



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EFEITO DA CURA QUÍMICA SOBRE A EVOLUÇÃO DA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS SUBMETIDAS À
DIFERENTES AMBIENTES DE EXPOSIÇÃO

MURILLO BARBOSA BRITO

BARREIRAS-BA
DEZEMBRO-2025

MURILLO BARBOSA BRITO

**EFEITO DA CURA QUÍMICA SOBRE A EVOLUÇÃO DA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS SUBMETIDAS À
DIFERENTES AMBIENTES DE EXPOSIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
do Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau
de Engenheiro Civil.

Orientador: Dr. Juarez Hoppe Filho

**BARREIRAS-BA
DEZEMBRO-2025**

FICHA CATALOGRÁFICA

B862 Brito, Murillo Barbosa.

Efeito da cura química sobre a evolução da resistência à compressão de argamassas submetidas à diferentes ambientes de exposição. / Murillo Barbosa Brito. – 2025.

71f.

Orientador: Prof. Dr. Juarez Hoppe Filho.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2025.

1. Cura química; 2. Cura de argamassa; 3. Resistência à compressão; 4. Variação de massa. I. Hoppe Filho, Juarez. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

MURILLO BARBOSA BRITO

**EFEITO DA CURA QUÍMICA SOBRE A EVOLUÇÃO DA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS SUBMETIDAS À
DIFERENTES AMBIENTES DE EXPOSIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
do Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau
de Engenheiro Civil.

Aprovada em 05 de dezembro de 2025

Banca Examinadora

Orientador: _____
Juarez Hoppe Filho
Professor da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Roberto Bagattini Portella
Professor da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Diandra Chisa Tanaka
Engenheira Civil

*À minha família que, com muito amor e apoio,
não mediram esforços para que eu chegasse até
esta etapa da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela minha vida, por cada oportunidade que me foi concedida e por ter me dado força, saúde e serenidade para seguir em frente, mesmo diante das dificuldades. Sem Sua presença e amparo, eu não teria chegado até aqui.

À minha família — minha mãe, Suliene; meu pai, Welliton; e minha irmã, Samara — expresso minha mais profunda gratidão. Obrigado por todo amor, apoio e incentivo que sempre me deram. Cada palavra, cada gesto e cada demonstração de confiança foram fundamentais para que eu não desistisse.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Juarez Hoppe Filho, agradeço pela atenção, pela paciência e pelo constante incentivo ao longo do desenvolvimento deste trabalho, desempenhando tal função com dedicação e amizade.

Ao Prof. Dr. Roberto Bagattini Portella e à Eng. Diandra Chisa Tanaka por aceitarem contribuir no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus amigos, em especial Arthur, André, Fellipe e Luane, que me auxiliaram e me incentivaram nessa caminhada.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), agradeço por ter proporcionado as condições necessárias para a realização deste trabalho

RESUMO

A cura adequada de materiais cimentícios é essencial para garantir a hidratação do cimento e o desenvolvimento das propriedades mecânicas e de durabilidade. Embora a cura úmida seja o método tradicional, sua aplicação em canteiros de obra apresenta desafios, como elevado consumo de água e necessidade de controle contínuo. Nesse contexto, a cura química surge como alternativa potencial, por reduzir a dependência de recursos hídricos e simplificar o processo de execução. O presente trabalho avaliou a eficiência de um agente de cura química à base de hidrocarbonetos parafínicos na retenção de umidade superficial em argamassas, comparando-o com a cura idealizada por submersão nos efeitos sobre a resistência à compressão aos 3, 7, 28 e 56 dias. O procedimento de cura de referência seguiu as instruções normativas prescritas na norma técnica de determinação de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos – ABNT NBR 7215:2025. Corpos de prova com cura química e sem tratamento foram expostos a três condições: ambiente laboratorial (indoor), ambiente externo (outdoor) e estufa a 105 °C. Os resultados indicam que os métodos alternativos de cura reduziram a resistência à compressão em todas as idades analisadas. A cura química apresentou eficácia limitada, atuando de forma mais relevante apenas nas primeiras idades e, sobretudo, no ambiente externo. Entretanto, ao final do período estudado, seu desempenho não superou o dos corpos de prova expostos ao ar, evidenciando que o agente utilizado não foi capaz de reproduzir as condições de hidratação promovidas pela cura úmida.

