

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**INFLUÊNCIA DAS TÉCNICAS DE CURA NA RESISTÊNCIA DO
CONCRETO E ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CAL
HIDRATADA NA TÉCNICA DE CURA POR ASPERSÃO
PERIÓDICA DE ÁGUA**

Gustavo Bresolin

Lajeado, junho de 2016

Gustavo Bresolin

**INFLUÊNCIA DAS TÉCNICAS DE CURA NA RESISTÊNCIA DO
CONCRETO E ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CAL
HIDRATADA NA TÉCNICA DE CURA POR ASPERSÃO
PERIÓDICA DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de Ciências Exatas e
Tecnológicas do Centro Universitário
UNIVATES, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Área de concentração: Cura do Concreto

Orientador: Prof. Ms. Ivandro Carlos Rosa

Lajeado, junho de 2016

Gustavo Bresolin

**INFLUÊNCIA DAS TÉCNICAS DE CURA NA RESISTÊNCIA DO
CONCRETO E ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CAL
HIDRATADA NA TÉCNICA DE CURA POR ASPERSÃO
PERIÓDICA DE ÁGUA**

Este trabalho foi considerado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil do CETEC e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador:

Prof. Ivandro Carlos Rosa, UNIVATES
Mestre pelo Centro Universitário Univates – Lajeado, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. João Batista Gravina, UNIVATES
Mestre pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Engenheiro Civil Maio Allebrandt Jaeger
Graduado pelo Centro Universitário Univates – Lajeado, Brasil

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Emanuele Amanda Gauer

Lajeado, junho de 2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais Adilar e Ivone e meu irmão Augusto, que sempre me deram apoio em todos os momentos e são a base do meu ser.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha namorada Tais, meu irmão Augusto e meu orientador Prof. Ivandro pelo apoio e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também a todos os professores pelos ensinamentos passados e a todos os colegas pelos momentos compartilhados, alguns alegres e outros sofridos, mas todos inesquecíveis.

RESUMO

A indústria da construção civil está diariamente sofrendo mudanças, principalmente no que se refere aos controles de qualidade nas obras devido ao despreparo dos profissionais atuantes no setor, que impactam diretamente na qualidade do principal material estrutural, o concreto. O principal objetivo deste trabalho é analisar os distintos processos de cura empregados nas obras civis e suas influências na resistência final do concreto, além disso, será feito um incremento da técnica de cura por aspersão periódica de água com a utilização de cal hidratada, buscando uma maior eficiência do processo e maior contribuição na resistência final do concreto. Para a análise da influência das técnicas de cura na resistência do concreto, além da busca por contribuições da cal hidratada frente a este material, foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica que elenca o que deve ou não ser feito na prática, como também apresentar as características dos materiais estudados e seus comportamentos quando unidos em um corpo só, ou seja, quando transformados em concreto. Foram realizados ensaios práticos através de corpos de prova de concreto curados em câmara úmida, submersos em água saturada de cal, expostos ao ar e por aspersão periódica de água e de cal hidratada dissolvida em água. Após curados, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão, permitindo a obtenção dos resultados práticos e comprovando a eficiência de uma cura bem realizada no que tange o correto desenvolvimento da resistência do concreto.

Palavras-chave: Cura. Cura do concreto. Cura por aspersão. Cura com cal hidratada.

ABSTRACT

The civil construction industry is constantly changing, especially in reference to quality controls in the works due to the lack of qualification from professionals working in the sector, which directly impacts the quality of the main structural material, the concrete. The main objective of this study is to analyze the different healing processes applied in civil works and their influence in the concrete ultimate strength, in addition, will be made an improvement in the healing technique of periodic water sprinkler with the use of hydrated lime, seeking a major efficiency of the process and greater contribution to the ultimate strength of the concrete. To analyze the influence of healing techniques in concrete strength, besides the search of contributions from hydrated lime to concrete, a bibliographic research was developed which lists what should or should not be done in practice, as well as present the characteristics of the studied materials and their performance when united in one body, that is, when transformed into concrete. Practical tests were made through concrete test samples cured in a moist chamber, submerged in saturated lime water, exposed to air and by periodic spraying of water and hydrated lime dissolved in water. After cured, the test samples were subjected to compression tests, allowing the practical results to be obtained, proving the efficiency of a well done healing regarding the correct development of concrete strength.

Keywords: Healing. Curing of concrete. Sprinkler healing. Healing with hydrated lime.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Reação da cal virgem com a água	22
Equação 2 – Reação da cal hidratada com o CO ₂	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de hidratação do cimento	31
Figura 2 – Influência da porosidade na resistência do concreto.....	38
Figura 3 – Relação entre a resistência e a relação água/cimento do concreto	41
Figura 4 – Ensaio de abatimento do tronco de cone	49
Figura 5 – Ensaio de compressão.....	51
Figura 6 – Cimento Cimpor CP IV – 32	56
Figura 7 – Agregado miúdo.....	57
Figura 8 – Agregado graúdo.....	57
Figura 9 – Cal hidratada.....	58
Figura 10 – Betoneira para a produção do concreto	61
Figura 11 – Pá e colher de pedreiro	62
Figura 12 – Balança de precisão.....	63
Figura 13 – Brita sendo pesada e separada	64
Figura 14 – Cimento sendo pesado e separado.....	64
Figura 15 – Aparelhagem para o ensaio de abatimento do tronco de cone	66
Figura 16 – Realização do ensaio de abatimento do tronco de cone.....	67
Figura 17 – Desmoldante	68
Figura 18 – Corpos de prova moldados	69
Figura 19 – Câmara úmida.....	70
Figura 20 – Tanque de água saturada de cal hidratada.....	70
Figura 21 – Cura por aspersão periódica de água	71

Figura 22 – Cura por aspersão periódica de cal hidratada dissolvida em água	71
Figura 23 – Cura por 7 dias.....	72
Figura 24 – Cura por 28 dias.....	73
Figura 25 – Retífica de corpos de prova	74
Figura 26 – Prensa.....	74
Figura 27 – Ensaio de compressão com corpo de prova 01	75
Figura 28 – Ensaio de compressão com corpo de prova 02	76
Figura 29 – Idades de cura e o desenvolvimento da resistência.....	80
Figura 30 – Obras x Norma Técnica	81
Figura 31 – Influência do número de aplicações.....	83
Figura 32 – Influência da relação a/c no desenvolvimento da resistência aos 7 dias	85
Figura 33 – Influência da relação a/c no desenvolvimento da resistência aos 28 dias	86
Figura 34 – Influência da incorporação de cal hidratada.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de cal – Requisitos químicos	23
Tabela 2 – Tipos de cal – Requisitos físicos	23
Tabela 3 – Componentes do cimento Portland	29
Tabela 4 – Reações químicas no forno de cimento	29
Tabela 5 – Composição do cimento Portland.....	30
Tabela 6 – Composição dos compostos do cimento Portland.....	32
Tabela 7 – Classificação das areias.....	33
Tabela 8 – Classificação das britas.....	34
Tabela 9 – Crescimento da resistência do concreto.....	38
Tabela 10 – Influência dos vazios do concreto em sua resistência.....	40
Tabela 11 – Período de cura necessário para evitar a propagação dos poros capilares.....	40
Tabela 12 – Relação entre relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto	43
Tabela 13 – Tempos mínimos de mistura	44
Tabela 14 – Classificação através do abatimento do tronco de cone	49
Tabela 15 – Abatimento do concreto para diferentes elementos estruturais.....	50
Tabela 16 – Quantidade de materiais para a produção de concreto em obras de Guaporé/RS	59
Tabela 17 – Traços de concreto.....	60
Tabela 18 – Tolerância para a idade de ensaio	75
Tabela 19 – Ensaio de compressão – 7 dias	78
Tabela 20 – Ensaio de compressão – 28 dias.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
a/c	Água/cimento
CO ₂	Gás carbônico
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CP's	Corpos de prova
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
CUB	Custo Unitário Básico
LATEC	Laboratório de Tecnologias da Construção
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
S50	Classe de consistência
S100	Classe de consistência
UNIVATES	Unidade Integrada do Vale do Taquari de Ensino Superior

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Considerações iniciais.....	16
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 Justificativa.....	17
1.4 Delimitação	19
1.5 Estrutura	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 Cal.....	21
2.1.1 Cal hidratada.....	22
2.1.1.1 Características.....	24
2.1.1.2 Aplicações	25
2.2 Concreto.....	26
2.2.1 Histórico do concreto	27
2.2.2 Componentes básicos	28
2.2.2.1 Cimento	28
2.2.2.2 Agregados.....	33
2.2.2.3 Água	34
2.2.3 Características.....	35
2.2.4 Propriedades do concreto no estado fresco	35
2.2.4.1 Consistência e trabalhabilidade.....	36
2.2.4.2 Massa específica	37
2.2.5 Propriedades do concreto no estado endurecido.....	37
2.2.5.1 Permeabilidade.....	39
2.2.5.2 Resistência a compressão	39
2.2.6 Dosagem	41
2.2.6.1 Fatores a serem considerados.....	42
2.2.6.2 Relação água/cimento.....	42
2.2.6.3 Consumo de cimento	43
2.2.6.4 Consumo de agregados.....	43
2.2.7 Produção do concreto	43
2.2.7.1 Mistura.....	44

2.2.7.2 Transporte.....	44
2.2.7.3 Lançamento	45
2.2.7.4 Adensamento.....	46
2.2.7.5 Cura do concreto.....	46
2.2.8 Ensaio.....	48
2.2.8.1 Ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test)	48
2.2.8.2 Ensaio de resistência a compressão.....	50
2.3 Tipos de cura	51
2.3.1 Cura úmida.....	52
2.3.2 Cura submersa	52
2.3.3 Cura ao ar.....	52
2.3.4 Cura por aspersão.....	53
2.3.4.1 Cura por aspersão periódica de cal hidratada.....	53
3 MATERIAIS E MÉTODOS	54
3.1 Introdução.....	54
3.2 Metodologia da pesquisa.....	55
3.3 Caracterização dos materiais.....	56
3.3.1 Cimento.....	56
3.3.2 Agregados.....	56
3.3.3 Água	58
3.3.4 Cal hidratada.....	58
3.4 Procedimentos metodológicos	58
3.4.1 Definição do traço	59
3.4.2 Produção do concreto	61
3.4.2.1 Aparelhagem.....	61
3.4.2.2 Material.....	63
3.4.2.3 Procedimento de produção do concreto.....	65
3.4.2.4 Ensaio de consistência pelo abatimento do troco de cone.....	66
3.4.2.5 Moldagem dos corpos de prova.....	67
3.4.2.6 Cura das amostras	69
3.4.2.7 Rompimento dos corpos de prova	73
4 RESULTADOS.....	77
4.1 Ensaio de compressão – 7 dias	77
4.2 Ensaio de compressão – 28 dias	78
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	79
5.1 Influência das idades de cura	79
5.2 Obras x Norma Técnica	81
5.3 Curas por aspersão periódica e número de aplicações diárias.....	83
5.4 Influência da cura frente a concretos com alta e baixa relação a/c.....	84
5.5 Influência da incorporação de cal hidratada.....	87
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
6.1 Conclusões.....	90
6.2 Sugestões para trabalhos futuros	91

REFERÊNCIAS.....93

ANEXOS98

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil está diariamente sofrendo mudanças, como por exemplo, a evolução dos controles de qualidade nas obras. Busca-se através deles uma melhor qualidade, e como consequência, maior durabilidade. Além disso, conforme Bauer (2008), esses controles constituem grande parte do fator de redução do CUB, destacando a necessidade de aplicação imediata no setor.

Segundo Valin Jr. e Lima (2009) e Neville e Brooks (2013), o concreto é um material de construção muito utilizado, aplicável nas mais diversas obras que necessitem versatilidade, durabilidade e resistência, porém destacam o despreparo dos mais diversos profissionais quanto a correta aplicação e controle de qualidade do material.

Um dos processos mais afetados por esse despreparo é a cura do concreto. Segundo o ACI 308.R (2001), Mehta e Monteiro (2008) e Neville e Brooks (2013), a cura do concreto nada mais é que um conjunto de fatores que promovem a hidratação do cimento, destacam-se umidade, tempo e temperatura, onde objetiva-se desenvolver a resistência do material.

Para Helene e Levy (2013) e Neville e Brooks (2013), os procedimentos de cura, por mais complexos que sejam nas obras limitam-se a molhar as estruturas algumas poucas vezes ao dia, inclusive por tempo insatisfatório, ocasionando menor durabilidade e resistência do concreto. Técnica esta, utilizada frente a uma estatística nada positiva, onde 20% das falhas encontradas em obras são consequências do desconhecimento frente a correta execução (BAUER, 2008).

Amparadas na tecnologia, pesquisas vem sendo realizadas a fim de desenvolver novas técnicas de controle de qualidade nas obras, inclusive para a cura do concreto, a qual segundo Geiker (2012) tem grande potencial para danificar estruturas de concreto se for realizada de forma errada ou insuficiente.

1.1 Considerações iniciais

Conforme a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 5738/2003, que estabelece padrões de referência para a cura do concreto, mostra que este deve ser curado submerso em água saturada de cal hidratada ou em câmara úmida, a uma temperatura de 23 ± 2 °C. Além disso, segundo Petrucci (1998), ACI 308.R (2001) e a NBR 6118/2003, a cura normal deve ser feita por no mínimo 7 dias corridos após o lançamento, sendo que nesse período a umidade é essencial para as propriedades do concreto, ou por 28 dias, idade considerada de referência para se avaliar a resistência.

Segundo o ACI 308.R (2001), a técnica de aspersão ou também conhecida por “borrifar” água na superfície do concreto é extremamente eficiente quando a temperatura estiver acima de zero graus e for feita de forma contínua, porém destaca que o processo de forma intermitente pode alcançar resultados satisfatórios, desde que não se deixe secar o concreto por completo entre os períodos de molhagem. Já Neville (1997) e Petrucci (1998), destacam que os intervalos entre esses períodos de molhagem não acarretam em significativas perdas para a resistência e ainda pode ser feita a aplicação de cal, pois esta retém umidade junto à superfície do concreto.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência das técnicas de cura do concreto no desenvolvimento de sua resistência e analisar a incorporação de cal hidratada na técnica de cura por aspersão periódica de água.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar através de pesquisa bibliográfica as propriedades e aplicações da cal hidratada no concreto;
- b) Deduzir através da pesquisa bibliográfica possíveis contribuições da cal hidratada frente a cura do concreto;
- c) Comparar a cura ao ar e por aspersão periódica de água, técnicas comuns em obras de pequeno porte, com a cura em câmara úmida e submersa em água saturada de cal, estabelecidas por norma;
- d) Comparar a cura por aspersão periódica de cal hidratada dissolvida em água com a cura por aspersão periódica de água;
- e) Comparar as técnicas de cura empregadas frente a um concreto com elevada relação a/c e um concreto usinado com baixa relação a/c;
- f) Avaliar a influência da cura por aspersão periódica, tanto de água quanto de cal, no que se refere ao número de aplicações diárias;
- g) Avaliar, de um modo geral, as técnicas de cura empregadas frente a um concreto com alta relação a/c;
- h) Avaliar, com base nos dados obtidos, a influência da incorporação de cal hidratada na cura do concreto;

1.3 Justificativa

Para que o concreto de uma estrutura apresente as características mais próximas possíveis das especificadas em projeto, o processo de cura é de suma importância. Para o ACI 308.R (2001) e Neville e Brooks (2013), este processo deve ser iniciado logo após o lançamento e adensamento do concreto, quando este apresentar os primeiros sinais de endurecimento nas superfícies.

Para Helene e Levy (2013), as práticas comuns de cura em obras estão longe de serem suficientes para o desenvolvimento da resistência do concreto. O simples

fato de molhar a superfície do concreto periodicamente, técnica utilizada na grande maioria das pequenas obras, não proporciona ao concreto uma quantidade de água suficiente para a continuidade das reações de pega e endurecimento.

Ainda segundo Helene e Levy (2013), a interrupção da cura pode ocasionar a perda de água pelo concreto, deixando vazios, aumentando sua porosidade e enfraquecendo a superfície, tornando-o suscetível a ataques externos e comprometendo sua durabilidade e resistência, fato este, também descrito por Isaia (2005). Logo, um fluxo de água contínuo é mais eficiente que um fluxo intermitente (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Para Mehta e Monteiro (2008) e Neville e Brooks (2013), um fator importante tem de ser levado em consideração ao definir os processos de cura de uma estrutura, o fator água-cimento, que quanto menor, menores serão os cuidados necessários. Ironicamente, as obras que mais precisam de cuidados são as que menos as recebem (pequenas obras de concreto), pois normalmente são obras com concreto dosado *in loco* e com isso, possui elevada relação água/cimento (HELENE; LEVY, 2013).

Sabe-se da dificuldade de inserção de novas técnicas em pequenas construções, portanto o aprimoramento das mesmas se torna um caminho mais curto na busca por resultados positivos em se tratando de controle de qualidade. O uso da cal nos processos de cura já é conhecido, inclusive mencionada como referência na NBR 5738/2003.

Segundo Guimarães (2002) e Coelho, Torgal e Jalali (2009), a cal hidratada possui a propriedade de retenção de água, característica essencial para aplicação em materiais com alto poder de absorção. Além disso, a cal hidratada em contato com a água auxilia na hidratação do cimento, tanto por processos físicos, como químicos (QUARCIONI, 2008; HOPPE FILHO, 2008).

