

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DIRETORIA DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

THAÍS VANESSA DE LIMA SALES

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO E TIPO DE CURA NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETOS DAS CLASSES C25 E
C40**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2023

THAÍS VANESSA DE LIMA SALES

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO E TIPO DE CURA NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETOS DAS CLASSES C25 E
C40**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. M.Sc. Euler Wagner Freitas
Santos

ARACAJU

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sales, Thaís Vanessa de Lima.

S163e Estudo da influência do tempo e tipo de cura na resistência à compressão de corpos de prova de concretos das classes C25 E C40. / Thaís Vanessa de Lima Sales. – Aracaju, 2023.

66 f. : il.

Orientador: Prof. Me. Euler Wagner Freitas Santos. Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2023.

1. Hidratação do cimento. 2. Cura do concreto. 3. Resistência do concreto. 4. Tratamento estatístico. I. Santos, Euler Wagner Freitas. II. Título.

CDU 691.32

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 247

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO E TIPO DE CURA NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETOS DAS CLASSES C25 E
C40**

THAIS VANESSA DE LIMA SALES

Esta monografia foi apresentada às 08 h 30 do dia 11 de JANEIRO de 20 23 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados.

Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.



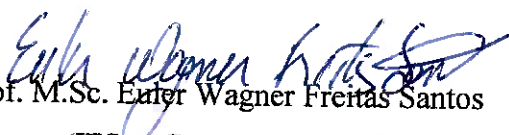
Prof^ª. Dr^ª. Carla Cristina Nascimento
Santos Pereira

(IFS – Campus Aracaju)



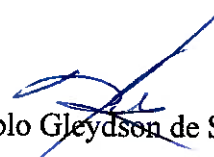
Prof. M.Sc. Marcílio Fabiano Goivinho

(IFS – Campus Aracaju)



Prof. M.Sc. Euler Wagner Freitas Santos

(IFS – Campus Aracaju)
Orientador



Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa

(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

Dedico este trabalho ao meu pai (*in memoriam*),
por ter sido o meu maior incentivador,
à minha filha e aos meus afilhados,
pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Escrever esse texto remete a todo histórico de momentos vivenciados que permitiram o alcance desse sonho. A vida acadêmica, quando se deseja realizar com dedicação e responsabilidade, é sabido/esperado que compreende um grande desafio. Entretanto, ocorreram fatos marcantes como a maternidade e o falecimento do meu pai, que potencializaram as dificuldades impostas, mas que, graças a Deus, foram encarados como motivos para maior força de vontade na busca pelas minhas realizações.

Nesse contexto, algumas pessoas foram essenciais ao longo dessa graduação para que todas as demandas pertinentes fossem atendidas da forma necessária/planejada. Portanto, gostaria de registrar aqui a minha gratidão por todas as contribuições feitas durante essa etapa tão importante, seja na forma de incentivos, aconselhamentos, momentos de distração compartilhados (necessários), cuidados com Marina na minha ausência, e diversas outras formas. Obrigada a minha mãe; ao meu irmão Thales; a Marcel e sua família, especialmente, Margarida, Marcelo, Luciana e Kênia; às colegas de turma, em especial, Geiziane, Gabriela, Tatiana, Carla e Aline; e demais amigos e familiares.

Gostaria de agradecer ainda aos que propiciaram o desenvolvimento desse estudo e o desfecho desse ciclo conforme idealizado:

Ao Prof. M.Sc. Euler Wagner, pela completa orientação, carregada de muito conhecimento, de uma forma tão dedicada, didática e paciente.

À Supermix, por ter concedido as informações e os insumos necessários para a produção dos concretos, mas também, à Votorantim, pela doação dos sacos de cimento.

Aos técnicos da COLED, por toda disposição e assistência dada para que toda a parte experimental ocorresse corretamente.

Aos meus parceiros de estudo, Elisa e Anderson, pelas preocupações e esforços compartilhados.

Por fim, agradeço a todos os professores da COEC, por repartirem os conhecimentos, aprendizados e experiências sempre com muita dedicação.

RESUMO

SALES, Thaís Vanessa de Lima. **Estudo da influência do tempo e tipo de cura na resistência à compressão de corpos de prova de concretos das classes C25 e C40**. 66f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2023.

O concreto é amplamente empregado na construção civil, principalmente devido a sua boa resistência mecânica e durabilidade. A produção desse material envolve uma série de operações que devem ser executadas corretamente para a garantia do desempenho esperado. Uma das últimas etapas dessa sequência consiste nos procedimentos de cura. Através deles, são conferidas ao concreto as condições necessárias para a continuação das reações de hidratação do cimento, as quais resultam nos produtos responsáveis pelo desenvolvimento da resistência do concreto. Embora apresente grande importância, trata-se de uma etapa comumente negligenciada nas obras, sobretudo, por questões de aceleração da produtividade e falta de conhecimentos teóricos. Portanto, o objetivo desse trabalho é analisar o efeito da cura no desenvolvimento da resistência associando como variáveis o tempo de cura (3, 7 e 28 dias) e o método de cura (molhagem constante e imersão). Para isso, foram moldados corpos de prova de concreto de duas classes de resistência usuais na cidade de Aracaju/SE (C25 e C40), os quais foram observados conforme as variáveis de estudo (tempo e tipo de cura) e, posteriormente, sob ensaio de resistência à compressão. Os resultados obtidos foram submetidos a tratamentos estatísticos e permitiram verificar que, tanto os corpos de prova curados por molhagem quanto os imersos, não apresentaram evolução significativa da resistência mesmo sendo curados por maiores períodos de tempo. Ao analisar a influência do tipo de cura para a resistência, observou-se que os corpos de prova submetidos a cura por imersão apresentaram aumento significativo da resistência em detrimento dos curados por molhagem.

Palavras-chave: Hidratação do cimento. Cura do concreto. Resistência do concreto. Tratamentos estatísticos.

ABSTRACT

SALES, Thaís Vanessa de Lima Sales. ***Study of the influence of time and type of curing on the compressive strength of concrete specimens of classes C25 and C40.*** 66f. Monography (Bachelor of Civil Engeneering) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2023.

Concrete is widely used in civil construction, mainly due to its good mechanical strength and durability. The production of this material involves a series of operations that must be performed correctly to guarantee the expected performance. One of the last steps in this sequence is the healing procedures. Through them, the necessary conditions are conferred to the concrete for the continuation of the hydration reactions of the cement, which result in the products responsible for the development of the resistance of the concrete. Although it is of great importance, it is a commonly neglected stage in construction works, mainly due to productivity acceleration and lack of theoretical knowledge. Therefore, the objective of this work is to analyze the effect of curing on the development of resistance, associating curing time (3, 7 and 28 days) and curing method (constant wetting and immersion) as variables. For this, concrete specimens of two usual resistance classes in the city of Aracaju/SE (C25 and C40) were molded, which were observed according to the study variables (time and type of curing) and, later, under test of compressive strength. The results obtained were submitted to statistical treatments and allowed verifying that, both the specimens cured by wetting and the immersed ones, they did not present significant evolution of the resistance even being cured for longer periods of time. When analyzing the influence of the type of cure on resistance, it was observed that the specimens subjected to immersion curing showed a significant increase in resistance to the detriment of those cured by wetting.

Keywords: Cement hydration. Concrete curing. Concrete strength. Statistical treatments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Slump Test: (a) Aparelhagem; (b) Leitura do abatimento.	16
Figura 2 - Fluxograma do processo de produção do cimento Portland.....	21
Figura 3 - Composição química do clínquer.	24
Figura 4 - Desenvolvimento da resistência dos constituintes do cimento.	25
Figura 5 - Cristais de etringita sobre grão de cimento.	26
Figura 6 - Modelos da estrutura do C-S-H: (a) Powers; (b) Feldman-Sereda; (c) Munich; (d) Jennings.....	28
Figura 7 - Velocidades de formação dos produtos hidratados.....	29
Figura 8 - Tipos de água em relação ao C-S-H.	32
Figura 9 - Isolamento de concreto recém-lançado para evitar solicitações prematuras.....	33
Figura 10 - Cura por molhagem constante com uso de mangueira.	35
Figura 11 - Cura úmida com uso de aspersor.	36
Figura 12 - (a) Cura por alagamento; (b) Cura com manta saturada.	37
Figura 13 - Cura química.....	38
Figura 14 - Materiais utilizados na produção dos concretos: (a) brita; (b) areia artificial; (c) areia natural e (d) aditivos.....	42
Figura 15 - Secagem das areias artificial e natural em estufa.	44
Figura 16 - Pesagem do cimento Portland e do aditivo.	45
Figura 17 – Travamento e aplicação de desmoldante nos corpos cilíndricos de dimensões 100 mmx200 mm.	45
Figura 18 - Colocação dos insumos na betoneira: (a) Colocação da areia natural; (b) Colocação dos aditivos.	46
Figura 19 - CPs recém-moldados.....	47
Figura 20 - <i>Slump Test</i>	47
Figura 21 - Proteção da superfície dos CPs com lâmina d'água.	48
Figura 22 - (a) Cura por Molhagem Constante; (b) Cura por Imersão.	50
Figura 23 - (a) Prensa hidráulica; (b) CP posicionado no equipamento; (c) CP fraturado após ensaio	50
Figura 24 - Variação da resistência à compressão com o tempo dos CPs da classe C25 nas duas condições de cura.	52
Figura 25 – Variação da resistência à compressão com o tempo dos CPs da classe C40 nas duas condições de cura.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do concreto estrutural quanto à resistência.	15
Tabela 2 - Tipos de cimento e suas composições.	22
Tabela 3 – Teor dos compostos químicos presentes nas matérias primas do cimento.	23
Tabela 4 - Principais constituintes do clínquer Portland.	24
Tabela 5 - Formação dos principais produtos da hidratação do cimento Portland. ...	27
Tabela 6 - Tempo mínimo de cura.	34
Tabela 7 - Características físicas dos insumos.	43
Tabela 8 - Classes de agressividade ambiental.	43
Tabela 9 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.	44
Tabela 10 - N° de CPs para para cada idade e forma de cura, classes C25 e C40..	49
Tabela 11 - Resultados do ensaio de resistência à compressão, médias e desvios padrão dos CPs de concreto C25.	51
Tabela 12 - Resultados da ANOVA para as resistências dos CPs do concreto C25.	52
Tabela 13 - Comparação das médias das resistências dos CPs de classe de concreto C25 com a DMS de acordo com os tempos de cura.....	53
Tabela 14 - Comparação das médias dos CPs de classe de concreto C25 com a DMS de acordo com os tipos de cura.	54
Tabela 15 - Resultados do ensaio de resistência à compressão, médias e desvios padrões dos CPs de concreto C40.	55
Tabela 16 - Resultados da ANOVA para as resistências dos CPs do concreto C40.	56
Tabela 17 - Comparação das médias das resistências dos CPs de classe de concreto C40 com a DMS de acordo com os tempos de cura.....	57
Tabela 18 - Comparação das médias das resistências dos CPs de classe de concreto C40 com a DMS de acordo com os tipos de cura.	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1	DEFINIÇÃO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	15
3.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO	16
3.3	CONSTITUINTES DO CONCRETO	17
3.3.1	Agregados	18
3.3.2	Cimento Portland.....	20
3.3.2.1	Sobre os produtos da hidratação do cimento Portland	28
3.3.3	Água de Amassamento	30
3.3.4	Aditivos.....	32
3.4	CURA DO CONCRETO.....	33
3.4.1	Tipos de Cura.....	35
3.4.2	Influência da cura no desempenho do concreto.....	38
3.5	TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS	40
3.5.1	Análise de Variância	40
3.5.2	Teste de Tukey.....	41
4	METODOLOGIA	42
4.1	ATIVIDADES PRELIMINARES	42
4.2	CONCRETOS PRODUZIDOS: CLASSES C25 E C40.....	43
4.3	PREPARO DOS INSUMOS E MOLDES.....	44
4.4	PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	46
4.5	CURA DOS CONCRETOS	48
4.6	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1	ANÁLISE DOS CONCRETOS DA CLASSE C25	51
5.2	ANÁLISE DOS CONCRETOS DA CLASSE C40	55
6	CONCLUSÃO	58
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	60
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O concreto compreende o segundo material mais utilizado no mundo, apresentando consumo inferior apenas ao da água. É empregado em todos os países nos mais variados tipos de construção, caracterizando-se pelo material estrutural mais preponderante no Brasil (BASTOS, 2019). Esse vasto emprego pode ser justificado por uma série de razões. Segundo Mehta e Monteiro (2014), o concreto se destaca em relação aos demais materiais (madeira, aço) por apresentar excelente resistência à água, podendo controlar, armazenar e transportar água sem ocorrência de deterioração séria, como exemplo disso, tem-se a sua aplicação em barragens, reservatórios e canalizações. Outra razão para esse uso intenso é a facilidade para executar estruturas de diferentes formas e tamanhos ocasionada pela consistência plástica do concreto no estado fresco. Outro aspecto de destaque corresponde ao fato dos materiais constituintes serem relativamente baratos e comumente disponíveis na maior parte do mundo.

Em Isaia (2011) enumeram-se como principais características que destacam o concreto como excelente material estrutural: boa resistência mecânica; disponibilidade de matéria-prima; versatilidade de moldagem; facilidade de execução (visto que não necessita de muita especialização e os equipamentos são relativamente simples); durabilidade; custo e sustentabilidade.

Com base nessas informações, nota-se que o concreto apresenta condições suficientes para utilização em obras das simples as mais complexas, sendo que, para a definição do concreto mais adequado, deve-se analisar as particularidades de cada situação como, por exemplo, o elemento construtivo a ser produzido (fins estruturais ou não), as especificações referentes às propriedades (resistência, consistência e trabalhabilidade), as técnicas de manipulação mais apropriadas/disponíveis e as limitações econômicas (NEVILLE, 2016; PETRUCCI, 1998).

O concreto é constituído por cimento Portland, agregados miúdo e graúdo, água, adições minerais e aditivos químicos - sendo facultativa a incorporação desses últimos, a qual depende de necessidades específicas durante a execução ou na edificação finalizada e em uso. Para a obtenção desse material estrutural, deve-se cumprir as seguintes operações básicas: mistura (responsável pela homogeneização), transporte, lançamento e adensamento, visando a redução de

vazios. Uma das últimas etapas de grande importância para garantia de qualidade e segurança do concreto corresponde a cura.

A cura consiste em procedimentos realizados nas fases iniciais de endurecimento do concreto a fim de controlar a temperatura e evitar a saída excessiva de água por evaporação, permitindo, dessa forma, a continuidade das reações de hidratação do cimento que diminuem com o tempo, em função da redução da disponibilidade de água. Essa importância dada às reações em questão ocorre em virtude delas resultarem nos produtos com características de pega e endurecimento [CSH, Ca(OH)_2 e Etringita], essenciais à manutenção da resistência final e da durabilidade do concreto (HELENE; LEVY, 2013; RECENA; PEREIRA, 2011).

