

A AÇÃO DA CAL HIDRATADA NA CURA POR IMERSÃO E A SUA INFLUÊNCIA NO GANHO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM UM CONCRETO CONVENCIONAL

ÉBERTO ROQUE DOS SANTOS NASCIMENTO
tec.eber@hotmail.com

WEDSON CARVALHO DA SILVA
wed.com.nf@hotmail.com

RESUMO

A indústria da construção civil ocorre diariamente mudanças, principalmente no que refere - se ao controle de qualidade nas obras, que para atender uma demanda crescente por edificações, tais avanços tecnológicos contribuíram para o declínio na qualidade das construções, devido ao despreparo dos profissionais atuantes no setor, que impactam diretamente na qualidade do principal material estrutural, o concreto, sendo um dos aspectos com maior falha, a cura. A cura é uma das principais etapas na execução do concreto, onde tem participação direta no processo de hidratação da pasta de cimento, que envolve os agregados e confere a conexão estrutural molecular. O principal objetivo deste trabalho é analisar a contribuição da cal hidratada na cura por imersão no ganho de resistência á compressão em concreto convencional. Para a análise da influência das técnicas de cura na resistência do concreto, além da busca por contribuições da cal hidratada frente a este material, foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica que elenca o ganho de resistência no ensaio a compressão como também apresentar as características dos materiais estudados e seus comportamentos quando unidos em um corpo só, ou seja, quando transformados em concreto. Foram realizados ensaios práticos através de corpos de prova de concreto curados submersos em água saturada de cal. Após curados, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão, permitindo a obtenção dos resultados práticos e comprovando a eficiência de uma cura bem realizada no que tange o correto desenvolvimento da resistência do concreto.

Palavras-chaves: Concreto; Cura submersa; Cal hidratada; Resistência a compressão.

ABSTRACT

The civil construction industry undergoes changes daily, mainly with regard to quality control in the works, which to meet a growing demand for buildings, such technological advances contributed to the decline in the quality of constructions, due to the unpreparedness of professionals working in the field. sector, which directly impact the quality of the main structural material, concrete, being one of the aspects with the greatest failure, curing. Curing is one of the main steps in the execution of concrete, where it directly participates in the hydration process of the cement paste, which involves the aggregates and provides the molecular structural connection. The main objective of this work is to analyze the contribution of hydrated lime in immersion curing in the gain of compressive strength in conventional concrete. For the analysis of the influence of curing techniques on the strength of concrete, in addition to the search for contributions of hydrated lime against this material, a bibliographic research was developed that lists the gain in resistance in the compression test as well as presenting the characteristics of the materials studied. and their behavior when united in a single body, that is, when transformed into concrete. Practical tests were carried out using cured concrete specimens submerged in water saturated with lime. After curing, the specimens were submitted to compression tests, allowing the achievement of practical results and proving the efficiency of a well performed curing with regard to the correct development of concrete strength.

Keywords: Concrete; Submerged healing; hydrated lime; Compression resistance.

INTRODUÇÃO

O concreto é um composto de aglomerantes, agregados, aditivos minerais e água, que hoje possui a posição de material mais utilizado pela indústria da construção civil (ABCP apud WBCSD). Isso ocorre, segundo Mehta (2008), devido à sua capacidade de enfrentar os ambientes com presença e/ou incidência de água sem degradação acentuada e também de adquirir formas e tamanhos de diferentes sólidos geométricos, apresentando uma boa resistência mecânica e baixo custo econômico aliado à grande disponibilidade dos seus componentes em todo o mundo. Mediante a estas características, o concreto é um dos principais materiais utilizados no ramo da construção civil, ele é encontrado na maior parte das obras (edifícios, pontes, usinas hidrelétricas, estradas, passarelas entre outros elementos construtivos).