Analisando os autores citados e outros pesquisados, existem estudos sobre a utilização da cal na cura do cimento. Há também citações de normas técnicas a respeito, porém existem lacunas não exploradas, pois não foram encontrados estudos sobre a cura do concreto por aspersão periódica com incorporação de cal hidratada. Além disso, diante do exposto por Neville (1997), Petrucci (1998),

Guimarães (2002), Quarcioni (2008), Hoppe Filho (2008), Coelho, Torgal e Jalali (2009) e pelas normas técnicas aplicáveis, a incorporação de cal hidratada pode ser estendida a estudos referentes ao concreto, podendo ainda servir de solução para o problema levantado pelo ACI 308.R (2001) e Helene e Levy (2013), ou seja, o de manter o concreto úmido entre os períodos de molhagem, evitando a paralisação da cura e contribuindo para o desenvolvimento da resistência através do aperfeiçoando da técnica já existente.

1.4 Delimitação

Segundo Petrucci (1998) e Neville e Brooks (2013), cura é um termo utilizado aos processos que visam evitar a perda de água necessária a hidratação do cimento e conseqüente desenvolvimento da resistência. Cura por aspersão limita-se a borrifar, lançar ou molhar a superfície do concreto com água potável, podendo ser um processo contínuo ou intermitente (ACI 308. R. 2001).

O traço de concreto avaliado, possui elevada relação a/c, simulando obras comuns da construção civil, portanto o presente estudo não se aplica a concretos industrializados, ou seja, que apresentem baixa relação a/c. O ambiente em que se realizou a cura dos corpos de prova, foi protegido de intempéries como chuvas, porém com livre exposição ao sol e circulação de ar.

As técnicas de cura estudadas através dos corpos de prova, podem ser estendidas a vigas e pilares, porém excluem-se lajes por apresentarem maior perda de água devido a maior área de exposição e menor espessura.

1.5 Estrutura

O presente trabalho está dividido em 06 capítulos, sendo eles:

Capítulo 01 – Contém a apresentação do trabalho, sendo parte integrante a introdução, considerações iniciais, objetivos, justificativas e delimitação, visando um breve resumo do conteúdo trabalhado.

Capítulo 02 – Neste capítulo se encontra o referencial teórico, ou seja, o embasamento deste trabalho, contendo abordagens sobre a cal hidratada, o concreto e seus componentes, interações entre os materiais propostos, processos de cura e ensaios de controle de qualidade.

Capítulo 03 – Apresenta os materiais e métodos, contendo a metodologia utilizada tanto para a pesquisa bibliográfica como para os ensaios experimentais.

Capítulo 04 – Neste capítulo é apresentado os resultados obtidos frente aos experimentos propostos.

Capítulo 05 – Faz-se a discussão dos resultados apresentados no capítulo 04.

Capítulo 06 – Por fim, no último capítulo deste trabalho são apresentadas as conclusões e as sugestões para trabalhos complementares referentes ao tema pesquisado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo é dividido em três seções com o objetivo de apresentar as contribuições teóricas para o desenvolvimento e sustentação deste trabalho, a fim de apresentar a influência da incorporação de cal hidratada na técnica de cura do concreto por aspersão periódica de água.

A primeira seção apresenta abordagens sobre a cal, como sua história, características e aplicações. A segunda seção aborda o concreto, contendo sua história, componentes, sua produção, propriedades em estados distintos, processo de hidratação e os ensaios mais utilizados. E por fim, na última seção são apresentadas as técnicas de cura tratadas neste trabalho.

2.1 Cal

Segundo Isaia (2007) e Coelho Torgal e Jalali (2009), a cal é o aglomerante mais antigo de que se tem conhecimento, destacam seu uso no grande desenvolvimento portuário dos gregos e também na construção da Muralha da China. Já Pedroso (2009) cita seu uso no desenvolvimento da civilização romana, como, por exemplo, na construção do Panteão e do Coliseu.

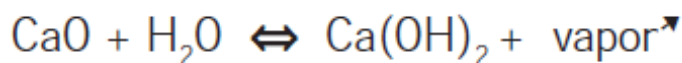
Segundo Guimarães, Gomes e Seabra (2004), Isaia (2007), Polito (2008) e Pedroso (2009), a cal é produzida a partir de rochas calcárias e é composto basicamente por cálcio e magnésio, se apresentando na forma de um pó muito fino, existindo dois tipos de cal no mercado, a cal virgem e a cal hidratada. A cal virgem

ou viva é originada do processo chamado de calcinação e é composta basicamente por óxido de cálcio e magnésio, enquanto a cal hidratada é produto da reação da cal virgem com a água, formada por hidróxidos de cálcio e magnésio.

2.1.1 Cal hidratada

Conforme Guimarães (2002) e em acordo com os autores anteriormente citados, a cal hidratada é resultado da reação da cal virgem com a água, sendo uma reação exotérmica, ou seja, desprende certa quantidade de calor no processo na forma de vapor, conforme Equação 1. Destaca juntamente com Isaia (2007), que neste processo nem toda a cal virgem é hidratada, apresentando óxidos livres, onde estes podem ser submetidos a nova hidratação na presença de água e consequente liberação de calor.

Equação 1 – Reação da cal virgem com a água



Fonte: adaptado de Guimarães, Gomes e Seabra (2004), Polito (2008) e Pedroso (2009).

A NBR 7175/2003 especifica três tipos diferentes de cal hidratada de acordo com sua composição química, sendo elas a CH I, CH II e CH III. A cal hidratada CH I é constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou uma mistura de hidróxido de cálcio e magnésio, apresentando teor de gás carbônico inferior a 5%. A cal hidratada CH II é constituída por uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio, apresentando teor de gás carbônico inferior a 5%. Já a cal hidratada CH III é constituída nos mesmos moldes da anterior, porém com teor de gás carbônico inferior a 13%.

A NBR 7175/2003 ainda as diferencia pelos óxidos presentes não voláteis e não hidratados e juntamente com a NBR 6453/2003, limitam o valor de óxidos livres para <10% para CH I e <15% para CH II e III, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de cal – Requisitos químicos

Requisitos		Critérios limite		
		CH I	CH II	CH III
Anidrido carbônico	Na fábrica	< 5%	< 5%	< 13%
	No depósito	< 7%	< 7%	< 15%
Óxidos não hidratados		< 10%	< 15%	< 15%
Óxidos não voláteis		> 90%	> 88%	> 88%

Fonte: adaptado da NBR 6453 (2003) e da NBR 7175 (2003).

Além dos requisitos químicos apresentados, os requisitos físicos também são essenciais, como por exemplo a retenção de água, destacada por diversos autores como Guimarães (2002), Isaia (2007), Coelho, Torgal e Jalali (2009), em trabalhos como o de Polito (2008) e Quarcioni (2008), e como pode-se ver na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Tipos de cal – Requisitos físicos

Requisitos		Critérios limite		
		CH I	CH II	CH III
Granulometria	Peneira 0,600 mm	< 0,5%	< 0,5%	< 0,5%
	Peneira 0,075 mm	< 10%	< 15%	< 15%
Retenção de água		> 75%	> 75%	> 70%
Incorporação de areia		> 3,0%	> 2,5%	> 2,2%
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		> 110%	> 110%	> 110%

Fonte: NBR 6453/2003.

Conforme Guimarães, Gomes e Seabra (2004) e Coelho Torgal e Jalali (2009), a cal hidratada está presente em tudo que nos rodeia, tanto em processos industriais como na agricultura. Porém é na construção civil que ela se destaca, em argamassas e pinturas. Apresenta, portanto, inúmeras características aplicáveis às mais diversas áreas, como óxidos livres e retenção de água, úteis aos objetivos deste trabalho, conforme apresentado nos itens 2.1.1.1 e 2.1.1.2 a seguir.

2.1.1.1 Características

Como já mencionado, a cal hidratada apresenta propriedades químicas e físicas, tais como óxidos livres e retenção de água, respectivamente, onde tais propriedades podem ser utilizadas em conjunto com outros materiais a fim de proporcionar melhores resultados em processos existentes, como por exemplo a hidratação do cimento a seguir mencionada.

Segundo Guimarães (2002) e Isaia (2007), a cal hidratada tem um extraordinário poder de reter água em torno de suas partículas, resistindo a sucção. Isaia (2007) e Quarcioni (2008) atribuem tal propriedade à grande área superficial da cal, e juntamente com Guimarães, Gomes e Seabra (2004), salientam que a mesma, por reter água, contribui na hidratação de materiais com alto poder de absorção, como o cimento.

Quarcioni (2008) apresenta em seu trabalho, resultados positivos quanto a ação química e física da cal hidratada na hidratação do cimento. Quimicamente atribui o resultado positivo à liberação de íons cálcio e hidroxila no meio aquoso e pelo aumento considerável do calor de hidratação, acelerando-a, fato este descrito também por Rago e Cincotto (1999).

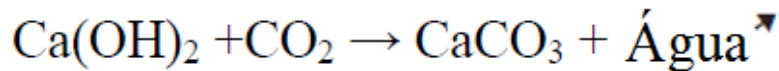
Quarcioni (2008) destaca que com a incorporação de íons cálcio e hidroxila no meio, há uma supersaturação de íons e perturbação do equilíbrio das reações dos hidratos com conseqüente aceleração da formação de C-S-H. Salienta ainda, que os íons cálcio são os principais controladores das reações de hidratação do cimento e que é necessário a presença de cal em solução para que tais reações aconteçam. Em acréscimo, Tutikian e Dalmolin (2008) citam que a utilização de cal hidratada gera uma quantidade maior de C-S-H, responsável pela resistência mecânica do cimento, porém deixa claro que é um processo lento.

Já fisicamente, Quarcioni (2008) atribui ao efeito filler que favorece a hidratação do cimento em idades avançadas de cura e destaca que como a cal hidratada tem baixa solubilidade, a maior parte das partículas atuará desta forma, onde Tutikian e Dalmolin (2008) explicam que este efeito preenche os vazios existentes no cimento e contribui para a eliminação da água em excesso, destacando que o calcário é o mais tradicional filler utilizado em concretos.

Fica claro com o trabalho de Quarcioni (2008), a relevância da cal hidratada na hidratação do cimento no estado fresco, o qual pode ser estendido ao concreto, por ser composto principalmente de cimento. Já no estado endurecido, tal aplicação no concreto foi desenvolvida por Silva (2009), onde é analisado os efeitos da cal hidratada na cura de corpos de prova de concreto submersos em água, obtendo resultados favoráveis a longo prazo.

Em se tratando de cura do concreto, a cal hidratada apresenta características interessantes, como citam Rago e Cincotto (1999), Guimarães, Gomes e Seabra (2004) e Pedroso (2009), onde devido a reação de carbonatação (EQUAÇÃO 2), interação da cal hidratada com o CO₂ do ar, esta libera a água retida em suas partículas em um processo considerado lento, sendo absorvida pelo cimento e conseqüentemente contribuindo na cura.

Equação 2 – Reação da cal hidratada com o CO₂



Fonte: adaptado de Polito (2008) e Pedroso (2009).

Já sobre os óxidos livres presentes na cal hidratada, Rago e Cincotto (1999) e Isaia (2007) destacam que o contato com a água acarreta na hidratação destes óxidos, havendo uma liberação de energia, na forma de calor de hidratação (EQUAÇÃO 1), o qual segundo Valin Jr. e Lima (2009), Cecconello e Tutikian (2012) e Neville e Brooks (2013), influi diretamente na cura do concreto, pois o calor acelera os processos de hidratação iniciais. Tal fato é observado também em trabalhos feitos por Galvão (2003), Silva (2009), Ribeiro, Gomes e Valin Jr. (2014) e Stein (2014).

2.1.1.2 Aplicações

A cal hidratada possui diversas aplicações, porém segundo Isaia (2007), seu principal mercado é o da produção de argamassas. Juntamente com Polito (2008) destacam que além de ser um material aglomerante, contribui para as propriedades

da argamassa no estado fresco devido a reologia e retenção de água, destacando uma melhora considerável em sua trabalhabilidade.

Porém existem diversas outras aplicações, como tintas, blocos estruturais e não estruturais, estabilização de solos e até sua adição em concretos, esta última, destacada por Isaia (2007), contribuindo para concretos com adições minerais devido as reações da cal hidratada com a sílica ativa presente nos materiais pozolânicos que compõem certos tipos de cimento. Tal reação apresenta um comportamento cimentício parecido com o do próprio cimento, contribuindo para a resistência mecânica do concreto, fato este destacado por Quarcioni (2008), Hoppe Filho (2008) e Anjos (2012), que através dessas reações há uma maior formação de C-S-H.

No que se refere a cura do concreto, não existem bibliografias específicas nesse assunto, sendo encontrado apenas uma monografia de Silva (2009), já mencionada no item 2.1.1.1, que realiza a cura proposta pela NBR 5738/2003, em tanque de água saturada de cal hidratada. Neste trabalho, Silva (2009) compara a técnica mencionada a cura em câmara úmida e como já comentado, apresenta resultados superiores em idades avançadas de cura.

Quarcioni (2008), por fim, evidencia a viabilidade do uso da cal como acelerador das reações de hidratação do cimento como fonte suplementar de cálcio e ainda, como integrante de adições minerais ao clínquer.

2.2 Concreto

Para Mehta e Monteiro (2008) e Pedroso (2009), o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, na ordem de 11 bilhões de toneladas métricas ao ano. Pedroso (2009) destaca que o Brasil contribui efetivamente nessa estatística, com 30 milhões de toneladas ao ano.

Petrucci (1998), Mehta e Monteiro (2008) e Neville e Brooks (2013) tratam o termo “concreto” como sendo qualquer produto produzido através de um meio cimentante, destacando que esse meio normalmente é fruto da reação entre o cimento Portland e a água e juntamente com os agregados formam o material que

tanto conhecemos. Ambos os autores citam o uso dos mais diversos materiais como agregados do concreto, porém concluem que os mais usuais são areia e brita, agregado miúdo e graúdo respectivamente.

Para Mehta e Monteiro (2008) e Pedroso (2009) existem ao menos duas razões para o uso tão disseminado do concreto em comparação com outros materiais. A primeira delas é sua resistência a água, diferente do aço e da madeira, o concreto pouco se deteriora em contato com a mesma, sendo um material ideal para construções que fazem o armazenamento ou o transporte de água, sendo historicamente comprovada, pois os romanos o utilizavam em cisternas e aquedutos. Hoje seu uso é mais amplo, como em estacas, fundações, pilares, vigas e lajes, onde os mesmos estão diariamente em contato com a umidade. A segunda razão é a sua plasticidade, que permite construções das formas mais variadas possíveis, sendo um grande aliado da arquitetura contemporânea. Porém, Mehta e Monteiro (2008) citam ainda uma terceira razão crucial para o grande uso do concreto, o baixo custo, justificando-o juntamente com Isaia (2005), pela fácil obtenção de seus componentes, sendo que estes são relativamente baratos.

2.2.1 Histórico do concreto

Isaia (2007) atribui o século XIX como o marco do surgimento do concreto, após o registro de patente do cimento Portland. Porém cita que um concreto primitivo, a base de cal hidratada e argila, já fora utilizado pelo povo Romano na construção do Panteão, por volta de 125 d.C. Já o concreto que conhecemos, como já citado, é atribuído a descoberta do cimento Portland por John Aspdin, em 1824, e sua posterior patente relacionada ao aperfeiçoamento da produção de pedras artificiais, se referindo ao concreto em questão. Porém pouco uso se obteve desse concreto na época, sendo aplicado normalmente em fundações (ISAIA, 2007; PEDROSO, 2009).

Ainda no século XIX, o grande salto do concreto frente a outros materiais se deu pelo desenvolvimento do concreto armado, por Gustav Adolf Ways, posteriormente patenteado por Thaddeus Hyatt e aperfeiçoado por pesquisadores

renomados como Vicat, Le Châtelier e Féret, tornando o produto no atualmente conhecido concreto de cimento Portland (ISAIA, 2007).

2.2.2 Componentes básicos

Para Giongo (2007), os componentes básicos são os agregados (graúdos e miúdos) cimento e água, gerando um composto chamado de concreto simples. Para a NBR 6118/2003, concreto simples não possui nenhum tipo de armadura ou que a possui em menor quantidade à mínima exigida para o concreto armado. Já Petrucci (1998), relaciona os mesmos materiais componentes, porém denomina o composto de concreto hidráulico. Denominações a parte, o concreto avaliado neste trabalho será composto por cimento Portland, pedra britada, areia e água, em conformidade com ambos autores.

2.2.2.1 Cimento

Isaia (2005) descreve cimentos como sendo substâncias ligantes, capazes de unir materiais sólidos em um único corpo mais compacto e resistente. Porém relaciona apenas um ao uso na construção civil, o cimento Portland, destacado também por Petrucci (1998). Ambos autores explicam que tal fenômeno se deve ao contato do cimento com a água, no processo chamado de hidratação.

Cimento Portland, segundo Petrucci (1998) e Neville e Brooks (2013), é o produto resultante do processo de moagem do clínquer. O clínquer é resultado da queima de uma mistura de calcário e argila, estando de acordo com o que também descreve Isaia (2005) e Mehta e Monteiro (2008). Petrucci (1998) ainda cita a existência de gesso e cal livre em sua composição.

Diante dos componentes citados por Petrucci (1998), Isaia (2005), Mehta e Monteiro (2008) e Neville e Brooks (2013), ambos ainda citam a formação de produtos mais complexos a partir da queima desses componentes em forno, conforme a Tabela 03.

Tabela 3 – Componentes do cimento Portland

Nome do composto	Composição de óxidos	Abreviatura
Silicado tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fonte: Neville e Brooks (2013).

Segundo Petrucci (1998) e Neville e Brooks (2013), a abreviatura decorre da substituição de cada óxido presente por uma letra, ou seja: $\text{CaO} = \text{C}$; $\text{SiO}_2 = \text{S}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$ e $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{F}$. Ainda sobre os componentes, Mehta e Monteiro (2008) exemplificam a interação entre calcário e argila no forno (TABELA 4), resultando nos compostos da Tabela 3. Já Petrucci (1998), descreve que inicialmente a cal se combina com o óxido de ferro e a alumina (C_4AF) até esgotar o óxido de ferro, a partir disso, a alumina restante reage com a cal (C_3A). A sílica presente reage com a cal (C_2S) e o restante da cal age sobre este último composto (C_3S). Destaca ainda que se houver cal em excesso, esta ficará na forma de cal livre.

