.60	2.314.98	
T5 - 3	0.1000	0.1970	0.00785398	0.001547	3.56	2.300.88	
T5 - 4	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.58	2.302.12	
T6 - 1	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.58	2.302.12	2.311.12
T6 - 2	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.60	2.314.98	
T6 - 3	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.60	2.314.98	
T6 - 4	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.61	2.321.41	
T7 - 1	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.58	2.302.12	2.318.60
T7 - 2	0.1000	0.1970	0.00785398	0.001547	3.57	2.307.34	
T7 - 3	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.63	2.334.27	
T7 - 4	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.61	2.321.41	
T8 - 1	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.62	2.327.84	2.320.23
T8 - 2	0.1000	0.1980	0.00785398	0.001555	3.60	2.314.98	
T8 - 3	0.1000	0.1985	0.00785398	0.001559	3.61	2.315.56	
T8 - 4	0.1000	0.1990	0.00785398	0.001563	3.63	2.322.54	

Tempo (h)	Idade 28 dias	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (25/05/2018) - CP25-IV (FREQUÊNCIA RESSONANTE) - 28 dias												
		Fr (Hz)	Fl(Hz)	Fh(Hz)	Q	Fs(Hz)	Fe(Hz)	Tensão (V)	E (GPa)	Média por Série	Desvio Padrão	E (GPa) mínimo	E (GPa) máximo	E (GPa) adotado
1	T1- 1	8.970.00	8.910.00	9.190.00	32.04	8.500.00	11.500.00	0.50	29.37	32.59	2.56	30.03	35.16	33.67
	T1- 2	9.720.00	9.890.00	10.190.00	32.40	8.500.00	11.500.00	0.50	34.30					
	T1- 3	9.790.00	9.800.00	10.070.00	36.26	8.500.00	11.500.00	0.50	34.98					
	T1- 4	9.287.00	8.960.00	9.680.00	12.90	8.500.00	11.500.00	0.50	31.73					
2	T2- 1	9.600.00	10.330.00	10.820.00	19.59	8.500.00	11.500.00	0.50	33.27	33.81	1.85	31.96	35.67	32.90
	T2- 2	9.520.00	10.300.00	10.910.00	15.61	8.500.00	11.500.00	0.50	32.46					
	T2- 3	9.490.00	10.890.00	11.340.00	21.09	8.500.00	11.500.00	0.50	32.97					
	T2- 4	10.020.00	8.830.00	9.390.00	17.89	8.500.00	11.500.00	0.50	36.55					
3	T3- 1	9.520.00	9.500.00	9.760.00	36.62	8.500.00	11.500.00	0.50	32.72	35.19	1.84	33.35	37.03	36.01
	T3- 2	10.050.00	10.500.00	10.820.00	31.41	8.500.00	11.500.00	0.50	36.67					
	T3- 3	10.030.00	10.690.00	11.080.00	25.72	8.500.00	11.500.00	0.50	36.52					
	T3- 4	9.785.00	9.630.00	10.040.00	23.87	8.500.00	11.500.00	0.50	34.85					
4	T4- 1	9.980.00	9.940.00	10.190.00	39.92	8.500.00	11.500.00	0.50	36.17	37.26	1.03	36.23	38.29	37.12
	T4- 2	10.090.00	10.070.00	10.690.00	16.27	8.500.00	11.500.00	0.50	36.96					
	T4- 3	10.400.00	10.230.00	10.800.00	18.25	8.500.00	11.500.00	0.50	38.63					
	T4- 4	10.163.00	9.990.00	10.410.00	24.20	8.500.00	11.500.00	0.50	37.29					
5	T5- 1	9.360.00	9.040.00	9.570.00	17.66	8.500.00	11.500.00	0.50	31.36	33.62	2.41	31.21	36.03	32.48
	T5- 2	9.690.00	9.580.00	9.830.00	38.76	8.500.00	11.500.00	0.50	33.03					
	T5- 3	9.620.00	9.100.00	9.700.00	16.03	8.500.00	11.500.00	0.50	33.05					
	T5- 4	10.140.00	10.100.00	10.380.00	36.21	8.500.00	11.500.00	0.50	37.03					
6	T6- 1	10.300.00	8.590.00	8.810.00	46.82	8.500.00	11.500.00	0.50	37.79	38.33	1.18	37.15	39.51	37.78
	T6- 2	10.265.00	9.190.00	9.870.00	15.10	8.500.00	11.500.00	0.50	37.23					
	T6- 3	10.355.00	9.400.00	10.120.00	14.38	8.500.00	11.500.00	0.50	38.32					
	T6- 4	10.620.00	10.390.00	11.140.00	14.16	8.500.00	11.500.00	0.50	39.97					

