

SIMULAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE CURA PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Hoffmann Rodrigo de Souza Rodrigues Alves¹, Marília Pereira de Oliveira²

Resumo: A cura é uma das etapas de concretagem e é tão importante quanto as demais, sendo necessário para que a reação de hidratação ocorra de forma eficaz, garantindo a resistência adequada. Apesar de sua importância, a cura é muitas vezes subutilizada e negligenciada nos canteiros de obra. Essa negligência pode gerar problemas as estruturas de concreto como resistência inadequada, porosidade, fissuras, dentre outros. Para mensurar a importância da cura para o concreto, essa pesquisa realizou o ensaio de resistência a compressão axial em corpos de prova de mesmo traço, mas expostos a diferentes condições de cura e de exposição a intempéries, a fim de verificar a variação da resistência à compressão nas condições. As condições de cura foram a submersão por 28 dias, a irrigação por sete e três dias, irrigação associada ao recobrimento por três dias e a cura ao ar. Os corpos também foram divididos em com e sem exposição a intempéries. Os resultados demonstraram e confirmaram a importância da cura. Tendo como referência a cura por submersão, os valores foram consistentes quanto a condições de cura. Para as condições sem exposição a intempéries a cura por sete dias variou 2,2%, por três dias 3,7%, por três dias com recobrimento 5,1% e cura ao ar 10,2%. Para as condições com exposição os resultados foram 7,8%, 13,6%, 8,9% e 42,1%, respectivamente. Diante disso, verifica-se a fundamental importância da cura ao concreto, pois sua ausência gerar perda de resistência ao concreto de até 42%.

Palavras-chave: Água. Intempéries. Temperatura. Hidratação. Controle tecnológico. Irrigação.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é largamente utilizado na construção civil. Suas características como resistência a compressão, resistência mecânica, resistência ao calor, durabilidade e trabalhabilidade o tornam bastante útil nas mais diversas áreas da construção. Seu consumo é tão grande que é inferior apenas ao da água. Segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), estima-se que sejam consumidos 11 bilhões de toneladas por ano no mundo [1].

É inegável a importância do concreto para a sociedade, pois somos rodeados de estruturas com sua presença, seja em prédios, casas, pontes, rodovias, galerias, postes, e etc. Sua presença não é só na área urbana, mas também está presente na indústria com fundações de equipamentos, tanques de armazenamentos, barragens, entre outros.

O concreto é uma pedra artificial através de ligação pelo cimento, pedra, areia e água [2]. É um material que quando endurecido, adquire resistência similar ao das rochas naturais. Quando no estado fresco, possui plasticidade que possibilita ser moldado em formas e tamanhos variados [1]. O contato da água com o cimento gera uma reação química chamada de hidratação. Depois dessa reação, o concreto perde a capacidade de ser moldável, ganha forma definitiva ao endurecer e adquire resistência.

Há diversas etapas para a construção de uma estrutura de concreto, que vão desde o projeto, especificações, definição de materiais e dosagem, até o preparo, transporte, lançamento, adensamento, cura e controle tecnológico. Cada etapa quando bem executada garantem a estrutura as qualidades esperadas e necessárias para o que foi projetada.

Uma das últimas etapas da concretagem é a cura. Essa etapa pode ser definida como os procedimentos e operações realizadas para evitar a evaporação da água de amassamento e de hidratação do cimento pela superfície do concreto [3]. Portanto a cura é de fundamental importância, pois a evaporação em excesso da água pode provocar secagem prematura da superfície tornando-a porosa e com baixa resistência ao ataque de agentes agressivos e facilmente fissurável [4].

Há uma diversidade de métodos de cura do concreto. Os principais exemplos são a irrigação de água, submersão e conservação das formas [5]. O método de irrigação de água é sem dúvidas o mais simples, e por isso, é bastante usado nos canteiros de obras. Molhar a superfície do concreto com água não é um procedimento complexo, não exige muita tecnologia ou equipamentos específicos e pode ser utilizado na maioria dos casos, mesmo assim é muitas vezes negligenciado.

A pouca importância dada ao procedimento de cura na maioria das obras no Brasil é preocupante, visto a relevância do assunto para a resistência, qualidade e durabilidade das estruturas. Mesmo sendo tão necessária, muitas vezes não é realizada de maneira adequada nos canteiros de obras. Os erros podem ser no procedimento de aplicação, quantidade de vezes ou de dias executados. Na maioria das obras de pequeno e médio porte, o procedimento de cura limita-se a molhar o concreto recém aplicado poucas vezes ao dia, por no máximo uma semana [4]. Os motivos desse descaso podem ser variados, como pressa na execução da obra, falta de conhecimento sobre sua importância e da quantidade de dias necessários e falta de fiscalização.