Tabela 4 – Reações químicas no forno de cimento

Material		Componentes
Calcário	→	$\text{CaO} + \text{CO}_2$
Argila	→	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$
	→	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
	→	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
Argila + Calcário	→	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
	→	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

A quantidade de cada composto é dada por Petrucci (1998) na Tabela 5, através da utilização do método de Bogue, também utilizado por Neville e Brooks (2013). Ambos os autores ainda citam a importância de cada um dos compostos, sendo os silicatos os mais importantes em se tratando de resistência mecânica e como pode-se ver na Tabela 5, são os mais presentes. Os aluminatos exercem pouca ou quase nenhuma influência na resistência, porém são os principais responsáveis pelo calor de hidratação do cimento. Já os ferroaluminatos geram

muito pouco calor, mas tem sua importância como aceleradores da hidratação dos silicatos. Em concordância, Silva (2009) destaca que o calor de hidratação é influenciado pela proporção de C_3S e C_3A no cimento.

Tabela 5 – Composição do cimento Portland

Composto	Quantidade
C_3S	42 a 60%
C_2S	14 a 35%
C_3A	6 a 13%
C_4AF	5 a 10%

Fonte: Petrucci (1998).

Para Powers (1958), o calor de hidratação acontece na fase de gel, a qual denomina de gel de cimento, e é mostrada na Figura 1. Nesta fase o autor cita a liberação de calor e destaca a formação de duas fases, sendo elas a já mencionada gel de cimento e a segunda sendo o hidróxido de cálcio na forma cristalina, que auxiliará posteriormente no desenvolvimento da resistência mecânica do concreto.

Conforme mencionado, a hidratação do cimento segundo Neville e Brooks (2013), é o produto de interesse prático. Destaca juntamente com Petrucci (1998), Isaia (2005) e Mehta e Monteiro (2008) que o processo se inicia com o contato do cimento Portland com a água, fazendo com que os aluminatos e silicatos com o tempo endureçam, formando uma massa rígida e fornecendo resistência mecânica ao cimento. A Figura 1 exemplifica o processo de hidratação dando destaque à importância do processo, aglomerando os cristais e conseqüentemente diminuindo os vazios existentes.

Figura 1 – Processo de hidratação do cimento



Fonte: Laguna e Ikematsu (2011) apud Stein (2014)

Para Mehta e Monteiro (2008), a hidratação do cimento Portland cessa quando não existir mais cimento livre, ou seja, tenha sido totalmente hidratado ou bem curado. Outro fator é a falta de água, não sendo possível a reação de hidratação e consequente paralisação da cura. Destaca ainda que a hidratação e desenvolvimento da resistência do cimento, não depende unicamente dos componentes intrínsecos ao mesmo, dando a devida importância a procedimentos físicos como a cura, fato este comprovado em estudo feitos por Quarcioni (2008), Silva (2009) e Fernández Luco (2010). Porém, para Powers (1958), mesmo a mais bem curada das pastas de cimento ainda apresenta em torno de 26% de porosidade, destacando ainda que quando se trata de concreto, esse percentual passa para 35%.

Petrucci (1998) cita a importância das características do cimento frente ao processo de hidratação, como por exemplo, a finura, componentes do clínquer e teores de adições, elevando-as às responsáveis também pela resistência de concretos ou argamassas a base de cimento. Sobre essas características, Silva (2009) destaca que essas influenciam diretamente nas velocidades de hidratação, exemplificando que quanto mais fino for o cimento, maior será a velocidade de

hidratação e conseqüentemente maior será sua resistência inicial. Tais características variam conforme o tipo de cimento (TABELA 6). Neville e Brooks (2013) ainda citam que tipos idênticos de cimento podem apresentar características distintas frente ao local de aplicação, devido a agressividade do meio.

Segundo Isaia (2005), o mercado nacional dispõe de onze tipos de cimento Portland, todos normalizados, variando desde sua finura até a adição de cinzas volantes em sua composição. Os mais tradicionais são divididos em CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V – ARI, amplamente utilizados na construção civil para os mais diversos fins. A Tabela 6 apresenta os onze tipos de cimento juntamente com suas classes de resistência, componentes e norma técnica aplicável.

Tabela 6 – Composição dos compostos do cimento Portland

Nome técnico do Cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos componentes (%)				Norma Brasileira
			Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Fíler calcáreo	
Comum	CP I	25, 32, 40	100		0		NBR 5732
Comum com adição	CP I - S	25, 32, 40	99-95		1 a 5		
Composto com escória	CP II - E	25, 32, 40	94-56	6 a 34	0	0 a 10	NBR 11578
Composto com pozolana	CP II - Z	25, 32, 40	94-76	0	6 a 14	0 a 10	
Composto com Fíler	CP II - F	25, 32, 40	94-90	0	0	6 a 10	
Alto forno	CP III	25, 32, 40	65-25	35 a 70	0	0 a 5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	25, 32	45-5	0	15 a 50	0 a 5	NBR 5736
Alta resistência inicial	CP V - ARI	-	100-95	0	0	0 a 5	NBR 5733
Resistente a sulfatos	RS	25, 32, 40	-	-	-	-	NBR 5737
Baixo calor de hidratação	BC	25, 32, 40	-	-	-	-	NBR 13116
Branco estrutural	CPB	25, 32, 40	-	-	-	-	NBR 12989

Fonte: adaptado da ABCP (2002) e de Isaia (2005).

2.2.2.2 Agregados

Petrucci (1998), Bauer (2000) e Mehta e Monteiro (2008) classificam os agregados como sendo materiais granulares inertes, em contrapartida, Neville e Brooks (2013) dizem que os agregados não são inertes, pois suas propriedades influenciam no desempenho do concreto, como estabilidade e durabilidade.

Petrucci (1998) e Bastos (2006) destacam que os agregados podem ser classificados devido a sua origem, onde ficam divididos entre naturais e artificiais. Os naturais são aqueles encontrados na natureza, como as areias e os pedregulhos, já os agregados artificiais são aqueles que passam por processos de aperfeiçoamento, como a pedra britada, resultado da moagem de pedras maiores.

Ainda segundo Petrucci (1998), a classificação mais importante se deve ao comportamento bastante diferenciado entre ambos, quando aplicados em concretos, surgindo os agregados graúdos e miúdos. Bastos (2006) os diferencia por suas dimensões, sendo agregado miúdo o que possui diâmetro inferior ou igual a 4,8mm e agregado graúdo os diâmetros superiores correspondentes. Simplificando, Neville e Brooks (2013) destacam que a melhor forma de distinguir ambos é com a utilização da peneira de 5mm ou a peneira ASTM n.4, o material que passa na peneira entende-se por agregado miúdo, já o material retido, agregado graúdo.

Para Tutikian e Dalmolin (2008), os agregados miúdos são compostos por areias de dimensões entre 4,8mm e 0,075mm, podendo ser usadas tanto as naturais como as artificiais. Já a NBR 7225/1993 divide as areias em três grupos, sendo eles: as finas, médias e grossas, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Classificação das areias

Tipo de Areia	Tamanho nominal (mm)	
	Mínimo	Máximo
Grossa	1,2	2
Média	0,42	1,2
Fina	0,075	0,42

Fonte: adaptado da NBR 7225/1993.

Tal como as areias, a NBR 7225/1993 também divide as britas conforme suas dimensões, neste caso em cinco grupos (TABELA 8), estabelecendo um limite mínimo de 4,8mm, estando de acordo com o citado por Bastos (2006):

Tabela 8 – Classificação das britas

Brita	Tamanho nominal (mm)	
	Mínimo	Máximo
1	4,8	12,5
2	12,5	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

Fonte: adaptado da NBR 7225 (1993).

Mehta e Monteiro (2008) evidenciam o maior uso das britas como agregado graúdo dos concretos frente a outros materiais. De acordo com Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006), as britas juntamente com as areias, representam em torno de 70% da composição total dos concretos. Fazem ainda alusão ao que diz Neville e Brooks (2013), anteriormente citado, dando a devida importância à contribuição dos agregados no comportamento mecânico do concreto.

2.2.2.3 Água

Para Petrucci (1998), Isaia (2005) e Neville e Brooks (2013), a qualidade da água utilizada na produção do concreto é de extrema importância, pois impurezas podem interferir negativamente em sua resistência. Citam ainda, que a água usada para consumo humano, ou seja, a água potável é adequada tanto para a produção quanto para a cura do concreto.

Sua importância fica evidente pelo exposto até aqui, visto que o cimento necessita de água para hidratar, porém a quantidade de água é variável e segundo a NBR 6118/2003, a relação a/c varia de acordo com a classe de agressividade do ambiente, sendo menor ou igual a 65% para ambientes não agressivos e menor ou igual a 45% para ambientes com alto grau de agressividade. Em conformidade com

o citado pela norma, Isaia (2005) evidencia que quanto mais alto for a relação a/c, menor será a resistência do concreto.

No que se refere a cura do concreto, Neville e Brooks (2013) dizem que a água utilizada na produção do concreto também pode ser utilizada na cura, porém salientam que águas com a presença de CO₂ livre (água de degelo ou condensação) pode causar erosão superficial e comprometer a durabilidade do concreto frente a ataques externos.

2.2.3 Características

No que se refere às características do concreto, Neville e Brooks (2013) diferenciam o “bom concreto” do concreto ruim por suas características nos estados fresco e endurecido. O concreto ruim é aquele geralmente visto em obras, que apresenta aspecto de sopa quando fresco e de colmeia quando endurecido, apresentando grandes vazios. Já o “bom concreto”, que juntamente com Petrucci (1998), citam que é aquele que, no estado fresco, apresenta consistência suficiente para ser adensado e resistência à compressão adequada no estado endurecido.

2.2.4 Propriedades do concreto no estado fresco

Tendo sido exposto os componentes do concreto, parte-se para as propriedades do concreto fresco, o qual segundo a NBR 12655/2006 é definido como sendo o concreto totalmente misturado e ainda plástico, capaz de ser adensado. Para Mehta e Monteiro (2008) e Neville e Brooks (2013), as características do concreto a longo prazo como resistência e durabilidade são bastante afetadas pelas características do concreto fresco, o qual depende diretamente da consistência e trabalhabilidade. Para Petrucci (1998), a trabalhabilidade engloba propriedades como textura, integridade e retenção de água, a qual é mensurada pela consistência.

Segundo Aïtcin (2000), se houver um bom controle das propriedades do concreto fresco, logo o concreto endurecido também às terá. Destaca ainda, para a

facilidade e baixo custo do processo. Para Mehta e Monteiro (2008), o concreto fresco pode ser comparado a uma criança, a qual para se tornar um adulto saudável necessita de cuidados na infância.

2.2.4.1 Consistência e trabalhabilidade

Para Petrucci (1998) e Neville e Brooks (2013), trabalhabilidade é a propriedade fundamental para que o concreto seja empregado para alguma finalidade, ou seja, adensado. Já Mehta e Monteiro (2008) definem como o esforço necessário para lançar, adensar e acabar o concreto, dependendo de fatores como atrito interno (agregados) e externo (formas). Na prática é necessário esforço adicional para vencer o atrito entre o concreto e as formas (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Em se tratando de consistência, Petrucci (1998) e Neville e Brooks (2013) definem como sendo o grau de umidade do concreto, ou seja, a facilidade com que ele se deforma. Petrucci (1998) ainda destaca que a consistência é o principal fator que influencia a trabalhabilidade, porém não devem ser confundidas.

Mehta e Monteiro (2008) citam que a medida de trabalhabilidade é de difícil obtenção, não existindo nenhum método específico, porém a consistência é medida pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (NBR NM 67, 1998), apresentando um índice de fluidez do material.

Muitos são os fatores que afetam a consistência e conseqüentemente a trabalhabilidade, Petrucci (1998) cita tanto fatores externos como mistura, transporte e adensamento, como fatores internos, tais como relação água/cimento, características dos agregados e aditivos, este último destacado por Mehta e Monteiro (2008) podendo ser responsável pelo aumento da fluidez, ou seja, do abatimento.

2.2.4.2 Massa específica

Segundo Petrucci (1998), a massa específica do concreto é a massa da unidade do volume, incluindo os vazios. Neville e Brooks (2013) destacam que quando se conhece a massa específica, o volume do concreto pode ser obtido pela massa dos ingredientes e a partir disso estimar o volume produzido, por exemplo, por uma betoneira.

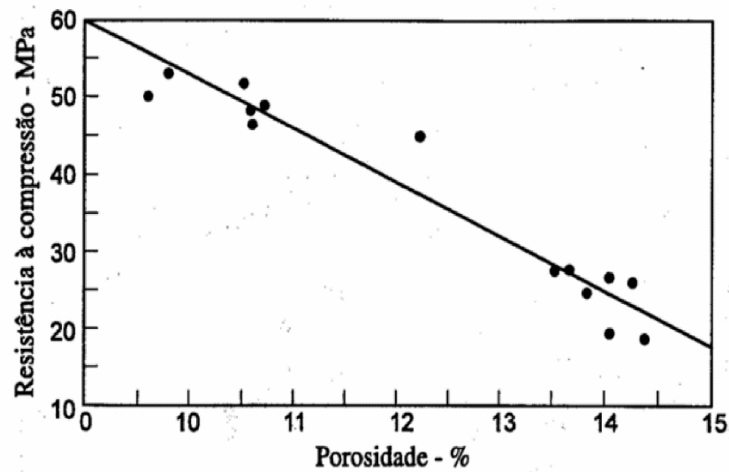
A massa específica varia conforme o tipo de concreto e segundo a NBR 6118/2003, para fins de cálculo, o valor pode ser estimado em 2.400 kg/m³. Já Petrucci (1998) e Aitcin (2000) tratam a massa específica como variante entre 2.300 e 2.500 kg/m³, indo de encontro ao que cita a norma.

2.2.5 Propriedades do concreto no estado endurecido

A NBR 12655/2006 define concreto endurecido como concreto no estado sólido que desenvolveu resistência mecânica. As propriedades do concreto no estado endurecido giram em torno da durabilidade, impermeabilidade, estabilidade e resistência. Para Neville e Brooks (2013), no entanto, a resistência fornece uma ideia geral da qualidade do concreto e é usualmente medida para os controles de qualidade.

Ainda segundo Neville e Brooks (2013), um fator de fundamental importância para a resistência do concreto é a porosidade, ou seja, o volume de vazios presentes na pasta do cimento (FIGURA 2). Todavia, juntamente com Petrucci (1998), destacam que tal fator depende diretamente da relação a/c, a qual é primordial para a resistência.

Figura 2 – Influência da porosidade na resistência do concreto



Fonte: ABCP (2002).

Petrucci (1998) comenta que as reações entre a água e o cimento variam conforme o tempo, adotando-se normalmente a idade de 28 dias como idade padrão e ensaiando-se o material em idades inferiores, como 7 dias, para se chegar a resultados de resistência mais rapidamente. Destaca ainda que existe uma relação entre as idades de 7 e 28 dias, podendo se esperar resultados conforme a equação a seguir:

$$f_c(28 \text{ dias}) = 1,25 \text{ a } 1,50 f_c(7 \text{ dias})$$

Tal equação apresenta a relação de resistência encontrada em 28 dias do concreto como sendo de 1,25 a 1,50 vezes maior que a resistência aos 7 dias. Petrucci (1998) ainda destaca que o aumento de resistência não cessa aos 28 dias e apresenta esse crescimento conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Crescimento da resistência do concreto

Cimento	Porcentagem da resistência em 365 dias, para diferentes idades				
	3	7	28	90	365
Portland Comum	38%	58%	81%	90%	100%

Fonte: adaptado de Petrucci (1998).

2.2.5.1 Permeabilidade

Segundo Bauer (2008), o concreto é um material obrigatoriamente poroso, tal porosidade deve receber a devida importância, pois confere ao concreto permeabilidade para líquidos e gases. Destaca ainda, que por ocorrer transporte de líquidos há uma dissolução de sais e da cal em particular, a qual se cristaliza devido a evaporação da água e entope os poros do concreto. Como já citado, tal diminuição de vazios acarreta em aumento de resistência. Porém, segundo Thomaz (2009), devido as reações de hidratação do cimento produzirem além do C-S-H, insolúvel em água, compostos como o Ca(OH)_2 e Mg(OH)_2 , hidróxido de cálcio e magnésio, parcialmente solúveis em água, ocorre a lixiviação. Tal processo realiza a dissolução dos cristais recém formados na hidratação, e os transporta para fora do concreto, aumentando os vazios e conseqüentemente sua porosidade. Thomaz (2009) reforça que a lixiviação pode ser controlada com a proteção superficial do concreto, ou seja, adicionando uma camada protetora que bloqueie os poros do concreto, a qual pode ser constituída de cal hidratada.

2.2.5.2 Resistência a compressão

Segundo Petrucci (1998), a resistência a esforços mecânicos do concreto é caracterizada pela resistência a compressão e a partir desta, pode-se obter dados a respeito da resistência a outras solicitações. Mehta e Monteiro (2008) salientam que a resistência à compressão dá a ideia de qualidade do concreto e a define como sendo a tensão máxima que o concreto pode suportar até romper.

Pacheco e Helene (2013) salientam que a resistência a compressão é adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura e assim, está intimamente ligada a segurança. Citam ainda que é uma propriedade extremamente sensível, capaz de indicar problemas no concreto, como dosagem ou seus insumos.