Para confecção do concreto é necessário cumprir diversas etapas que são fundamentais para garantir e conferir suas características nos estados fresco e endurecido, onde, conforme Isaia (2012), “as propriedades do concreto endurecido dependem direta ou indiretamente da água”. Uma das etapas é o processo de cura, que consiste em impermeabilizar o concreto, após o término da “pega”, com uma camada de água ou vapor de água, impedindo a interferência de substâncias externas nas reações de hidratação dos compostos cimentícios evitando assim a evaporação da água de amassamento. De acordo com Isaia (2012),

Um dos processos mais afetados por esse despreparo é a cura do concreto. Sendo a cura do concreto evidenciado, como um conjunto de fatores que promovem a hidratação do corpo do concreto no qual faz o controle da temperatura é da entrada e saída de água do concreto. De uma forma mais específica tem por objetivo evitar a evaporação da água necessária para hidratação das partículas, através da saturação do concreto. Mehta e Monteiro (2014) acrescentam que a cura do concreto envolve uma combinação de condições que promovem hidratação do cimento como tempo, temperatura e umidade consideradas imediatamente depois do lançamento de uma mistura de concreto na forma, que por sua vez contribuem diretamente para desenvolvimento da resistência do material.

Para ensaio de compressão, os corpos de prova a serem ensaiados com a finalidade de verificar a qualidade e uniformidade do concreto utilizado na obra ou para decidir sobre sua aceitação, de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 12655, os mesmos devem ser desmoldados após o período de cura inicial, antes de serem armazenados.

Para que a cura do concreto seja bem feita é preciso manter o corpo de prova imerso na água, em local sombreado e protegido durante pelo menos 7 dias, podendo se estender para até 14 dias. Imediatamente após sua identificação, os corpos de prova devem ser armazenados até o momento do ensaio em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ou em câmara úmida à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95 %, estabelecido em norma ABNT NBR 5738:2015. No tanque utilizado para cura por imersão em meio aquoso na amostragem do concreto, ele é utilizado exclusivamente para testar o concreto de alguma maneira, como também ele exerce a função de verificar a qualidade, uniformidade do concreto e com o ensaio extrair a determinada resistência do material. Quando realizada da maneira correta, seguindo as normas da ABNT NBR 5738/ 2015, a cura para concreto garante maior resistência desse material, podendo chegar em até 30%, além da possibilidade de poder diminuir a incidência de fissuras que comprometem a estrutura.

Apoiado na tecnologia, e em pesquisas, tais estudos vem sendo realizados a fim de desenvolver novas técnicas de controle de qualidade nas obras, inclusive para ensaios laboratoriais e na cura do concreto, no qual segundo Geiker (2012), a mau introdução de algumas habilidades tem um grande potencial para danificar estruturas de concreto se for realizada de forma errada ou insuficiente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência das técnicas de cura por imersão para ensaio de compressão (Ruptura) do concreto e acompanhar o desenvolvimento de sua resistência, de modo a analisar a incorporação de cal hidratada na técnica de cura por imersão em meio aquoso.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- a) Identificar através de pesquisa bibliográfica as propriedades e aplicações da cal hidratada no concreto;
- b) Deduzir através da pesquisa bibliográfica possíveis contribuições da cal hidratada frente a cura do concreto;
- c) Comparar e avaliar a cura submersa em água saturada de cal e submersa apenas em água, sem a cal, de modo a detectar de que forma contribui para resistência do concreto seguindo parâmetros estabelecidas por norma;

JUSTIFICATIVA

Para que o concreto de uma estrutura apresente as características mais próximas possíveis das especificadas em projeto, o processo de cura e armazenamento dos corpos de prova é de suma importância, sendo assim este processo deve ser iniciado logo após o lançamento e adensamento do concreto, quando estes apresentar os primeiros sinais de endurecimento nas superfícies.