Existem diferentes métodos de cura, o que permite o cumprimento dessa etapa atendendo a obras com as mais diversas necessidades, limitações técnicas/econômicas e condições climáticas (PEINADO, 2013). Apesar disso, a cura é usualmente negligenciada sendo interrompida bem antes de a máxima hidratação ter ocorrido. Os motivos para isso são, geralmente, a necessidade de liberação das áreas recém-lançadas para aceleração da produção; desconhecimento da importância desse procedimento para o desempenho do concreto; frequência de molhagem diária e quantidade de dias destinados a execução da cura insuficientes; e falta de fiscalização (ALVES, 2021). Portanto, são efeitos dessa deficiência de cura: retração plástica, aumento da permeabilidade, redução da resistência à abrasão e da resistência mecânica e; conseqüentemente, gastos precoces com a manutenção da edificação (NEVILLE, 2016).

De posse do descaso mencionado com esse procedimento tão essencial para a qualidade das estruturas, o presente trabalho tem por objetivo comprovar a interferência do tempo e tipo de cura na resistência do concreto, procurando simular a situação de cura recorrente nas obras e compará-la com a cura por imersão, em laboratório, de corpos de prova de concreto.

Portanto, esse trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: no item 2 são informadas as principais finalidades desse estudo; no item 3 são abordados conceitos e fenômenos sobre o concreto e o processo de cura desse material necessários para o entendimento dos conteúdos subsequentes; no item 4, descreve-se o passo-a-passo do procedimento executivo até a obtenção dos dados de interesse para análise; no item 5 são expostos os resultados e interpretados

conforme os conhecimentos teóricos pertinentes; por fim, a conclusão e as sugestões para trabalhos futuros estão expostas nos itens 6 e 7, respectivamente.

2 OBJETIVOS

Nessa seção serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos desse trabalho.

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar o comportamento da resistência à compressão de concretos das classes C25 e C40 curados por diferentes tempos e técnicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar a cura dos concretos das referidas classes por períodos de 3, 7 e 28 dias e analisar a influência dessa variável (tempo de cura) na evolução da resistência.

Realizar a cura dos concretos das referidas classes pelos métodos da molhagem constante e da imersão e analisar a influência dessa variável (tipo de cura) na evolução da resistência.

Comparar os diferentes tipos de cura com relação ao ganho de resistência considerando os tempos praticados nesse estudo.

Analisar os resultados por meio da Análise de Variância (ANOVA) e do Teste de Tukey para verificar quão significativa é a influência dos tratamentos de cura empregados neste trabalho para a resistência à compressão dos concretos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo desse item serão apresentados os principais conceitos e fenômenos referentes ao concreto de cimento Portland e ao procedimento de cura desse material, a fim de proporcionar uma base de informações suficientes para o entendimento desse estudo.

3.1 DEFINIÇÃO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Como está definido na ABNT NBR 12655:2022:

O concreto de cimento Portland é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água) (ABNT, 2022, p. 3).

Existem diversos tipos de concreto e, conseqüentemente, diferentes parâmetros que podem ser utilizados para classificá-los. Como, por exemplo, de acordo com: a adição de outros materiais aos componentes básicos (concreto com cinza volante, concreto com escória granulada de alto-forno, concreto com sílica ativa e concreto de alto desempenho); a técnica de lançamento (bombeado, projetado etc); e a introdução de barras de aço para conferir a estrutura maior resistência à tração (concreto armado e concreto protendido).

Segundo a resistência, que compreende um fator de importância para esse estudo, a ABNT NBR 8953:2015 apresenta as classes de concreto existentes divididas em grupo I e grupo II, conforme a Tabela 1. Em cada tipo, tem-se a letra C, que faz referência aos concretos normais (valores de massa específica entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³), seguida do valor da resistência característica à compressão aos 28 dias de idade, expressa em MPa (ARAÚJO, 2014).

Tabela 1 - Classificação do concreto estrutural quanto à resistência.

Grupo I	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Grupo II	C55	C60	C70	C80					

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015).

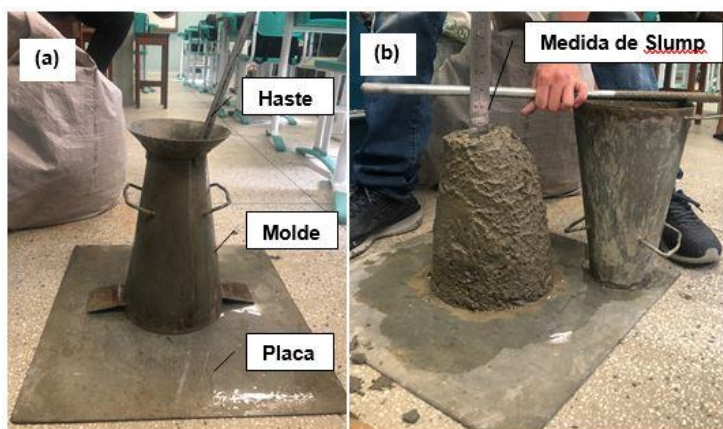
3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO

O concreto ocorre em dois estados físicos com características particulares. Inicialmente (após a mistura), apresenta-se no estado fresco, que compreende o período propício para o manuseio desse material (transporte, lançamento, adensamento e acabamento). Já no estado endurecido, o concreto adquire a resistência e o formato estrutural (ALVES, 2021). Existe ainda uma fase intermediária decorrente do fenômeno da pega, em que se inicia o processo de endurecimento do concreto e, portanto, a massa perde a trabalhabilidade.

Uma das principais propriedades associadas ao concreto no estado plástico consiste na trabalhabilidade. Conforme Weidmann (2008), essa propriedade está relacionada com a capacidade de adensamento do concreto de forma que a sua homogeneidade seja mantida. As especificações sobre a condição ideal dessa propriedade devem considerar os seguintes aspectos de obra: a dimensão das peças a serem concretadas, o espaçamento entre as armaduras, a quantidade de aço e as técnicas de lançamento e adensamento adotadas.

A avaliação prática da trabalhabilidade se dá pela consistência a qual é medida através do procedimento executivo descrito na ABNT NBR 16889:2020 - *Slump Test* (abatimento de tronco de cone), cujos materiais utilizados e suas respectivas funções são: molde tronco cônico, para comportar o concreto sob análise; haste metálica para fazer o adensamento das três camadas de concreto (25 golpes cada); placa metálica para nivelar a superfície e régua para medir a diferença entre a altura do cone e o topo do concreto assentado, que compreende o objetivo desse ensaio (ver Figura 1).

Figura 1 - Slump Test: (a) Aparelhagem; (b) Leitura do abatimento.



Fonte: A autora (2023).

Com relação às propriedades do concreto no estado endurecido, a resistência mecânica compreende a mais requerida, sendo definida como a capacidade de resistir à esforços sem ruptura e, até mesmo, à ocorrência de fissuras (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Por tratar-se de uma importante especificação de projeto, para a conferência quanto ao atendimento, pode ser facilmente ensaiada por meio do ensaio de resistência à compressão axial descrito na ABNT NBR 5739:2018, o qual será realizado no presente trabalho a fim de obter os valores de resistência necessários para análise da influência do tempo e tipo cura.

Embora a resistência seja apontada como a principal propriedade, para a maioria das aplicações, exige-se do concreto também a capacidade de resistência às intempéries que consiste na propriedade da durabilidade. Por ter uma relação inversamente proporcional com a porosidade, deve-se atentar para os seguintes aspectos a fim de evitar a entrada de agentes agressivos nos poros do concreto e de conservar a qualidade e capacidade de utilização da estrutura: realizar a dosagem adequada de cimento, utilizar uma relação água/cimento reduzida e executar o adensamento e a cura de forma correta (MEHTA; MONTEIRO, 2014). É importante ressaltar ainda que, embora a durabilidade e a resistência mecânica constituem propriedades distintas, elas são diretamente interligadas.

3.3 CONSTITUINTES DO CONCRETO

Cada constituinte apresenta uma função específica nas características do concreto seja no estado fresco ou endurecido. Do mesmo modo que cada fase componente desse sistema. Resumidamente, sabendo-se que pasta é a mistura do cimento com água; que argamassa é a mistura da pasta com a areia e que, acrescentando a brita, forma-se o concreto. A pasta atua preenchendo os espaços vazios entre os agregados e, com as reações químicas de hidratação do cimento, ela endurece junto a essas partículas formando um material sólido (BASTOS, 2019).

Com base nessas informações, verifica-se a importância do conhecimento do comportamento dos materiais componentes do concreto a fim de empregá-los corretamente. A seguir serão abordadas as definições e as influências desses materiais nas diversas propriedades do concreto.

3.3.1 Agregados

Define-se agregado como “material granular, sem forma ou volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas às obras de engenharia, em particular ao fabrico de concretos e argamassas de cimento Portland” (SBRIGHI NETO, 2011).

No concreto, eles ocupam pelo menos 3/4 do volume total (NEVILLE, 2016). Sua aplicação é bastante satisfatória tanto do ponto de vista econômico, uma vez que o seu custo é relativamente baixo em relação ao cimento, por exemplo; quanto do ponto de vista técnico, podendo exercer influência benéfica em propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido (PETRUCCI, 1998).

As propriedades do concreto ligadas aos agregados são a trabalhabilidade, a resistência, a durabilidade, a permeabilidade e a retração, podendo serem responsáveis por tais interferências as seguintes características dos agregados: distribuição granulométrica, formato dos grãos, qualidade e textura superficial.

Referente a trabalhabilidade, segundo Bauer (2014), as características dos agregados que podem ser associadas são: a forma dos grãos, onde é defendido que os grãos cubóides permitem maior trabalhabilidade em comparação aos grãos lamelares e alongados; e a distribuição granulométrica, pois dela dependerá a quantidade de água necessária à obtenção do fator água/cimento, isto é, quanto mais fino o grão ou mais elevada a superfície específica dele, necessitará de mais água para conseguir a trabalhabilidade necessária ao tipo de concreto desejado. Nesse contexto (da trabalhabilidade), Barboza (2016) cita também a influência da textura superficial e explica que “agregados redondos e lisos facilitam a mistura e o adensamento do concreto”.

Embora os grãos irregulares possam prejudicar a homogeneidade do concreto ao ficarem presos entre as armaduras instaladas nas fôrmas, o seu formato e superfícies ásperas têm grande vantagem ao conferir maior aderência (com pasta e nervuras do aço) e, conseqüentemente, maior resistência (BAUER, 2014).

Falando-se em resistência, fatores ligados aos agregados (citados anteriormente) podem também afetá-la. A distribuição granulométrica, por exemplo, pode contribuir para o aumento da resistência aos esforços de compressão e, até mesmo, determinar o módulo de elasticidade do concreto, desde que sua composição proporcione um bom grau de compacidade/estabilidade dimensional. A qualidade dos grãos influencia nessa última propriedade, mas também na resistência

à abrasão, sendo importante a escolha de materiais que não desagregam ao sofrerem atrito/impacto. Nesse contexto, análises prévias dos agregados também são de grande relevância para evitar reações álcali-agregado (que causam perda de durabilidade e resistência da estrutura de concreto). Outra característica é a textura superficial, sendo mais favorável o uso de agregados de faces ásperas não só para melhor resistência à tração, mas também à compressão (por possibilitar maior aderência) (BARBOZA, 2016; BAUER, 2014).

Relativo à durabilidade, o aspecto ligado aos agregados que pode influenciá-la compreende à capacidade dos agregados reagirem quimicamente com componentes que entrarem em contato, como o cimento e as armaduras, ou o meio ambiente. Devendo, para obtenção de um concreto com boa durabilidade, apresentarem atividade química nula (BAUER, 2014). Além dessa característica, pode-se considerar que todos os fatores associados à manutenção da resistência (granulometria, qualidade e textura dos grãos) afetam, conseqüentemente, a durabilidade do sistema. Nesse contexto, é importante comentar sobre a norma ABNT NBR 7211:2022, a qual especifica os requisitos exigíveis para a recepção e produção dos agregados destinados à utilização no concreto. Dentre as especificações, são expostos, nas Tabelas 3 e 7 da norma, os limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo e graúdo, respectivamente, e os métodos de ensaio para verificação dos percentuais toleráveis. Sendo considerados nocivos os materiais argilosos, carbonosos, superfinos (pulverulentos) e orgânicos por poderem afetar a hidratação e endurecimento do cimento, a proteção contra a corrosão das armaduras, a durabilidade e o aspecto visual externo do concreto.

Por fim, com relação a influência dos agregados nas propriedades de permeabilidade e retração, tem-se que: na primeira, trata-se, mais uma vez, da composição granulométrica que deve ser dosada de maneira a obter uma distribuição contínua para obtenção de um concreto com elevado grau de compacidade, o que o fará menos permeável (BAUER, 2014). Sobre a retração, os agregados são importantes na “redução das possíveis variações de volume provenientes de causas várias” (PETRUCCI, 1998).

Partindo-se para a abordagem das classificações dos agregados. Quanto à origem, eles são divididos em naturais, britados e artificiais (SBRIGHI NETO, 2011). Os primeiros, são assim denominados, pois já se encontram na natureza na

condição de agregados (BAUER, 2014). Conforme Petrucci (1998), esses materiais são “provenientes da erosão, transporte e decomposição de detritos de desagregação de rochas pelos agentes de intemperismo”. Para utilização na construção civil, necessitam apenas da lavagem e classificação, são eles: areias de cava ou cursos d’água, pedregulhos e seixos rolados. Os britados são obtidos de matéria-prima natural, mas, para adquirirem as dimensões padronizadas dos agregados, necessitam de trituração, são eles: areias e pedras obtidas de rochas. Por fim, os artificiais compreendem aqueles que passaram por algum processo industrial, não exclusivamente a britagem como, por exemplo a argila expandida e vermiculita (AMBROZEWICZ, 2012; BASTOS, 2019; SBRIGHI NETO, 2011).