Diante do exposto, qual será o impacto que a cura mal executada traz a resistência do concreto? E quando não é realizada? Qual a influência da ação do sol, vento e temperatura? Qual o tempo necessário de aplicação? Esta pesquisa responde a esses questionamentos trazendo dados bibliográficos e experimentais que evidenciem a necessidade da cura bem executada, considerando a submersão como referência de ideal. Buscou-se enfatizar que uma etapa relativamente simples e de baixo custo que é a cura, não deve ser subestimada ou negligenciada, mas deve ser dada a atenção necessária. A cura mal executada traz insegurança a estrutura e pode gerar gastos futuros com manutenção que poderiam ser evitados.

2. REVISÃO LITERÁRIA

2.1 O concreto

O concreto possui dois estágios: O estado fresco e o endurecido. Cada estado possui características distintas. No estado fresco as principais características são a trabalhabilidade e a consistência. A trabalhabilidade é fundamental para que o concreto adquira a máxima densidade possível, de acordo com o processo de adensamento utilizado para a compactação. Já consistência é relacionada “a mobilidade da massa e coesão entre os elementos componentes, tendo em vista a uniformidade e a compacidade do concreto” [5]. No estado endurecido há diversas características importantes como resistência a compressão, deformabilidade, durabilidade, densidade, impermeabilidade, condutibilidade térmica, resistência ao fogo, resistência a agentes químicos, entre outras. A resistência se destaca, pois é a uma das principais especificações do projeto [6], estando diretamente ligada a capacidade ser resistente a ruptura [7].

A resistência mecânica é o parâmetro mais frequentemente especificado na dosagem de concreto, sendo a resistência a compressão o mais utilizado [8]. Apesar disso o concreto também pode receber esforços de tração, flexão, torção, cisalhamento e punção. Devido aos diversos esforços que deve suportar, a estrutura de concreto deve ter resistência necessária para que não ocorra ruptura.

Outro fator fundamental que se relaciona diretamente com a resistência e a trabalhabilidade é a quantidade de água na mistura do concreto, o chamado fator água/cimento. A resistência do concreto é função primordial da relação água/cimento [2]. A relação água/cimento é o parâmetro mais importante do concreto estrutural [9].

2.2 A água e o concreto

A água é o elemento mais consumido e utilizado pela humanidade, sendo fundamental para a existência de todos os seres vivos. Podendo ser natural, mineral, potável, salgada, desmineralizada, destilada, entre outras formas, é usada não somente para ingestão e higiene pessoal, mas para os mais diversos usos e processos, tanto nas cidades, indústrias ou no campo. Na construção civil, além do consumo humano ela é utilizada para limpezas em geral, componente de concretos e argamassas, cura úmida, umedecimento de solos para compactação, entre outros.

A água é um dos elementos integrantes do concreto, assim como o cimento, areia e brita. É fundamental para a hidratação cimento [2]. A partir da hidratação do cimento que são formados produtos com características de pega e endurecimento [3]. A hidratação ocorre sempre que há o contato do cimento com a água, acontecendo o endurecimento da pasta, porém depois de endurecido não há mais reação em contato com água. Por isso, que esse contato deve ocorrer apenas no momento da fabricação do concreto, pois se o cimento entrar em contato com a água na estocagem, ele vai empedrar ou endurecer antes do tempo, inviabilizando sua utilização na obra [10].

Além da hidratação, a água também influencia em outras características do concreto como trabalhabilidade e a consistência no estado fresco e a resistência no estado endurecido. O principal fator que influi na consistência é, sem dúvida, o teor água/mistura seca [5]. Concretos com pouca água ficam secos e com difícil trabalhabilidade, mas a água em demasia favorece a trabalhabilidade em detrimento da resistência. Sendo assim, nos concretos a quantidade de água é diretamente proporcional a trabalhabilidade e consistência, mas inversamente proporcional a resistência. O motivo que o excesso de água prejudica a resistência é que, depois de um tempo a água em excesso tende a evaporar e deixará minúsculos vazios no concreto, tornando-o menos resistente. Para evitar ou minimizar essa evaporação da água, em excesso ou não, devem ser realizados procedimentos de cura [2].

Devido a importância da água para a qualidade do concreto, a norma ABNT 15900-1 [11] detalha requisitos para seu uso e ensaios necessários a serem realizados para verificar se está adequada. Conforme a norma, a água adequada para uso em concreto deve ser potável, a mesma utilizada no abastecimento público [6]. Essa água não precisa ser ensaiada e atende aos requisitos. Águas derivadas de fontes subterrâneas, pluviais e residual industrial

podem ser adequadas, mas devem ser ensaiadas para comprovação de requisitos. Água salobra pode ser usada apenas para concretos não armados, mas devem ser ensaiada. Já água derivada de esgotos tratados ou não, não são adequadas para uso em concreto. De forma geral, impurezas na água, quando excessivas, podem ser bastante prejudiciais ao concreto. Podem afetar a resistência e o tempo de pega, gerar eflorescências e causar corrosão na armadura [12]. A água para uso no processo de cura deve ser a mesma utilizada na concretagem, para evitar a contaminação por impurezas.