No processo de submergir o corpo de prova a um tanque de água com solução de cal saturada ou não, deve ser seguido dentro de parâmetros estabelecidos em normas, sabendo se as dificuldades de inserção de novas técnicas nas construções, portanto, tal conhecimento é aprimoramento das mesmas se torna um caminho mais curto na busca por resultados positivos em se tratando de controle de qualidade. O uso da cal nos processos de cura já é conhecido, inclusive mencionada como referência na NBR 5738/2003. Segundo Guimarães (2002) e Coelho, Torgal e Jalali (2009), a cal hidratada possui a propriedade de retenção de água, característica essencial para aplicação em

materiais com alto poder de absorção. Além disso, a cal hidratada em contato com a água auxilia na hidratação do cimento, tanto por processos físicos, como químicos (QUARCIONI, 2008; HOPPE FILHO, 2008).

METODOLOGIA

O método da elaboração deste artigo científico, foi em uma revisão bibliográfica é estudo de caso buscando entender as variáveis que influenciam da neste processo de cura por imersão e quais mecanismos controlam sua velocidade e intensidade, de modo ilustrar dados técnicos, abordando as principais evidências.

O estudo de caso se dar por meio de técnicas da engenharia, bem como, os ensaios laboratoriais de modo a aprofundar mais o conhecimento sobre a ação da cal hidratada na cura por imersão e a sua influência no ganho de resistência à compressão em um concreto convencional e, assim, oferecer subsídios para novas investigações sobre esta temática. O levantamento de dados se originou por meio de pesquisa eletrônica via internet, leitura de livros dos autores mais reconhecidos no ramo da engenharia civil, bem como, dissertações, publicações de revistas, ensaios laboratoriais, boletins técnicos é monografias.

Para contextualizar o tema de modo adequado e suficiente, desde o ponto de vista dos limites da pesquisa, procedeu-se ao método de cruzamento das palavras-chaves associadas à pesquisa e que já foram demonstradas no resumo.

O levantamento da bibliografia teve início no segundo semestre do ano de 2022, onde o mesmo se baseou em critérios de exclusão sistemática, os mesmos foram submetidos a uma síntese com a finalidade de caberem na orientação das análises ao desenvolvimento da produção autoral deste trabalho. Assim, em um primeiro momento, no que tange a seleção das produções literárias, se realizou a leitura analítica de trabalhos e artigos científicos encontrados na literatura, bem como participação de congressos e a realização de testes em laboratório de acordo com o que fora enunciado.

INFLUÊNCIA DA CAL HIDRATADA NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO

CAL

A cal, também chamada cal viva, cal virgem ou óxido de cálcio, é a substância de fórmula química CaO. Em condições ambientes, é um sólido branco e alcalino. É obtida pela decomposição térmica de calcário. A cal é bastante utilizada na construção civil.

Segundo Guimarães (2002), a cal é produzida a partir de rochas calcárias e é composto basicamente por cálcio e magnésio, se apresentando na forma de um pó muito fino, existindo dois tipos de cal no mercado, a cal virgem e a cal hidratada. A cal virgem ou viva é originada do processo chamado de calcinação e é composta basicamente por óxido de cálcio e magnésio, enquanto a cal hidratada é produto da reação da cal virgem com a água, formada por hidróxidos de cálcio e magnésio.

CAL HIDRATADA

Conforme Guimarães (2002), já havia citado sobre a cal hidratada apresentada como um produto seco, em forma de flocos de cor branca que por sua vez há um resultado de reação da cal virgem com a água, sendo uma reação exotérmica, ou seja, desprende a uma certa quantidade de calor no processo na forma de vapor, conforme Equação 1.

Equação 1 – Reação da cal virgem com a água



Sendo destacado juntamente com Isaia (2007), que neste processo nem toda a cal virgem é hidratada, apresentando óxidos livres, onde estes podem ser submetidos a nova hidratação na presença de água e consequente liberação de calor. A NBR 7175/2003 especifica três tipos diferentes de cal hidratada de acordo com sua composição química, sendo elas a CH I, CH II e CH III.