No que tange a porosidade, Neville e Brooks (2013) destacam que mesmo sendo um fator fundamental para a resistência, é de difícil determinação na prática pois o grau de hidratação do cimento é de difícil acompanhamento. Bauer (2008), no

que diz respeito a influência da porosidade, estima a perda de resistência devido ao volume de vazios, conforme Tabela 10.

Tabela 10 – Influência dos vazios do concreto em sua resistência

Vazios	0%	5%	10%	20%
Resistência	100%	90%	70%	50%

Fonte: Bauer (2008).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002) destaca que para um mesmo grau de hidratação a resistência depende essencialmente da relação a/c. Neville e Brooks (2013) ainda citam o tempo de cura necessário para concretos com diferentes relações de a/c (TABELA 11), baseando-se no grau de hidratação necessário para evitar a propagação de poros capilares, ou seja, um aumento de vazios que acarretará em menor resistência.

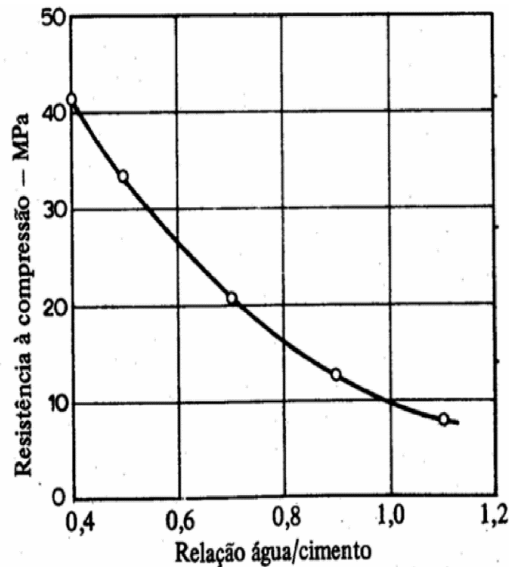
Tabela 11 – Período de cura necessário para evitar a propagação dos poros capilares

Relação água/cimento	Grau de hidratação (%)	Período de cura necessário
0,4	50	3 dias
0,45	60	7 dias
0,5	70	14 dias
0,6	92	6 meses
0,7	100	1 ano
Acima de 0,70	100	Impossível

Fonte: Neville e Brooks (2013).

Diante disso, fica evidente a importância da relação a/c na resistência do concreto, sendo a base para as idades de cura. Porém para Neville e Brooks (2013), em construções comuns, devido a elevada relação a/c e das técnicas de adensamento do concreto, é impossível expulsar todo o ar, e estabelece a resistência do concreto como inversamente proporcional à relação a/c, tal relação é conhecida como Lei de Abrams, conforme Figura 3.

Figura 3 – Relação entre a resistência e a relação água/cimento do concreto



Fonte: Neville e Brooks (2013).

Neville e Brooks (2013) estabelecem como responsáveis secundários pela resistência do concreto os fatores como pasta de cimento e agregados. Apontam uma relação entre ambos quando misturados no concreto, chamando de zona de transição, a qual apresenta maior porosidade que a pasta do cimento independente, tal zona pode ser densificada na presença de agregados calcários. Conforme já mencionado nos itens 2.1.1.1 e 2.2.5.1, os efeitos da cal hidratada na cura do concreto pode auxiliar nessa densificação e como consequência, resultar em um concreto menos poroso e mais resistente.

2.2.6 Dosagem

Segundo Petrucci (1998), Mehta e Monteiro (2008) e Neville e Brooks (2013), dosagem consiste em determinar a proporção mais adequada com que cada material entra na mistura do concreto, objetivando as propriedades definidas para concreto fresco e endurecido. A maneira como se apresenta essas proporções chamamos de traço, o qual toma-se sempre o cimento como unidade e relaciona-se a ele, as demais quantidades.

Existem diversos métodos de dosagem apresentados nas mais diversas bibliografias, mas todos se enquadram em dois grupos, experimentais e não experimentais. Petrucci (1998) cita que a dosagem não experimental é baseada em experiências vividas pelo construtor ou pela tradição, são aplicáveis, portanto a obras pequenas onde o custo para uma dosagem experimental torna-se muito elevado. Já a dosagem experimental difere da anterior por ter seus materiais constituintes previamente ensaiados em laboratório e através de ensaios de corpos de prova.

2.2.6.1 Fatores a serem considerados

Para Neville e Brooks (2013) os principais fatores a serem considerados na dosagem de concretos são a resistência para fins estruturais aos 28 dias e também para a retirada das formas em idades menores. Destaca ainda, que a partir do momento que um melhor controle de qualidade do concreto for inserido nas obras, essa resistência exigida pode ser diminuída, resultando em menor consumo de cimento.

2.2.6.2 Relação água/cimento

Petrucci (1998) apresenta uma relação íntima entre a resistência do concreto e a relação água/cimento, destaca ainda que diversos pesquisadores apresentam estudos com as mais diversas características e todos chegam aos mesmos resultados. Para explicar tal propriedade, a Lei de Abrams desenvolvida por Duff Abrams em 1908, através de ensaios de cerca de 50.000 corpos de prova evidenciou que as propriedades do concreto endurecido variam na razão inversa da relação a/c.

Em conformidade ao exposto, Neville e Brooks (2013) apresentam na Tabela 12, a relação a/c e a resistência à compressão do concreto, comprovando a Lei de Abrams.

Tabela 12 – Relação entre relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto

Resistência à compressão média aos 28 dias (Mpa)	Relação água/cimento
41,4	0,41
34,5	0,48
27,6	0,57
20,7	0,68
13,8	0,82

Fonte: Neville e Brooks (2013).

2.2.6.3 Consumo de cimento

De acordo com Neville e Brooks (2013), o consumo de cimento ao se dosar o concreto deve ser moderado, pelo simples motivo que o cimento é mais caro que os agregados. Destaca ainda que um menor consumo além de apresentar menor custo, tende a diminuir a fissuração do concreto.

2.2.6.4 Consumo de agregados

Mehta e Monteiro (2008) destacam que é possível obter economia usando um máximo volume possível de agregados, quanto maior a dimensão do agregado graúdo e quanto mais fina a areia, maior será o volume de agregado utilizado.

2.2.7 Produção do concreto

Como já citadas as propriedades do concreto fresco e endurecido, deve-se dar atenção aos meios práticos de produção para que esse concreto fresco seja lançado de maneira que com o tempo, venha e se tornar endurecido.

Para Petrucci (1998), a produção do concreto compreende a mistura, o transporte, o lançamento, o adensamento e a cura desse material. Neville e Brooks (2013) explicam resumidamente o processo da seguinte forma: as quantidades corretas de cimento, agregados e água são colocados e misturados em uma

betoneira, o resultado desse processo é transportado até seu destino final e então, lançado nas formas e adensado de modo a obter uma massa densa que possa endurecer, eventualmente com alguma ajuda (vibração no caso do adensamento e cura para o endurecimento). Cada um desses processos será analisado a seguir.

2.2.7.1 Mistura

Petrucci (1998) classifica a mistura como o processo em que os materiais entram em contato íntimo. Juntamente com a NBR 12655/2006, Mehta e Monteiro (2008) e Neville e Brooks (2013), salientam que a mistura deve acarretar em uma massa homogênea, caso contrário, haverá um decréscimo na resistência mecânica.

No caso das pequenas construções, segundo Mehta e Monteiro (2008), a mistura pode ser feita no canteiro por meio de misturadores móveis ou estacionários, sendo o primeiro o mais utilizado. Para Neville e Brooks (2013), no canteiro há a tendência de se misturar o concreto de forma muito rápida, avalia que misturas com tempo inferior a um minuto são insuficientes e acima de dois minutos não acrescentam melhorias significativas. Já a NBR 12655/2006 estabelece para betoneiras, o tempo mínimo de mistura para um minuto. A Tabela 13 apresenta o tempo mínimo de mistura conforme a capacidade do misturador.

Tabela 13 – Tempos mínimos de mistura

Capacidade do misturador (m ³)	Tempo de mistura (min)
0,75	1
1,5	1,25
2,25	1,5
3	1,75
3,75	2
4,5	2,25
7,6	3,25

Fonte: adaptado do ACI 614 (1959) e Neville e Brooks (2013).

2.2.7.2 Transporte

Segundo Petrucci (1998), o concreto deve ser transportado do local da mistura para o de lançamento o mais rápido possível. A NBR 14931/2004 estabelece

um limite de 2h e 30 min entre a mistura e o término da concretagem, salientando juntamente com Neville e Brooks (2013) que o concreto deva permanecer coeso e não segregar durante o processo.

Petrucci (1998), Mehta e Monteiro (2008) e Neville e Brooks (2013) citam diversos métodos de transporte, como carrinhos de mão, caçambas, esteiras e bombeamento, dos quais o primeiro é o mais utilizado em pequenas construções, seguido de bombeamento caso o transporte seja vertical.

2.2.7.3 Lançamento

A NBR 14931/2004 condena o lançamento do concreto após o início da pega ou concretos contaminados com solo ou outros materiais. Neville e Brooks (2013) destacam a interdependência entre lançamento e adensamento, sendo importantes para garantir a resistência exigida. Ambos, juntamente com Petrucci (1998) e Mehta e Monteiro (2008), recomendam o lançamento do concreto o mais próximo possível do destino final, evitando a incrustação do concreto nas formas ou armaduras, ou seja, a segregação.

Petrucci (1998) e Bauer (2008), em contrapartida ao que diz a NBR 14931/2004 sobre o transporte, dizem que não se deve ultrapassar o intervalo de 1h entre a mistura e o lançamento. Aconselham ainda, a molhagem das formas para evitar a absorção da água do concreto.

Para atender os requisitos de lançamento, Neville e Brooks (2013) citam algumas regras que devem ser obedecidas:

- evitar arrastamento do concreto;
- lançar em camadas uniformes e não em montes;
- as velocidades de lançamento e adensamento devem ser iguais;
- cada camada lançada deve ser totalmente adensada antes do próximo lançamento;

- evitar impactos entre o concreto e as formas;
- o concreto, sempre que possível, deve ser lançado em um plano vertical.

2.2.7.4 Adensamento

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o adensamento é o processo de moldagem do concreto dentro das formas, podendo ser feita com auxílio de vibradores. A NBR 14931/2004 estabelece que o adensamento deve ser feito tanto durante quanto imediatamente após o lançamento do concreto, sendo vibrado para que preencha todos os recantos das formas.

Para Mehta e Monteiro (2008) e Neville e Brooks (2013), o objetivo do adensamento é a expulsão de ar, de modo que o concreto endurecido tenha a menor quantidade de vazios possível, tornando-o com isso, durável e de baixa permeabilidade. Este adensamento segue prescrições da NBR 14931/2004, a qual estabelece uma camada de concreto máxima de 20cm de forma manual ou de 50 cm com auxílio de vibrador, sendo possível a saída de bolhas de ar.

Neville e Brooks (2013) evidenciam que ambas as formas de adensamento citadas, manual ou por vibração, podem produzir concretos de boa qualidade, porém da mesma forma, podem produzir concretos de má qualidade devido ou mau adensamento ou adensamento em excesso, sendo esse último causador de segregação.

2.2.7.5 Cura do concreto

O termo “cura do concreto” já foi devidamente definido anteriormente, além disso foi exposto a importância do processo frente ao concreto, como por exemplo auxiliando na durabilidade e resistência. Bauer (2008) situa tal processo em um plano relevante dentre os cuidados dentro de uma obra e Mehta e Monteiro (2008)

citam dois objetivos principais para seu emprego: manter a umidade e controlar a temperatura. Já a NBR 14931/2004 estabelece os seguintes:

- evitar a perda de água;
- assegurar uma superfície com resistência adequada;
- assegurar a formação de uma capa superficial durável.

Para a NBR 6118/2003, a cura deve ser feita durante os primeiros 7 dias contados do lançamento, enquanto a NBR 12655/2006 estabelece sua manutenção até que o concreto atinja a resistência de 15 MPa, recomendando para tal, dentre diversas técnicas, a cura úmida. Nesta última, Petrucci (1998) lista uma série de benefícios frente a outros métodos, os quais também são citados por Bauer (2000):

- a cura úmida melhora as características finais;
- é possível recuperar parte da resistência perdida pelo abandono da cura somente com sua retomada, e tanto mais facilmente quanto mais cedo for feita;
- para 28 dias, idade de referência, existe um acréscimo de cerca de 40% na resistência entre a cura ao ar e a cura úmida.

No que tange os métodos de cura existentes, a ABESC (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, 2001) indica a cura por aspersão de água sobre a superfície indo de encontro ao que diz Petrucci (1998) e Bauer (2008), que por sua vez também indicam o uso de cal superficialmente, conforme segue:

- irrigação periódica das superfícies;
- aplicação superficial de cal, usado nos climas úmidos, pois o produto absorve a água do ambiente e mantém o concreto úmido.

2.2.8 Ensaios

Frente a modernização de técnicas na construção civil, Bauer (2008) avalia tal avanço como perigoso caso os materiais empregados não obedeçam as condições estabelecidas em projeto. O autor ainda destaca para a otimização das estruturas de concreto, cada vez mais recorrentes devido ao mercado tão concorrido que enfrentamos, e estabelece como indispensável o controle de sua execução.

Segundo Neville e Brooks (2013), o método básico para verificar se o concreto de obra atende às especificações é realizar ensaios de sua resistência utilizando cilindros de concreto submetidos a esforços de compressão. Para propriedades que não sejam a resistência, é feita a avaliação da trabalhabilidade, que normalmente é feita para o recebimento do concreto, avaliando-o no estado fresco através do ensaio de abatimento de tronco de cone (PETRUCCI, 1998).

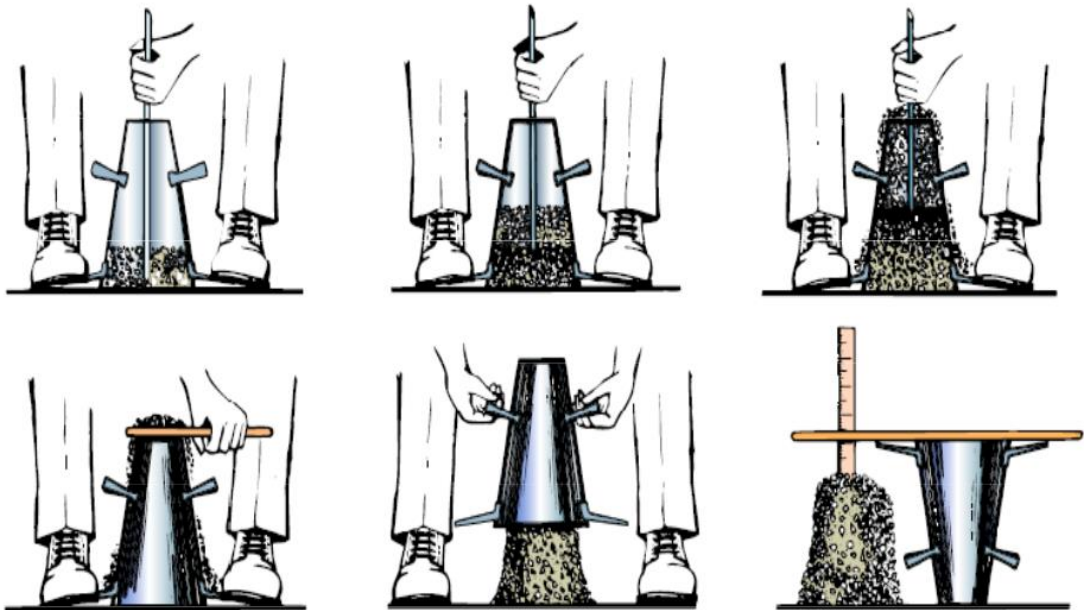
2.2.8.1 Ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test)

De acordo com a ABESC (2001), a simplicidade do ensaio de abatimento o colocou como o principal ensaio de controle de recebimento de concreto em obras. Petrucci (1998) também faz destaque para sua facilidade de execução, a qual é seu maior mérito.

A norma que condiciona o ensaio de abatimento é a NBR NM 67/1998, estabelecendo parâmetros e instruções para a realização do ensaio, os quais são descritos a seguir e mostrados na Figura 4:

- o ensaio é feito através de um cone metálico com 20cm de diâmetro na base, 10cm de diâmetro no topo e 30cm de altura;
- molda-se o concreto em 3 camadas iguais, adensadas com 25 golpes cada, com uma haste metálica normalizada;
- a camada final é rasada pelo rolamento da haste;
- após o preenchimento, o cone é lentamente erguido e o concreto liberado sofre abatimento (diferença de altura).

Figura 4 – Ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: NBR NM 67(1998).

A NBR 8953/2009 classifica os concretos em relação ao abatimento de tronco de cone em cinco classes, conforme Tabela 14.

Tabela 14 – Classificação através do abatimento do tronco de cone

Classificação	Abatimento	Características
S10	10 a 45 mm	Consistência seca
S50	50 a 95 mm	Pouco trabalhável
S100	100 a 155 mm	Aplicação normal
S160	160 a 215 mm	Para bombeamento
S220	>220 mm	Fluido

Fonte: adaptado da NBR 8953 (2009).

Para Neville e Brooks (2013), o ensaio de abatimento é muito útil em canteiro de obras como uma verificação da variação dos materiais utilizados. Um exemplo é quando houver um aumento do abatimento que pode indicar, por exemplo, maior teor de umidade nos agregados ou variação em sua granulometria. Além disso, Helene e Terzian (1993) destacam seu uso na escolha do concreto para diferentes estruturas, conforme Tabela 15.