Palavras-chave: Cura química. Cura de argamassa. Resistência à compressão. Variação de massa.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA	13
1.2 OBJETIVO	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 IMPORTÂNCIA DA CURA NOS MATERIAIS DE BASE CIMENTÍCIA.....	19
2.2 MÉTODOS DE CURA ÚMIDA	23
2.2.1 Imersão em água	23
2.2.2 Método de lagoa ou alagamento.....	23
2.2.3 Cobertura com substratos úmidos	24
2.2.4 Nebulização e aspersão	24
2.3 CURA QUÍMICA	25
2.4 COMPARAÇÕES ENTRE CURA QUÍMICA E OUTROS MÉTODOS.....	28
3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	32
3.1 MATERIAIS	32
3.1.1 Cimento Portland	32
3.1.2 Areia comercial regional	32
3.1.3 Água	34
3.1.4 Agente de cura.....	34
3.2 MÉTODOS	34
3.2.1 Tipo de amostra.....	35
3.2.2 Preparo das amostras.....	36
3.2.2.1 Preparação da argamassa.....	36
3.2.2.2 Índice de consistência das argamassas	36
3.2.2.3 Moldagem dos corpos de prova e cura	39
3.2.3 Condições de exposição	40
3.2.3.1 Cura submersa (REF) e exposição à alta temperatura (estufa - 105 °C).....	40
3.2.3.2 Exposição ao ar em ambiente interno (AI)	41
3.2.3.3 Exposição ao ar em ambiente externo (AE)	41
3.2.3.4 Cura química em ambiente interno (QI).....	41
3.2.3.5 Cura química em ambiente externo (QE)	42
3.2.4 Ensaio de variação de massa	43
3.2.5 Ensaio de resistência à compressão.....	44

3.2.6 Dados climáticos	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 DADOS CLIMÁTICOS	47
4.2 VARIAÇÃO DE MASSA	51
4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	58
5. CONCLUSÕES	68
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resistência à compressão relativa de concretos e argamassas submetidos à procedimentos de cura em condições não idealizadas.....	22
Figura 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo.....	34
Figura 3: Fluxograma do planejamento experimental.....	35
Figura 4 - Molde tronco-cônico preenchido com argamassa	37
Figura 5 - Argamassa após retirada do molde	38
Figura 6 - Espalhamento da argamassa	38
Figura 7 - Leitura do diâmetro da argamassa espalhada	39
Figura 8 - Corpos de prova pós moldagem cobertos por filme de polietileno	40
Figura 9 - Corpos de prova expostos em ambiente interno	42
Figura 10 - Corpos de prova expostos em ambiente externo	42
Figura 11 - Corpos de prova expostos em estufa à 105 °C. À esquerda, 4 CP's sem tratamento superficial. À direita, 4 CP's com aplicação do agente de cura química à base de hidrocarbonetos parafínico.....	44
Figura 12 – Retífica utilizada para o preparo das superfícies planas dos CP's.....	45
Figura 13 - Corpo de prova após o ensaio de resistência à compressão.....	45
Figura 14 - Dados climáticos referentes às primeiras 24 horas após a moldagem dos corpos de prova.....	48
Figura 15 - Dados climáticos referentes às primeiras 24 horas após os corpos de prova serem expostos ao ambiente externo.....	49
Figura 16 - Dados climáticos referentes às idades de 3, 7, 28 e 56 dias dos CP's expostos ao ambiente externo.....	50
Figura 17 - Temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas e chuva acumulada em 24 horas ao longo do período de 56 dias de exposição da argamassa.....	51
Figura 18 - Massa média dos CP's nas idades de 1, 3, 7, 28 e 56 dias	52
Figura 19 - Corpos de prova expostos ao ambiente externo em recipiente com lâmina d'água após chuva	53
Figura 20 - Corpos de prova curados quimicamente apresentando fissuração na membrana forma pelo agente de cura.....	54
Figura 21 - Massas relativas dos CP's submetidos a tratamentos de cura alternativos em relação à cura submersa (REF)	55