A cal hidratada CH I é constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou uma mistura de hidróxido de cálcio e magnésio, apresentando teor de gás carbônico inferior a 5%.

A cal hidratada CH II é constituída por uma mistura de hidróxido de cálcio,

hidróxido de magnésio e óxido de magnésio, apresentando teor de gás carbônico

inferior a 5%.

Já a cal hidratada CH III é constituída nos mesmos moldes da anterior, porém com teor de gás carbônico inferior a 13%.

A cal hidratada tem um extraordinário poder de reter água em torno de suas partículas, resistindo a sucção. No qual há uma atribuição de tal propriedade, que contribui na grande área superficial da cal, e salientam que a mesma, por reter água, contribui na hidratação de materiais com alto poder de absorção, como o cimento.

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

Quarcioni (2008) ressaltasobre a incorporação de íons cálcio e hidroxila no meio, que há uma supersaturação de íons e perturbação do equilíbrio das reações dos hidratos com conseqüente aceleração da formação de C-S-H (Silicatos de Cálcio Hidratados), no qual salienta ainda, que os íons cálcio são os principais controladores das reações de hidratação do cimento e que é necessário a presença de cal em solução para que tais reações aconteçam. Em acréscimo, Tutikian (2008) cita que a utilização de cal hidratada gera uma quantidade maior de C-S-H, responsável pela influencia direta nas propriedades físicas e mecânica, contribuindo diretamente para resistência do concreto, porém deixa claro que é um processo lento.

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

Já sobre os óxidos livres presentes na cal hidratada se destaca que, com o contato com a água acarreta na hidratação destes óxidos, havendo uma liberação de energia, na forma de calor de hidratação no qual influi diretamente na cura do concreto, pois o calor acelera os processos de hidratação iniciais.

CONCRETO

De acordo com Azeredo (1997, p.53) “Concreto é uma mistura de cimento, água e materiais inertes (geralmente areia, pedregulho, pedra britada ou argila expandida) que, empregado em estado plástico, endurece como o passar do tempo, devido à hidratação do cimento, isto é, sua combinação química com a água.”

Para se obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, deve-se estudar: as propriedades de cada um dos materiais componentes; as propriedades e os fatores que podem alterá-las; o proporcionamento correto e execução cuidadosa da mistura, o concreto deve ser transportado, lançados nas fôrmas e adensado corretamente; cura cuidadosa, a hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que se processam. Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento. É o que se denomina cura do concreto; o modo de executar o controle do concreto durante a fabricação e após o endurecimento (ALMEIDA, 2002).

ARMAZENAMENTO

Deve ser feito em reservatório ou compartimento estanque, com água potável não corrente saturada de cal, protegida de contaminações e da incidência de raios solares, com temperatura controlada, para estocagem submersa de corpo de prova de argamassa e concreto durante o período de cura. O tanque de cura deve prever um dispositivo que permita a troca de água, sendo que as superfícies expostas dos corpos de prova estocados mantenham-se úmidas durante todo o período de cura, pois os corpos de prova devem ser armazenados até o momento do

ensaio em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou em câmara úmida à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95 %, estabelecido em norma ABNT NBR 5738:2015.

O reservatório ou compartimento estanque, com água potável não corrente saturada de cal, protegida de contaminações e da incidência de raios solares, com temperatura controlada, para estocagem submersa de corpos de prova de argamassa e concreto durante o período de cura. O tanque de cura deve prever um dispositivo que permita a troca de água, estabelecido em norma ABNT NBR 9479:1993.

CURA SUBMERSA

É um dos processos mais simples e bastante utilizado no dia a dia das obras. É necessário manter a superfície totalmente imersa. Para este procedimento o ideal é a submersão em tanque de água com o meio aquoso saturado em cal hidratada.