Tabela 15 – Abatimento do concreto para diferentes elementos estruturais

Elemento estrutural	Abatimento (mm)	
	Pouco armada	Muito armada
Laje	>60 +- 10	>70 +- 10
Viga e parede armada	>60 +- 10	>80 +- 10
Pilar do edifício	>60 +- 10	>80 +- 10
Paredes de fundação, sapatas, tubulões	>60 +- 10	>70 +- 10

Fonte: Helene e Terzian (1993).

2.2.8.2 Ensaio de resistência a compressão

Segundo Petrucci (1998) e Neville e Brooks (2013), a resistência mecânica é realizada através de corpos de prova de pequenas dimensões que reproduzem o concreto da estrutura. Esses corpos de prova podem ser ensaiados axialmente para a determinação da resistência à compressão ou então comprimidos segundo o diâmetro para obter a resistência à tração.

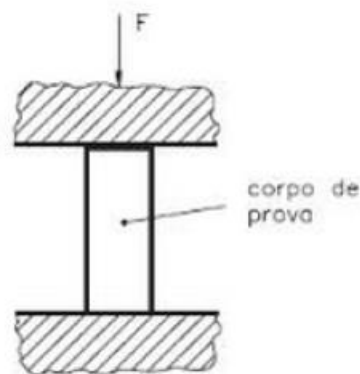
Para Branco e Pieretti (2012), a resistência à compressão é a característica mais importante, a qual é obtida realizando-se ensaios com corpos de prova moldados segundo a NBR 5738/2003 e ensaiados segundo a NBR 5739/2007.

Neville e Brooks (2013) destacam que a idade de referência do concreto para o ensaio de compressão é de 28 dias, porém ensaios adicionais podem ser feitos, como por exemplo, aos 7 dias. No que tange a escolha do ensaio de compressão, Bauer (2008) afirma que é a propriedade mais importante do concreto e que as demais propriedades sempre busca-se associar a esta.

Petrucci (1998) cita a possibilidade de se moldar os corpos de prova através de moldes cilíndricos, prismáticos e cúbicos, porém a NBR 5738/2003 prescreve apenas corpos de prova cilíndricos para ensaios relacionados à compressão, os quais devem ter a altura igual ao dobro do diâmetro e este último podendo ser 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm ou 45cm. Neville e Brooks (2013) explicam que a utilização de corpos de prova cilíndricos tem a vantagem da melhor distribuição das tensões que o cúbico, porém precisam de capeamento.

A NBR 5738/2003 ainda cita que corpos de prova que não forem capeados, devem ser retificados através de aparelhagem específica para regularização de sua base e topo a fim de permitir a correta transferência de carga. Para o ensaio, Andrade e Tutikian (2011) destacam que após retificados, os corpos de prova são colocados entre os pratos de uma prensa que aplicará as cargas e possibilitará a obtenção da resistência, conforme Figura 5.

Figura 5 – Ensaio de compressão



Fonte: Soares (2009) apud Stein (2014).

2.3 Tipos de cura

Com o objetivo de obter um concreto de boa qualidade, após a dosagem e a produção do concreto anteriormente citados, é necessário a realização da cura para o desenvolvimento da resistência. Para Neville e Brooks (2013), os procedimentos de cura consistem em controle de temperatura e movimento de água de dentro para fora do concreto e vice-versa.

Ainda segundo Neville e Brooks (2013), a necessidade de cura é explicada a partir do fato de que a hidratação do cimento somente pode ocorrer em capilares preenchidos de água, por essa razão tem-se a preocupação de evitar a perda de água pelos poros do concreto. Powers (1958) apresenta em seu estudo um modelo matemático que comprova a necessidade de cura por longos períodos para concretos com elevada relação água/cimento, em conformidade ao que diz também Helene e Levy (2013), que é o caso de pequenas construções, objetivo deste trabalho.

De acordo com os autores citados e outros pesquisados, existem inúmeras técnicas de cura eficientes, porém levando-se em consideração questões econômicas e culturais a cura normalmente vista em pequenas construções consiste unicamente na molhagem do concreto, isso quando é realizada. A seguir, são apresentadas as técnicas de cura abordadas neste trabalho.

2.3.1 Cura úmida

A NBR 5738/1994 estabelece como padrão de referência a cura realizada em câmara úmida com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar superior a 95%. Para Helene e Levy (2013), a cura úmida evita a perda de água pelo concreto, controlando sua temperatura e em alguns casos, sendo um suprimento de água adicional.

2.3.2 Cura submersa

A NBR 5738/1994 estabelece como padrão, juntamente com a cura úmida, a cura por submersão com a utilização de hidróxido de cálcio saturado em água. Segundo o ACI 308R-01 (2001), a água utilizada deve ser livre de impurezas e não apresentar diferença de temperatura maior que 11 graus em relação a temperatura do concreto.

Para Bauer (2008), a cura submersa do concreto é sem dúvida o método ideal, porém sua aplicação é restrita e nada prática, sendo seu maior uso nas lajes de pavimentos.

2.3.3 Cura ao ar

Para Ribeiro, Gomes e Valin Jr. (2014), o local da obra influencia diretamente no processo de cura. Valin Jr. e Lima (2009) destacam que no Brasil as temperaturas médias anuais são elevadas e juntamente com a umidade do ar,

influem negativamente na cura do concreto. A cura ao ar é simplesmente, manter o concreto exposto ao ambiente em que se encontra.

2.3.4 Cura por aspersão

De acordo com Bauer (2008), a cura por aspersão é um dos processos mais simples de proteção do concreto, sendo feita de forma intermitente ou contínua. É realizada com o lançamento de água na superfície do concreto o qual segundo o ACI 308R-01 (2001), apresenta excelentes resultados quando feito de forma contínua, não recomendando seu uso de forma intermitente por ocasionar a paralisação da cura, problema levantado também por Bauer (2008) e Helene e Levy (2013).

2.3.4.1 Cura por aspersão periódica de cal hidratada

A cura por aspersão periódica de cal hidratada dissolvida em água é um aprimoramento da cura por aspersão de água (item 2.3.4) e surge como possível solução para o problema levantado por Bauer (2008), ACI 308R-01 (2001) e Helene e Levy (2013), ou seja, o de manter o concreto úmido entre os períodos de molhagem. Através do que foi exposto até aqui, a utilização de cálcio superficialmente segundo Petrucci (1998) e Bauer (2008), tende a manter o concreto úmido entre esses períodos, possibilitando um processo de cura sem interrupções.

Além disso, outras propriedades já citadas por Quarcioni (2008) merecem destaque: quimicamente, através da liberação de íons cálcio e hidroxila e aumento do calor de hidratação e fisicamente, através do efeito fíler. Tutikian e Dalmolin (2008) acrescentam ainda uma maior geração de C-S-H e Isaía (2007) a melhora mecânica através das reações da cal hidratada com as pozolanas constituintes do cimento Portland.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Introdução

Cada vez mais se busca novas formas de controle da qualidade dos materiais empregados nas obras, principalmente em se tratando do concreto, que nas pequenas obras normalmente é feito de forma artesanal, como tantos outros componentes de uma obra civil.

A investigação experimental proposta neste trabalho teve como foco ampliar o conhecimento dos engenheiros e pesquisadores quanto às práticas comuns de cura do concreto em obras e propor a inserção de cal hidratada na técnica de cura por aspersão periódica de água como forma de manter o concreto úmido entre os períodos de molhagem e assim, não interromper a cura.

Portanto, investiga-se a influência da cal hidratada na cura do concreto realizando-se ensaios de aceitação e resistência à compressão. Com o intuito comparativo, tornou-se necessário a investigação de técnicas de cura prescritas por norma juntamente com as usadas comumente em obras. Assim, neste capítulo são abordadas as metodologias utilizadas tanto para a realização da pesquisa bibliográfica quanto para a pesquisa experimental.

3.2 Metodologia da pesquisa

Para Motta-Roth e Hendges (2010), a metodologia descreve os procedimentos de coleta e análise dos dados e os materiais que levam à obtenção dos resultados, incluindo a abordagem, instrumentos de coleta e análise de dados.

Quanto ao modo de abordagem, a pesquisa é de natureza qualitativa que para Lüdke e André (2001), os dados coletados são predominantemente descritivos e a análise destes tende a seguir um processo indutivo. Já para Triviños (1987) e Borgdan e Biken (2003), a pesquisa qualitativa envolve a descrição de dados obtidos com a situação estudada e a busca por seu significado, além disso, podendo assumir a forma de um estudo de caso.

Os procedimentos técnicos utilizados foram pesquisa bibliográfica e pesquisa experimental. Pesquisa bibliográfica, segundo Vergara (2000), Gil (2002) e Severino (2007), é desenvolvida através de material já elaborado, como livros e artigos científicos enquanto a pesquisa experimental, segundo Gil (2002) e Chemin (2015) têm como objetivo determinar um objeto de estudo, selecionando variáveis capazes de alterar os resultados e ainda, podendo ser realizada em laboratórios por um pesquisador que é agente-ativo.

Para se alcançar os objetivos propostos, torna-se necessário a definição das variáveis utilizadas no experimento, sendo estas relacionadas a seguir:

- Técnicas de cura: em câmara úmida, submersa em água com cal, ao ar, por aspersão periódica de água e cal hidratada dissolvida em água;
- Técnica de aspersão periódica: ambas as variações feitas 1, 2 e 3 vezes ao dia;
- Idade do ensaio: 7 e 28 dias para o ensaio de resistência à compressão.

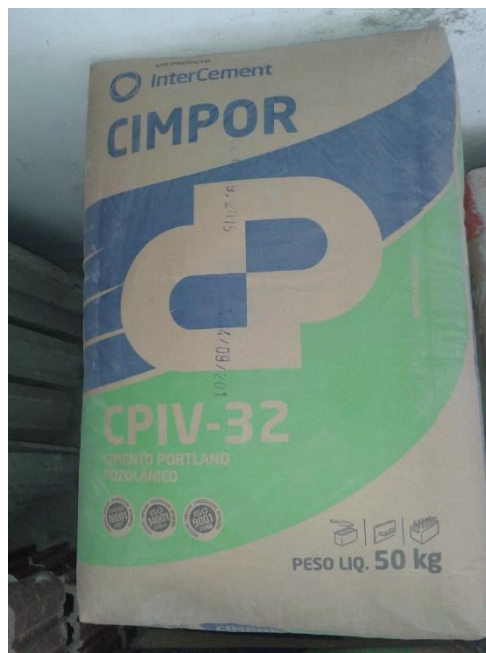
3.3 Caracterização dos materiais

Para a realização dos experimentos faz-se necessário coletar, preparar e caracterizar os materiais a serem utilizados, a seguir são apresentadas as características dos materiais:

3.3.1 Cimento

Foi empregado um cimento com adições pozolânicas justamente pelas reações com a cal hidratada constatadas na pesquisa, sendo este o CP IV – 32 (FIGURA 6), disponibilizado pela Cimpor que segue as especificações da NBR 5736/1991 quanto aos cimentos Portland Pozolânicos.

Figura 6 – Cimento Cimpor CP IV – 32



Fonte: do autor (2015).

3.3.2 Agregados

Como agregado miúdo, foi utilizado areia média (FIGURA 7) que de acordo com a NBR 7225/1993, sua dimensão nominal fica compreendida entre 0,42mm a 1,2mm. Portanto, através da utilização de peneiras, utilizou-se a areia passante na peneira 16 (1,19mm) e retida na peneira 40 (0,42mm).

Anterior a separação, a areia foi submetida ao processo de secagem em estufa com temperatura entre 105°C e 110°C (NBR 7215, 1987), durante um período de 20 horas, evitando que a umidade da areia interfira na relação a/c do traço utilizado.

Figura 7 – Agregado miúdo



Fonte: do autor (2015).

Para o agregado graúdo, foi feita utilização de pedra britada número 2 (FIGURA 8) que segundo a NBR 7225/1993, as suas dimensões variam entre 12,5 e 25mm. Portanto, através da utilização de peneiras, utilizou-se a brita passante na peneira 1" (25,4mm) e retida na peneira ½" (12,70mm).

Figura 8 – Agregado graúdo



Fonte: do autor (2015).

3.3.3 Água

A água utilizada tanto para a realização da moldagem quanto para a cura dos corpos de prova, é proveniente do abastecimento público da CORSAN.

3.3.4 Cal hidratada

A cal hidratada utilizada é do tipo CH II e da marca Dagoberto Barcelos (FIGURA 9), cujas características físicas e químicas estão em acordo com a NBR 6453/2003.

Figura 9 – Cal hidratada



Fonte: do autor (2015).

3.4 Procedimentos metodológicos

O experimento consiste na produção de concreto convencional, no qual são moldados 36 corpos de prova. Os corpos de prova são divididos em 2 grupos, o primeiro curado por 7 dias e o segundo por 28 dias, e estes divididos em 5 subgrupos, sendo dois deles os CP's de referência destinados a cura em câmara úmida e submersos em água saturada de cal hidratada. O terceiro grupo sofrerá cura ao ar e os dois últimos grupos serão destinados a cura por aspersão periódica de água e cal hidratada dissolvida em água, devendo estes últimos receberem aplicações em diferentes períodos, sendo 1, 2 e 3 aplicações ao dia. Tais aplicações serão feitas conforme segue:

- 1 aplicação: às 7 horas;
- 2 aplicações: às 7 e 17 horas;
- 3 aplicações: às 7, 12 e 17 horas.

Logo ao término dos períodos de cura de 7 e 28 dias, os CP's são rompidos, proporcionando assim um comparativo das resistências.

3.4.1 Definição do traço

Devido ao sistema construtivo utilizado nas construções de pequeno porte, o concreto de centrais dosadoras são pouco utilizados, vistos normalmente em lajes. No caso de pilares, que são preenchidos com concreto tão logo são erguidas as alvenarias, a quantidade é pequena e, portanto é produzida na própria obra. Na cidade de Guaporé/RS, por exemplo, os concretos feitos nessas construções são oriundos da tradição construtiva, não tem base técnica e muito menos preocupação em atender às prescrições de norma.

Para a produção do concreto, foram visitadas 5 obras de pequeno porte na cidade de Guaporé/RS para verificar a quantidade de materiais utilizados e assim, se chegar em um traço aproximado. Conforme dados obtidos junto às respectivas obras, as quantidades variam conforme a Tabela 16.

Tabela 16 – Quantidade de materiais para a produção de concreto em obras de Guaporé/RS

Obras Guaporé/RS	Saco de cimento (50kg)	Areia (lata 18L)	Brita (lata 18L)	Água (lata 18L)
1	1	5	5	1,5 a 2,0
2	1	5	5	2,0
3	1	6	6	2,0 a 2,5
4	1	6	6	2,0
5	1	5	5	1,5 a 2,0

Fonte: do autor (2015).

Observou-se que os traços ficam a cargo dos pedreiros, sem qualquer preocupação quanto ao atendimento das prescrições de norma. Os traços usados são muito semelhantes, sendo normalmente constituídos de 1 saco de cimento e 5 latas de cada agregado, havendo grande variação pois cada operário responsável pela produção preenche as latas sem qualquer preocupação com a quantidade.

Os traços apresentam uma elevada relação a/c, e mostra que, em geral, os pedreiros preferem trabalhar com concretos de alta fluidez para possibilitar seu adensamento em fôrmas estreitas e envolver as barras da armadura. Como consequência, o concreto produzido apresenta baixa resistência.

Em função do exposto acima, para a obtenção aproximada dos traços utilizados, adequou-se os volumes para peso considerando o peso específico da areia como 1700kg/m^3 , da brita como 1800kg/m^3 e da água como 1000kg/m^3 conforme prescrições da NBR 6120/1980 e ainda, relacionando-os para uma unidade de cimento (1kg), obtendo-se o traço em massa, conforme a Tabela 17.

Tabela 17 – Traços de concreto

Obras Guaporé/RS	Cimento (kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	a/c
1	1	3,06	3,24	0,63
2	1	3,06	3,24	0,72
3	1	3,67	3,88	0,81
4	1	3,67	3,88	0,72
5	1	3,06	3,24	0,63

Fonte: do autor (2015).

Conforme a Tabela 17 verificam-se traços pobres apresentando a relação agregados/cimento maior que 7:1 e outros com relação maior que 6:1. O traço a ser utilizado no presente trabalho será conforme as obras 1 e 5 por apresentarem menor relação a/c, ou seja, o traço 1 : 3,06 : 3,24 : 0,63. Tal traço atende a relação a/c máxima permitida pela NBR 6118/2003 que é de 0,65.

Destaca-se que a areia utilizada nas obras apresentava umidade natural, a qual interfere na quantidade de areia e de água utilizada, portanto o traço obtido se trata de uma aproximação ao traço utilizado em obra, sendo simulado através do uso de areia seca para impedir quaisquer interferências no traço especificado acima.

Considerando somente a relação a/c do traço escolhido, espera-se um concreto com resistência próxima de 20 MPa, conforme a Tabela 12 e o gráfico da Figura 3. Porém, a resistência final não apresenta grande relevância para o experimento, pois a avaliação dos resultados baseia-se em uma única mistura e a comparação entre as resistências das 5 técnicas de cura é o objetivo de interesse prático.

3.4.2 Produção do concreto

A produção de concreto ocorreu no Laboratório de Tecnologias de Construção – LATEC, localizado no Centro Universitário UNIVATES na cidade de Lajeado/RS. O laboratório conta com toda a aparelhagem e materiais necessários para a produção do concreto e, ainda, possui todos os equipamentos normalizados para a moldagem, cura e rompimento dos corpos de prova de concreto.

3.4.2.1 Aparelhagem

- Betoneira com capacidade para 400 litros (FIGURA 10).

Figura 10 – Betoneira para a produção do concreto



Fonte: do autor (2016).

- Pá e colher de pedreiro (Figura 11);

Figura 11 – Pá e colher de pedreiro



Fonte: do autor (2016).

- Balde com capacidade para 10 litros;
- Carrinho de mão;
- Balança de precisão com capacidade para 15 kg (FIGURA 12).