2.3 Influência das intempéries

Chuva, sol, calor, frio, vento, umidade são variáveis que devem ser observadas durante todo o processo de concretagem, desde o armazenamento dos materiais até a cura. O risco de fissurações no concreto envolvem, entre outras, a temperatura ambiente, umidade relativa e velocidade do vento [13].

O cimento deve ser protegido da chuva e da umidade, pois só deve entrar em contato com água no momento do preparo do concreto e argamassas. A areia pode ficar exposta, mas se ocorrem chuvas, deve se ter o cuidado de fazer as correções de umidade e volume. A umidade da areia deve ser determinada, ou estimada, para que seja corrigida a quantidade de água a ser usada no traço do concreto evitando a quantidade de água do traço dosado seja excedida. Areia molhada também modifica seu volume devido ao inchamento, sendo necessário a correção para traços em volume. A brita também pode ficar exposta ao tempo, mas também deve ser observada a necessidade de correção da quantidade de água do traço ou de peso em caso de traço em massa.

A chuva também pode ser um problema no momento do lançamento do concreto. Devido o concreto ainda estar no estado fresco, pode ocorrer o aumento da quantidade de água na superfície, arrasto de nata de cimento e aumento da porosidade. Nesse caso, o ideal é cobrir o concreto já lançado e adiar a concretagem. Se no estado fresco a chuva é um problema, no estado endurecido pode ser um aliado. Após endurecido o concreto necessita de água para a cura e a chuva é bem-vinda para ajudar nesse processo.

O sol, em dias muito quentes e em obras que a céu aberto, pode gerar a necessidade de maiores cuidados no processo de concretagem. A incidência solar direta ao concreto pode acelerar o processo de evaporação da água de emassamento causando redução da trabalhabilidade no estado fresco e perda de água de hidratação no estado endurecido. A incidência solar também causa o aumento da temperatura dos agregados e da água, que consequentemente aumenta a temperatura do concreto em seu estado fresco. A temperatura é uma das causas de fissuração no concreto. Assim, quando necessário reduzir a temperatura do concreto recomenda-se que os agregados sejam resfriados por meio de aspersão de água e o uso de água gelada ou gelo no amassamento [13].

A temperatura também influencia na velocidade da reação de hidratação. Ela influencia na resistência dependendo do histórico tempo-temperatura da moldagem e cura. Quando mais altas (até 46°C), aceleram a hidratação e proporcionam resistências maiores nos primeiros dias (até 28 dias). Já temperaturas mais baixas, até 5°C ocorrem o contrário, retarda a pega e a hidratação, gerando menores resistências nos primeiros 28 dias. A situação se inverte considerando a cura ao longo do tempo. Em até 180 dias após a concretagem, a resistência dos concretos curados a temperaturas ambientes mais altas foram menores que os curados em temperaturas mais baixas [12]. Portanto, em locais de clima predominantemente quente os concretos tendem a possuir resistências iniciais maiores e finais menores, enquanto em locais de clima predominantemente frio a possuem resistências iniciais menores e finais maiores. Apesar de melhorar a resistência a longo prazo, baixas temperaturas podem dificultar o endurecimento do concreto, que vai impactar o tempo de desforma. Isso é um problema para o avanço da obra e quando a desforma rápida é importante como o setor de pré-moldados. Em casos em que a desforma rápida é necessária, o calor é bem-vindo, tanto que pode ser usado a cura a vapor de água a temperatura entre 60 e 80°C para acelerar o ganho de resistência nas primeiras idades [3,4]. A temperatura ambiente ideal para a cura situa-se entre 15 e 35°C. Temperaturas abaixo de 0°C são prejudiciais ao concreto, pois a expansão da água na solidificação rompe as ligações entre as partículas sólidas, diminuindo a sua resistência [5].

O vento é uma das variáveis que influenciam na taxa de perda de água do concreto no estado fresco [12], pois auxilia a evaporação da água superficial. Por ser uma variável difícil de ser evitada na prática, a cura deve ser com maior atenção em locais com ventos mais fortes e frequentes.

A umidade relativa do ar também influencia na taxa de perda de água do concreto no estado fresco [12]. Em locais com umidade do ar baixa, pode haver perda de trabalhabilidade do concreto que causa dificuldade de lançamento e adensamento. Para evitar esse problema, pode-se acelerar o processo de lançamento, realizando a mistura o mais próximo possível ao momento do lançamento ou usar um concreto com consistência um pouco mais fluida que o necessário com fator água/cimento maior ou uso de aditivos.