A NBR 5738/1994 estabelece como padrão, juntamente com a cura úmida, a cura por submersão com a utilização de hidróxido de cálcio saturado em água. Segundo o ACI 308R-01 (2001), a água utilizada deve ser livre de impurezas e não apresentar diferença de temperatura maior que 11 graus em relação a temperatura do concreto. Para Bauer (2008), a cura submersa do concreto é sem dúvida o método ideal, porém sua aplicação é restrita e nada prática, sendo seu maior uso nas lajes de pavimentos.

ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O ensaio de resistência a compressão se dá como um procedimento mais comum para mensurar a resistência mecânica que podem ser realizados em diversos materiais, sendo ele um ensaio destrutivo. O teste é feito em laboratório e consiste na aplicação de força axial compressiva no corpo de prova da qual se traça

um gráfico de tensão por deformação determinado pela ABNT NBR 5739.

MATERIAIS E MÉTODOS: DEFINIÇÃO TRAÇO DO CONCRETO

O concreto por sua vez é produzido através da mistura da água, areia, brita, cimento e/ou aditivos, entretanto, é o seu traço que irá definir qual é o tipo de concreto que será concebido, a sua resistência no qual irá alcançar para determinada demanda. A definição do traço do concreto é uma das etapas mais importantes da obra, ele define o qual é o tipo de concreto mais adequado para as várias situações da construção, como argamassa, concreto para piso, concreto para pré-moldados, etc.

Sendo assim, o traço é a “receita de bolo na produção do concreto”. Ele mostra a quantidade de brita e areia que devem ser utilizadas na mistura para uma unidade de cimento. Por exemplo, o traço 1:2:3 indica que a proporção será de uma parte de cimento por duas partes de areia e três partes de brita, na ordem indicada. A quantidade correta de água depende da umidade da areia e da trabalhabilidade final do concreto (a trabalhabilidade do concreto pode ser indicada através do teste de Slump). Sendo assim foi definido o traço deste estudo de caso.

Figura 1 – Traço de concreto

TRAÇO DE CONCRETO

DATA DE LIBERAÇÃO: _____
REGISTRO DO TRAÇO: TRC - 08/2022

IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS:

Discriminação	Tipo	Procedência
CIMENTO	CP IV 32 - RS	VOTORANTIM
BRITA 19,0 mm	Rocha Britada	Britador Consórcio
BRITA 9,5 mm	-	-
AREIA NAT.	Rio	Areal
AREIA ART.	Rocha Britada	Britador Consórcio
ADITIVO 1	Muraplast FK 160	MC
ADITIVO 2	-	-

CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL:

Material	Massa Específica Real	Massa Especif. Aparente
CIMENTO	3,090	-
BRITA 19,0 mm	2,771	1,276
BRITA 9,5 mm	2,780	1,431
AREIA NAT.	2,638	1,517
AREIA ART.	2,727	-
ADITIVO 1	1,160	15Mpa
ADITIVO 2	1,000	

Dosagem em (%)	
BRITA 19,0 mm	52,0%
BRITA 9,5 mm	0,0%
AREIA NAT.	48,0%
AREIA ART.	0,0%
Total	100,0%

Fator A/C: 0,72%

DOSAGEM:

Resumo	
Fator A/C:	0,72%
Teor de Argam.:	54,6%
A%:	9,1%
Slump: (mm)	90+/- 20
Encontrado (mm)	125

Material	Traço em Massa Unitária	Quantidade em peso (Saco) (Kg)	Volume (ℓ)	Quant.	Padiolas Comprimento (cm)	
					C x L	H
CIMENTO	1,000	50	1 SACO	-	-	-
BRITA 19,0 mm	3,576	179	140	-	-	-
BRITA 9,5 mm	0,000	0	0	-	-	-
AREIA NAT.	3,301	165	109	-	-	-
AREIA ART.	0,000	0	-	-	-	-
ÁGUA	0,720	36	36	-	-	-
ADITIVO 1	0,00%	0,000	0,000	-	-	-
ADITIVO 2	0,00%	0,000	0,000	-	-	-