Figura 12 – Balança de precisão



Fonte: do autor (2016).

3.4.2.2 Material

Os materiais utilizados para a produção do concreto foram cimento Portland CP IV – 32 (FIGURA 6), areia média, brita número 2 e água, conforme o item 3.3. As respectivas quantidades provêm do traço especificado na Tabela 17 e do volume necessário para a moldagem dos 36 corpos de prova, dos quais foram feitos mais 4 como reserva para eventuais problemas de desforma e transporte, totalizando 40 corpos de prova.

Logo, as quantidades de cada material utilizado para a produção do concreto, são apresentadas a seguir, as quais foram devidamente separadas conforme mostra a Figura 13 e 14:

- 20 kg de cimento;
- 61,2 kg de agregado miúdo;
- 64,8 kg de agregado graúdo;
- 12,6 litros de água;

Figura 13 – Brita sendo pesada e separada



Fonte: do autor (2016).

O processo apresentado nas Figuras 13 e 14, repetiu-se para todo os demais materiais, chegando-se nas medidas exatas calculadas.

Figura 14 – Cimento sendo pesado e separado



Fonte: do autor (2016).

Após a pesagem do cimento, da brita, da areia e da água, chegou-se nas quantidades especificadas para a moldagem de 40 corpos de prova, partindo-se posteriormente para a produção do concreto através de betoneira, conforme o capítulo a seguir.

3.4.2.3 Procedimento de produção do concreto

Após a correta separação dos materiais, partiu-se para a produção do concreto. Na betoneira devidamente limpa e arejada, adicionou-se os materiais de forma gradativa, conforme segue:

- Toda a quantidade de brita;
- Metade da água;
- Acionou-se a betoneira por 2 minutos;

Após isso, desligou-se a betoneira e o restante dos materiais foram adicionados conforme descrito abaixo:

- Todo o cimento;
- Toda a areia;
- O restante da água;
- Acionar a betoneira até a completa homogeneização do concreto, por 2 minutos.

Por fim, desligou-se a betoneira e obteve-se o concreto pronto para o primeiro ensaio, ou seja, o ensaio de consistência.

3.4.2.4 Ensaio de consistência pelo abatimento do troco de cone

Depois de produzido o concreto na betoneira retirou-se uma amostra do concreto para a realização do ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*). A aparelhagem necessária para o ensaio foi a seguinte:

- Molde metálico (FIGURA 15);
- Haste de compactação;
- Placa de apoio do molde (FIGURA 15);
- Complemento tronco-cônico do molde (FIGURA 15);
- Colher de pedreiro;
- Trena ou régua.

Figura 15 – Aparelhagem para o ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: do autor (2015).

O ensaio seguiu os passos estabelecidos pela NBR NM 67/1998 e conforme ilustra a Figura 4 (p. 48). O abatimento se enquadrou nas classes S50 e S100 prescritas pela NBR 8953/2009 e conforme Tabela 14 (p. 48), ficando em 140mm (Figura 16a e 16b) e com isso, viabilizando o adensamento manual escolhido conforme o item 3.4.2.5 a seguir.

Figura 16 – Realização do ensaio de abatimento do tronco de cone



(a)

(b)

Fonte: do autor (2016).

3.4.2.5 Moldagem dos corpos de prova

Após o ensaio de abatimento atender as exigências, realizou-se a moldagem dos corpos de prova para posterior destinação às curas pré-estabelecidas.

A aparelhagem necessária consta a seguir:

- 40 moldes cilíndricos de 10x20cm;
- Haste de compactação de seção circular em aço de 16mm de diâmetro por 600mm de comprimento;
- Colher de pedreiro;
- Desmoldante com haste aplicadora (Figura 14);

A moldagem foi feita de forma manual, viabilizada pelo abatimento obtido, e de acordo com a NBR 5738/2003. Primeiramente ocorreu a aplicação de desmoldante em todos os 40 moldes, o qual é mostrado na Figura 17 a seguir.

Figura 17 – Desmoldante



Fonte: do autor (2016).

A seguir moldou-se todos os 40 corpos de prova utilizando a mesma mistura de concreto para fins de comparação dos efeitos da cura aplicada. Os corpos de prova moldados foram separados para posterior destinação às curas propostas, conforme Figura 18.

Figura 18 – Corpos de prova moldados



Fonte: do autor (2016).

3.4.2.6 Cura das amostras

A cura inicial dos moldes se deu conforme a NBR 5738/2003, sendo estes devidamente armazenados e protegidos até sua desforma após decorridas 24 horas. Imediatamente após a desforma, os corpos de prova foram encaminhados às respectivas curas conforme segue:

- 4 corpos de prova reservas para eventuais problemas;
- 4 corpos de prova em câmara úmida (Figura 19);

Figura 19 – Câmara úmida



Fonte: do autor (2015).

- 4 corpos de prova em tanque de água saturada de cal hidratada (Figura 20);

Figura 20 – Tanque de água saturada de cal hidratada



Fonte: do autor (2016).

- 4 corpos de prova em ambiente externo para a cura ao ar;
- 12 corpos de prova para a cura por aspersão periódica de água (Figura 21), sendo 4 destes com uma aplicação, 4 com duas aplicações e 4 com três aplicações diárias, conforme item 3.4;

Figura 21 – Cura por aspersão periódica de água



Fonte: do autor (2016).

- 12 corpos de prova com aspersão periódica de cal hidratada dissolvida em água (Figura 22), sendo 4 destes com uma aplicação, 4 com duas aplicações e 4 com três aplicações diárias, conforme item 3.4.

Figura 22 – Cura por aspersão periódica de cal hidratada dissolvida em água



Fonte: do autor (2016).

As curas por aspersão periódica foram realizadas com o auxílio de borrifadores manuais com capacidade de 0,5 litros cada, sendo aplicadas 80 borrifadas em cada corpo de prova, constatando-se o “encharcamento” do concreto e fornecendo água ou cal hidratada dissolvida em água nas mesmas proporções para cada corpo de prova.

A quantidade de cal hidratada dissolvida foi medida até o ponto de saturação da água e a partir disso, a mesma quantidade foi utilizada para a solução água/cal hidratada necessária para o decorrer do processo.

Ambas as curas foram realizadas por 7 e 28 dias (Figuras 23 e 24), sendo 2 corpos de prova de cada cura e suas respectivas variações para cada idade. Após os procedimentos de cura realizados, os corpos de prova foram destinados ao ensaio de rompimento (compressão), para obtenção das resistências.

Figura 23 – Cura por 7 dias



Fonte: do autor (2016).

Figura 24 – Cura por 28 dias



Fonte: do autor (2016).

3.4.2.7 Rompimento dos corpos de prova

Os rompimentos ocorreram conforme o estabelecido pela NBR 5739/2007, nas idades de 7 e 28 dias, sendo realizados no Laboratório de Tecnologias da Construção (LATEC) do Centro Universitário Univates.

Primeiramente através de retífica normalizada para a correção das superfícies dos corpos de prova, substituindo o capeamento com enxofre, conforme Figura 25. Esse processo confere ao corpo de prova uma superfície lisa e perpendicular a seu eixo longitudinal.

O processo de retificação nesse caso, é lento, sendo retificado apenas um corpo de prova por vez, em ambos os lados. A retificação, se realizada de forma descuidada, pode comprometer o paralelismo entre as superfícies e consequentemente, prejudicar a resistência do corpo de prova.

Figura 25 – Retífica de corpos de prova



Fonte: do autor (2015).

Após a retificação dos corpos de prova, procedeu-se o ensaio de rompimento através de prensa hidráulica devidamente adequada ao ensaio, da marca Solotest, conforme Figura 26.

Figura 26 – Prensa



Fonte: do autor (2015).

As tolerâncias de tempo em função das idades de rompimento são mostradas na Tabela 18. Conforme a NBR 5738/2003, a idade deve ser contada a partir do momento em que o cimento é posto em contato com a água de mistura.

Tabela 18 – Tolerância para a idade de ensaio

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

Fonte: NBR 5739 (2007).

Ambas as tolerâncias expostas, para 7 e 28 dias, foram atendidas dentro do prazo permitido. Nas figuras a seguir, constata-se corpos de prova destinados a cura por aspersão de água (Figura 27) e por aspersão de cal hidratada dissolvida em água (Figura 28), sendo ensaiados na prensa hidráulica.

Figura 27 – Ensaio de compressão com corpo de prova 01



Fonte: do autor (2016).

Figura 28 – Ensaio de compressão com corpo de prova 02



Fonte: do autor (2016).

Após realizados os experimentos até aqui descritos, foi possível a obtenção dos resultados referentes a resistência à compressão dos corpos de prova para todas as técnicas de cura avaliadas. Tais resultados são apresentados no próximo capítulo.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através do rompimento dos corpos de prova submetidos às cinco técnicas de cura avaliadas, com o intuito de compará-las. Dos 40 corpos de prova desenvolvidos, 18 foram ensaiados aos 7 dias de idade e 18 aos 28 dias de idade, restando 4 corpos de prova reservas que foram descartados pois não houve necessidade de substituição.

O capítulo é dividido em duas seções, a primeira apresentando os resultados referentes aos ensaios aos 7 dias, enquanto a segunda apresenta os resultados referentes aos 28 dias.

4.1 Ensaio de compressão – 7 dias

Após realizada a cura dos corpos de prova durante os primeiros 7 dias, considerada como idade inicial, foram obtidos os resultados referentes a resistência à compressão das 5 técnicas de cura avaliadas. Os resultados são apresentados na Tabela 19, sendo que o valor da resistência mencionado resulta da média de 2 corpos de prova submetidos a mesma técnica de cura, como consta no Anexo A.

As técnicas de cura por aspersão periódica de água e por aspersão periódica de cal hidratada dissolvida em água, possuem variações quanto ao número de aplicações diárias. Conforme já mencionado no capítulo 3, foram realizadas 1, 2 e 3 aplicações para ambas as técnicas.

Tabela 19 – Ensaio de compressão – 7 dias

Código	Descrição	Resistência (MPa)
1	Ao ar	8,315
2	Aspersão de água - 1 aplicação	8,57
3	Aspersão de água - 2 aplicações	7,905
4	Aspersão de água - 3 aplicações	8,25
5	Aspersão de cal dissolvida em água - 1 aplicação	8,54
6	Aspersão de cal dissolvida em água - 2 aplicações	8,135
7	Aspersão de cal dissolvida em água - 3 aplicações	7,49
8	Submerso em água de cal	8,185
S/N	Em câmara úmida	8,755

Fonte: do autor (2016).

4.2 Ensaio de compressão – 28 dias

Após realizada a cura e o rompimento dos corpos de prova durante os primeiros 7 dias, seguiu-se com a cura dos demais corpos de prova por mais 21 dias, totalizando 28 dias, idade considerada final. Após os ensaios, foram obtidos os resultados referentes a resistência à compressão das 5 técnicas de cura avaliadas. Os resultados são apresentados na Tabela 20, sendo que o valor da resistência mencionado resulta da média de 2 corpos de prova submetidos a mesma técnica de cura, como consta no Anexo B.

Tabela 20 – Ensaio de compressão – 28 dias

Código	Descrição	Resistência (MPa)
1	Ao ar	10,54
2	Aspersão de água - 1 aplicação	12,41
3	Aspersão de água - 2 aplicações	12,71
4	Aspersão de água - 3 aplicações	12,16
5	Aspersão de cal dissolvida em água - 1 aplicação	12,67
6	Aspersão de cal dissolvida em água - 2 aplicações	12,00
7	Aspersão de cal dissolvida em água - 3 aplicações	12,55
8	Submerso em água de cal	14,17
9	Em câmara úmida	13,68

Fonte: do autor (2016).

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

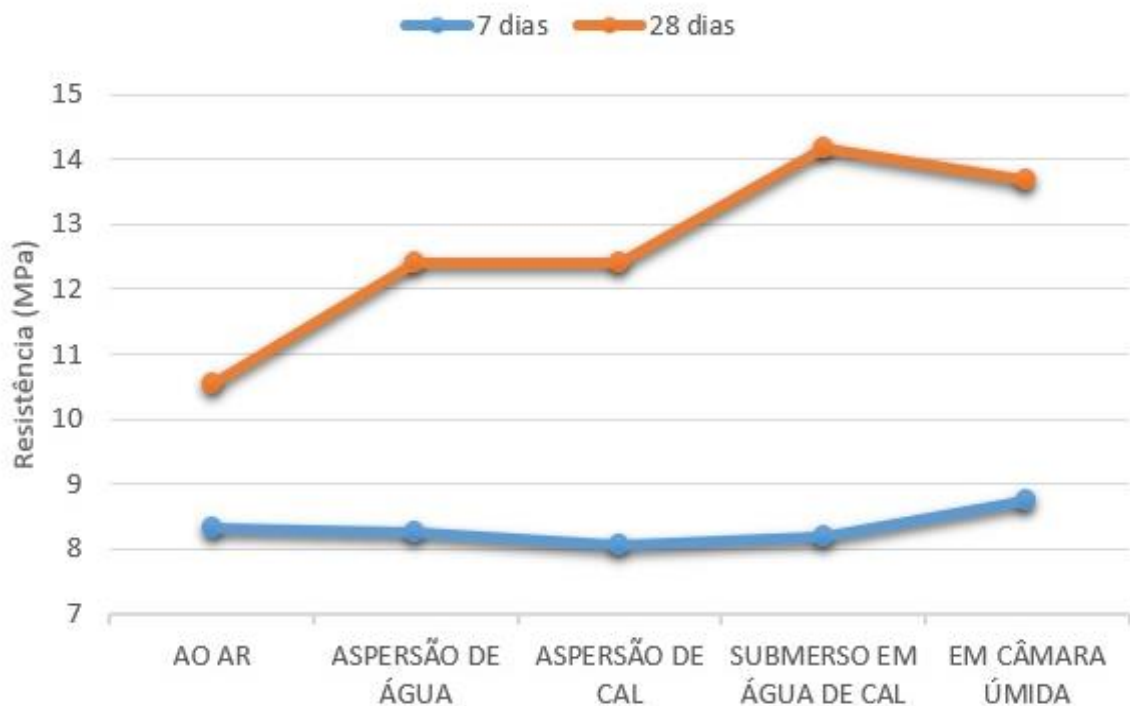
Neste capítulo é realizada a discussão dos resultados apresentados no capítulo anterior, a fim de comparar as técnicas de cura empregadas e avaliá-las quanto ao seu emprego em obras da construção civil.

O capítulo é dividido em 5 seções, a primeira avalia a influência das idades de cura no que se refere ao desenvolvimento de resistência mecânica no concreto utilizado, a segunda apresenta uma comparação entre as técnicas de cura normatizadas e as técnicas comuns de pequenas obras, a terceira compara as técnicas de cura por aspersão periódica de água e de cal hidratada dissolvida em água como também avalia a influência do número de aplicações diárias desta técnica, a quarta compara o desenvolvimento da resistência frente a métodos distintos de cura em concretos com alta e baixa relação a/c , e por fim, a quinta seção realiza uma avaliação sobre a influência da cal hidratada na cura do concreto, tanto por aspersão quanto em meio submerso.

5.1 Influência das idades de cura

Com base nos resultados obtidos, desenvolveu-se um gráfico (Figura 29) a fim de avaliar a influência das idades de cura na resistência à compressão de um concreto com elevada relação a/c .

Figura 29 – Idades de cura e o desenvolvimento da resistência



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Conforme a Figura 29, nota-se claramente que nas idades iniciais de cura, ou seja, aos 7 dias, as técnicas de cura empregadas obtiveram valores de resistência muito próximos, com leve vantagem para a cura em câmara úmida. Porém todas elas se mantiveram dentro do mesmo patamar de resistência, em torno de 8 MPa, o que evidencia que nesse período não houve grande influência externa que acarretasse em perda de água responsável pela hidratação do cimento.

Já na idade final de cura, aos 28 dias, as resistências variam de tal forma que corroboram com a literatura atual, em especial com Bauer (2008), mencionado no capítulo 2.3.2 e Neville e Brooks (2013), mencionado no capítulo 1.3, mostrando que as curas em meio submerso são ideais para o desenvolvimento da resistência, as quais alcançaram o patamar dos 14 MPa. A não realização de quaisquer tipos de cura, ou seja, a cura ao ar, mostrou-se extremamente insuficiente, girando em torno dos 10 MPa. Portanto, em um período de 21 dias, a cura ao ar desenvolveu apenas 2 MPa enquanto a cura submersa desenvolveu de 5 a 6 MPa no mesmo período.