(continua)



(continuação)

Tempo (h)	Idade 28 dias	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (25/05/2018) - CP25-IV (FREQUÊNCIA RESSONANTE) - 28 dias												
		Fr (Hz)	Fl(Hz)	Fh(Hz)	Q	Fs(Hz)	Fe(Hz)	Tensão (V)	E (GPa)	Média por Série	Desvio Padrão	E (GPa) mínimo	E (GPa) máximo	E (GPa) adotado
7	T7 -1	10.850.00	10.290.00	11.290.00	10.85	8.500.00	11.500.00	0.50	41.15	35.36	4.94	30.43	40.30	35.20
	T7 -2	9.700.00	9.760.00	10.020.00	37.31	8.500.00	11.500.00	0.50	32.99					
	T7 -3	9.200.00	9.190.00	9.430.00	38.33	8.500.00	11.500.00	0.50	29.91					
	T7 -4	10.220.00	10.310.00	10.690.00	26.89	8.500.00	11.500.00	0.50	37.41					
8	T8 -1	9.370.00	9.240.00	9.490.00	37.48	8.500.00	11.500.00	0.50	31.28	31.63	2.07	29.55	33.70	31.61
	T8 -2	9.520.00	9.280.00	9.990.00	13.41	8.500.00	11.500.00	0.50	31.95					
	T8 -3	9.700.00	9.180.00	9.940.00	12.76	8.500.00	11.500.00	0.50	34.16					
	T8 -4	9.130.00	9.090.00	9.720.00	14.49	8.500.00	11.500.00	0.50	29.12					

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (20/04/2018) - CP25-V																		
Tempo (h)	Corpos de Prova 28 dias	Peso (kg)	$\phi$ (cm)	L (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (Kgf)	$f_c$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Desv. Pad. (Se)	Coef. Var. (CVe)	$f_{cm}$ (MPa) mínimo	$f_{cm}$ (MPa) máximo	$f_{cm}$ (MPa) novo	$f_{cm}$ (MPa) adotado	$f_{ckest}$ (MPa)	Novo (Se)	Novo (Cve)	Nível da NBR5739
1	T1 -1	3.60	10.00	20.00	7853.982	21.414.00	26.7	27.99	1.31	4.67	26.68	29.30	26.74	27.50	25.73	1.07	3.90	Muito bom
	T1 -2	3.62	10.00	20.00	7.853.98	23.009.00	28.7						28.73					
	T1 -3	3.60	10.00	20.00	7.853.98	23.581.00	29.4											
	T1 -4	3.61	10.00	20.00	7.853.98	21.658.00	27.0						27.04					
2	T2 -1	3.62	10.00	20.00	7.853.98	20.538.00	25.6	25.55	1.81	7.10	23.74	27.36	25.6	25.88	25.33	0.33	1.29	Excelente
	T2 -2	3.61	10.00	20.00	7.853.98	18.468.00	23.1											
	T2 -3	3.60	10.00	20.00	7.853.98	21.926.00	27.4											
	T2 -4	3.59	10.00	20.00	7.853.98	20.915.00	26.1						26.1					
3	T3 -1	3.61	10.00	20.00	7.853.98	21.001.00	26.2	25.66	0.38	1.49	25.28	26.04		25.47	25.32	0.09	0.37	Excelente
	T3 -2	3.60	10.00	20.00	7.853.98	20.480.00	25.6						25.6					
	T3 -3	3.62	10.00	20.00	7.853.98	20.330.00	25.4						25.4					
	T3 -4	3.58	10.00	20.00	7.853.98	20.390.00	25.5						25.5					
4	T4 -1	3.61	10.00	20.00	7.853.98	20.720.00	25.9	25.66	4.09	15.93	21.57	29.74	25.9	27.99	25.51	1.50	5.37	Razoável
	T4 -2	3.59	10.00	20.00	7.853.98	22.851.00	28.5						28.5					
	T4 -3	3.60	10.00	20.00	7.853.98	15.863.00	19.8											
	T4 -4	3.59	10.00	20.00	7.853.98	22.754.00	28.4						28.4					
5	T5 -1	3.58	10.00	20.00	7.853.98	23.192.00	29.0	29.51	2.01	6.80	27.50	31.52	29.0	28.53	27.74	0.48	1.67	Excelente
	T5 -2	3.58	10.00	20.00	7.853.98	22.912.00	28.6						28.6					
	T5 -3	3.59	10.00	20.00	7.853.98	26.000.00	32.5											
	T5 -4	3.59	10.00	20.00	7.853.98	22.437.00	28.0						28.0					