CONTROLE DE QUALIDADE	
Controle de qualid. excelente	Sd = 4,0 Mpa
Controle de qualid. bom	Sd = 5,5 Mpa
Controle de qualid. razoável	Sd = 7,0 Mpa
Desvio Padrão:	1,65 Mpa
Desvio Padrão controle:	4,0 Mpa
Fck =	15,0 Mpa
Resist. Caract. 28 dias	21,6 Mpa

Kg/m ³	
CIMENTO	279 Kg
BRITA 19,0 mm	998 Kg
BRITA 9,5 mm	0 Kg
AREIA NAT.	921 Kg
AREIA ART.	0 Kg
ÁGUA	201 Lts
ADITIVO 1	0,000 Kg
ADITIVO 2	0,000 Lts

Consumo de Cimento = 279,0 Kg/m³ de concreto

Massa Espec. Ap. do Concreto Fresco: 2,399 kg/cm³

A quantidade de areia leva em consideração o seu inchamento; deve-se descontar da água total a quantidade correspondente a umidade dos agregados.

Fonte: Autor

6.2 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TROCO DE CONE

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

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

Figura 2 – Ensaio de abatimento



Fonte: Foto dos autoes

MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

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

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

A moldagem foi feita de forma manual, viabilizada pelo abatimento obtido, e de acordo com a NBR 5738/2003.

Figura 3 – Ensaio de abatimento



Fonte: Foto dos autores

CURA DAS AMOSTRAS

Figura 4 – Armazenamento com água e Armazenamento com água saturada com cal



Fonte: Foto dos autoes

ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA

Os rompimentos decorreram conforme o estabelecido pela NBR 5739/2007, nas idades de 7 e 28 dias, sendo realizados no Laboratório da DIFRA ENGENHARIA E SERVIÇOS LTDA.

Após realizados dos experimentos, foi possível a obtenção dos resultados referentes a resistência à compressão dos corpos de prova para as técnicas de cura avaliadas, tais resultados serão apresentados no próximo capítulo.

RESULTADOS

ENSAIO A COMPRESSÃO 07 DIAS

Depois de realizada a cura dos corpos de prova durante os primeiros 7 dias, considerada como idade inicial, foram obtidos os resultados referentes a resistência à compressão da técnica de cura avaliada, dentre dos aspectos. Os resultados são apresentados na Tabela 01 , sendo que o valor da resistência mencionado resulta da média de dois corpos de prova submetidos a mesma técnica de cura. A técnica de cura por submersão na água e submersão de cal hidratada dissolvida em água possuem variações quanto ao número de aplicações diárias e resistência a compressão.

Figura 5 – Ensaio ruptura corpo de prova sem cal e Ensaio ruptura corpo de prova com cal



Fonte: Foto dos autores

Figura 6 – Ensaio ruptura corpo de prova sem cal e Ensaio ruptura corpo de prova com cal



Fonte: Foto dos autores

Tabela 01 – Valores comparativos de ruptura

CURA SUBMERSA - 07 DIAS

CP 10 X 20	DESCRIÇÃO	RESISTÊNCIA (MPA)	RESISTÊNCIA (KGF)
1	CURA SUBMERSA ÁGUA COM CAL	9,45	7572
2	CURA SUBMERSA ÁGUA SEM CAL	8,55	6848

ENSAIO A COMPRESSÃO 28 DIAS

Após realizada a cura e o rompimento dos corpos de prova durante os primeiros 7 dias, seguiu-se com a cura dos demais corpos de prova por mais 21 dias, totalizando 28 dias, idade considerada final. Após os ensaios, foram obtidos os resultados referentes a resistência à compressão das 02 técnicas de cura avaliadas. Os resultados são apresentados na Tabela 02, sendo que o valor da resistência mencionado resulta da média de 2 corpos de prova submetidos a mesma técnica de cura.