Figura 22 - Variação de massa dos CP's expostos em estufa a 105°C durante 21 dias e ambiente laboratorial entre 21 e 28 dias.....	55
Figura 23 - Variação de massa dos CP's expostos em estufa a 105°C durante 21 dias e submerso entre 21 e 28 dias.....	57
Figura 24 - Variação de massa dos corpos de prova e eficiência das diferentes condições de exposição em relação a perda máxima alcançada pelos corpos de prova em estufa.....	58
Figura 25 - Resistência à compressão dos CP's de argamassa até os 56 dias sob cada condição de cura.....	59
Figura 26 - Curva de evolução da resistência à compressão dos CP's em ambiente interno...	60
Figura 27 - Curva de evolução da resistência à compressão dos CP's em ambiente externo ..	61
Figura 28 - Curva de evolução da resistência à compressão dos CP's curados ao ar	62
Figura 29 - Curva de evolução da resistência à compressão dos CP's curados quimicamente	62
Figura 30 - Resistência à compressão relativa dos CP's submetidos a procedimentos de cura alternativos em relação à cura submersa (REF)	63
Figura 31 - Resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova expostos na estufa	65
Figura 32 – Curva de evolução das resistências para todas as condições de exposição.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Trabalhos científicos que abordam os efeitos da cura ao ar sobre a resistência à compressão	21
Tabela 2 - Caracterização do agregado miúdo	33

1. INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo visa apresentar a importância e a relevância da adoção do procedimento de cura química em substituição à cura úmida, normalmente empregada nos canteiros de obra, além de abordar o objetivo do trabalho a ser desenvolvido e a justificativa para a sua realização. Portanto, o leitor deve compreender resumidamente, ao término deste capítulo, a conjuntura prática que está envolvida na utilização de cura química de materiais de base cimentícia em detrimento à cura úmida.

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

Os materiais de base cimentícia, dentre eles as argamassas e os concretos, necessitam de uma quantidade mínima de água para garantir a hidratação das fases anidras do clínquer e das adições minerais ativas presentes na composição do cimento Portland. Esta quantidade é suprida pela água de mistura, a qual normalmente excede a demanda físico-química das reações de hidratação, uma vez que se busca uma consistência e fluidez pré-estabelecidas. Esta premissa ocorre na maioria das aplicações correntes, exceto em situações excepcionais onde a relação água/cimento é inferior a 0,42 (NEVILLE, 2016).

Há que se considerar que a aplicação de argamassas e concretos nos canteiros de obra expõe estes materiais às condições climáticas do entorno. Nestes casos, parte da água de mistura tende a ser suprimida do material, a depender do microclima que envolve o ambiente edificado. A magnitude desta “secagem” depende de: fatores ambientais como amplitude térmica diária, umidade relativa no entorno da estrutura, incidência, ou não, de radiação solar e ação dos ventos; e de fatores inerentes ao material de base cimentícia, tais como proporção de mistura, relação água/cimento, tipo de ligante, presença, ou não, de aditivos, etc. A interação microclima-material é quem determina o montante de água que migra do material para o ambiente. Condições ambientais mais hostis – elevada incidência solar, maior velocidade dos ventos, altas temperaturas e baixa umidade relativa - favorecem a perda de água, assim como materiais com especificações deficientes.

Esta perda da água que ocorre do concreto fresco pode resultar em efeitos prejudiciais, pois afeta diretamente o desenvolvimento da sua microestrutura. O Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H), por exemplo, um dos produtos mais importantes do processo de hidratação, é afetado pelo teor de umidade na mistura e pela umidade relativa. O C-S-H tem uma influência

considerável nas propriedades da pasta de cimento endurecida, como na resistência à compressão, estabilidade volumétrica e permeabilidade (ATSBHA & ZHUTOVSKY, 2022). Aumentar o teor de água na mistura para minimizar esta questão, porém, não tem funcionalidade, já que uma maior relação a/c aumenta a perda de água por evaporação, diminuindo a umidade relativa nos poros capilares, além de reduzir a resistência à compressão (ATSBHA & ZHUTOVSKY, 2022). O fato é que sempre haverá perda de água de mistura para o ambiente e, desta forma, compete aos responsáveis técnicos adotar práticas para mitigar o máximo possível este inconveniente.

A lógica conduz à necessidade de manter a saturação dos materiais de base cimentícia para que seja extinta qualquer perda de água e se obtenha, então, uma condição idealizada para a hidratação do cimento Portland. Tal situação representa as condições de cura prescritas na ABNT NBR 5738:2016 Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, ou seja, cura submersa em solução aquosa saturada com cal ou câmara com umidade relativa superior a 95%, ambas em faixas de temperatura controladas. Como consequência desta prática, obtém-se resultados de resistência à compressão que representam a potencialidade máxima do material testado. Para Neville (2016), esta é uma das propriedades mais importantes. Ela oferece uma visão geral da qualidade do concreto, visto que está relacionada à estrutura da pasta de cimento hidratada. Contudo, esse procedimento ainda tem sido bastante negligenciado nas obras, não se apresentando tão eficiente. Logo, menores valores de resistência à compressão tendem a ser verificados.