(continua)

(continuação)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (20/04/2018) - CP25-V																		
Tempo (h)	Corpos de Prova 28 dias	Peso (kg)	$\phi$ (cm)	L (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força (Kgf)	$f_c$ (MPa)	$f_{cm}$ (MPa)	Desv. Pad. (Se)	Coef. Var. (Cve)	$f_{cm}$ (MPa) mínimo	$f_{cm}$ (MPa) máximo	$f_{cm}$ (MPa) novo	$f_{cm}$ (MPa) adotado	$f_{ckest}$ (MPa)	Novo (Se)	Novo (Cve)	Nível da NBR5739
6	T6 -1	3.57	10.00	20.00	7.853.98	23.362.00	29.2	28.19	2.28	8.11	25.91	30.48	29.2	29.25	27.54	1.04	3.54	Muito bom
	T6 -2	3.59	10.00	20.00	7.853.98	22.632.00	28.3						28.3					
	T6 -3	3.58	10.00	20.00	7.853.98	24.287.00	30.3						30.3					
	T6 -4	3.58	10.00	20.00	7.853.98	20.027.00	25.0											
7	T7 -1	3.56	10.00	20.00	7.853.98	19.880.00	24.8	27.51	4.10	14.92	23.40	31.61	24.8	25.54	23.13	1.46	5.72	Razoável
	T7 -2	3.53	10.00	20.00	7.853.98	19.686.00	24.6						24.6					
	T7 -3	3.58	10.00	20.00	7.853.98	21.804.00	27.2						27.2					
	T7 -4	3.57	10.00	20.00	7.853.98	26.747.00	33.4											
8	T8 -1	3.22	10.00	20.00	7.853.98	9.365.00	11.7	10.38	3.04	29.27	7.34	13.42	11.7	11.89	11.19	0.42	3.56	Muito bom
	T8 -2	3.26	10.00	20.00	7.853.98	9.289.00	11.6						11.6					
	T8 -3	3.09	10.00	20.00	7.853.98	4.687.00	5.9											
	T8 -4	3.26	10.00	20.00	7.853.98	9.910.00	12.4						12.4					