2.4 Cura do concreto

Cura de concreto pode ser definida como um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto e que deverá reagir com o cimento, hidratando-o [5]. É necessária porque a água não deve ser perdida pelo concreto, pois é fundamental para o processo de pega e endurecimento [3]. Além de evitar perda de água por evaporação, a cura tem outras funções:

- Controlar a temperatura e suprir água extra para a hidratação [3];

- Assegurar uma superfície com resistência adequada e a formação de uma capa superficial durável [6].

A cura quando realizada durante os primeiros estágios de endurecimento confere ao concreto as melhores condições para atingir as características desejadas. Características como baixa permeabilidade, baixa absorção de água, alta resistência à carbonatação e à difusão de íons, resistência mecânica e durabilidade adequada [4].

O procedimento de cura quando mal executado é uma das principais causas de defeitos e problemas que surgem no concreto, como a baixa resistência, as trincas e fissuras, corrosão de armadura e etc [10]. Quando bem executada ela é fundamental para minimizar a possibilidade do aparecimento dessas patologias. As várias qualidades desejáveis em um bom concreto, como resistência mecânica à ruptura e ao desgaste, impermeabilidade e resistência ao ataque de agente agressivos, são extremamente favorecidas e até mesmo somente conseguidas através de uma boa cura [5]. A cura é uma das atividades desenvolvidas na execução de estruturas de concreto, portanto deve ser executada corretamente assim como as outras etapas para garantia de sua qualidade [6].

2.4.1 Tipos de cura

Como anteriormente descrito, há diversos tipos de procedimentos de cura, dos mais simples aos mais tecnológicos, que custam pouco ou muito. Irrigação de água, submersão, recobrimentos, conservação das formas, impermeabilização por pinturas, aplicação de cloreto de cálcio, membranas e a vapor, são exemplos. O tipo a ser escolhido depende de algumas variáveis que devem ser avaliadas pelo construtor e o projetista da estrutura. Devem ser considerados o custo, disponibilidade de recursos, aplicabilidade, tipos de estrutura e situações climáticas para a definição do procedimento mais adequado.

O método de irrigação é considerado o mais simples e usual, apesar disso, em determinadas situações pode ser inviável. Obras em locais de difícil acesso ou pouca disponibilidade de água dificulta sua utilização. Nesses casos pode ser mais interessante o uso de outros métodos como impermeabilização por tintas, por exemplo. Em obras que busquem a redução e racionalização do uso da água, podem ser aplicados outros métodos que não usem esse recurso. A submersão é considerado o procedimento ideal, pois a água envolve toda a superfície exposta. Porém é pouco prática para a maioria dos casos. Recobrimentos são úteis contra a ação do vento e do sol, mas não é eficaz contra evaporação, exceto quando associada a irrigação. A conservação de formas é a ideal para estruturas em que as formas protegem maior parte da superfície como pilares e vigas. Além de serem mais esbeltas, a maior área superficial está no sentido vertical que impede o acúmulo de água. A impermeabilização por tintas pode ser bastante custosa, principalmente em peças de grande área superficial, como lajes. Há diversas opções no mercado e sua aplicação é geralmente de forma permanente, dessa forma, protege por mais tempo. A aplicação de cloreto promove a absorção de água do ambiente mantendo a superfície úmida. Sua remoção deve ser completa ao final, pois pode favorecer o ataque químico às armaduras. As membranas de cura proporcionam a impermeabilização da superfície durante o período de aplicação, sendo de grande valia para uso em lajes, piso e pistas, principalmente em concreto com cimentos pozolânicos ou escoria, que possuem reação mais lenta. A cura a vapor utiliza vapor de água a temperaturas entre 60 e 80°C, que favorece o rápido endurecimento do concreto. A resistência após um dia com esse procedimento pode equivaler aos 28 dias com cura normal. [5]

2.4.2 Tempo de cura

O tempo mínimo de cura é variável. Apesar de ser muito comum a recomendação que deve ser realizada no mínimo entre sete e dez dias [5], no Brasil não há determinação normativa a tempo mínimo. A NBR 14931 determina que o concreto deve ser curado até atingir endurecimento satisfatório e quando for elemento estrutural de superfície até atingir resistência de 15 MPa [6]. Para Levy e Helene (2013) o ideal seria até os 20 MPa [4]. Para a maioria dos concretos no Brasil, essa resistência é atingida entre dois e dez dias de idade [3].