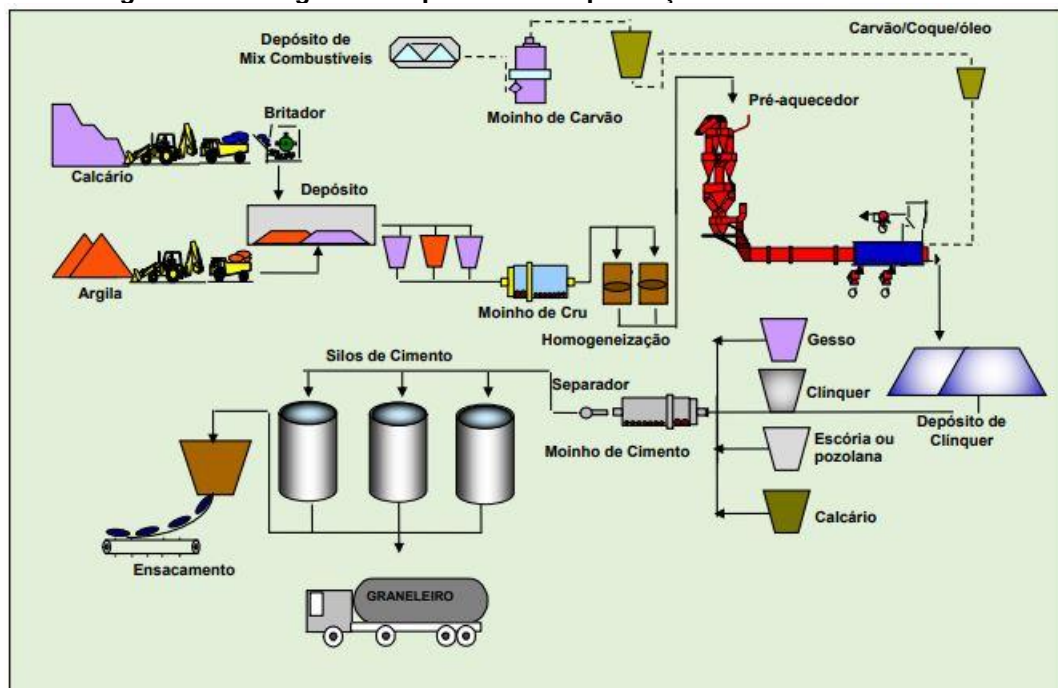
Quanto às dimensões, os agregados são classificados em miúdos e graúdos. Segundo a norma ABNT NBR 7211:2022, os miúdos são os grãos que passam pela peneira nº4, cuja abertura de malha é de 4,75 mm, e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. Já os agregados graúdos são os materiais que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira nº4. A pedra britada, ou simplesmente brita, é o agregado graúdo mais utilizado na construção civil e quanto ao tamanho dos seus grãos são divididas em pedrisco, brita 0, brita 1, brita 2, brita 3, brita 4 e brita 5; sendo que são empregadas, principalmente, as britas 1, 2 e 3. Contudo, Bastos (2019) fala da importância de verificar a possibilidade de utilização da brita 2 em concretos, dependendo das dimensões das peças e taxas de armadura, porque isso pode diminuir o custo da estrutura.

3.3.2 Cimento Portland

Há dois tipos de aglomerantes: os Aéreos e os Hidráulicos. No primeiro caso, os produtos finais não apresentam resistência quando submetidos ao contato com a água, dissolvendo-se lentamente, trata-se da cal e do gesso. Enquanto os produtos da hidratação do aglomerante hidráulico são estáveis em meio aquoso, e é nesse tipo que o cimento Portland está inserido. O cimento Portland é um material finamente pulverizado, essencial na produção do concreto. Na forma anidra não manifesta nenhuma utilidade. Entretanto, ao ser colocado em contato com a água, desenvolve propriedade adesiva/ligante, resultando, após determinado tempo, em um produto homogêneo endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O cimento Portland é obtido, resumidamente, da seguinte forma: faz-se a moagem dos materiais que consistem nas matérias-primas, calcário e argila; mistura-os em proporções predeterminadas e submete a mistura à queima em grande forno rotativo, obtendo-se pequenas esferas conhecidas como clínquer. Em seguida, realiza-se o resfriamento dele e a adição de pequeno teor de sulfato de cálcio (gipsita). E, por fim, é feita uma última moagem da qual resulta o cimento (BAUER, 2019; NEVILLE, 2016). A Figura 2 mostra um fluxograma contendo as etapas de produção do cimento.

Figura 2 - Fluxograma do processo de produção do cimento Portland.



Fonte: Battagin e Battagin (2010).

Na etapa de moagem, juntamente ao clínquer e ao sulfato de cálcio, geralmente são feitas adições de escória granulada de alto-forno, material pozolânico e/ou material carbonático (fíler) a fim de controlar propriedades físicas e químicas do cimento e atribuir características especiais de relevância para a execução da obra e/ou para o desempenho da edificação concluída (NEVILLE, 2016). Além disso, existem as vantagens da utilização dessas adições referentes a contribuição na redução dos impactos ambientais provocados pela indústria de cimento, podendo citar, por exemplo: o aproveitamento de resíduos de outras indústrias, como a escória de alto-forno que é um resíduo da fabricação do ferro-gusa, colaborando, assim, para a redução do consumo de recursos naturais e da emissão de gases poluentes (DAL MOLIN, 2011).

Relativo às contribuições desses materiais para as características técnicas do cimento, segundo Dal Molin (2011): as pozolanas e escórias têm ação química, desenvolvendo propriedades cimentíceas na presença de umidade; e o fíler compreende um superfino que apresenta ação física, podendo proporcionar o empacotamento granulométrico (preenchimento dos vazios da pasta) e atuar como ponto de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento. De acordo com Neville (2016), as ações físicas do fíler têm consequências benéficas para a trabalhabilidade, massa específica, permeabilidade, exsudação capilar e tendência a fissuração; entretanto foi mencionada a possibilidade desse material também desenvolver propriedades hidráulicas. Em Battagin (2011), as contribuições dessas adições são explicadas, de forma resumida:

Quando adicionadas ao cimento, as pozolanas e escórias combinam-se e/ou são ativadas pelo hidróxido de cálcio liberado nas reações de hidratação do clínquer, originando compostos com propriedades ligantes ao passo que os fileres calcários melhoram a compacidade e trabalhabilidade dos concretos e argamassas fazendo o papel de ponte entre os produtos de hidratação e, em menor escala também formando produtos hidratados (BATTAGIN, 2011, p. 202).

Existem vários tipos de cimento Portland os quais se diferem em função da composição, da proporção dos materiais constituintes e da classe de resistência, sendo 25, 32 e 40 as classes existentes, cujos valores referem-se à resistência à compressão mínima requisitada aos 28 dias (em MPa). Outros aspectos ainda que podem diferenciá-los corresponde o atendimento às seguintes necessidades: resistência aos sulfatos, onde acrescenta-se o sufixo RS à sigla do cimento; e baixo calor de hidratação (BC) (BATTAGIN, 2011; NEVILLE, 2016). A Tabela 2 faz o detalhamento dos tipos de cimento existentes acompanhado dos limites de composição em porcentagem, dentre outras informações importantes.

Tabela 2 - Tipos de cimento e suas composições.

Cimento		Clínquer + gesso (%)	Escória granulada de alto- forno (sigla E) (%)	Material pozolânico (sigla Z) (%)	Material carbonático (sigla F) (%)	Sufixo
Designação	Sigla					
Portland Comum	CPI	95-100	0-5	0	0	RS ou BC
	CPI-S	90-94	0	0	6-10	

Tabela 2 – Tipos de cimento e duas composições (continuação).

Portland Composto	CPII-E	51-94	6-34	0	0-15	RS ou BC
	CPII-Z	71-94	0	6-14	0-15	
	CPII-F	75-89	0	0	11-25	
Portland de Alto Forno	CPIII	25-65	35-75	0	0-10	
Portland Pozolânico	CPIV	45-85	0	15-50	0-10	
Portland de Alta Resistência	CPV	90-100	0	0	0-10	

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

As proporções das matérias-primas utilizadas na fabricação do cimento assim como a finura dos compostos são fatores determinantes nas propriedades do cimento e nas propriedades do concreto, por isso é importante um rigoroso controle tecnológico na fabricação desse aglomerante.

Em relação a composição química da matéria prima, a argila caracteriza-se pela presença de sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3); e o calcário pela presença predominante de carbonato de cálcio (CaCO_3). Entretanto, há também certa quantidade de magnésia (MgO) e impurezas como, por exemplo, o óxido de titânio (TiO_2), o óxido de sódio (Na_2O) e o óxido de potássio (K_2O). Sendo esses dois últimos, inclusive, os álcalis que podem reagir com agregados do concreto (reação álcali-agregado) (BAUER, 2019). Na Tabela 3 são mostradas as proporções das matérias-primas usadas na fabricação do cimento, segundo Bauer (2019).

Tabela 3 – Teor dos compostos químicos presentes nas matérias primas do cimento.

Matéria-prima	Quantidade (%)
Óxido de cálcio (CaO)	95 a 96
Sílica (SiO_2)	
Alumina (Al_2O_3)	
Óxido de ferro (Fe_2O_3)	
Magnésia (MgO)	2 a 3
Óxidos menores	1 a 2

Fonte: Bauer (2019).

Após os procedimentos descritos, ocorrem combinações químicas e a formação de compostos químicos do clínquer Portland, sendo os principais apresentados na Tabela 4. Na química do cimento, as fórmulas moleculares, tanto

dos compostos anidridos quanto dos compostos hidratados do cimento, são simplificadas e representadas por uma letra ($\text{CaO}=\text{C}$, $\text{SiO}_2=\text{S}$, $\text{Al}_2\text{O}_3=\text{A}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=\text{F}$, $\text{MgO}=\text{M}$, $\text{K}_2\text{O}=\text{K}$, $\text{SO}_3=\bar{\text{S}}$, $\text{H}_2\text{O}=\text{H}$) (NEVILLE, 2016; BATTAGIN, 2012).

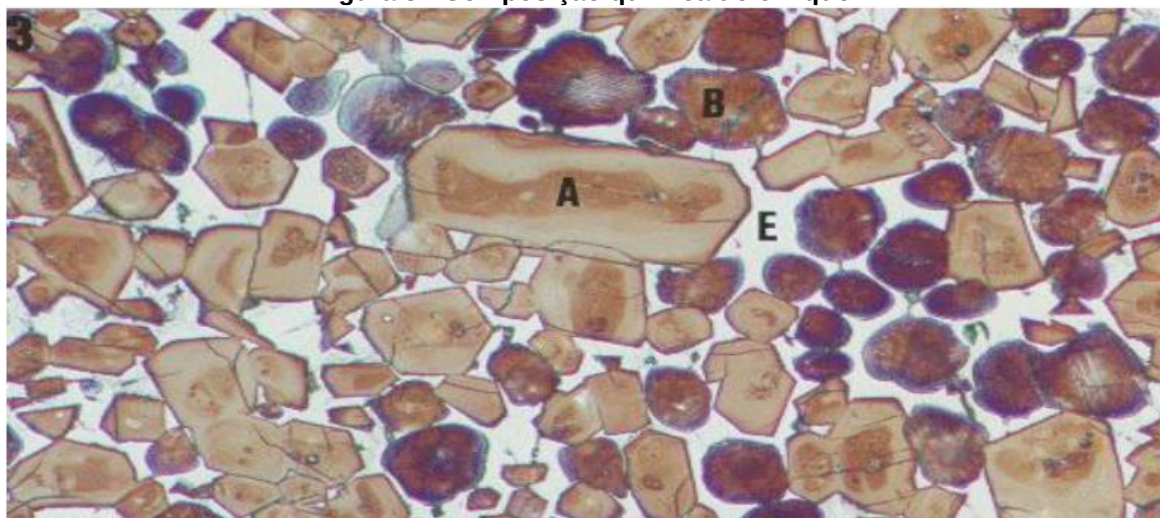
Tabela 4 - Principais constituintes do clínquer Portland.

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S (alita)
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S (belita)
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A (fase intersticial)
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF (fase intersticial)

Fonte: Neville (2016).

A Figura 3, que corresponde a uma fotomicrografia, mostra a microestrutura do clínquer e os formatos típicos dos seus constituintes. As alitas (indicadas pela letra A) são cristais equidimensionais ou alongados; as belitas (B) são cristais mais arredondados; já a fase intersticial (E) não apresenta formato definido, pois, sofre fusão na clinquerização, se instalando entre os cristais de alita e belita (BATTAGIN, 2011).

Figura 3 - Composição química do clínquer.

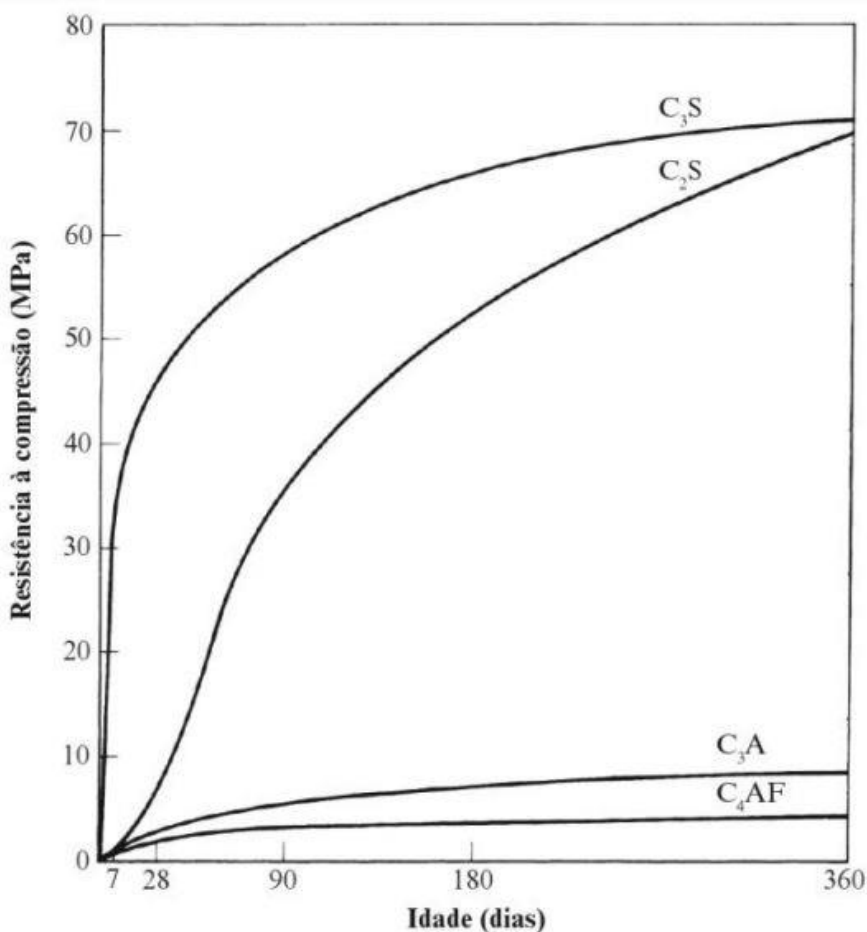


Fonte: ABCP (2005) *apud* Battagin (2011).