A cura é o termo utilizado para descrever os métodos adotados para promover a hidratação do cimento, envolvendo o controle da temperatura e da percolação no material de base cimentícia. O American Concrete Institute (ACI) define cura como sendo *“uma ação tomada para manter as condições de umidade e temperatura em uma mistura cimentícia recém-lançada para permitir que a hidratação do cimento e reações pozolânicas ocorram de modo que as propriedades potenciais da mistura possam se desenvolver”*. Sendo assim, o objetivo da cura é manter este material saturado, ou o mais próximo possível disso, até que os espaços originalmente preenchidos com água na pasta de cimento fresca tenham sido preenchidos pela quantidade requerida de produtos de hidratação do cimento (NEVILLE, 2016).

Quando o processo de cura não é conduzido de forma apropriada, isso impacta diretamente na resistência à compressão e durabilidade do concreto, as quais, segundo Helene e Levy (2013), são inicialmente controladas pelas propriedades das camadas superficiais dos elementos estruturais. A perda de água de mistura por evaporação impossibilita a plena

hidratação do cimento, além de intensificar o fenômeno de retração, favorecendo o aparecimento de fissuras e trincas, o que torna o concreto menos resistente e mais suscetível ao ataque de agentes agressivos (BAUER, 2019).

Ao se tratar do período em que o concreto deve ser submetido à cura, é crucial considerar as exigências técnicas, que recomendam a duração mais longa possível. Segundo a ABNT NBR 14931:2023 Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras – Requisitos, enquanto o concreto não atingir endurecimento satisfatório, o mesmo deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais, devendo os elementos estruturais de superfície serem curados até que atinjam resistência característica à compressão (f_{ck}) igual ou maior que 15 MPa.

Para Bauer (2019), ainda devem ser considerados vários fatores ao determinar a duração do processo de cura, incluindo o prazo para remoção de escoras, o tipo de cimento utilizado, a forma da estrutura, a exposição ao sol e ao vento, bem como os fatores climáticos no local ou na ocasião. Além disso, dependendo do tipo de construção, das características da estrutura e dos requisitos específicos, como resistência mecânica, impermeabilidade ou resistência a ataques de agentes agressivos, é necessário garantir uma cura adequada, que deverá ser tão rigorosa e prolongada quanto mais severas forem as condições de exposição posteriores.

Existem várias maneiras de executar o procedimento de cura em elementos estruturais de concreto, e a seleção da técnica mais apropriada dependerá das variáveis específicas encontradas em cada projeto. Na obra, há algumas práticas de execução que são mais comuns como: a cura por aspersão, por substrato encharcado, por molhagem esporádica ao longo dos primeiros 2 a 3 dias, através da utilização de lona para proteger a estrutura de ventos e da incidência solar, entre outras. Contudo, apesar de serem métodos bastante eficientes, se adequadamente executados, a sua utilização no dia a dia depende de considerável tempo e recursos, sendo que uma técnica de cura eficaz e econômica deva ser preferida para obter as qualidades desejadas (IBRAHIM *et al.*, 2013). Outra prática comumente utilizada é a exposição ao ar (ausência de cura controlada), ocorrendo quando o concreto é deixado exposto às condições ambientais sem qualquer proteção ou método para reter umidade. Diferente dos métodos de cura úmida, a sua prática compromete significativamente a qualidade e a durabilidade do concreto.

Em geral, os métodos de cura externa com água dependem do movimento unidimensional da água da superfície externa do concreto para dentro, têm uma profundidade de influência limitada e necessitam de uma quantidade considerável de recursos (ATSBHA &

ZHUTOVSKY, 2022). Estes mesmos autores afirmam que se deve considerar alguns fatores antes de selecionar qualquer método de cura. Alguns destes são: a disponibilidade de materiais de cura, tamanho e forma do produto final, a economia, as condições ambientais, a supervisão e a produção local *versus* a produção na planta. Sendo assim, os métodos de cura externa com água geralmente requerem recursos significativos, o que faz com que ela frequentemente seja negligenciada ou parcialmente realizada.

Posto isso, uma possibilidade de utilização de um método alternativo surge. A cura química. Este é um processo no qual se utiliza produtos químicos formadores de membrana, que auxiliam na prevenção da perda de água da superfície do concreto. A sua aplicação não apenas elimina a exigência de água potável adicional e supervisão constante durante o processo de cura, mas também oferece uma alternativa viável em situações onde os métodos tradicionais de cura úmida se tornam impraticáveis (SURANA *et al.*, 2017).