Tempo (h)	Idade 26 dias	Resistência chant	$\phi$ (m)	L (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Resistividade Elétrica Volumétrica - data 18/04/2018 - CP25-V						Des. Pad	Valor mín.	Valor máx.	Valor ( $\Omega$ .m)	
						Ch 01 RMS (V)	Ch 02 RMS (V)	Frequência (hz)	Ch02 PaP (V)	R (Ohm)	Resistividade (Ohm.m)					Média
1	T1 -1	671.94	0.10	0.20	.00770	7.91	1.79	40	5.20	2.297.36	89.77	90.15	2.13	88.01	92.28	89.15
	T1 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.95	1.79	40	5.20	2.312.37	93.14					
	T1 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.84	40	5.40	2.220.32	88.07					
	T1 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.83	40	5.30	2.236.13	89.60					
2	T2 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.85	40	5.40	2.204.69	88.80	89.25	0.54	88.70	89.79	89.01
	T2 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.84	40	5.30	2.220.32	89.43					
	T2 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.84	40	5.30	2.216.67	88.82					
	T2 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.93	1.82	40	5.20	2.255.80	89.93					
3	T3 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.84	40	5.30	2.220.32	88.52	86.67	2.46	84.21	89.12	87.55
	T3 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.92	40	5.60	2.096.31	84.00					
	T3 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.90	40	5.50	2.125.45	85.17					
	T3 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.84	40	5.52	2.220.32	88.97					
4	T4 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.90	1.88	40	5.48	2.151.64	85.35	86.35	2.73	83.62	89.08	86.62
	T4 -2	671.94	0.10	0.19	.00785	7.90	1.95	40	5.68	2.050.28	83.00					
	T4 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.85	40	5.40	2.204.69	87.90					
	T4 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.92	1.83	40	5.30	2.236.13	89.15					
5	T5 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.85	40	5.40	2.201.06	87.53	87.71	0.46	87.25	88.18	87.54
	T5 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.84	40	5.40	2.216.67	87.93					
	T5 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.90	1.84	40	5.30	2.213.02	88.23					
	T5 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.90	1.85	40	5.40	2.197.43	87.16					
6	T6 -1	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.85	40	5.40	2.201.06	87.31	86.42	2.20	84.22	88.62	86.42
	T6 -2	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.85	40	5.40	2.201.06	87.31					
	T6 -3	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.84	40	5.30	2.216.67	87.93					
	T6 -4	671.94	0.10	0.20	.00785	7.91	1.92	40	5.60	2.096.31	83.15					

(continua)

(continuação)

Tempo (h)	Idade 26 dias	Resistência chant	$\phi$ (m)	L (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Resistividade Elétrica Volumétrica - data 18/04/2018 - CP25-V						Des. Pad	Valor mín.	Valor máx.	Valor ( $\Omega$ .m)	
						Ch 01 RMS (V)	Ch 02 RMS (V)	Frequência (hz)	Ch02 PaP (V)	R (Ohm)	Resistividade (Ohm.m)					Média
7	T7 -1	671.94	0.10	0.20	.007854.	7.90	2.88	40	8.48	1.171.23	45.99	46.55	1.94	44.61	48.49	45.59
	T7 -2	671.94	0.10	0.20	.007854.	7.87	2.90	40	8.56	1.151.57	45.22					
	T7 -3	671.94	0.10	0.20	.007854.	7.88	2.89	40	8.48	1.160.20	45.56					
	T7 -4	671.94	0.10	0.20	.007854.	7.90	2.75	40	8.00	1.258.36	49.42					
8	T8 -1	671.94	0.10	0.20	.007854.	7.85	3.01	40	8.80	1.080.46	42.43	42.10	1.08	41.01	43.18	42.62
	T8 -2	671.94	0.10	0.20	.007854.	7.86	3.10	40	8.96	1.031.75	40.52					
	T8 -3	671.94	0.10	0.20	.007854.	7.86	2.99	40	8.72	1.094.43	42.98					
	T8 -4	671.94	0.10	0.20	.007854.	7.88	3.02	40	8.80	1.081.33	42.46					