Esses elementos são destacados pois, quando hidratados, geram os produtos que são os principais responsáveis pelo desenvolvimento da pega e da resistência do sistema. Referente a resistência, os silicatos (C_3S e C_2S) são considerados os maiores responsáveis por essa propriedade na pasta de cimento, fato que é justificado pela presença de óxidos secundários em sua composição os quais têm efeito significativo no seu arranjo atômico, na forma dos cristais e nas propriedades hidráulicas. Entretanto, os silicatos em questão atuam em idades diferentes: o

primeiro atua especialmente nas primeiras quatro semanas, e o segundo, no ganho de resistência em idades mais avançadas. Na idade próxima a um ano, as contribuições são similares. Tais comportamentos são mostrados na Figura 4. Já o C_3A , embora não seja possível observar no gráfico, conforme a literatura, é o principal responsável pela resistência nas idades iniciais (BAUER, 2019; NEVILLE, 2016).

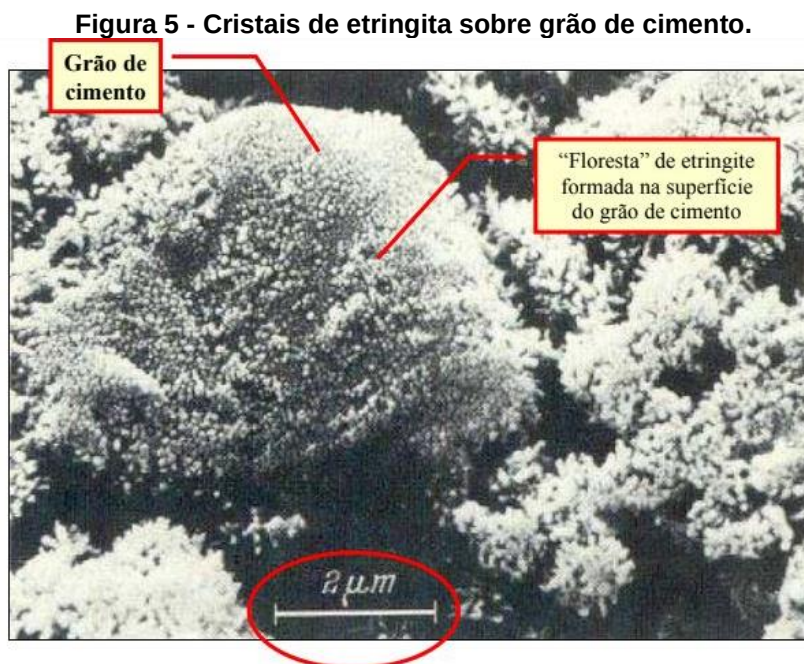
Figura 4 - Desenvolvimento da resistência dos constituintes do cimento.



Fonte: Bogue (1955) *apud* Neville (2016).

Referente a influência dessas substâncias na pega da pasta de cimento, o C_3A é considerado o principal responsável por essa propriedade seguido do C_3S (BAUER, 2019). Segundo Battagin (2011), o primeiro componente apresenta reatividade muito elevada o que justifica a adição do sulfato de cálcio no processo de fabricação do cimento a fim de controlar o tempo de hidratação; e o teor adicionado depende da quantidade de C_3A e de álcalis, bem como da finura do cimento. Nesse contexto, o gesso atua da seguinte forma: dissolve-se na água e reage com parte dos aluminatos formando, na superfície do grão, cristais aciculares de etringita, a qual impede a continuação da hidratação por algumas horas (período

de dormência) (THOMAZ, s.d.). Conforme Mehta e Monteiro (2014), “caso a reação rápida de hidratação do C_3A não fosse de alguma forma desacelerada, o cimento Portland não teria utilidade para a maioria dos propósitos de construção”. A Figura 5 compreende uma micrografia eletrônica de varredura (M.E.V.) e permite visualizar a camada de etringita formada sobre o grão de cimento.



Fonte: Thomaz (s.d.).

Por fim, relativo às contribuições do C_4AF , de acordo com Bauer (2014), “comparado com os outros três compostos, ele não afeta significativamente no comportamento da pasta mas, ao reagir com o sulfato de cálcio forma o sulfoferrito de cálcio o qual pode acelerar a hidratação do silicatos”.

De posse dessas informações, torna-se então necessário abordar o processo de hidratação propriamente dito, pois essa reação da água com o cimento é essencialmente o que ocorre na química do concreto e propicia a obtenção da massa sólida e resistente (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Diversas teorias foram propostas a fim de explicar os mecanismos de hidratação do cimento Portland. Como mencionado anteriormente, esse material constitui uma mistura bastante heterogênea em termos de quantidade e atuação dos seus elementos, fato que acarreta na complexidade de seu comportamento em meio aquoso (BULLARD *et al.*, 2011 *apud* COSTA, 2020). Uma das teorias mais aceitas/difundidas defende o fenômeno da dissolução-precipitação seguida da difusão (reação topoquímica) (MEHTA; MONTEIRO, 2014; SCRIVENER *et al.*, 2019 *apud* COSTA, 2020).

Segundo Cincotto (2011), essas duas fases da hidratação do cimento ocorrem da seguinte forma: na primeira etapa, cujo mecanismo de hidratação é a dissolução-precipitação, ocorre a dissolução das partículas do cimento, as quais passam a ter cargas superficialmente (íons) e, conseqüentemente, aglomeram-se e formam produtos hidratados. Esses compostos são pouco solúveis, dessa forma, precipitam no meio causando gradativamente o enrijecimento da mistura. De acordo com Garcia, Oliveira e Pandofelli (2007), “esse processo de dissolução continua até que a solução atinja um nível de saturação suficiente para promover uma precipitação massiva”.

Já na segunda fase, a hidratação ocorre por difusão, onde a água presente nos poros da pasta dirige-se para dentro das partículas possibilitando a hidratação de fases ainda anidras. Portanto, nota-se que a solubilidade e a reatividade do cimento são propriedades fundamentais para o desenvolvimento desses fenômenos (CINCOTTO, 2011).

Como resultado das combinações entre as várias espécies iônicas, os principais produtos gerados na hidratação do cimento Portland, em termos de maior influência nas propriedades do concreto fresco e endurecido são: o sulfoaluminato de cálcio hidratado (CASH), chamado etringita; o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2 - portlandita) e o silicato de cálcio hidratado (C-S-H). O primeiro é obtido da reação do C_3A com o gesso ocasionada pela presença da água; e os dois últimos são resultantes da reação dos silicatos C_3S e C_2S com água. É importante ressaltar que o hidróxido em questão pode provir também de cal livre. A Tabela 5 apresenta as reações estequiométricas para pastas de cimento completamente hidratadas (CINCOTTO, 2011; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Tabela 5 - Formação dos principais produtos da hidratação do cimento Portland.

Produto	Reação	Abreviação
Sulfoaluminato de cálcio hidratado (Etringita)	$\text{C}_3\text{A} + 3\text{C}\bar{\text{S}}\text{H}_2 + 26\text{H} \rightarrow \text{C}_6\text{A}\bar{\text{S}}_3\text{H}_{32}$	$\text{CA}\bar{\text{S}}\text{H}$
Silicato de cálcio hidratado e Hidróxido de cálcio (Portlandita)	$2\text{C}_3\text{S} + 6\text{H} \rightarrow \text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3 + 3\text{CH}$ $2\text{C}_2\text{S} + 4\text{H} \rightarrow \text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3 + \text{CH}$	C-S-H e CH

Fonte: Isaia (2011) e Thomaz (s.d.).

Cada um desses componentes apresenta particularidades que influenciam nas propriedades do concreto/pasta de cimento. Com relação a contribuição deles para a resistência, que é considerada a principal propriedade do concreto no estado endurecido, são características importantes desses produtos da hidratação: a

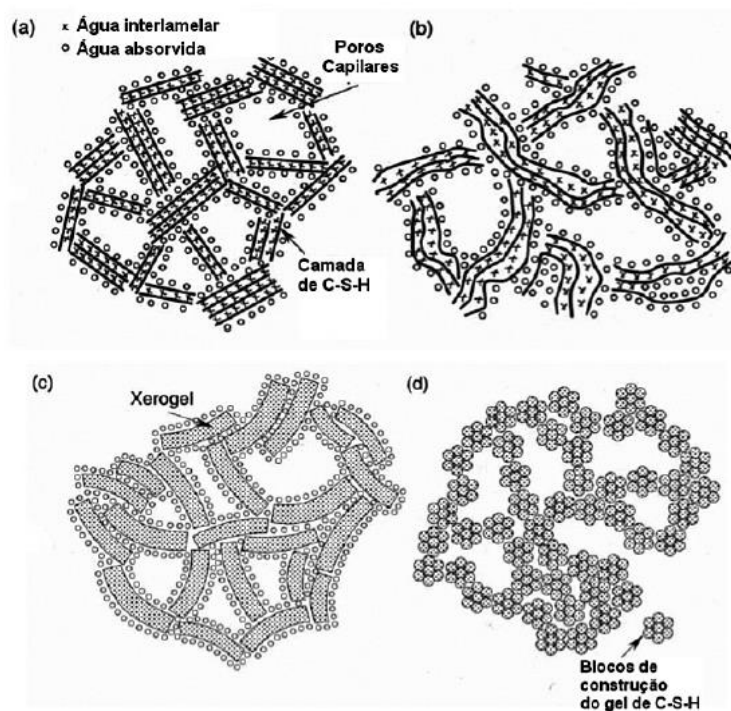
extensão da sua área superficial e a natureza dela. Pois determinam o grau de adesão entre esses produtos, com os grãos de clínquer anidro e com os agregados. Nesse contexto, tem-se que as forças de atração predominantes são as ligações de Van der Waals (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A seguir serão detalhados os percentuais, informações sobre microestrutura e interferências na resistência de cada um dos principais produtos em questão.

3.3.2.1 Sobre os produtos da hidratação do cimento Portland

O silicato de cálcio hidratado ocorre em maior proporção (50% a 60% do volume de sólidos da pasta totalmente hidratada) e, em relação aos demais produtos, consiste na fase determinante das propriedades (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Não é conhecida a sua estrutura exata, sendo em Paulon e Kirchheim (2011) apresentados quatro modelos diferentes da estrutura do C-H-S - Powers, Feldman-Sereda, Munich e Jennings (ver Figura 6). Entretanto, é comum associar a sua importância para a resistência à sua elevada área específica.

Figura 6 - Modelos da estrutura do C-S-H: (a) Powers; (b) Feldman-Sereda; (c) Munich; (d) Jennings.



Fonte: Paulon e Kirchheim (2011).

O hidróxido de cálcio corresponde a 20% a 25% do volume de sólidos e comparado aos silicatos de cálcio hidratados, apresentam contribuição limitada em

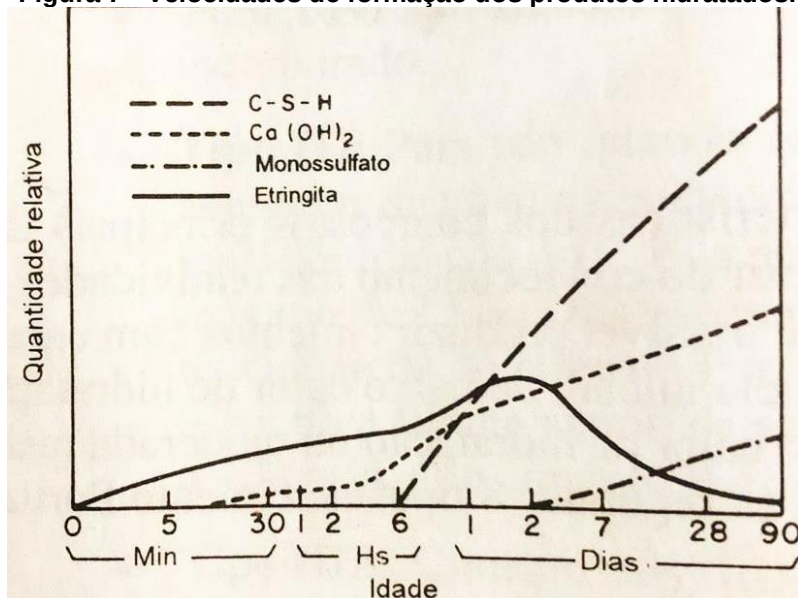
virtude da sua área superficial ser consideravelmente menor. Além disso, existe o inconveniente desse produto que está associado à sua elevada solubilidade, o que pode causar a degradação do concreto por sua baixa estabilidade química (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Por fim, os sulfoaluminatos de cálcio ocupam de 15% a 20% e possuem papel secundário, que se refere a redução da velocidade de hidratação dos aluminatos (PAULON; KIRCHHEIM 2011).

Um aspecto de grande relevância para esse estudo, refere-se as velocidades de hidratação dos componentes do clínquer. Nos estágios iniciais da hidratação, os diferentes compostos se hidratam com velocidades diferentes. Esse fato é justificado por Garcia, Oliveira e Pandofelli (2007) da seguinte forma:

A velocidade de hidratação e de precipitação dos hidratos formados é fortemente dependente da composição cristalina do material de partida, bem como da estrutura dos produtos que se formam durante a precipitação. Este último aspecto é influenciado, principalmente, pelo teor de água disponível, pelo tempo de reação, pela temperatura e pela relação entre as concentrações dos íons [...] que são geradas em solução durante o processo de dissolução das fases anidras (GARCIA et al., 2007, p.44).

A Figura 7 mostra as curvas de velocidades típicas de formação de produtos hidratados em uma pasta de cimento Portland comum. Percebe-se que a etringita é formada nos primeiros minutos e, horas depois, o hidróxido de cálcio seguido do C-S-H (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Figura 7 - Velocidades de formação dos produtos hidratados.



Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

Por fim, outra característica da hidratação do cimento Portland, de importância para esse trabalho, é o fato dessas reações serem exotérmicas. Ou

seja, uma quantidade de calor é liberada durante esse processo, o que pode ser benéfico ou prejudicial, a depender da situação.

No caso de manuseio do concreto sob baixas temperaturas, pode ocorrer o retardamento da pega, então esse calor de hidratação auxilia fornecendo energia de ativação. Com relação aos concretos “quentes”, há consequências negativas tanto para o concreto fresco quanto para a sua integridade no estado endurecido. A elevada temperatura pode acelerar a hidratação e causar perda do abatimento mais rapidamente, mas também, causar degradação precoce com o aparecimento de fissuras já nos primeiros dias após o seu lançamento, conforme será melhor abordado no item 3.4.2 (BERTOLINI, 2010; FERRARI, 2017).

Através dessa abordagem pôde-se observar a importância das reações de hidratação do cimento, as quais resultam nos produtos essenciais à manutenção da resistência final do concreto. Como foi mencionado, esse processo de hidratação é relativamente lento e pode ser prejudicado por efeito de temperatura interna (devido liberação de calor durante as reações) e/ou por condições ambientais. Desse modo, torna-se nítida a necessidade dos processos de cura, os quais compreendem procedimentos visando a continuidade da hidratação do cimento e é o principal objeto de estudo deste trabalho.