A *American Concrete Institute (ACI)* recomenda que concretos, que não sejam de alta resistência, devem ser curados durante pelo menos sete dias e mantidos acima de 10°C (50°F), exceto quando usado cura acelerada, como a vapor. Já para concretos de alta resistência o tempo mínimo de cura recomendado são três dias. Também há a recomendação que a cura deve ser realizada até que o concreto atinja 70% da resistência especificada em projeto. Nos casos em que a durabilidade seja fator muito importante, a cura deve se estender por mais tempo. [4]

Um fato é que, quanto maior for o tempo de cura, maior será a resistência do concreto, pois a hidratação das partículas de cimento ainda estará em curso [12]. Apesar disso, há estudos que afirmam que após 14 dias, a cura úmida não acrescenta ao concreto ganho substancial de resistência [3]. A hidratação é um processo lento. Em condições de temperatura e umidade normais (23°C e umidade 98%), o grau de hidratação do cimento atinge valores entre 65% e 75%, podendo chegar aos 100% em aproximadamente 50 anos. Em condições de baixa relação água/cimento ou em ambientes muito secos é possível que a hidratação completa nunca seja alcançada [4].

O tempo de cura está associado ao crescimento da resistência do concreto. Portanto, os fatores que influenciam na resistência podem ser considerados para definir esse tempo. Os principais fatores são a relação água/cimento, o grau de hidratação do cimento e o tipo do cimento (finura, adições, etc)[4]. Outros fatores também influenciam de forma secundária, como as intempéries e a geometria das peças. Levy e Helene (1996) sintetizaram uma tabela com os tempos mínimos de cura em relação ao tipo de cimento e fator água/cimento. Segue tabela 01:

Cimento \ a/c	0,35	0,55	0,65	0,70
CP I e II 32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP IV-POZ 32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP III-AF 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

Tabela 01: Tempo mínimo de cura em função do tipo de cimento e da relação a/c. [3]

Conforme a tabela, verifica-se que quanto maior o fator água/cimento, maior o tempo necessário para a cura. Como concretos com maiores relação água/cimento tendem a apresentar resistências mais baixas, observa-se que concretos de menor resistência, como em pequenas obras, necessitam de maiores cuidados, o que não ocorre na maioria dos casos [4]. Verifica-se também que, concretos com cimentos de maior resistência e de alta resistência inicial necessitam de menores tempos de cura.

2.5 Ensaios de resistência a compressão no laboratório

O fato do ensaio de resistência a compressão realizado durante a dosagem e o controle tecnológico ser realizado em laboratório, com corpos de prova mantidos em condições diferentes da estrutura que ele representa, traz o questionamento do quanto os resultados laboratoriais representam a real resistência do concreto aplicado na obra. No laboratório o corpo de prova é mantido em temperatura diferente da obra, sem exposição ao sol ou ação do vento, e principalmente, é geralmente mantido em cura submersa. O método de cura submersa é o ideal [5]. Porém esse método tem aplicação restrita e pouco prático para ser realizado na obra. Assim, os corpos de prova estão no laboratório em condições ideais, o que irá maximizar os resultados de resistência. Portanto, pode-se inferir que devido as condições divergentes, os resultados do laboratório não refletem fielmente a resistência do concreto aplicado em campo.

Para que o concreto aplicado na obra apresente valores de resistência próximos aos obtidos no laboratório, as condições de exposição devem ser as mesmas. Porém, manter na obra as condições de temperatura, exposição ao sol e ação do vento semelhantes ao do laboratório são inviáveis ou impossíveis a depender do local e porte da obra. Então o mais coerente é manter os corpos de prova em condições iguais ou semelhantes ao da estrutura que eles representam. Para isso, a norma ABNT 5738/15 determina que quando deseja-se verificar as condições de proteção e cura do concreto, os corpos de prova devem ser armazenados sobre ou próximo a estrutura e receber as mesmas proteções e cura [14].

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de verificar a variação de resistência a compressão em concretos sob condições de cura diferentes, foi escolhido um traço de concreto com determinado fator água/cimento e consumo de cimento. Foram moldados corpos de prova (CP) e que foram submetidos as seguintes condições de cura:

- A - Cura úmida por submersão durante 28 dias.
- B - Cura úmida por irrigação durante 7 dias protegido de intempéries.
- C - Cura úmida por irrigação durante 7 dias exposto a intempéries.
- D - Cura úmida por irrigação durante 3 dias protegido de intempéries.
- E - Cura úmida por irrigação durante 3 dias exposto a intempéries.
- F - Cura úmida por irrigação e recobrimento durante 3 dias protegido de intempéries.
- G - Cura úmida por irrigação e recobrimento durante 3 dias exposto a intempéries.
- H - Cura ao ar protegido de intempéries.
- I - Cura ao ar exposto a intempéries.