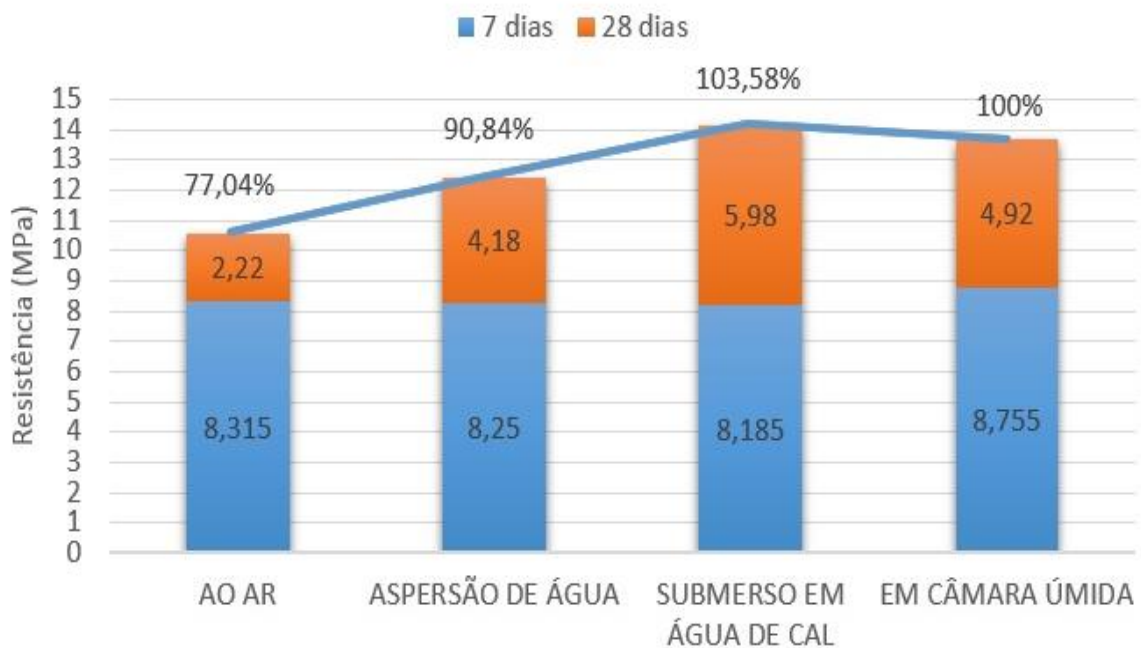
Já as curas realizadas por aspersão periódica de água e de cal hidratada dissolvida em água, mostraram-se bastante suficientes em comparação com a cura

ao ar, alcançando resistências que giram em torno de 12 a 13 MPa. Tal resultado aos 28 dias, se comparado aos 7 dias, confirma o estudo apresentado por Powers (1958) e destacado por Helene e Levy (2013), mencionado no capítulo 2.3 deste trabalho, ou seja, a necessidade de manter a cura por longos períodos para concretos com elevada relação a/c, a fim de dar continuidade ao processo de hidratação do cimento.

5.2 Obras x Norma Técnica

A fim de evidenciar a distância entre a cultura de obra e o que a norma técnica prescreve, desenvolveu-se um gráfico (Figura 30) comparativo entre a cura ao ar e por aspersão periódica de água, técnicas comuns de obra, e a cura em câmara úmida e submersa em água saturada de cal hidratada, ambas normatizadas.

Figura 30 – Obras x Norma Técnica



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Nota-se a partir da Figura 30, que a cura realizada por 7 dias apresentou resultado muito próximo para ambas as técnicas avaliadas, o pico de resistência se deu pela cura em câmara úmida e a resistência mais baixa pela cura submersa em

água saturada de cal. Nota-se que nesse período, técnicas de cura como aspersão de água e submerso em água saturada de cal, apresentaram resistências inferiores a cura ao ar, mostrando que para o concreto avaliado, a cura pouco influenciou no desenvolvimento da resistência dos corpos de prova.

Como já mencionado anteriormente, novamente percebe-se que nas primeiras idades de cura, fatores externos como sol e vento, pouco influenciaram na perda de água necessária pela hidratação do cimento, pois a técnica de cura ao ar por vezes, apresentou maior resistência.

Porém, no que tange a cura por 28 dias, nota-se uma variação importante nas resistências. Tendo como base a cura em câmara úmida, a qual é considerada ideal pela norma técnica vigente, percebe-se que a cura ao ar pouco contribuiu no desenvolvimento da resistência, alcançando apenas 77% da resistência tida como ideal, evidenciando que, em um período maior, fatores como sol e vento, antes pouco atuantes, mostraram-se grandes influenciadores. A cura submersa em água saturada de cal, que atingiu o menor valor de resistência aos 7 dias, apresentou o maior desenvolvimento no período, com um ganho de 5,98 MPa contra 4,92 MPa da câmara úmida, ou seja, apresentou 103,58% da resistência ideal.

A cura por aspersão periódica de água, encontrada na maioria das pequenas obras, teve um desenvolvimento satisfatório. A partir da média entre as 3 variações da técnica avaliada, obteve-se um acréscimo de 4,18 MPa alcançando 90,84% da resistência considerada ideal.

Porém cabe salientar que, culturalmente, a cura realizada em obras não ultrapassa 7 dias de aplicação, e que portanto, é muito mais utilizada para evitar algum tipo de patologia, como a retração plástica ou hidráulica, do que para o desenvolvimento de resistência mecânica. Nesse ponto, os resultados corroboram novamente com a literatura atual, primeiramente com Helene e Levy (2013), mencionados no capítulo 1.3, que afirmam que as práticas de cura em obras estão longe de serem suficientes e também com Mehta e Monteiro (2008) e Neville e Brooks (2013), mencionados no capítulo 1.3, evidenciando que para um concreto com elevada relação a/c, os cuidados com a cura devem ser redobrados.

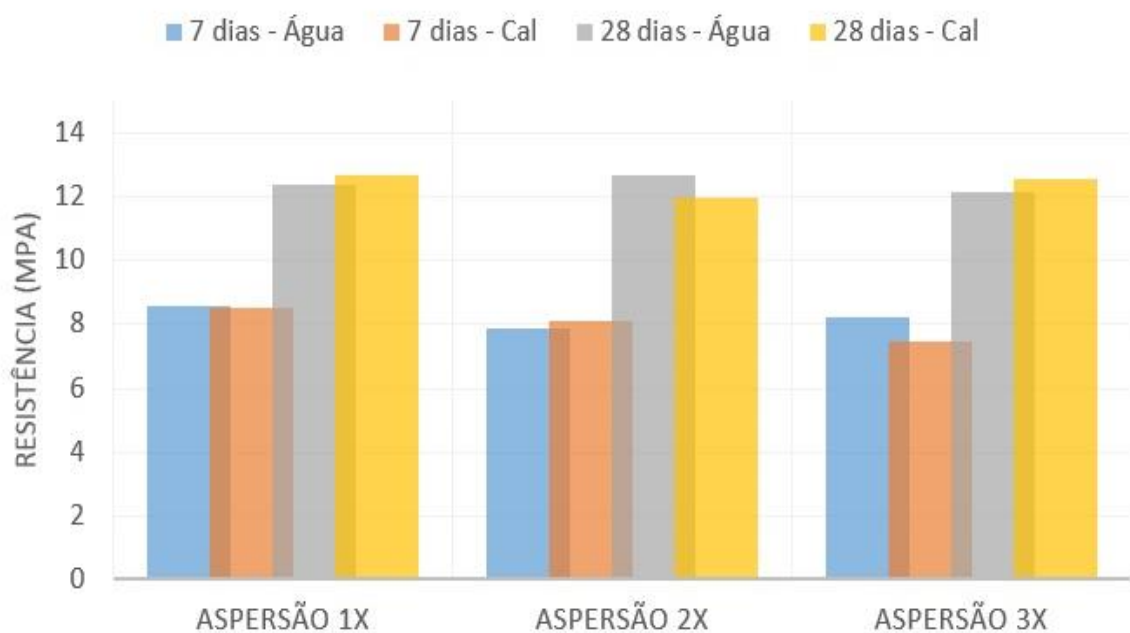
5.3 Curas por aspersão periódica e número de aplicações diárias

Com base nos dados apresentados até aqui, sabe-se que fatores externos como sol e vento influenciam no desenvolvimento da resistência pelo concreto, acarretando em perda de água necessária a hidratação do cimento. É também importante acrescentar, que a cura por aspersão periódica de água em obras é acompanhada de um total desconhecimento quanto a sua contribuição e a necessidade de sua utilização.

A grande maioria das técnicas utilizadas em obra são culturais, e muitas vezes repassadas de pai para filho sem a correta orientação ou explicação de seu funcionamento e importância, e que seguidas de insuficientes pesquisas, tornam as obras sujeitas a ocorrência de patologias advindas do fraco controle tecnológico inserido no meio.

Partindo desse pressuposto, o gráfico da Figura 31 demonstra a influência do número de aplicações diárias das técnicas de cura por aspersão periódica, que objetivaram manter o concreto sempre úmido, avaliando a perda de água entre os períodos de molhagem e a influência do uso da cal hidratada incorporada à técnica.

Figura 31 – Influência do número de aplicações



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Conforme a Figura 31, nota-se que o número de aplicações diárias pouco interferiu na resistência à compressão obtida. Aos 7 dias, as 3 variações alcançaram o patamar dos 8 MPa e aos 28 dias, o patamar dos 12 MPa, havendo pouca ou quase nenhuma variação.

Diante disso, é notório que apenas uma aplicação diária foi suficiente para manter o concreto úmido, evitando a perda de água. Com duas e três aplicações não houveram significativas alterações que pudessem gerar conclusões sobre seus benefícios ou malefícios, porém as condições climáticas variam de um local para outro, de uma obra para outra, e com isso, a perda de água pelo concreto também pode variar. Nesse ponto, o bom senso e a percepção dentro do canteiro de obras se torna imprescindível, devendo haver um maior controle sobre a umidade do concreto, acarretando no contínuo desenvolvimento de sua resistência.

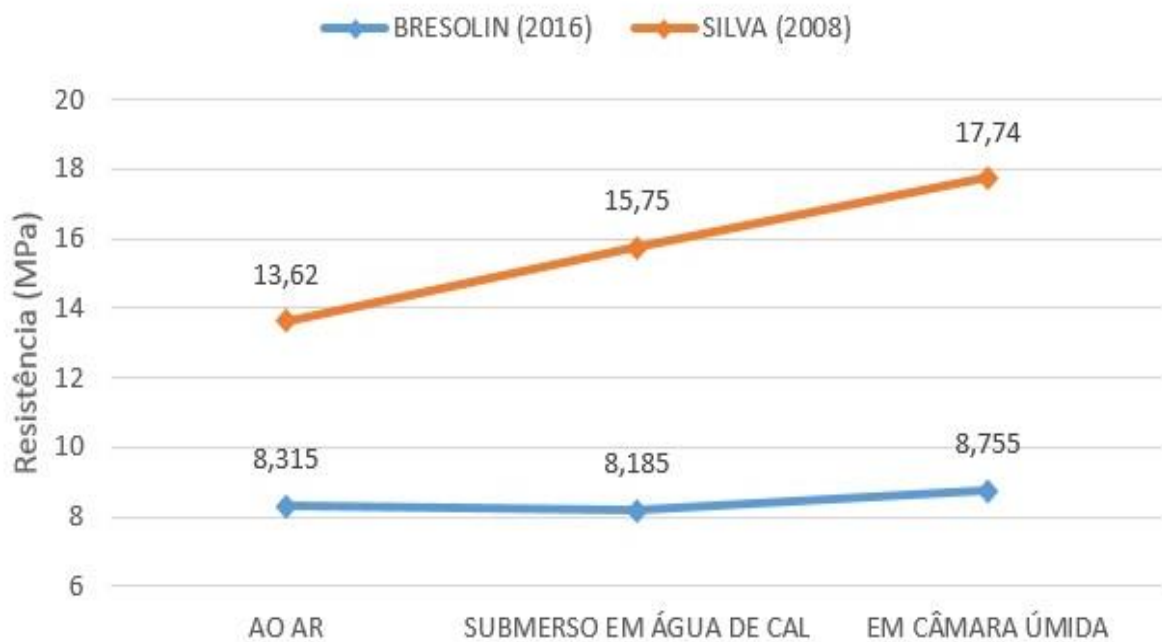
No que tange a incorporação de cal hidratada no meio, não houveram ganhos significativos de resistência. Em comparação com a cura por aspersão periódica de água, ambos atingiram patamares de resistência muito próximos, não justificando a incorporação de cal hidratada para os devidos fins.

5.4 Influência da cura frente a concretos com alta e baixa relação a/c

Para melhor entender a influência da cura no desenvolvimento do concreto, comparou-se os resultados obtidos através deste estudo, relacionado a um concreto com alta relação a/c, com o estudo realizado por Silva (2008). Tal estudo aplica as técnicas de cura por câmara úmida, tanque de água saturada de cal e em ambiente externo sobre um concreto usinado de baixa relação a/c.

Para uma melhor visualização, desenvolveu-se os gráficos das Figuras 32 e 33, os quais apresentam um comparativo entre os dois tipos de concreto avaliados. O primeiro sendo um concreto com elevada relação a/c, do qual os resultados foram obtidos com este estudo e o segundo, sendo um concreto usinado com baixa relação a/c, apresentado no estudo realizado por Silva (2008).

Figura 32 – Influência da relação a/c no desenvolvimento da resistência aos 7 dias



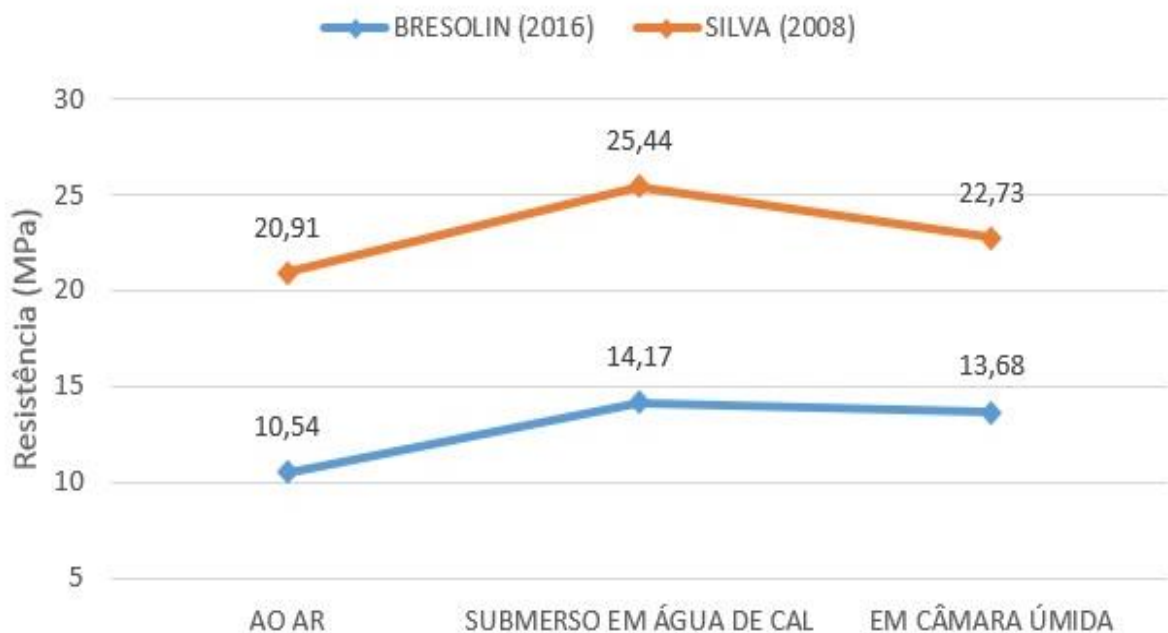
Fonte: Elaborado pelo autor (2016) e adaptado de Silva (2008).

Como já mencionado, a cura nos 7 primeiros dias para o concreto de elevada relação a/c tratado neste estudo, não influencia diretamente no desenvolvimento da resistência, mantendo as três técnicas de cura apresentadas no gráfico acima, em um mesmo patamar de resistência.

Já a utilização de um concreto usinado, no estudo realizado por Silva (2008), altera os efeitos da cura no desenvolvimento da resistência do concreto. O concreto com baixa relação a/c, apresenta aos 7 dias, uma significativa variação das resistências conforme alteram-se as técnicas de cura. Mostra que a cura ao ar já se torna insuficiente nesse período e que a cura em câmara úmida é o processo ideal.

Portanto, pode-se inferir que diferentes dosagens de concreto alteram significativamente o desenvolvimento de sua resistência, afetando processos como a cura no que diz respeito ao fornecimento de água suficiente para a correta hidratação do cimento. Infere-se também que nas primeiras idades, um concreto com menor quantidade de água em sua mistura, necessita de maiores cuidados iniciais relacionados ao desenvolvimento da resistência do que um concreto com elevada relação a/c.

Figura 33 – Influência da relação a/c no desenvolvimento da resistência aos 28 dias



Fonte: Elaborado pelo autor (2016) e adaptado de Silva (2008).

No que tange a cura entre 7 e 28 dias, o gráfico da Figura 33 evidencia um desenvolvimento da resistência bem semelhante entre os dois tipos de concreto avaliados.

O gráfico apresenta a cura ao ar como a menor resistência alcançada e a cura em tanque de água saturada de cal, que em ambos os casos apresentou resistência inicial menor se comparada com câmara úmida, aos 28 dias proporcionou grande desenvolvimento ao concreto, atingindo o pico de resistência tanto para concreto com elevada relação a/c quanto para concreto com baixa relação a/c, inferindo-se novamente uma possível contribuição da cal em solução frente às resistências finais.