3.3.3 Água de Amassamento

De acordo com o conteúdo abordado no item 3.3.2.1, é possível perceber a importância do emprego da água na produção do concreto. A grande contribuição da água nesse contexto é devido a sua capacidade de dissolver inúmeras substâncias, fato que justifica o seu título de solvente universal (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

Esse elemento promove a hidratação do cimento Portland e, o fato das reações químicas ocorrerem de forma gradativa influencia na velocidade do ganho de consistência, o que colabora, inicialmente, para o manuseio e a moldagem do concreto; e, posteriormente, para o esperado enrijecimento do sistema. Dessa forma, nota-se a importância da água para as propriedades do concreto tanto no estado fresco (trabalhabilidade) quanto no estado endurecido (resistência) (BASTOS 2019; ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

Entretanto, alguns aspectos da água interferem nessas propriedades do concreto e em sua durabilidade, dentre eles: a qualidade da água utilizada e a quantidade de água em relação a mistura seca. No primeiro caso, a influência ocorre

conforme a presença e o teor de impurezas na água, as quais podem afetar o tempo de pega e a resistência; e/ou provocar eflorescências e corrosão das armaduras (ALVES, 2021). A ABNT NBR 15900:2009 apresenta os parâmetros que devem ser analisados, os requisitos e os procedimentos de ensaio para a verificação de atendimento à norma. Alguns dos aspectos observados são: óleos/gorduras, cor, material sólido, odor, matéria orgânica, cloretos, entre outros. O uso da água de abastecimento público não demanda a realização desses ensaios mas, para a utilização de águas de outras procedências (subterrâneas, pluviais e residuais de indústrias, por exemplo) é necessário avaliar a qualidade através dos métodos prescritos na norma. É importante salientar que as águas obtidas dessas outras fontes estão sendo cada vez mais demandadas por questões ambientais, econômicas e sociais (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

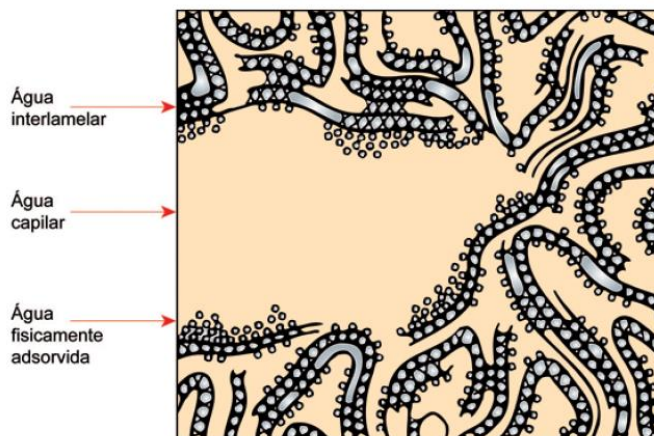
No segundo caso, que se refere a quantidade de água, deve-se certificar do emprego de proporção adequada desse líquido, pois a sua insuficiência pode gerar problemas de ordem executiva, com a obtenção de misturas pouco trabalháveis e preenchimento irregular das fôrmas além de problemas na estrutura endurecida, com a presença de falhas, como os ninhos/bicheiras e um cobrimento apenas parcial das armaduras. Já o excesso de água pode também ser prejudicial, por aumentar a quantidade e o tamanho dos vazios no sistema após a evaporação desse elemento, causando, por exemplo, a perda de resistência (ALVES, 2021).

Falando-se em perda de água por evaporação, já foram mencionados como causas a temperatura interna (gerada pelo calor de hidratação) e as condições ambientais (umidade relativa do ar, ventos fortes, radiação solar). Como trata-se de um dos motivos da necessidade da cura do concreto, que é objeto de estudo desse trabalho, é importante ressaltar que a dificuldade ou a facilidade da água ser removida, nesse contexto, depende também da sua localização na microestrutura (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De acordo com a localização na microestrutura, a água pode ser classificada em: água adsorvida, aquela aderida à superfície do sólido podendo ser perdida por secagem da pasta devido umidade relativa de 30%; água interlamelar, compõe a estrutura do C-S-H, sendo perdida por secagem a 11% de umidade relativa; água quimicamente combinada, parte integrante dos produtos hidratados e é perdida apenas pela decomposição deles provocada por aquecimento; e água capilar, a presente nos vazios, que não sofre atração das superfícies sólidas. Cada tipo

apresenta comportamento característico de retração quando a ocorrência da perda de uma delas (MEHTA; MONTEIRO, 2008). A Figura 8 mostra os tipos de água em relação ao C-S-H.

Figura 8 - Tipos de água em relação ao C-S-H.



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

3.3.4 Aditivos

Na ABNT NBR 11768:2019, os aditivos são definidos como:

Produto adicionado e misturado no concreto, em quantidade geralmente não superior a 5% da massa de ligante total contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto no estado fresco e/ou no estado endurecido (ABNT, 2019, p. 3).

Em outras palavras, essas substâncias são acrescentadas à mistura do concreto a fim de atribuir/melhorar qualidades ou amenizar características indesejadas, podendo controlar, intencionalmente, propriedades do concreto no seu estado fresco e endurecido e, além disso, ser aplicado nos mais variados tipos de concreto desde os secos aos autoadensáveis (BAUER, 2019).

De acordo com a função que exercem, os aditivos são classificados, resumidamente, em: redutor de água/plastificante, de alta redução de água/superplastificante, incorporador de ar, acelerador de pega, acelerador de resistência e retardador de pega, cujas designações são acompanhadas de abreviações especificadas na norma e alguns desses aditivos podem dividir-se em mais de um tipo (ABNT, 2019).

Referente aos procedimentos para a sua utilização, Bauer (2019) explica que “os aditivos devem ser colocados na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto”. Em Andrade e Tutikian (2011) são citados fatores que devem receber uma atenção maior por poderem interferir no desempenho do elemento em

questão, são eles: a dosagem, a homogeneização do aditivo (devido as diferentes densidades dos constituintes) e o ato da mistura, que deve garantir a completa dispersão do aditivo na massa.

3.4 CURA DO CONCRETO

Para a obtenção de um concreto de boa qualidade, deve-se realizar todas as etapas pertinentes de forma correta e cuidadosa, desde a seleção dos materiais constituintes até a manipulação do concreto (mistura, transporte, lançamento nas fôrmas e adensamento). Uma das últimas etapas de grande importância corresponde a cura.

Os procedimentos dessa etapa visam a proteção das regiões superficiais das peças de concreto nos seus estágios iniciais de endurecimento, a fim de evitar a perda da água de amassamento por evaporação e de controlar a temperatura. Medidas para evitar a ocorrência de solicitações prematuras provenientes, por exemplo, da retirada de escoramentos ou do movimento de indivíduos e equipamentos podem comprometer a cura se ocorrerem de forma precoce e sem respeitar o tempo de cura (ver Figura 9) (HELENE; LEVY, 2013; RECENA; PEREIRA, 2011).

Figura 9 - Isolamento de concreto recém-lançado para evitar solicitações prematuras.



Fonte: Faria (2006).

Uma questão importante refere-se à duração desse procedimento. Alves (2021) apresenta o tempo de cura entendido como necessário, do ponto de vista de diferentes autores, que é associado aos tipos de concreto ou ao alcance de determinado valor de resistência/grau de hidratação. Em Peinado (2013), são

apresentados os tempos mínimos de cura determinados em função da relação a/c e do tipo de cimento, como mostra a Tabela 6, em virtude desses fatores influenciarem na resistência. Entretanto, para Bauer (2019), deve-se levar em consideração também, além do tipo de cimento usado, “[...] o prazo de retirada de escora, a geometria da peça, a exposição ao sol e vento, bem como outros fatores climáticos no local ou na ocasião”.

Tabela 6 - Tempo mínimo de cura.

Tipo de cimento	Relação água-cimento			
	0,35	0,55	0,65	0,70
CP I e II-32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP IV-32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP III-32	2 dias	5 dias	7 dias	10 dias
CP I e II-40	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias
CP V-ARI	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias

Fonte: Peinado (2013).

Conforme a ABNT NBR 14931:2004, o concreto deve ser curado até atingir o endurecimento satisfatório. No caso das lajes, essa norma especifica que esse procedimento deve ser realizado até que seja atingida a resistência à compressão característica igual ou superior à 15 MPa. Desse modo, observa-se que, na maioria dos casos, não é estabelecido um tempo definido para a realização da cura, apenas orientações técnicas, entretanto, é constatado que “quanto maior a duração da cura, maior a resistência” (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Na prática, ciclos de cura relativamente extensos são evitados por afetarem a velocidade de produção da obra, ao retardarem a execução das atividades subsequentes, mas também, por demandarem maior disponibilidade de tempo da mão-de-obra, a depender do procedimento adotado (NEVILLE, 2016; PEINADO, 2013).

Entretanto, ao reduzir o tempo destinado à cura, abdica-se de certo padrão de qualidade do concreto. Porém, é necessário conciliar essas questões a fim de atender, pelo menos, aos requisitos mínimos exigidos de resistência e de durabilidade (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

3.4.1 Tipos de Cura

A cura pode ser realizada de diferentes formas. Segundo Peinado (2013), “a escolha do tipo dependerá do material disponível na obra, do tamanho e do formato da estrutura, das condições climáticas, além de aspectos econômicos e estéticos”.

O método mais simples e usual consiste na molhagem das peças em concreto através de mangueiras ou regadores em intervalos frequentes (ver Figura 10). O seu emprego depende da disponibilidade de água e da distribuição das saídas desse recurso na obra; do tamanho da mangueira; da acessibilidade às peças (para que não ofereça riscos); e da disponibilidade de mão de obra para molhar os elementos com a frequência diária necessária (PEINADO, 2013; RECENA; PEREIRA, 2011).

Figura 10 - Cura por molhagem constante com uso de mangueira.



Fonte: Peinado (2013).

Outras técnicas semelhantes consistem na molhagem com o uso de aspersores ou de mangueiras microperfuradas (semelhantes às utilizadas na irrigação de plantações), as quais apresentam as vantagens de maior autonomia e economia de água em relação ao primeiro procedimento. O desempenho dessas técnicas dependerá da disposição correta desses elementos, devendo-se assegurar de que toda a superfície será molhada. Portanto, são mais indicadas para lajes e pisos, em detrimento de estruturas com maior área superficial no sentido vertical. Deve-se evitá-las também em superfícies inclinadas, pois com a tendência natural de escoamento da água, as cotas mais altas terão sua cura prejudicada por não haver retenção de água (ver Figura 11) (ALVES, 2021; PEINADO, 2013).

Figura 11 - Cura úmida com uso de aspersor.



Fonte: Faria (2006).

Para as situações em que há possibilidade de acumular água na superfície, ou seja, em lajes e pisos, se constituírem pequenas áreas, pode ser realizada também a cura por alagamento, sendo a água retida através da colocação de barreiras de areia, de serragem ou de madeira. Dessa forma, a reposição de água ocorre com menor frequência e, conseqüentemente, há menor comprometimento do tempo da mão de obra. A cura com tecidos saturados (por exemplo, feltro e juta) apresenta também essa última vantagem em virtude da capacidade desses materiais de reter a água. Entretanto, devido ao espaçamento significativo entre seus fios, não ocorre o impedimento da evaporação do concreto nesse método e, frequentemente, as mantas devem ser umedecidas. Nesse contexto, existem também as mantas impermeáveis (plásticas e, até mesmo, de papel), as quais impedem a perda de água, mas não permitem a sua inserção (BAUER, 2019; RECENA; PEREIRA, 2011) (ver Figura 12).

Figura 12 - (a) Cura por alagamento; (b) Cura com manta saturada.



Fonte: Faria (2006).

Para os elementos localizados a certa altura do piso ou com maior área superficial no sentido vertical, e cujas fôrmas cobrem grande parte de suas faces, como lajes e vigas, pode-se utilizar esses moldes como instrumento de cura e a inserção da água no concreto é realizado por meio do seu umedecimento (BAUER, 2019; NEVILLE, 2016).

Nos casos em que há a necessidade de manuseio das peças pouco tempo após a sua concretagem, como nas fábricas de pré-moldados, recorre-se a cura por imersão ou a cura a vapor. Esses métodos fornecem condições para a aceleração das reações de hidratação e, conseqüentemente, do ganho de resistência, contribuindo então para maior produtividade. A primeira técnica consiste na inserção das peças em tanques com água, sendo possível o seu emprego apenas na fabricação de peças de pequenas dimensões. A segunda técnica submete as peças ao vapor e aumento de temperatura em ambiente fechado (PEINADO, 2013; RECENA; PEREIRA, 2011). Segundo Bauer (2019), essas condições “favorecem extremamente o rápido endurecimento do concreto, que atinge, após um dia de cura, resistências que podem equivaler àquelas desenvolvidas aos 28 dias, quando da utilização de cura úmida normal”.

Em Silva *et al.* (2009) *apud* Andrade e Tutikian (2011), foi possível notar também a eficiência dessa técnica, pois ao serem realizadas as curas térmica e sob temperatura ambiente, os corpos-de-prova submetidos à temperatura de 60°C apresentaram resistências 90%, 34% e 16% maiores que os concretos curados à

temperatura ambiente, de 12 horas, 3 dias e 21 dias, respectivamente. Desse modo, pode-se concluir desse trabalho que o efeito da cura térmica é significativo apenas nas primeiras horas, com o passar dos dias, o aumento é menor.

Por fim, pode-se citar ainda a cura química, que corresponde a utilização de produtos químicos nas peças recém concretadas formando uma película impermeabilizante cujo objetivo é impedir a saída de água do concreto (ver Figura 13). Ao definir esse método para uma obra, deve-se analisar as camadas posteriores (argamassas ou pinturas), pois dependendo da natureza do material, a aderência do sistema pode ser prejudicada (PEINADO, 2013).

Figura 13 - Cura química.



Fonte: Faria (2006).

Como foi visto, há uma diversidade de procedimentos de cura dos simples aos mais avançados tecnologicamente, que podem ser realizados conforme um único método, mas também, de forma combinada. E as denominações podem sofrer alterações de acordo com cada autor, entretanto os mecanismos são basicamente os expostos anteriormente. No presente trabalho, os corpos de prova de concreto foram submetidos às curas por molhagem e por imersão.

3.4.2 Influência da cura no desempenho do concreto

A qualidade do concreto no estado endurecido é associada, principalmente, a sua resistência e durabilidade (conforme item 3.2). Os procedimentos de cura têm grande contribuição para o desenvolvimento dessas propriedades. Como foi mencionando anteriormente, a velocidade de hidratação do cimento Portland, que é relativamente lenta; a difusão da água (em excesso) do interior para o meio

ambiente e o aumento de temperatura são os fatores característicos da produção de concreto que afetam diretamente essas propriedades e, portanto, justificam a necessidade da cura. A seguir, será feito um breve detalhamento das consequências negativas desses fatores no desempenho do concreto para um melhor entendimento.