Foram moldados dois corpos de prova (Figura 01) para cada idade e para cada condição de exposição de cura. Foram analisadas as idade de 7 e 28 dias, portanto, quatro CP's para cada condição, sendo dois para 7 dias e dois para 28 dias. O valor da resistência para cada idade e condição foi a média dos dois valores obtidos.



Figura 01: Moldagem dos corpos de prova. (autoria própria)

Os corpos de prova foram moldados com único traço de concreto, para que a análise fosse baseada em uma resistência referencial. O traço escolhido para a análise foi o 1 : 2,85 : 2,90 em massa, com fator água/cimento de 0,60 e a consistência realizada de acordo com o ensaio de abatimento de tronco de cone (Figura 02) foi de 60 mm. A resistência estimada para esse traço utilizando o cimento CP-II-E-32 é de 25 MPa aos 28 dias [15]. O cimento utilizado foi escolhido devido sua maior disponibilidade na região e tem grande uso nas obras locais. A areia foi utilizada areia lavada quartzosa e a brita com dimensão máxima característica de 19 mm.



Figura 02: Ensaio de abatimento de slump. (autoria própria)

As condições de cura foram variadas, na tentativa de reproduzir as variações encontradas nas obras, como diferenças climáticas, exposição ao sol e vento, tempo e tipo de cura. Os procedimentos de cura seguirão as seguintes diretrizes:

- Cura úmida por submersão foi executada conforme NBR 5738/15.
- Cura por irrigação foi executada com água potável, em temperatura ambiente, três vezes ao dia, sendo um vez no início da manhã, uma vez próximo ao meio-dia e outra vez ao fim da tarde.
- O recobrimento foi realizado com saco plástico envolvendo o corpo de prova por cima e nas laterais, sendo a água colocada por baixo do recobrimento.
- Os corpos de prova protegidos de intempéries ficaram em local fechado, protegido da ação do sol, chuva e ventos (Figura 03).
- Os corpos de prova expostos a intempéries ficaram em local a céu aberto, sem proteção contra a ação do sol, chuva e ventos (Figura 04).



Figura 03: Cura por irrigação protegido de intempéries.
(autoria própria)



Figura 04: Cura por irrigação exposto a intempéries.
(autoria própria)

Após o processo de cura, os corpos de prova foram nivelados em retífica (figura 05) e rompidos em prensa (figura 06) da marca Brasil Solos, com capacidade para 100 toneladas. A prensa estava com a calibração em dia.



Figura 05: Retífica dos corpos de prova.
(autoria própria)



Figura 06: Ruptura dos corpos de prova.
(autoria própria)

As etapas acima foram realizadas na cidade de Mossoró/RN entre os dias 16/09/2021 (moldagem) e 13/10/2021 (rompimento aos 28 dias). A confecção concreto e moldagem dos corpos de prova foram realizados no laboratório da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, a cura na residência do autor desse artigo e o rompimento no laboratório da empresa especializada em controle tecnológico Prointest.

Durante cura exposta a intempéries, os corpos de prova ficam sob a ação do sol e vento intensos, portanto foram bastante influentes nos resultados. Em Mossoró, as intempéries são particularmente influentes, pois a cidade registra temperaturas médias, máximas e mínimas anuais de 27,6°C, 30,0°C e 24,1°C, respectivamente, com extremos de até 37°C. A umidade relativa do ar média anual é 68,3% [16].

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concluídas as etapas de moldagem, cura e rompimento dos corpos de prova, foram encontrados os seguintes valores de resistência a compressão, em megapascals (MPa), apresentados na Tabela 02. Os dados também estão apresentados no gráfico da Figura 07:

Idade Tipo de cura	7 dias			28 dias		
	CP 1	CP 2	Média	CP 1	CP 2	Média
A	17,5	18,5	18,0	25,3	26,3	25,8
B	20,6	19,1	19,8	25,6	24,8	25,2
C	16,5	17,5	17,0	23,8	24,0	23,9
D	19,0	19,0	19,0	27,3	22,4	24,9
E	18,8	18,1	18,4	21,2	24,2	22,7
F	17,5	19,6	18,5	23,3	25,8	24,5
G	17,5	19,0	18,2	26,4	20,9	23,7
H	17,0	18,3	17,6	24,3	22,5	23,4
I	15,4	12,6	14,0	18,3	18,0	18,1

Tabela 02: Resistência a compressão em MPa dos corpos de prova.