Figura 7 – Ensaio ruptura corpo de prova sem cal Figura e Ensaio ruptura corpo de prova com cal



Fonte: Foto dos autores

Figura 8 – Ensaio ruptura corpo de prova sem cal e Ensaio ruptura corpo de prova com cal



Fonte: Autor



Fonte: Autor

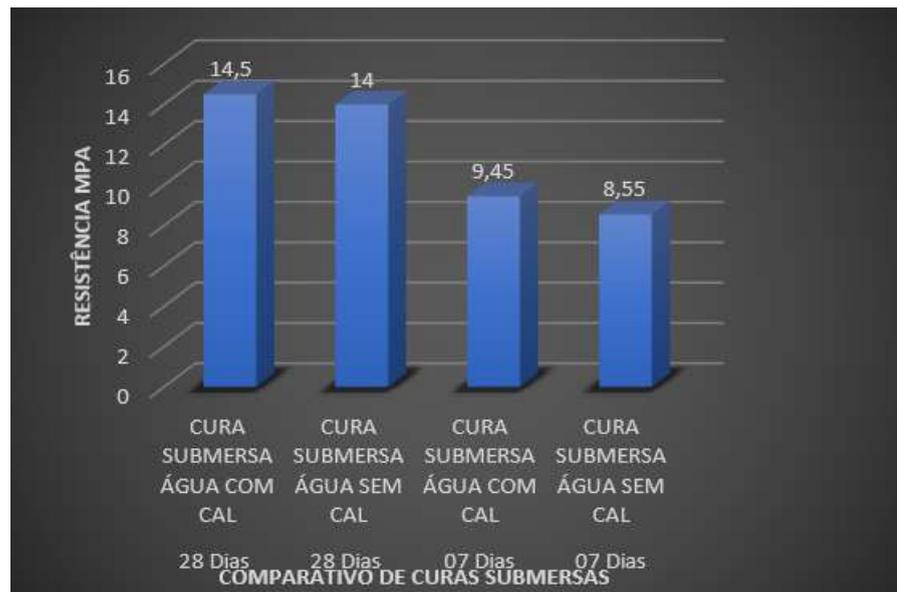
Tabela 02 – Valores comparativos de ruptura

CURA SUBMERSA - 28 DIAS

CP 10 X 20	DESCRIÇÃO	RESISTÊNCIA (MPA)	RESISTÊNCIA (KGF)
1	CURA SUBMERSA ÁGUA COM CAL	14,50	11598
2	CURA SUBMERSA ÁGUA SEM CAL	14	11215

INFLUÊNCIA DAS IDADES DE CURA

Gráfico 01 - Gráfico comparativo das curas submersas



Fonte: Autor

Conforme o gráfico 01, nota-se claramente que nas idades iniciais de cura, ou seja, aos 7 dias, as técnicas de cura empregadas obtiveram valores de resistência baixos por se tratar de curas iniciais, com vantagem para a cura submersa com cal. Porém todas elas se mantiveram dentro do mesmo patamar de resistência, em torno de 8 a 10 MPa, o que evidencia que nesse período não houve grande influência externa. Já na idade final de cura, aos 28 dias, comparado as idades iniciais, as resistências variam de tal forma que corroboram com a literatura atual, em especial com Bauer (2008), mostrando que as curas em meio submerso são ideais para o desenvolvimento da resistência, as quais alcançaram o patamar dos 14 MPa. A não realização de quaisquer tipos de cura impacta diretamente no ganho de resistência, uma vez que as mesmas precisam de hidratação para o seu desempenho. Portanto, em um período de 21 dias, a cura teve um ganho de mais de 5Mpa, ambas se desenvolveram no mesmo período.