No caso da grande perda de água por evaporação, ocorre o impedimento da hidratação completa do aglomerante e, conseqüentemente, da formação efetiva dos produtos que conferem o endurecimento do sistema, deixando vazios no concreto. Conforme Mehta e Monteiro (2014), “a porosidade possui uma relação inversa com a resistência”. Entretanto, além do comprometimento da resistência à compressão, a durabilidade do concreto endurecido pode ser afetada, pois dependendo das dimensões dos poros formados e do seu grau de conexão, eles podem abrigar/transportar água e agentes agressivos, favorecendo a deterioração do sistema (BERTOLINI, 2010). Em outras palavras, “secagens prematuras resultam em camadas superficiais porosas com baixa resistência ao ataque de agentes agressivos e facilmente fissuráveis” (HELENE; LEVY, 2013).

Sobre o aparecimento de fissuras, Thomaz (2020) explica que se deve ao fato da ocorrência de variações dimensionais do concreto provocadas pelas alterações do teor de água no sistema: o seu aumento produz a expansão e a sua diminuição, a contração (é a chamada retração hidráulica). Quando essas movimentações são limitadas, serão geradas tensões de tração. Dessa forma, segundo Santos, Bittencourt e Graça (2011), a fissuração ocorrerá “(...) quando a tensão de tração ou a capacidade de deformação do concreto é ultrapassada”.

Partindo-se para a análise das consequências do aumento da temperatura ocasionado pela característica exotérmica das reações de hidratação e/ou pelas condições climáticas, a retração térmica acompanhada da fissuração compreendem os principais efeitos negativos. Esse fenômeno ocorre de maneira análoga ao explicado no parágrafo anterior, sendo que a elevação da temperatura provoca a dilatação do concreto e a redução da temperatura, a contração (THOMAZ, 2020).

Diante do que foi exposto, é importante ressaltar ainda que a ocorrência de poros e fissuras nas estruturas, além de ser prejudicial para a resistência e durabilidade do concreto, gera um desconforto estético (NEVILLE, 2016).

Nesse contexto, a cura se faz importante ao conceder as condições para a continuidade das reações químicas (seja por saturação ou impermeabilização) e o

controle da temperatura. Se seguida de forma correta, incluindo os procedimentos anteriores a ela, para Fernandes (2008), *apud* Helene e Levy (2013), “(...) será conferido ao concreto as melhores condições para se tornar um material de baixa permeabilidade, de baixa absorção de água, de alta resistência à carbonatação e à difusão de íons e com resistência mecânica e durabilidade adequadas (...)”.

Entretanto, mesmo diante de tamanha importância para o desempenho do concreto, é muito comum o desinteresse pela prática da cura, o que é justificado por Alves (2021) pela “pressa na execução, falta de conhecimento sobre a importância e quantidade de dias insuficiente ou falta de fiscalização”.

3.5 TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS

Em estudos cujas conclusões baseiam-se na análise de diferenças entre médias, o uso apenas desses valores pode não ser suficiente a ponto de gerar afirmativas confiáveis sobre determinados assuntos. As diferenças podem, realmente, decorrerem da influência dos tratamentos empregados, mas existe a possibilidade de serem apenas devido uma variabilidade entre os dados amostrais. Além disso, pode ocorrer o equívoco de apontar diferença entre médias decorrentes de pequenas variações mínimas inconclusivas (ASSUNÇÃO *et al.*, 2021).

Nesse contexto, para obter uma análise mais aprofundada em comparação de médias, pode-se recorrer aos tratamentos da Análise de Variância associada ao Teste de Tukey, os quais serão brevemente abordados nos itens 3.5.1 e 3.5.2.

3.5.1 Análise de Variância

A Análise de Variância (ANOVA) corresponde a um método de tratamento de dados muito utilizado em estudos do meio acadêmico nas mais diversas áreas de conhecimento e é empregado para verificar a existência de variação significativa entre médias de diferentes grupos de um estudo.

Esse método envolve, basicamente, a interpretação de uma tabela que é gerada pela ANOVA, ao submeter os dados amostrais a esse tratamento estatístico. Essa interpretação consiste na verificação das duas hipóteses existentes (nula ou alternativa) e indicação de qual será rejeitada/adotada conforme o que estabelece cada hipótese dessa. A primeira (nula – H_0) indica que todas médias são iguais e deve ser adotada quando o parâmetro F da tabela não ultrapassa o $F_{crítico}$, assim como o valor-P ultrapassa o grau de significância. Já a hipótese alternativa (H_1)

indica a existência de ao menos uma diferença, devendo ser aceita quando o parâmetro F da tabela é maior que o $F_{\text{crítico}}$, assim como o valor-P não ultrapassa o grau de significância (QUEIROZ, 2019).

3.5.2 Teste de Tukey

No caso da aceitação da hipótese alternativa, faz-se necessário identificar a média discrepante em relação às demais, conseqüentemente, o melhor tratamento empregado. Portanto, o Teste de Tukey compreende um método apropriado para resolver essa situação. A aplicação dele envolve a formação de todos os pares de médias possíveis e a comparação da diferença entre esses pares de médias com a Diferença Mínima Significativa (DMS), portanto, as médias são consideradas diferentes quando o valor da DMS é superior a diferença entre as médias (ASSUNÇÃO *et al.*, 2021).

4 METODOLOGIA

Nesse item serão descritos os procedimentos seguidos para o alcance dos objetivos deste estudo.

4.1 ATIVIDADES PRELIMINARES

Os procedimentos iniciais foram direcionados a busca por traços de concreto utilizados na prática. Então, os traços e os insumos desse trabalho foram concedidos por uma concreteira que atende a demanda de concreto usinado do mercado de construção civil do estado de Sergipe.

Os materiais utilizados para a produção dos concretos foram a brita 0 (agregado graúdo), as areias natural de cava fina e artificial de gnaiss (agregados miúdos), o cimento Portland CII F 40 e os aditivos Muraplast FK 320 (polifuncional) e Hydrakem Novakem (estabilizador de hidratação), esses últimos empregados a fim de controlar a plasticidade do concreto e a velocidade de pega da pasta de cimento, respectivamente (ver Figura 14).

Figura 14 - Materiais utilizados na produção dos concretos: (a) brita; (b) areia artificial; (c) areia natural e (d) aditivos.



Fonte: A autora (2022).

De posse desses insumos, fez-se a secagem e a separação dos agregados e, no caso do cimento, apenas a pesagem; como preparação para os ensaios de caracterização, etapa muito importante em razão da influência deles na dosagem, e nas propriedades do concreto fresco e do concreto endurecido.

Os valores obtidos nos ensaios de caracterização são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Características físicas dos insumos.

Insumos	Ensaio - Agregados		
	Granulometria D _{máx} (mm) ABNT NBR NM 248:2003	Massa Específica (g/cm ³) ABNT NBR NM 53:2009	Massa Unitária (g/cm ³) ABNT NBR NM 45:2006
Areia natural	2,4	2,605	1,930
Areia artificial	2,4	2,667	1,300
Brita 0	12,5	1,400	2,643
	Ensaio - Aglomerante hidráulico		
	Índice de Finura (%) ABNT NBR 11579:2012	Expansibilidade à Quente (mm) ABNT NBR 11582:2016	Tempo de Início de Pega (min) ABNT NBR 16607:2018
Cimento Portland	6,3	0,3	75

Fonte: A autora (2022).

4.2 CONCRETOS PRODUZIDOS: CLASSES C25 E C40

Foram produzidos concretos de classe de resistência C25 e C40, as quais foram escolhidas para serem empregadas nesse trabalho por corresponderem a resistências usuais de concretos utilizados nas obras da cidade de Aracaju. Entretanto, é importante salientar que Aracaju, por se tratar de uma região litorânea, o recomendado é admitir agressividade ambiental forte e, portanto, é classificada como classe III, conforme a ABNT NBR 6118:2014 (Tabela 8). Desse modo, o uso dos concretos de classe de resistência C25 não atenderia a essa recomendação (cujo mínimo de f_{ck} seria 30 MPa), conforme a Tabela 9.

Tabela 8 - Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submersa	

Tabela 8 – Classes de agressividade ambiental (continuação).

II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 9 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação a/c em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Partindo-se então para o detalhamento dos procedimentos, a produção de cada tipo de concreto ocorreu seguindo os procedimentos descritos nos itens 4.3 ao 4.6.

4.3 PREPARO DOS INSUMOS E MOLDES

Inicialmente, foi necessário fazer a secagem dos agregados em estufa por 24 horas para a eliminação de eventual umidade (Figura 15). A presença de água nesses materiais, a depender da quantidade, pode provocar a alteração da relação água/cimento estabelecida na dosagem e, conseqüentemente, das propriedades esperadas para o concreto.

Figura 15 - Secagem das areias artificial e natural em estufa.

Fonte: A autora (2022).

Após o período de secagem, os insumos foram pesados em balanças apropriadas de acordo com as quantidades definidas no traço disponibilizado: uma balança com capacidade de carga menor para a pesagem dos aditivos químicos (carga máxima de 2200 g e precisão de 0,01 g) e outra, empregada na pesagem dos agregados e do cimento, com capacidade de 60 kg e precisão de 0,5 g (Figura 16).

Figura 16 - Pesagem do cimento Portland e do aditivo.



Fonte: A autora (2022).

Paralelamente a essa etapa, realizou-se a preparação dos moldes cilíndricos para o recebimento do concreto. Os moldes foram travados e untados a fim de impedir vazamentos e aderência do concreto, respectivamente (Figura 17). Os procedimentos envolvidos nessa etapa e nos itens subsequentes (4.4 e 4.5) foram efetuados seguindo as orientações da ABNT NBR 5738:2015 - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Figura 17 – Travamento e aplicação de desmoldante nos corpos cilíndricos de dimensões 100 mmx200 mm.



Fonte: A autora (2022).

4.4 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

De posse dos materiais devidamente pesados e estando os moldes untados, procedeu-se com a mistura do concreto, que ocorreu em uma betoneira com capacidade de 120 litros. Com o equipamento em funcionamento, os insumos foram inseridos, gradativamente, na seguinte ordem: primeiramente, a totalidade da brita, seguida da metade da água prevista no traço; e depois das areias artificial e natural. Por fim, colocou-se o cimento e o restante da água. Foi necessário fazer esse fracionamento na colocação da água para evitar a aderência dos materiais mais finos nas paredes da betoneira. Com relação aos aditivos, conforme é recomendado, eles foram inseridos após alguns minutos do início da mistura com todos os demais insumos já estando na betoneira (Figura 18).

Figura 18 - Colocação dos insumos na betoneira: (a) Colocação da areia natural; (b) Colocação dos aditivos.



Fonte: A autora (2022).

Após o período de mistura, de posse do concreto devidamente homogeneizado, prosseguiu-se com a sua moldagem nos corpos cilíndricos, tendo-se o cuidado de realizar o adensamento manual a cada camada, com doze golpes, conforme orienta a NBR 5738:2015. A Figura 19 apresenta os corpos de prova (CPs) recém-moldados.

Figura 19 - CPs recém-moldados.



Fonte: A autora (2022).

Reservou-se ainda uma porção de cada concreto a fim de realizar o *Slump Test*, que foi desenvolvido conforme a ABNT NBR 16889:2020 - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Esse ensaio permite a verificação de uma propriedade do concreto no estado fresco muito importante, a trabalhabilidade (ver item 3.2). Os valores obtidos para os concretos C25 e C40 foram, respectivamente, 160 mm e 120 mm. Na Figura 20 são apresentados os registros fotográficos da execução do *Slump Test*.

Figura 20 - *Slump Test*.



Fonte: A autora (2022).

Com relação a desfôrma, segundo a ABNT NBR 5738:2015, corpos-de-prova cilíndricos devem permanecer nas fôrmas por, no mínimo, 24 horas para garantir que não serão danificados durante a retirada. Entretanto, nesse trabalho, só foi possível fazer a desmoldagem após 48 horas, visto que, o concreto ainda não havia endurecido o suficiente. Uma justificativa para isso pode estar relacionada a utilização do aditivo que retarda o processo de pega da pasta de cimento e, consequentemente, a rigidez do concreto.

Relativo à cura, mesmo com os CPs ainda nos moldes, fez-se a proteção da superfície exposta com água, conforme a Figura 21. Após a desmoldagem, os CPs foram identificados e destinados aos seus respectivos métodos de cura: Imersão ou Molhagem Constante.

Figura 21 - Proteção da superfície dos CPs com lâmina d'água.



Fonte: A autora (2022).

4.5 CURA DOS CONCRETOS

Foi empregado um total de 36 corpos de prova (CPs) para análise, sendo 18 para cada classe de resistência. Esse quantitativo foi definido de maneira que resultasse em três corpos de prova para cada classe de resistência, idade e tipos de cura definidos, conforme disposto na Tabela 10. Observa-se a utilização de três CPs por grupo de análise.

Tabela 10 - N° de CPs para para cada idade e forma de cura, classes C25 e C40.

Tipo de Cura	Tempo de Cura (dias)		
	7	14	28
Imersão	3	3	3
Molhagem Constante	3	3	3

Fonte: A autora (2022).

Partindo-se para as justificativas dos tempos e métodos de cura praticados nesse trabalho: os ciclos de 3 e 7 dias foram empregados por atenderem a tempos mínimos recomendados pela literatura (como exposto na Tabela 6). Entretanto, o período de 28 dias é, teoricamente, o ideal considerando o fato de que os concretos serão rompidos nessa idade e que quanto maior o tempo de cura estima-se melhor para garantir o ganho de resistência, conforme defendido por Mehta e Monteiro (2014).

Relativo aos tipos de cura, a molhagem foi empregada por consistir no método mais usual. Nesse caso, utilizou-se uma trincha retangular para umedecer os CPs e, visando uma melhor simulação das condições reais, esse procedimento foi realizado duas vezes ao dia. Já na imersão, como o termo sugere, os corpos foram submersos em um tanque contendo água. Essa técnica foi aplicada pois, ao manter os CPs constantemente saturados, teoricamente, proporciona uma condição de cura ideal para a continuidade da hidratação do cimento, conforme observado por Bauer (2019). Dessa forma, será possível verificar a sua efetividade e compará-la com o outro método executado. Na Figura 22 são apresentados registros fotográficos dos dois procedimentos de cura empregados.

Figura 22 - (a) Cura por Molhagem Constante; (b) Cura por Imersão.