Na indústria da construção, diversos métodos de cura são utilizados para assegurar a qualidade do concreto. Entretanto, é essencial optar por uma técnica de cura que seja não apenas eficaz, mas também econômica, para alcançar as propriedades desejadas no concreto final. A eficácia desses métodos de cura é avaliada com base na sua capacidade de prevenir a secagem prematura do concreto e de promover uma hidratação contínua e completa.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho, está pautado no estudo da eficiência de agente de cura química em selar a superfície de argamassas e reter a água de mistura e, conseqüentemente, os efeitos sobre a evolução da resistência à compressão ao longo de 56 dias, por confrontação dos resultados com aqueles observados em cura submersa (condições idealizadas) e sem qualquer tipo de cura. Por fim, é objetivo explicitar a viabilidade técnica, ou não, deste procedimento de cura para a região de estudo, destacando a eficiência em relação à cura em condições idealizadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil, nos últimos anos, vem apresentando um ritmo acelerado de desenvolvimento. Na cidade de Barreiras, localizada na região oeste da Bahia, isto não tem sido diferente. Por ser um polo de crescimento regional, tem atraído cada vez mais altos investimentos em sua infraestrutura, tanto por parte da iniciativa privada quanto pública. Apesar

do município apresentar uma área urbana considerável para seu crescimento e ampliação, o desenvolvimento verticalizado em seu centro urbano tem se destacado bastante nos últimos anos. Sabendo disso, fica clara a necessidade de maior controle de qualidade na construção das edificações, o que implica diretamente na busca por melhor desempenho do concreto.

As condições climáticas peculiares de Barreiras representam um parâmetro essencial para análise. A cidade possui um padrão climático distinto, com elevadas temperaturas, intensa radiação solar e longos períodos de estiagem que duram aproximadamente 6 meses/ano. Neste período, em específico, as altas temperaturas e as baixas umidades relativas do ar potencializam a perda de parte da água de mistura do concreto para o ambiente que o circunda. Nestas condições, o início mais breve possível do procedimento de cura é essencial, caso contrário serão observados prejuízos ao concreto, ocasionando a redução da sua resistência mecânica e durabilidade.

Vários métodos de cura são aplicados na indústria da construção, sendo a cura úmida a mais utilizada. Este procedimento consiste em manter a superfície do material com umidade constante e controlada. Apesar de ser um método bastante eficaz, quando levado para o canteiro de obra traz algumas dificuldades, principalmente em construções de estruturas de arranha-céus, revestimentos de túneis e lajes de pavimentação de grande porte (RAHIMI *et al.*, 2023). Em geral, necessitam de grande disponibilidade de recursos, especialmente de água, tornando-se, às vezes, impraticáveis. E quando isto acontece, a cura do concreto através de compostos químicos pode representar uma opção viável. Rahimi *et al.* (2023) afirmam que “*durante o processo de cura química, não há necessidade de água potável adicional e supervisão frequente*”. Ainda dizem que essa é a técnica mais prática e frequentemente usada, sendo bastante adequada para áreas que tenham acesso limitado a água.

No município de Barreiras, por exemplo, a pressão de água fornecida pela Empresa Baiana de Saneamento (EMBASA) nos pontos de consumo atingem, aproximadamente, 9 metros de coluna de água. Caso escolhido o uso da cura úmida em edificações de múltiplos pavimentos (a partir de 4 pavimentos), seria necessário a utilização de bombas de recalque, caixas d’água para armazenagem da água, entre outros, o que despenderia de bastante recursos financeiros e mão de obra especializada, além do consumo significativo de água para manter a umidade do concreto.

Sendo assim, visando minimizar estas dificuldades enfrentadas decorrentes da verticalização da cidade, torna-se justificável o estudo para analisar a eficácia do procedimento

de cura química como prática plausível de utilização em determinadas obras executadas na região Oeste da Bahia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este segundo capítulo apresenta os conceitos fundamentais relacionados aos processos de cura nos materiais de base cimentícia, com ênfase na cura úmida e na cura química. São discutidos os mecanismos de hidratação, os fatores que influenciam o desempenho dos materiais cimentícios e as abordagens adotadas em pesquisas anteriores. O objetivo é fornecer a base teórica necessária para compreender as análises e comparações realizadas ao longo deste trabalho.