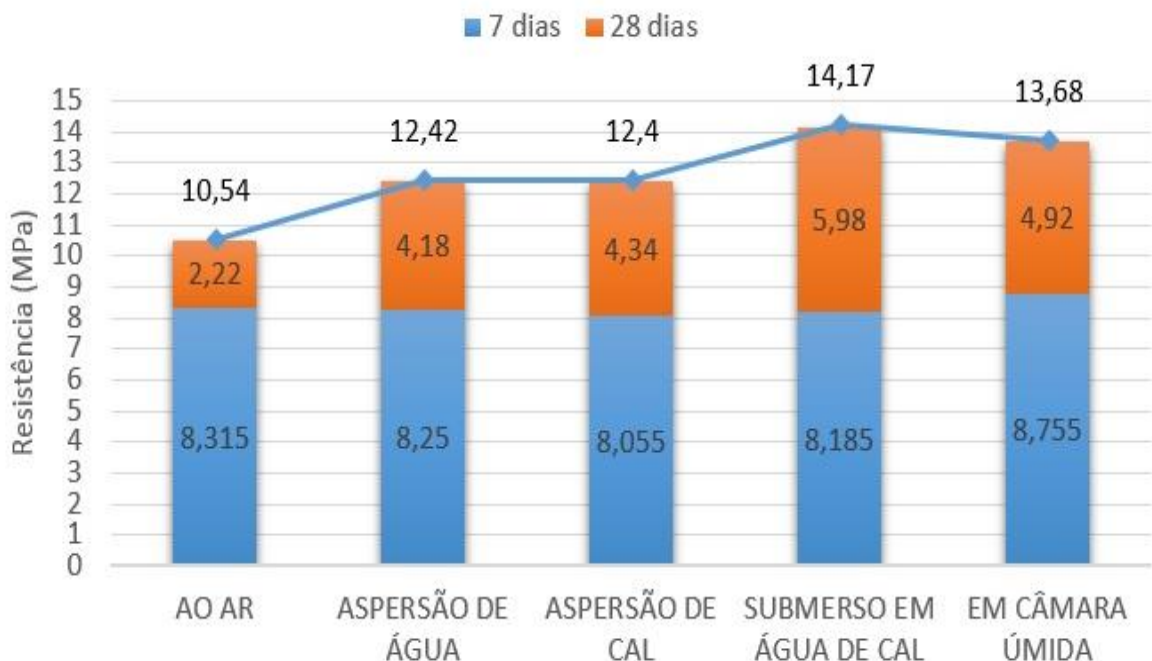
Destaca-se através dos gráficos apresentados, que a bibliografia consultada, em especial as de Mehta e Monteiro (2008) e Helene e Levy (2013), apresentadas no capítulo 1.3 deste trabalho, convergem com os resultados apresentados. Mehta e Monteiro (2008) destacam que um concreto com baixa relação a/c necessita menores cuidados com a cura do que um concreto com elevada relação a/c, enquanto Helene e Levy (2013), mostram que ironicamente, o concreto que mais necessita de cuidados (*dosado in loco*) é o que menos os recebe.

Nos gráficos anteriores, é possível perceber que a cura em um concreto com maior quantidade de água em sua mistura, precisa receber água por maiores períodos para o correto desenvolvimento da resistência, enquanto que um concreto usinado apresenta maiores necessidades nas primeiras idades, pois em idades avançadas as resistências tendem a se igualar. A prática percebida em obras diversas, mostra que a cura é realizada por curtos períodos, de 3 a 5 dias, e portanto é extremamente insuficiente para concretos com elevada relação a/c.

5.5 Influência da incorporação de cal hidratada

Para melhor ilustrar a interferência da incorporação de cal hidratada na cura por aspersão periódica de água, desenvolveu-se o gráfico da Figura 34, para fins de comparação. A cura por aspersão periódica de água e de cal hidratada dissolvida em água apresentam valores referentes a média das três aplicações.

Figura 34 – Influência da incorporação de cal hidratada



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Como percebe-se no gráfico acima, a menor resistência encontrada foi referente à cura ao ar, com 10,54 MPa e a maior referente à cura submersa em

água de cal, com 14,17 MPa. Ambas as curas por aspersão apresentaram valores muito próximos, tanto aos 7 quanto aos 28 dias.

Aos 7 dias a cura por aspersão periódica de água apresentou 8,25 MPa enquanto com a incorporação de cal hidratada, apresentou 8,055 MPa. No período entre 7 e 28 dias, ambas as curas apresentaram desenvolvimento muito próximo, sendo 4,18 MPa e 4,34 MPa respectivamente. Já ao final da cura, aos 28 dias, o resultado final da resistência alcançou 12,42 MPa para a cura com água e 12,40 MPa para a cura com cal, percebendo-se resultados praticamente iguais.

Cabe salientar que a cura com a utilização de cal hidratada apresentou um leve retardamento do desenvolvimento da resistência nas idades iniciais, enquanto que no período de 7 a 28 dias o desenvolvimento foi superior. Observando-se o gráfico da Figura 34, nota-se que além da cura por aspersão de cal hidratada, a cura submersa em água saturada de cal hidratada apresenta o mesmo fenômeno, ou seja, houve um menor desenvolvimento inicial, com 8,185 MPa contra 8,755 MPa da cura em câmara úmida, e no período de 7 a 28 dias, houve um grande ganho de resistência por parte da cura submersa em água com cal, com 5,98 MPa contra 4,92 MPa da câmara úmida. Portanto houve um desenvolvimento 21,52% maior que a cura de referência.

Tal fenômeno pode ser explicado através do que cita Quarcioni (2008), mencionado no capítulo 2.1.1.1 deste trabalho, o qual mostra que, pela ação química, os íons cálcio são os principais controladores da hidratação do cimento, gerando uma maior formação de C-S-H e que tal processo só acontece com a presença de cal hidratada em solução, o que explica o maior desenvolvimento da resistência em meio submerso, fato este também descrito por Tutikian e Dalmolin (2008), também mencionados no capítulo 2.1.1.1, e que ainda, acrescentam o fato deste processo acontecer de forma lenta.

O mesmo fenômeno também é visto no trabalho desenvolvido por Silva (2009), citado inúmeras vezes neste trabalho, que através da cura submersa em água saturada de cal comparada com câmara úmida, apresenta resistências iniciais inferiores e a longo prazo, significativos ganhos. Quarcioni (2008) atribui este ganho em idades avançadas pelos efeitos físicos da cal hidratada, a qual atua como fíler

que favorece a hidratação do cimento, preenchendo os vazios e expulsando a água em excesso.

Outro ponto que merece destaque é a utilização de água saturada de cal hidratada como um meio de evitar o processo de lixiviação, mencionado no capítulo 2.2.5.1 deste trabalho, onde Thomaz (2009) mostra que durante a hidratação do cimento, os cristais de hidróxido de cálcio parcialmente solúveis em água, se diluem na água da cura e são transportados para fora do concreto. Porém com a utilização de uma água já saturada de cal, os cristais mesmo que solúveis, acabam não sendo diluídos e portanto, permanecem no concreto, evitando um aumento da porosidade e com potencial de atuar fisicamente na hidratação do cimento como nucleador das fases hidratadas.

Sobre a utilização da cal em lançamento, apesar de haver maior desenvolvimento no período mencionado, a resistência final aos 28 dias apresenta valores praticamente iguais ao da cura por aspersão periódica somente de água, inviabilizando no que tange a resistência, a inserção de cal hidratada na técnica avaliada. Porém, conforme cita Petrucci (1998) no capítulo 2.2.5 deste trabalho, a cura não cessa aos 28 dias e que para Cimento Portland Comum, o grau de hidratação nessa idade é de apenas 81%. Neville e Brooks (2013), no capítulo 2.2.5.2, salientam ainda que para concretos com elevada relação a/c, que é o caso deste trabalho, aos 6 meses de idade o concreto está apenas 92% hidratado.

Por fim, o desenvolvimento da resistência é um processo lento e que os dados obtidos aos 7 e aos 28 dias, servem como parâmetro tanto para retirada de formas como para fins estruturais, mas que não apresentam os resultados finais reais. Deste ponto, podem ainda haver variações entre as resistências obtidas conforme as idades avançam, com possibilidade de um maior desenvolvimento para as curas com a utilização de cal hidratada. O que se pode afirmar, é que a utilização da cal hidratada como uma camada que impeça a perda de água pelo concreto, não deve ser considerada apenas na resistência, pois esse impedimento pode vir a evitar a retração hidráulica, uma maior permeabilidade e a redução da resistência à abrasão.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Esta pesquisa investigou a influência das técnicas de cura no desenvolvimento da resistência do concreto através de corpos de prova, quando estes foram submetidos à meios submersos, periodicamente umedecidos e outros somente expostos ao ambiente.

O concreto é um material que quando aplicado em obras da construção civil, está sujeito à intempéries, sendo apresentado neste trabalho a ação do sol e do vento no que tange a evaporação da água do concreto. Tal material exposto aos agentes descritos, conforme visto na pesquisa bibliográfica, necessita da correta execução da cura e caso contrário, como apresentado nos resultados deste trabalho, comprova-se a influência negativa de tais fatores.

Tendo em vista os resultados apresentados, percebe-se a importância da realização de uma cura bem executada, uma vez que existem desníveis acentuados de resistência quando comparamos as curas em meio saturado e as curas em ambientes externos, sem o correto controle da evaporação da água.

Além disso, pode-se inferir também que as curas em meio saturado são, de fato, as ideais para o desenvolvimento da resistência, que as curas por aspersão periódica apresentaram um desenvolvimento satisfatório da resistência, que a não realização da cura tende a comprometer a resistência final do concreto e que a utilização de cal hidratada em lançamento, analisando tanto efeitos físicos quanto

químicos, não surtiu efeito, mas por outro lado, este último mostrou alguma contribuição em meio submerso.

Portanto, é necessário uma mudança dentro do canteiro de obras, dentro da cultura inserida nesse meio, visto que a cura realizada em obras tanto de pequeno quanto de grande porte, deixa muito a desejar. A mais comum e vista na grande maioria das obras, é a cura por aspersão periódica de água, porém, somente por curtos intervalos de tempo, variando de 1 a 3 dias. Visto que esta, e as demais técnicas estudadas, surtiram algum efeito na resistência do concreto apenas em idades avançadas, conclui-se que a cura realizada em obras atualmente, objetiva apenas a prevenção de patologias e a manutenção das propriedades do concreto.

Sugere-se, a partir desta pesquisa, a continuidade do uso da técnica de cura por aspersão periódica de água, mas por um período maior, alcançando idades próximas dos 28 dias para garantir o correto desenvolvimento da resistência à compressão do concreto, e juntamente com esta, evitar também as patologias advindas da perda de água.

Verificou-se por fim, que as indicações sobre as possíveis influências das técnicas de cura observadas na bibliografia consultada como referência, estão corretas. Cabe salientar que os efeitos da cal hidratada consultados, como a retenção de água quando aplicada em superfície, não foram percebidos e portanto, sugere-se trabalhos complementares a fim de demonstrar tais efeitos e responder o que o presente estudo não possibilitou identificar, dispostos no capítulo a seguir.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Com os resultados apresentados e os conhecimentos obtidos a partir deste trabalho, pode-se sugerir trabalhos complementares a serem desenvolvidos:

- Sugere-se intervalos de tempo maiores nas técnicas de cura por aspersão periódica de água e de cal hidratada dissolvida em água, a fim de avaliar a propriedade de retenção de água da cal hidratada.

- Sugere-se a utilização de outros tipos de cimento, objetivando avaliar o comportamento do cimento pozolânico frente a cura, em comparação com um cimento mais “puro” ou com menores adições minerais.

- Sugere-se a aplicação da técnica por aspersão de água de forma contínua com o uso de aspersores, juntamente com a estimativa de custos de implantação, operação e manutenção.

- Sugere-se a interrupção de um processo de cura e posteriormente a retomada da técnica, a fim de avaliar se o desenvolvimento da resistência pode ser retomado sem maiores problemas.

- Sugere-se a avaliação da influência do sol e do vento de forma individual, no que tange a perda de água pelo concreto.

- Sugere-se a utilização de cal hidráulica nas técnicas de cura, a fim de verificar os efeitos físicos de nucleação de partículas e preenchimento de vazios do concreto.

- Sugere-se complementar a curva de resistência a compressão aos 7 e 28 dias do presente estudo, com as resistências aos 3, 14 e 21 dias.

- Sugere-se avaliar um menor uso de areia no traço utilizado a ponto de conseguir certa economia de material e ao mesmo tempo, ganho de resistência.

Ambos os estudos sugeridos, podem por fim, ter seus resultados comparados aos do presente trabalho, desde que seja seguida a mesma metodologia com alteração apenas das variáveis citadas.

REFERÊNCIAS

AÏTCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: PINI, 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **Committee 614**: Recommended practice for measuring, mixing and placing concrete. EUA, 1959. 31 p.

_____. **Committee 308R-01**: Guide to curing concrete. EUA, 2001. 30 p.

ANDRADE, J. J. O.; TUTIKIAN, B. F. **Concreto: ciência e tecnologia – resistência mecânica do concreto**. São Paulo: IBRACON, 2011. 929 p.

ANJOS, M. A. S. Avaliação da hidratação de pastas cimentícias com elevados teores de adições minerais. Braga: **Revista Engenharia Civil Um**, n. 44, p. 41-58, 2012. ISSN 0873-1152.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM (ABESC). **Manual do concreto dosado em central**. São Paulo: Luxmídi, 2001. 36 p.

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

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

_____. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro: ABNT, 1991. 5 p.

_____. **NBR 5738**: Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

_____. **NBR 5739**: Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 13 p.

_____. **NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 221 p.

_____. **NBR 6120:** Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980. 6 p.

_____. **NBR 6453:** Cal virgem para construção civil - Requisitos Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 3 p.

_____. **NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas - Requisitos Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 4 p.

_____. **NBR 7225:** Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 4 p.

_____. **NBR 8953:** Concreto para fins estruturais: classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 3 p.

_____. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 18 p.

_____. **NBR 14931:** Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 53 p.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado.** Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2006. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/Sistemas%20Estruturais/Fund%20Concreto.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

BAUER, L. A. F. **Materiais da construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 538 p.

BORGDAN, R. S.; BIKEN, S. **Investigação qualitativa em educação:** uma introdução à teoria e aos métodos. 12. ed. Porto: Porto, 2003.

BRANCO, C. P.; PIERETTI, R. A. **Avaliação do concreto curado entre -5°C e 0°C.** 2012. Monografia (Graduação) – Curso de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

CECCONELO, V.; TUTIKIAN, B. A influência das baixas temperaturas na evolução das resistências do concreto. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais,** São Paulo, v. 5, p. 68-83, 2012.

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

COELHO, A. Z.; TORRAL, F. P.; JALALI, S. **A Cal na construção.** Guimarães, Portugal: TecMinho, 2009. 130 p.

FERNÁNDEZ, L. L. Propuesta de indicadores de la eficacia del curado em obra. **Concreto y Cemento. Investigación e Desarrollo,** v.1, n. 2. México, 2010. p. 17-29. ISSN 0185-1233.

GALVÃO, J. C. A. **Estudo das propriedades dos concretos confeccionados com cimento CP V – ARI e CP II – F 32, sob diferentes temperaturas de mistura e métodos de cura.** 2003. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em

Engenharia de Materiais e Processos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

GEIKER, M. R. On the importance of execution for obtaining the designed durability of reinforced concrete structures. **Materials and Corrosion**, Noruega, v. 63, n. 12, p. 1114-19, 2012. ISSN 0947-5117.

GIONGO, J. S. **Concreto armado**: introdução e propriedades dos materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2015.

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

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal**: Fundamentos e aplicações na Engenharia Civil. 2. ed. São Paulo: PINI, 2002. 341 p.

GUIMARÃES, J. E. P.; GOMES, R. D.; SEABRA, M. A. **Guia das argamassas nas construções**: construindo para sempre com cal hidratada. 8. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Produtores de Cal, 2004.

HELENE, P.; LEVY, S. **Boletim Técnico – Cura do Concreto**. Mérida, México: ALCONPAT, 2013. 12 p. Disponível em: <<http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B8-Cura-do-concreto.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2015.

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

HOPPE FILHO, J. **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada**: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação do concreto. 2008. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

Isaia, G. C. **Concreto ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 792 p.

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

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação**: abordagens qualitativas. 6. ed. São Paulo: EPU, 2001.

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

MOTTA-ROTH, D.; HENDGES, G. R. **Produção textual na universidade**. São Paulo: Parábola, 2010. 168 p.

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

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

PACHECO, J.; HELENE, P. **Boletim técnico – controle da resistência do concreto**. Mérida, México: ALCONPAT, 2013. 20 p.

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

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

POLITO, G. **Avaliação da introdução de cal hidratada nas argamassas aplicadas sobre blocos cerâmicos e sua influência no desempenho e morfologia**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

POWERS, T. C. Structure and physical properties of hardened Portland cement paste. **Journal of the American Ceramic Society**, Chicago, v. 41, 1958, 7 p. ISSN 0002-7820.

QUARCIONI, V. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland – estudo em pasta**. 2008. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas. **Boletim técnico da escola politécnica da USP**. São Paulo, 1999. 29 p. ISSN 0103-9830.

RIBEIRO, G. D.; GOMES, M. V.; VALIN JR, M. O. Influência da cura do concreto com e sem a utilização de lona plástica na resistência mecânica e absorção de água. In: 56° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO/IBRACON, 2014. Natal. Disponível em: <<http://www.mvalin.com.br/products/influ%C3%Aancia-dos-procedimentos-de-cura-na-resist%C3%Aancia-e-absor%C3%A7%C3%A3o-do-concreto/>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

RODRIGUES, P. P. F.; BOTACINI, S. M.; GASPARETTO, W. E. **Manual Gerdau de pisos industriais**. São Paulo: PINI, 2006. 109 p.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, A. J. C. et al. Influência da temperatura na evolução da resistência à compressão do cimento Portland. In: 51° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO/IBRACON, 2009. Recife. Disponível em: <<http://www.vieiramota.com.br/temperatura-revisado.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

SILVA, B. A. **Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto**. 2009. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), São Paulo, 2009.

STEIN, M. G. **Influência da cura térmica a vapor no concreto**. 2014. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2014.

THOMAZ, E. Lixiviação x carbonatação. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 151, 2009. ISSN 0104-1053.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**. São Paulo: Atlas, 1987.

TUTIKIAN, B.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto auto-adensável**. São Paulo: PINI, 2008. 140 p.

VALIN JR, M. O.; LIMA, S. M. Influência dos procedimentos de cura na resistência e absorção do concreto. In: 51º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO/IBRACON, 2009. Curitiba. Disponível em:< <http://www.mvalin.com.br/products/influ%C3%Aancia-dos-procedimentos-de-cura-na-resist%C3%Aancia-e-absor%C3%A7%C3%A3o-do-concreto/>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2000.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXOS