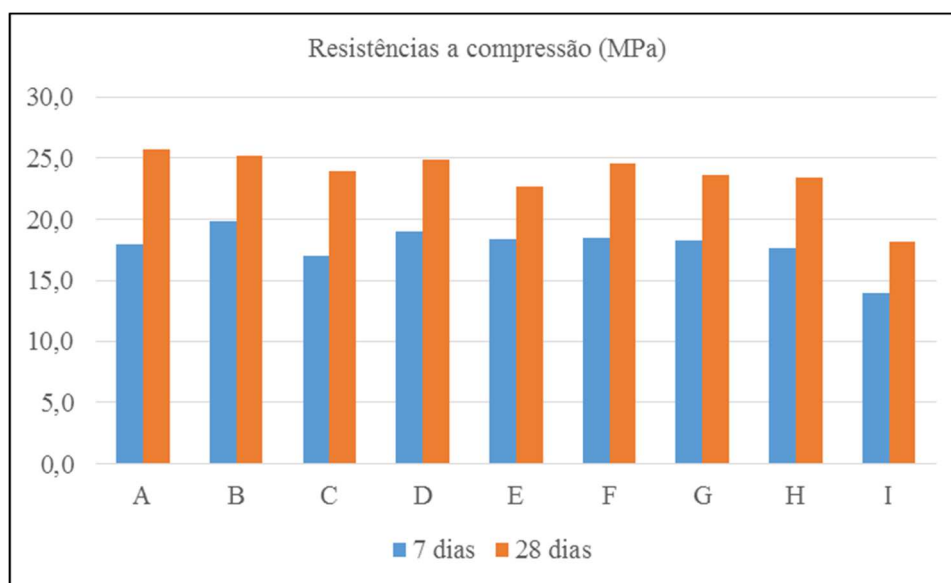


Figura 07: Resistência a compressão em MPa por idade e tipo de cura.

Os corpos de prova foram expostos a condições climáticas e de cura diferentes para fosse avaliada a importância da cura, principalmente em concretos com maior exposição, sendo em áreas descobertas ou em locais com temperaturas mais quentes. Nota-se, que houve sensível redução nas resistências quando compara-se concreto com a mesma cura, mas em condições de exposição distintas. Comparando os resultados aos 28 dias das condições B e C, D e E, F e G, H e I, verifica-se as diferenças, em porcentagem, conforme tabela abaixo:

Relação	%
B / C	5,4
D / E	9,6
F / G	3,6
H / I	28,9

Tabela 03: Relação entre resultados de mesma condição de cura.

Os dados acima mostram que na condição B, o concreto obteve resultado 5,4% maior que na condição C. Na condição D, obteve resultado 9,6% maior que E. Na condição F, obteve resultado 3,6% maior que em G. Na condição H, obteve resultado 28,9% maior que em I. Portanto, em todos os casos, nota-se que a exposição a intempérie influencia de forma significativa na resistência e que essa influência é maior, quanto menor o tempo de cura. A diferença aumentou de 5,4% com a cura durante sete dias, para 28,9% sem a cura úmida, inferindo-se assim, que a cura é muito mais importante para concreto expostos a intempéries. A exceção foi a relação F/G, cura a diferença foi a menor, de apenas 3,6% que pode ser explicada pelo fato da utilização do recobrimento durante os três primeiros dias de cura, podendo-se concluir que o recobrimento auxilia na proteção contra intempéries.

Analisando os resultados considerando a quantidade de dias de cura, compara-se os as condições B, D, F e H, que variam os dias, mas tem em comum a proteção contra intempéries. Relacionando os valores a referência A, temos a tabela abaixo:

Relação	%
A / B	2,2
A / D	3,7
A / F	5,1
A / H	10,2

Tabela 04: Relação entre resultados B, D, F e H em relação a A.

Nota-se apenas uma pequena variação crescente quanto menor o tempo de cura, sendo a condição B com 2,2%, a condição D com 3,7% e a condição F com 5,1% em relação a A. Esses resultados, apesar de crescentes, são relativamente próximos, que pode indicar que, para locais protegidos ou com intempéries pouco intensas, a cura após os primeiros 3 dias não é tão relevante para resistência final. Já a diferença da resistência de H com 10,2% de diferença, é maior e mais relevante que os demais, demonstrando que a falta de cura, principalmente nos três primeiros dias, é prejudicial ao concreto.

Analisando os resultados considerando a quantidade de dias de cura, compara-se as condições C, E, G e I, que variam os dias, mas tem em comum a exposição a intempéries. Relacionando os valores a referência A, temos a tabela abaixo:

Relação	%
A / C	7,8
A / E	13,6
A / G	8,9
A / I	42,1

Tabela 04: Relação entre resultados C, E, G e I em relação a A.