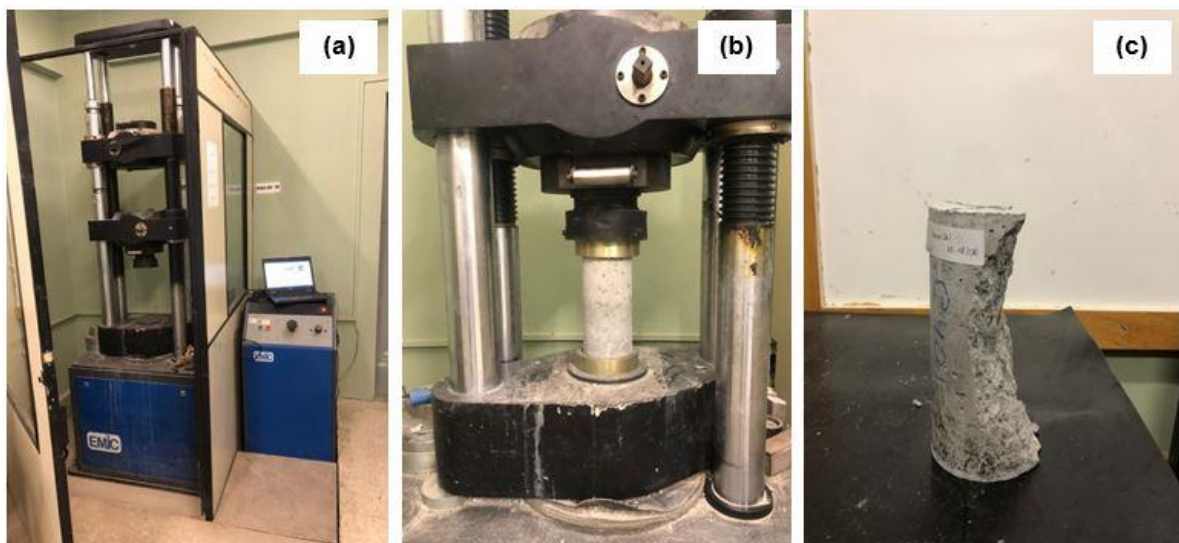


Fonte: A autora (2022).

4.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Finalizado o período de cura, os CPs foram submetidos a ruptura em uma prensa hidráulica do fabricante EMIC, modelo MUE-100, seguindo as orientações da ABNT NBR 5739:2018 (Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos), na idade de 30 dias, a fim da verificação das resistências à compressão e posterior análise dos resultados (ver Figura 23). Objetivando uniformização das tensões nos topos dos corpos de prova foi utilizado o anel com neoprene.

Figura 23 - (a) Prensa hidráulica; (b) CP posicionado no equipamento; (c) CP fraturado após ensaio



Fonte: A autora (2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e, baseado neles, será feita a análise comparativa entre os diferentes tempos e tipos de cura realizados nesse trabalho a fim de verificar as situações mais/menos favoráveis para o ganho de resistência dos corpos de prova (CPs) e relacioná-las com os conhecimentos da literatura.

Para melhor organização, as discussões dos resultados das duas classes de concreto empregadas (C25 e C40) serão realizadas separadamente. É importante ressaltar ainda que, em ambos os casos, foram aplicados os tratamentos estatísticos Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey, cuja interpretação permite verificar, respectivamente, a ocorrência de variação entre as médias das resistências e identificar os pares de médias que apresentaram, entre si, variação considerada significativa.

5.1 ANÁLISE DOS CONCRETOS DA CLASSE C25

Na Tabela 11 estão dispostas as resistências alcançadas pelos corpos de prova (CPs), obtidas no ensaio de resistência à compressão axial. Além disso, foram calculadas e inseridas nessa tabela as médias e os desvios padrão dos valores de resistência dos três CPs pertencentes a cada grupo de análise. Esses, por sua vez, foram definidos em função do tempo e forma de cura e serão indispensáveis para as análises.

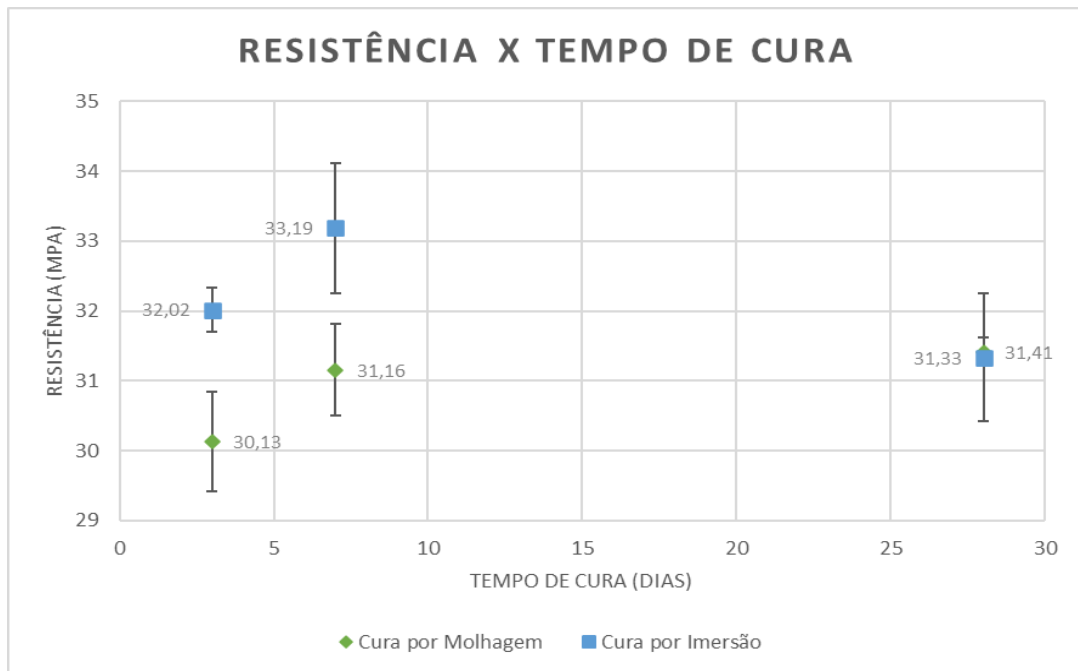
Tabela 11 - Resultados do ensaio de resistência à compressão, médias e desvios padrão dos CPs de concreto C25.

Classe do concreto - 25			
Cura por Molhagem Constante	Tempo de Cura		
	3 dias	7 dias	28 dias
	30,22	31,91	31,40
	29,38	30,88	31,22
	30,80	30,68	31,62
Média	30,13	31,16	31,41
Desvio Padrão	0,71	0,66	0,20
Cura por Imersão	32,11	33,32	32,29
	32,27	34,04	30,47
	31,67	32,20	31,24
	Média	32,02	33,19
Desvio Padrão	0,31	0,93	0,91

Fonte: A autora (2022).

Nos gráficos da Figura 24 são apresentados os resultados médios de resistência à compressão para os concretos da classe C25 considerando os dois tipos de cura.

Figura 24 - Variação da resistência à compressão com o tempo dos CPs da classe C25 nas duas condições de cura.



Fonte: A autora (2022).

Os valores de resistência foram submetidos a ANOVA (fator duplo com repetição) considerando um grau de confiança de 95%, obtendo-se o resultado mostrado na Tabela 12. Nessa tabela de saída da ANOVA, o valor do fator F maior que o F crítico assim como a probabilidade de significância (valor-P) menor que 0,05, tanto na linha “amostra” quanto na linha “colunas”, respectivamente, indicam a ocorrência de variação significativa da resistência por influência do tipo e do tempo de cura, respectivamente.

Tabela 12 - Resultados da ANOVA para as resistências dos CPs do concreto C25.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	7,347222	1	7,347222	15,87788	0,001811	4,747225
Colunas	3,858033	2	1,929017	4,168744	0,042199	3,885294
Dentro	5,5528	12	0,462733	-	-	-
Total	20,9222	17	-	-	-	-

Fonte: A autora (2022).

Para identificar os pares de médias que apresentaram essa diferença entre si recorreu-se ao Teste de Tukey. Com isso, foi calculada a diferença mínima significativa (DMS) e, a partir da formação dos pares de parâmetros a serem analisados, calculou-se as diferenças entre as suas médias. Ao comparar essas últimas com a DMS, pôde-se afirmar que, na cura por molhagem constante, não houve variação significativa de resistência para os concretos em função dos três tempos de cura objetos de estudo (3, 7 e, até mesmo, 28 dias), pois essas diferenças foram menores que a diferença mínima significativa (ver Tabela 13).

Matematicamente, as médias apresentaram valores distintos, ocorrendo um aumento de resistência de 3,42% entre os concretos curados por 3 e 7 dias; um aumento de 4,25% entre os CPs curados por 3 e 28 dias; e de 1,48% entre os curados por 7 e 28 dias. Apesar disso, como explicado no parágrafo anterior, estatisticamente, essa variação não foi significativa (ver Tabela 11 e Figura 24).

Tabela 13 - Comparação das médias das resistências dos CPs de classe de concreto C25 com a DMS de acordo com os tempos de cura.

Cura por Molhagem Constante			
Comparativo	DMS	Diferença entre médias	Conclusão
3 dias x 7 dias	1,48063	$30,13333 - 31,15667 = 1,023333$	Igual
3 dias x 28 dias	1,48063	$30,13333 - 31,41333 = 1,28$	Igual
7 dias x 28 dias	1,48063	$31,15667 - 31,41333 = 0,256667$	Igual
Cura por Imersão			
Comparativo	DMS	Diferença entre médias	Conclusão
3 dias x 7 dias	1,48063	$32,01667 - 33,18667 = 1,17$	Igual
3 dias x 28 dias	1,48063	$32,01667 - 31,33333 = 0,683333$	Igual
7 dias x 28 dias	1,48063	$33,18667 - 31,33333 = 1,853333$	Diferente

Fonte: A autora (2022).

Com relação aos CPs submetidos a cura por imersão, através da Tabela 13 é possível verificar a ocorrência de uma variação significativa de resistência apenas entre 7 e 28 dias. Entretanto, essa diferença foi proveniente da média das resistências dos CPs curados por 7 dias apresentar-se maior do que a média dos CPs curados por 28 dias. Portanto, esse fato não era esperado em virtude do que é consolidado pela literatura relativo à quanto maior for o tempo de cura, maior será a resistência esperada para o concreto, conforme pode ser observado no descrito por Recena e Pereira (2011) e Mehta e Monteiro (2014). Dessa forma, o resultado do Teste de Tukey permite concluir que não há variação significativa das resistências com o tempo de cura dos concretos submetidos ao método de cura por imersão.

Observando-se apenas as médias, embora, estatisticamente, não houve variação das resistências, no comparativo “3 dias e 7 dias”, esse aumento do tempo de permanência dos CPs no tanque, gerou um aumento de resistência dos concretos de 3,65% (ver Figura 24). Entretanto, apenas nesse comparativo o tempo de cura se mostrou mais efetivo, em detrimento dos comparativos envolvendo os CPs curados por 28 dias.

A redução da média dos CPs curados por 28 dias em relação as demais é resultante da variação da resistência entre os CPs desse grupo de análise (ver Tabela 11 e Figura 24), onde há valores de resistências bem inferiores aos observados nos grupos de análise correspondentes as idades de 3 e 7 dias. Essa situação poderia remeter a ocorrência de falhas no procedimento executivo, porém não se observou nos CPs do grupo de análise referentes a essa idade (28 dias) tratamento diferente do que foi dado para os CPs das outras duas idades. Por outro lado, esse fato pode indicar não ter havido ganho efetivo de resistência pelo maior intervalo de cura, no caso, 28 dias, mediante o emprego correto dos procedimentos de cura aqui empregados.

Por fim, na análise da influência do método de cura no ganho de resistência, como mencionado acima, a tabela da ANOVA (Tabela 12) indicou a existência de variação entre as médias das resistências. Dessa forma, ao ser aplicado o Teste de Tukey (ver Tabela 13), identificou-se diferença entre a cura por molhagem constante e a cura por imersão, realizadas por 3 e 7 dias. A cura por imersão resultou em concretos de resistências maiores que os curados por molhagem constante. Entretanto, conforme a Tabela 14, não houve variação entre as médias de resistência dos CPs curados por 28 dias em função do tipo de cura (cura por molhagem constante X cura por imersão).

Tabela 14 - Comparação das médias dos CPs de classe de concreto C25 com a DMS de acordo com os tipos de cura.

Comparativo (Molhagem Constante X Imersão)	DMS	Diferença entre médias	Conclusão
3 dias x 3 dias	1,48063	$30,13333 - 32,01667 = 1,883333$	Diferente
7 dias x 7 dias	1,48063	$31,15667 - 33,18667 = 2,03$	Diferente
28 dias x 28 dias	1,48063	$31,41333 - 31,33333 = 0,08$	Igual

Fonte: A autora (2022).

5.2 ANÁLISE DOS CONCRETOS DA CLASSE C40

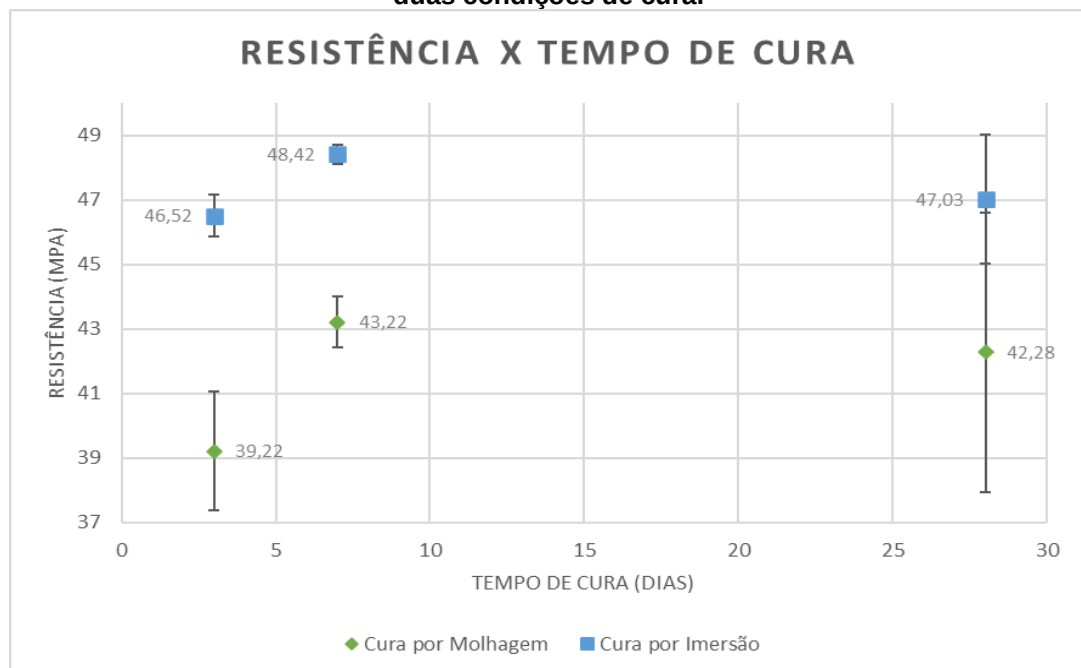
Com relação aos corpos de prova (CPs) de resistência característica de 40 MPa, os resultados do ensaio de compressão estão dispostos na Tabela 15 e nos gráficos da Figura 25, esta última permite uma melhor visualização e comparação das informações obtidas.