Tempo (h)	Resistividade Elétrica Superficial (18/04/2018) - CP25-V – Idade: 26 dias				Média	Resistividade Considerada ( $\Omega.m$ )
	M1 ( $\Omega.cm$ )	M2 ( $\Omega.cm$ )	M3 ( $\Omega.cm$ )	M4 ( $\Omega.cm$ )	M4 ( $\Omega.cm$ )	
1	11.50	11.10	11.70	10.80	11.28	111.88
	10.60	11.50	12.60	11.10	11.45	
	11.70	12.00	9.10	11.10	10.98	
	10.00	12.60	11.50	10.10	11.05	
2	11.20	11.30	11.10	11.20	11.20	110.00
	11.00	10.90	10.40	10.80	10.78	
	10.80	11.90	10.90	11.70	11.33	
	10.80	10.10	10.20	11.70	10.70	
3	10.50	11.00	10.60	11.80	10.98	108.63
	10.10	10.50	11.60	10.00	10.55	
	11.20	12.10	10.60	11.00	11.23	
	10.60	10.20	11.00	11.00	10.70	
4	10.20	10.90	10.90	10.80	10.70	105.50
	10.10	11.30	11.50	11.20	11.03	
	10.00	10.80	10.20	9.90	10.23	
	9.80	9.90	10.10	11.20	10.25	
5	11.50	10.10	10.10	10.10	10.45	103.31
	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10	
	9.40	10.20	9.80	10.60	10.00	
	11.20	10.20	11.20	10.50	10.78	
6	10.90	10.60	9.90	9.90	10.33	102.81
	10.90	10.20	11.00	10.90	10.75	
	10.90	9.90	9.60	10.60	10.25	
	9.70	9.40	10.30	9.80	9.80	
7	10.30	10.60	10.40	10.40	10.43	102.63
	10.10	9.90	10.40	10.10	10.13	
	10.90	10.80	10.10	11.10	10.73	
	9.40	9.80	9.80	10.10	9.78	
8	9.80	9.50	9.70	9.80	9.70	93.50
	7.50	8.40	8.50	8.10	8.13	
	9.90	9.50	9.90	9.40	9.68	
	9.70	10.20	10.00	9.70	9.90	

<b>MASSA ESPECÍFICA UTILIZADA NO CÁLCULO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (20/04/2018) – CP25-V</b>							
Idade 28 dias	Diâmetro (m)	Largura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (kg)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	Média (kg/m <sup>3</sup> )
T1 - 1	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.60	2.291.83	2.298.20
T1 - 2	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.62	2.304.56	
T1 - 3	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.60	2.291.83	
T1 - 4	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.61	2.298.20	
T2 - 1	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.62	2.304.56	2.295.65
T2 - 2	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.61	2.298.20	
T2 - 3	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.60	2.291.83	
T2 - 4	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.59	2.285.46	
T3 - 1	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.61	2.298.20	2.294.38
T3 - 2	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.60	2.291.83	
T3 - 3	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.62	2.304.56	
T3 - 4	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.58	2.279.10	
T4 - 1	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.61	2.298.20	2.288.01
T4 - 2	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.59	2.285.46	
T4 - 3	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.60	2.291.83	
T4 - 4	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.59	2.285.46	
T5 - 1	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.58	2.279.10	2.280.37
T5 - 2	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.58	2.279.10	
T5 - 3	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.59	2.285.46	
T5 - 4	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.59	2.285.46	
T6 - 1	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.57	2.272.73	2.276.55
T6 - 2	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.59	2.285.46	
T6 - 3	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.58	2.279.10	
T6 - 4	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.58	2.279.10	
T7 - 1	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.56	2.266.37	2.223.08
T7 - 2	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.53	2.247.27	
T7 - 3	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.58	2.279.10	
T7 - 4	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.57	2.272.73	
T8 - 1	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.22	2.049.92	2.041.96
T8 - 2	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.26	2.075.38	
T8 - 3	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.09	1.967.16	
T8 - 4	0.1000	0.2000	0.00785398	0.001571	3.26	2.075.38	