INFLUÊNCIA DAS IDADES DE CURA NA INCORPORAÇÃO DE CAL HIDRATADA

Como percebe-se no gráfico no capítulo 7.3 a menor resistência encontrada foi referente à cura submersa sem cal. No período entre 7 e 28 dias, ambas as curas apresentaram desenvolvimento próximo, sendo 8,55 MPa e 9,45 MPa respectivamente, para as curas iniciais, tendo o resultado da cura submersa com cal um ganho inicial mais afetivo do que na cura submersa sem cal. Já ao final da cura, aos 28 dias, o resultado final da resistência alcançou 14 MPa para a cura sem cal e 14,50 MPa para a cura com cal, percebendo-se que ainda assim há influência direta no ganho de resistência. Cabe salientar que a cura com a utilização de cal hidratada enquanto que no período de 28 dias o desenvolvimento foi superior. Observando-se o gráfico 01, nota-se que há uma grande influência na cura submersa em água saturada de cal hidratada. Portanto, nas curas iniciais houve um ganho de 10,6% na cura submersa com cal, em comparação a cura submersa sem cal que apresentou um leve retardamento no desenvolvimento da resistência nas idades iniciais, já com os 28 dias, ainda assim há influência sob o quadro comparativo entre as duas curas, com desenvolvimento de 3,6% maior que a cura submersa somente com água.

Tal fenômeno pode ser explicado através da ação química, os íons cálcio são os principais controladores da hidratação do cimento, gerando uma maior formação de C-S-H e que tal processo só acontece com a presença de cal hidratada em solução, o que explica o maior desenvolvimento da resistência em meio submerso, fato este também descrito por Tutikian e Dalmolin (2008) .

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

CONCLUSÃO

Esta pesquisa investigou a influência das técnicas de cura no desenvolvimento da resistência do concreto através de corpos de prova, quando estes foram submetidos à meios submersos, periodicamente umedecidos e observados em laboratório, afim de comprovar a influência positiva do processo de cura por imersão, em concreto habituais, por meio dos testes resistência a compressão axial. Pela bibliografia consultada, a superioridade dos concretos curados é devido a película de água ter exercido uma função protetora do concreto amenizando interferências externas e conferindo melhor condição para o desenvolvimento das reações intersticiais. Os resultados almejados foram atingidos satisfatoriamente, apresentando confiabilidade durante todo o experimento.

Sugere-se, a partir desta pesquisa, a continuidade do uso da técnica de cura submersa com a cal hidratada, onde as mesmas apresentam influências diretas no ganho de resistência, como também, afim de evitar também possíveis manifestações patológicas advindas da perda de água.

Para estudos futuros, recomenda-se o monitoramento das variáveis externas como: temperatura, presença de salinidade e umidade do ar de forma comparativa nos dois processos de cura. A análise microscópica da formação dos cristais e das estruturas amorfas poderá ser mais um resultado o qual ratificará a influência da cura por imersão e de outros processos de cura.

REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 14931. **Execução de estruturas de concreto** - Procedimento, 2004.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 15575. **Edificações habitacionais — Desempenho**, 2013.
- AGUIAR, J. E. Durabilidade, proteção e recuperação das estruturas. **Notas de aula. Especialização em Construção Civil (Especialização)** – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2011.
- ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.
- AZEVEDO, M. T. Patologia das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto – Ciência e Tecnologia**. v.2; São Paulo, 2011.
- CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: Inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: PINI, 1997.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução de M. Celeste Marcondes, Beatriz Cannabrava. São Paulo: PINI, 1988.
- FREIRE, K. R. R. **Avaliação do Desempenho de Inibidores de Corrosão em Armaduras de Concreto**. 2005. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- HELENE, P.R.L. C. Avaliação do Estado de Corrosão em Estruturas de Concreto:Um caso prático. In: **CONPAT - Congresso de Patologia das Construções Brasil,2020**. Online
- HELENE, PAULO R.L. **Tecnologia de edificações**. Corrosão de armaduras para concreto armado. São Paulo: Editora Pini, p. 597-602.
- NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.
- PAULO H, PAULO R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.
- PIANCASTELLI E. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Ed. Departamento de Estruturas da EEUFMG – 1997.
- RIBEIRO, D. V. **Corrosão em Eestruturas de concreto armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.