Tabela 15 - Resultados do ensaio de resistência à compressão, médias e desvios padrões dos CPs de concreto C40.

Classe do concreto - 40			
Cura por Molhagem Constante	Tempo de cura		
	3 dias	7 dias	28 dias
	40,61	44,12	45,24
	39,93	42,70	44,31
	37,13	42,84	37,30
Média	39,22	43,22	42,28
Desvio Padrão	1,84	0,78	4,34
Cura por Imersão	47,22	48,58	44,94
	46,39	48,09	47,25
	45,95	48,59	48,91
Média	46,52	48,42	47,03
Desvio Padrão	0,64	0,29	1,99

Fonte: A autora (2022).

Figura 25 – Variação da resistência à compressão com o tempo dos CPs da classe C40 nas duas condições de cura.



Fonte: A autora (2022).

Ao submeter os resultados ao tratamento estatístico Análise de Variância (ANOVA) - fator duplo com repetição, obteve-se a tabela de saída (ver Tabela 16) a qual permitiu coletar as seguintes informações: na linha “amostras”, que se refere às técnicas de cura realizadas, o valor do fator F maior do que o do F crítico (valor- $P < 0,05$) revela a ocorrência de diferença entre as médias e, portanto traduz a ocorrência de interferência do tipo de cura no ganho de resistência dos CPs. Já nas colunas, como o fator F foi menor do que o F crítico (valor- $P > 0,05$), indica que a cura praticada por 3, 7 e 28 dias não apresentou influência relevante na variação de resistência.

Tabela 16 - Resultados da ANOVA para as resistências dos CPs do concreto C40.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	148,7238	1	148,7238	32,65185	9,69E-05	4,747225
Colunas	26,46863	2	13,23432	2,905555	0,093528	3,885294
Dentro	54,658	12	4,554833	-	-	-
Total	235,3924	17				

Fonte: A autora (2022).

Ao empregar o Teste de Tukey, de posse da diferença mínima significativa (DMS), fez-se as comparações entre as diferenças das médias das resistências dos pares formados e a DMS. A Tabela 17 confirma o que foi mostrado na tabela da ANOVA (Tabela 16), que não houve variação da resistência em função do tempo de cura tanto no procedimento de molhagem constante quanto no de imersão. Ao concluir “igual”, significa que a diferença entre as médias não foi significativa, ao não ultrapassar a DMS.

Embora, estatisticamente, não tenha havido variação das resistências em função do tempo de cura, analisando-se as médias nos comparativos “3 dias e 7 dias”, e “3 dias X 28 dias”, verificou-se um aumento de resistência, respectivamente, de 10,1% e 7,8%, nos CPs curados pelo método da molhagem constante; e, respectivamente, de 4,08% e 1,1%, nos concretos submetidos à cura por imersão. Já no comparativo “7 dias X 28 dias”, para ambas as técnicas, foi identificada situação análoga à mencionada no item 5.1 de redução da resistência em virtude da variação da resistência entre os CPs curados por 28 dias (ver Tabela 15 e Figura 25).

Tabela 17 - Comparação das médias das resistências dos CPs de classe de concreto C40 com a DMS de acordo com os tempos de cura.

Cura por Molhagem Constante			
Comparativo	DMS	Diferença entre médias	Conclusão
3 dias x 7 dias	4,645334	$39,22333 - 43,22 = 3,996667$	Igual
3 dias x 28 dias	4,645334	$39,22333 - 42,28333 = 3,06$	Igual
7 dias x 28 dias	4,645334	$43,22 - 42,28333 = 0,936667$	Igual
Cura por Imersão			
Comparativo	DMS	Diferença entre médias	Conclusão
3 dias x 7 dias	4,645334	$46,52 - 48,42 = 1,9$	Igual
3 dias x 28 dias	4,645334	$46,52 - 47,03333 = 0,513333$	Igual
7 dias x 28 dias	4,645334	$48,42 - 47,03333 = 1,386667$	Igual

Fonte: A autora (2022).

Por fim, a Tabela 18 permite verificar que para todas as idades, a cura por imersão se mostrou mais eficiente em termos de garantia de hidratação de cimento.

Tabela 18 - Comparação das médias das resistências dos CPs de classe de concreto C40 com a DMS de acordo com os tipos de cura.

Comparativo	DMS	Diferença entre médias	Conclusão
3 dias x 3 dias	1,48063	$39,22333 - 46,52 = 7,296667$	Diferente
7 dias x 7 dias	1,48063	$43,22 - 48,42 = 5,2$	Diferente
28 dias x 28 dias	1,48063	$42,28333 - 47,03333 = 4,75$	Diferente

Fonte: A autora (2022).

Uma última observação importante a ser feita com relação aos valores de resistência obtidos no ensaio de resistência à compressão é que, com a dosagem fornecida pela empresa fornecedora de concreto local, a maioria das resistências obtidas e médias foram superiores à de projeto, fato que ocorreu com os CPs da classe de concreto C25 curados tanto por molhagem constante quanto por imersão e os CPs da classe de concreto C40 submetidos à cura por imersão. E essas amostras apresentaram aumento percentual mínimo de, respectivamente, 20,52%, 25,32% e 16,3%. Apenas 03 amostras da classe de concreto C40 curadas por molhagem não alcançaram o valor de 40MPa (39,93; 37,13 e 37,30) e uma das médias sofreu redução de 1,95%.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu um maior entendimento sobre os procedimentos de cura e a sua contribuição para a microestrutura do concreto no que diz respeito ao desenvolvimento de propriedades importantes desse material estrutural no estado endurecido. Conforme a literatura, a execução dessa etapa possibilita a manutenção da água perdida por evaporação do concreto recém-lançado, o que contribui para a continuidade da hidratação dos componentes anidros do cimento Portland e, consequentemente, para o ganho de resistência do sistema.

A metodologia aplicada buscou a visualização, na prática, da teoria difundida sobre a influência do tempo de realização da cura (3, 7 e 28 dias) no desenvolvimento da resistência do concreto. Nesse contexto, foi objeto de pesquisa também efetuar diferentes técnicas de cura (molhagem constante e imersão) a fim de comparar a eficiência entre ambas. Todo o procedimento experimental desse trabalho foi importante ao permitir melhor visualização das operações de produção do concreto, do ensaio destrutivo e de tipos usuais de cura.

As conclusões desse trabalho são baseadas nos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e na comparação entre as médias de resistência dos diferentes grupos de estudo. Entretanto, em virtude da possibilidade da ocorrência de diferenças muito pequenas, os resultados foram submetidos a tratamentos estatísticos para a determinação de um valor mínimo a ser considerado na comparação entre as médias, tornando possível a análise da ocorrência de variação da resistência, ou seja, de aumento significativo desse parâmetro.

É importante ressaltar, primeiramente, que ocorreram situações com os corpos de prova submetidos aos dois métodos de cura realizados nesse trabalho em que, a realização da cura apenas nos primeiros dias de idade do concreto se mostrou mais eficiente do que quando realizada por mais tempo. O que pode indicar que, para as duas técnicas de cura aqui empregadas, o intervalo de cura de 28 dias pode produzir o mesmo ganho de resistência de intervalos de curas de menor duração, para os casos de procedimentos de cura efetivamente realizados.

Partindo-se então para a análise dos casos em que houve evolução das resistências mesmo que de forma numérica/percentual. Ao analisar a influência do tempo de cura na resistência, do ponto de vista estatístico, para os corpos de prova das duas classes de concreto, tanto submetidos a cura por molhagem constante

quanto os submetidos à cura por imersão, não foi identificado aumento significativo da resistência à compressão em função do tempo. Ou seja, a realização da cura por 3, 7 e, até mesmo, 28 dias não atribuiu aos concretos uma variação significativa da propriedade em questão.

Entretanto, ao analisar a influência do método de cura no ganho de resistência, os tratamentos estatísticos identificaram uma variação significativa entre as médias de resistência dos corpos de prova submetidos a cura por molhagem constante e dos curados por imersão, tanto nos concretos da classe C25 quanto nos da classe C40. Podendo indicar, portanto, que essa última técnica se mostrou mais satisfatória em relação a molhagem com trincha. Chegando a ter um ganho de 32,76% de resistência para os concretos da classe C25 e 21,05% para os concretos da classe C40.

Esse melhor resultado da cura por imersão possui certa coerência, uma vez que proporciona um contato ininterrupto do concreto com a água, segundo observado por Bauer (2019). Já a molhagem, por não proporcionar essa mesma condição e depender da disponibilidade dos trabalhadores, se torna um procedimento mais suscetível à perda de água. Porém, para muitos casos de estruturas moldadas *in loco*, corresponde ao tipo de cura mais exequível em estruturas. No caso da cura por imersão, a sua aplicação se torna mais restrita à elementos pré-moldados.

Por fim, é válido ressaltar ainda, a importância da utilização dos tratamentos estatísticos nesse estudo pois evitou que variações mínimas de resistência fossem consideradas determinantes e conclusivas sobre os fenômenos ocorridos.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As recomendações de grande pertinência para a continuidade desse estudo compreendem: a realização/comparação de técnicas de cura de comuns aplicações; a utilização de concretos de outras classes de resistência; a realização de estudos com o cimento utilizado para verificar o atendimento às especificações da norma que trata dos requisitos exigidos para o cimento Portland, realizar outros estudos com maior número de exemplares por grupo de amostra; e a execução de outros tempos de cura, submetendo, até mesmo, amostras não curadas ao ensaio de resistência à compressão após 28 dias de idade.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010, v. 1.

ALVES, Hoffmann Rodrigo de Souza Rodrigues. **Simulação de procedimentos de cura para avaliação da resistência à compressão de concreto de cimento Portland**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira; TUTIKIAN, Bernardo F. **Resistência mecânica do concreto**. In: ISAIA, G. C. (ed.). Concreto: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 17.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de construção**: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório. 1. ed. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 5738**: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 11579**: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 11582**: Cimento Portland - Determinação da expansibilidade Le Chatelier. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 16607**: Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 16889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NM 45**: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica aparente e absorção da água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSUNÇÃO, W. R. *et al.* Análise estatística do comportamento mecânico de concreto híbrido reforçado com aço e fibras de polipropileno. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 7, p. 2684-2704. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/download/22834/18315> Acesso em: 01 dez. 2022.

BARBOZA, Lucas da Silva. **Estudo sobre o impacto da redução do consumo de cimento no comportamento mecânico do concreto autoadensável**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7403>. Acesso em: 26 ago. 2022.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2019. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2022.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. (ed.). Concreto: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 6.

BATTAGIN, Arnaldo Forti; BATTAGIN, Inês Laranjeira da Silva. **O cimento Portland no Brasil**. In: ISAIA, G. C. (ed.). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010, cap. 24.

BAUER, L. A. FALCÃO. **Materiais de construção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019, v. 1.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção**: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

CINCOTTO, Maria Alba. **Reações de hidratação e pozolânicas**. In: ISAIA, G. C. (ed.). Concreto: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 11.

COSTA, Rayara Pinto. **Hidratação e reologia de clínquer Portland com diferentes fontes brasileiras de sulfato de cálcio (gipsita e fosfogesso)**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/232693/001133502.pdf?sequence=1>. Acesso em: 05 out. 2022.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. **Adições minerais**. In: ISAIA, G. C. (ed.). Concreto: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 8.

FARIA, Roberto. Cura de concreto: acompanhe as dicas para fazer cura úmida ou química de lajes de concreto. **Revista Pini Equipe de Obra**, São Paulo, n. 4, p. 14-15, 2006.

FERRARI, Vinícius. **Investigação sobre o efeito da temperatura durante a cura do concreto**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4604/3/Investiga%C3%A7%C3%A3o%20sobre%20o%20efeito%20do%20aumento%20da%20temperatura%20durante%20a%20cura%20do%20concreto.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2022.

FIGUEIREDO, C. M.; ARAÚJO, M. A.; BARBOZA, L. S.; SANTORI, A. L. Análise da influência do método de aplicação da cura na resistência do concreto. **Revista Tecnológica (UEM)**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 71-81, 2018. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/44148/751375148501>. Acesso em: 27 out. 2022.

GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, I. R. de; PANDOFELLI, V. C. Processo de hidratação e os mecanismos de atuação dos aditivos aceleradores e retardadores de pega do cimento de aluminato de cálcio. **Cerâmica**. São Carlos, v. 53, p. 42-56, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/YcDgBr9rPgQNJkbj5QJ77pr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 06 out. 2022.

HELENE, Paulo; LEVY, Salomon. **Cura do concreto**. Mérida: Alconpat, 2013, v. 8. Disponível em: <http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B8-Cura-do-concreto.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2022.

ISAIA, Geraldo Cechella. **A evolução do concreto estrutural**. In: ISAIA, G. C. (ed.). Concreto: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 1.

ISAIA, Geraldo Cechella. **A água no concreto**. In: ISAIA, G. C. (ed.). Concreto: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 9.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

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

PAULON, Vladimir; KIRCHHEIM, Ana Paula. **Nanoestrutura e microestrutura do concreto endurecido**. In: ISAIA, G. C. (ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 16.

PEINADO, Hugo Sefrian. Conheça as alternativas para fazer a cura de elementos de concreto. **Revista Pini Técnica**, n. 201, 2013.

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

QUEIROZ, Letícia Bezerra. **Uso do método ANOVA para análise de estruturas de pontes**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/5314/1/Uso%20do%20m%C3%A9todo%20ANOVA%20para%20an%C3%A1lise%20de%20estruturas%20de%20pontes.pdf> Acesso em: 01 dez. 2022.

RECENA, Fernando A. P.; PEREIRA, Fernanda Macedo. **Produção e controle de concreto em obras**. In: ISAIA, G. C. (ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 15.

SANTOS, Sérgio Botassi dos; BITTENCOURT, Rubens Machado; GRAÇA, Newton Goulart. **Efeitos da temperatura sobre o concreto**. In: ISAIA, G. C. (ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 20.

SBRIGHI NETO, Claudio. **Agregados naturais, britados e artificiais para concreto**. In: ISAIA, G. C. (ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011, cap. 7.

THOMAZ, Ércio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos. 2020.

THOMAZ, Eduardo Christo Silveira. **Hidratação do cimento Portland: notas de aula**. Rio de Janeiro: IME, s.d.

WEIDMANN, Denis Fernandes. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/106626/264453.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 ago. 2022.