Nota-se primeiramente uma maior a variação desses resultados em relação aos que foram protegidos de intempéries, reforçando o quão agressivo é para o concreto a exposição ao sol e vento. Nota-se também o aumento significativo da diferença de C para E, de 7,8% para 13,6% em relação a A, podendo-se inferir que, para concretos expostos a cura após os 3 dias é bastante relevante para a resistência final. Já o resultado de G é semelhante ao de C, reforçando que o recobrimento auxilia no ganho de resistência. Já a diferença da resistência de I é muito maior e mais relevante que os demais (42,1%), demonstrando que a falta de cura, principalmente quando o concreto é exposto a intempéries, é altamente prejudicial, pois pode interferir nas reações de hidratação e consequentemente no desenvolvimento da resistência.

5. CONCLUSÕES

Os resultados dessa pesquisa, reforçam a fundamental importância da etapa de cura para o concreto de cimento Portland, visto a variação das resistências em diferentes condições de cura. Diante dos valores encontrados, conclui-se que:

- A cura é fundamental para o que o concreto atinja sua melhor resistência;
- Os primeiros três dias de cura são fundamentais para o ganho de resistência do concreto;
- Para concretos sem ou com baixa exposição a intempéries podem ter o período de cura minimizado, conforme tabela 01, desde que bem executada. No caso estudado, a cura após três dias não obteve ganhos muito significantes.
- Concretos expostos a intempéries mais rigorosas, como exposição solar e vento de forma intensa, devem receber mais atenção no procedimento de cura, principalmente nos primeiros dias e preferencialmente curar por no mínimo sete dias.
- Associar o recobrimento a cura úmida, auxilia no ganho de resistência, principalmente quando o concreto está exposto a fortes intempéries;
- A ausência de procedimento de cura pode reduzir a resistência do concreto em até aproximadamente 42% quando comparado a cura úmida submersa. Principalmente em locais com temperaturas elevadas, com máximas acima de 30°C, como no local do estudo.

Deve-se considerar que a influência da cura na resistência pode variar a depender do tipo de cimento, fator água/cimento e intensidade das intempéries. Portanto, os resultados e conclusões encontradas são especificamente para o tipo de cimento, fator água/cimento e faixa de temperaturas descritas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PEDROSO, Fábio L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Revista Concreto & Construções, São Paulo, n° 53, p. 14-19, Março, 2009.
- [2] BOTELHO, Manoel H. C; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo**. 3.ed ampliada. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002.
- [3] LEVY, Salomon. M; HELENE, Paulo. R. L. **Cura: Quando, como e por quê**. Revista Técnica, São Paulo, n° 20, p. 18-21, Fev, 1996.
- [4] HELENE, Paulo. R. L; LEVY, Salomon. M. **Cura do concreto**. v.08. Mérida: ALCONPAT, 2013. 10p.
- [5] BAUER, Luiz. A. F. **Materiais de construção**. Vol. 1. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 53p.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2014, 238p.
- [8] TUTIKIAN, Bernardo. F; HELENE, Paulo R. L. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**. In: ISAIA Geraldo C. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1.ed. São Paulo: IBRACON, 2011, v. 1, p. 415-451.
- [9] HELENE, Paulo. R. L; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem do concreto**. 1.ed. São Paulo: Pini, 1992.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo: ABCP, 2002. 28p.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto- Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 11p.
- [12] MEHTA, P. K; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [13] SILVA, Cláudio O.; BATTAGIN; Arnaldo F. **Impacto da temperatura do cimento na temperatura do concreto e medidas para prevenir a retração plástica**. Revista Técnica, São Paulo, n° 183, p. 62-65, Junho, 2012.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015, 9p.
- [15] BARBOZA, Marco R.; BASTOS, Paulo S. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. Revista Concreto & Construções, São Paulo, n° 52, p. 32-36, Out, 2008.
- [16] SILVA, Sabrina A. de O. **Análise das variáveis meteorológicas no município de Mossoró-RN (1970-2013)**. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, RN, 2014.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 09:00 horas do dia onze de novembro de dois mil e vinte e um, através de uma videoconferência via Google Meet, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de autoria do aluno **HOFFMANN RODRIGO DE SOUZA RODRIGUES ALVES**, aluno do Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula, **2014010940** com o título “**SIMULAÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE CURA PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**”. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Profa. Dra. MARILIA PEREIRA DE OLIVEIRA, presidente da banca e orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. Dr. ALISSON GADELHA DE MEDEIROS e a Profa. Dra. MARINEIDE JUSSARA DINIZ, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o parecer do trabalho do aluno como **Aprovado**. E para constar, eu, MARILIA PEREIRA DE OLIVEIRA, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 11 de novembro de 2021.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Profa. Dra. MARILIA PEREIRA DE OLIVEIRA – UFERSA
Presidente e Orientadora

Prof. Dr. ALISSON GADELHA DE MEDEIROS – UFERSA
Primeiro Membro

Profa. Dra. MARINEIDE JUSSARA DINIZ - UFERSA
Segundo Membro