Tempo (h)	Idade 28 dias	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (20/04/2018) - CP25-V (FREQUÊNCIA RESSONANTE) - 28 dias												
		Fr (Hz)	Fl(Hz)	Fh(Hz)	Q	Fs(Hz)	Fe(Hz)	Tensão (V)	E (GPa)	Média por Série	Desvio Padrão	E (GPa) mínimo	E (GPa) máximo	E (GPa) adotado
1	T1 -1	11.040.00	10.830.00	11.260.00	25.67	8.500.00	11.500.00	0.50	44.69	39.86	3.27	36.59	43.13	38.25
	T1 -2	10.275.00	11.020.00	11.300.00	36.70	8.500.00	11.500.00	0.50	38.93					
	T1 -3	10.210.00	10.860.00	11.120.00	39.27	8.500.00	11.500.00	0.50	38.23					
	T1 -4	10.110.00	9.910.00	10.510.00	16.85	8.500.00	11.500.00	0.50	37.58					
2	T2 -1	9.390.00	9.340.00	10.130.00	11.89	8.500.00	11.500.00	0.50	32.42	32.90	2.02	30.88	34.92	31.91
	T2 -2	9.892.00	9.860.00	10.140.00	35.33	8.500.00	11.500.00	0.50	35.88					
	T2 -3	9.300.00	9.400.00	9.650.00	37.20	8.500.00	11.500.00	0.50	31.63					
	T2 -4	9.280.00	8.510.00	9.270.00	12.21	8.500.00	11.500.00	0.50	31.67					
3	T3 -1	9.170.00	9.120.00	9.390.00	33.96	8.500.00	11.500.00	0.50	30.83	31.92	2.83	29.09	34.75	30.57
	T3 -2	9.880.00	9.200.00	9.430.00	42.96	8.500.00	11.500.00	0.50	35.99					
	T3 -3	8.990.00	8.760.00	9.100.00	26.44	8.500.00	11.500.00	0.50	29.47					
	T3 -4	9.240.00	9.410.00	9.760.00	26.40	8.500.00	11.500.00	0.50	31.39					
4	T4 -1	8.890.00	10.390.00	10.790.00	22.23	8.500.00	11.500.00	0.50	28.90	33.99	3.40	30.59	37.39	35.69
	T4 -2	9.820.00	10.030.00	10.290.00	37.77	8.500.00	11.500.00	0.50	35.36					
	T4 -3	9.890.00	10.310.00	10.590.00	35.32	8.500.00	11.500.00	0.50	35.77					
	T4 -4	9.926.00	1.050.00	10.400.00	1.06	8.500.00	11.500.00	0.50	35.93					
5	T5 -1	9.855.00	9.490.00	9.770.00	35.20	8.500.00	11.500.00	0.50	35.42	34.56	3.34	31.22	37.91	36.21
	T5 -2	9.000.00	9.880.00	10.120.00	37.50	8.500.00	11.500.00	0.50	29.62					
	T5 -3	10.010.00	9.770.00	10.020.00	40.04	8.500.00	11.500.00	0.50	36.64					
	T5 -4	10.030.00	8.700.00	8.950.00	40.12	8.500.00	11.500.00	0.50	36.58					
6	T6 -1	9.890.00	10.200.00	10.430.00	43.00	8.500.00	11.500.00	0.50	35.77	37.20	2.43	34.76	39.63	35.99
	T6 -2	9.980.00	9.890.00	10.120.00	43.39	8.500.00	11.500.00	0.50	36.42					
	T6 -3	9.905.00	9.330.00	9.590.00	38.10	8.500.00	11.500.00	0.50	35.78					
	T6 -4	10.580.00	9.990.00	10.340.00	30.23	8.500.00	11.500.00	0.50	40.82					

(continua)



(continuação)

Tempo (h)	Idade 28 dias	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (20/04/2018) - CP25-II (FREQUÊNCIA RESSONANTE) - 28 dias												
		Fr (Hz)	Fl(Hz)	Fh(Hz)	Q	Fs(Hz)	Fe(Hz)	Tensão (V)	E (GPa)	Média por Série	Desvio Padrão	E (GPa) mínimo	E (GPa) máximo	E (GPa) adotado
7	T7 -1	9.400.00	9.370.00	9.620.00	37.60	8.500.00	11.500.00	0.50	32.04	33.81	2.38	31.43	36.19	32.70
	T7 -2	9.715.00	9.700.00	10.120.00	23.13	8.500.00	11.500.00	0.50	33.94					
	T7 -3	10.090.00	10.060.00	10.290.00	43.87	8.500.00	11.500.00	0.50	37.12					
	T7 -4	9.400.00	9.290.00	9.520.00	40.87	8.500.00	11.500.00	0.50	32.13					
8	T8 -1	9.290.00	9.550.00	9.790.00	38.71	8.500.00	11.500.00	0.50	28.31	27.20	1.51	25.69	28.71	27.85
	T8 -2	8.980.00	9.500.00	9.910.00	21.90	8.500.00	11.500.00	0.50	26.78					
	T8 -3	9.510.00	9.780.00	10.010.00	41.35	8.500.00	11.500.00	0.50	28.47					
	T8 -4	8.720.00	9.340.00	9.590.00	34.88	8.500.00	11.500.00	0.50	25.25					