2.1 IMPORTÂNCIA DA CURA NOS MATERIAIS DE BASE CIMENTÍCIA

A cura é um processo fundamental na construção e no desempenho a longo prazo de materiais de base cimentícia, como concretos e argamassas. Para Bauer (2019), a cura do concreto é *“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”*. Esse processo envolve o controle da umidade e da temperatura no entorno do material recém-lançado para garantir que a hidratação do cimento ocorra de forma adequada. Segundo Whiting e Snyder (2003), a insuficiência de água para a hidratação traz prejuízos microestruturais que impactam negativamente na durabilidade da estrutura e na evolução da resistência à compressão do concreto.

A cura adequada não apenas reduz a taxa de evaporação da água, mas também fornece uma fonte contínua de umidade para a hidratação que reduz a porosidade e proporciona uma distribuição mais fina do tamanho dos poros no concreto (BUSHLAIBI & ALSHAMSI, 2002). A cura permite a hidratação contínua do cimento e, conseqüentemente, o ganho contínuo de resistência. Quando a cura cessa, o ganho de resistência do concreto também cessa (PAWAR & KATE, 2020), sendo irreversíveis os efeitos prejudiciais que resultam da falta da cura precoce adequada. A hidratação do cimento só acontece de maneira efetiva quando a pressão de vapor nos capilares for suficientemente alta. Estudos apontam que este processo diminui consideravelmente quando a umidade relativa dentro dos poros capilares reduz para valores abaixo de 80% (NEVILLE & BROOKS, 2013; ATSBHA & ZHUTOVSKY, 2022; PAWAR & KATE, 2020). Hoppe Filho (2025) argumenta que a taxa de hidratação do cimento sofre interferência com a redução gradativa na disponibilidade de água, podendo até causar a sua paralisação. Isso torna-se um fator preponderante que faz com que a cura seja necessária, já que a hidratação só pode ocorrer em capilares preenchidos com água, sendo essa a razão da

prevenção da perda de água pelos poros. Vale ressaltar, que este processo é característico de concretos com relação a/c (água/cimento) inferiores a 0,42, que, segundo Neville e Brooks (2013), sofrem um processo de “autodessecação”, perdendo água internamente. Isto não exclui a necessidade de cura em concretos com relação água/cimento maiores ($a/c \geq 0,42$) pois, apesar de não precisarem de fonte externa de água para hidratação do cimento, segundo Hoppe Filho (2025), eles “*são mais sensíveis à ausência de cura, evidenciando a necessidade de práticas que minimizem a evaporação parcial da água de mistura do concreto para que a redução da resistência à compressão não seja expressiva*”.

Devido à natureza exotérmica das reações de hidratação do cimento, ocorre o processo de secagem precoce do concreto, que resulta em uma microestrutura porosa, desenvolvendo microfissuras de retração que surgem na superfície do concreto, e que, quando exposto ao meio ambiente, acelera ainda mais o processo, sofrendo influência de fatores como a velocidade do vento, umidade relativa, temperatura, entre outros (PAWAR & KATE, 2020; POTDAR; ABRAHAM; KAKADE, 2023). Para minimizar os efeitos disso, a cura é adotada. Porém, Bushlaibi (2002) argumenta que, apesar de a cura ser um fator essencial na produção de um bom concreto, o tempo e a duração dela são ainda mais cruciais. Logo, um curto período de secagem no início da vida útil do concreto pode reduzir o potencial de ganho de resistência, afetando, também, na durabilidade do material.

Outro fator considerado está atrelado às propriedades de mistura. Al-Ani & Al-Zaiwary (1988) *apud* Atsbha & Zhutovsky (2022) observam que um mínimo de 3 dias de cura foi suficiente para misturas com maior teor de cimento, enquanto um período mínimo de 7 dias foi necessário para misturas mais pobres. Além disso, o método utilizado é bastante importante. Na prática, para Wang *et al.* (2023), existem pelo menos duas abordagens adequadas para curar o concreto. A primeira é manter as superfícies expostas umedecidas continuamente, utilizando métodos como pulverização, nebulização, imersão ou coberturas úmidas saturadas (juta, areia, serragem). A segunda abordagem consiste em reduzir a evaporação da água no concreto, o que pode ser feito por meio da aplicação de compostos de cura ou cobrindo o concreto com lonas plásticas impermeáveis. É importante salientar que, por mais eficaz que seja o método utilizado, na prática, os valores de resistência à compressão do concreto dificilmente serão equivalentes aos curados em condições ideais (HOPPE FILHO, 2025). A NBR 5738 (ABNT, 2016) apresenta o procedimento de cura que deve ser utilizado como condição ideal para extrair a maior resistência à compressão do material sob as condições estabelecidas. O procedimento consiste no armazenamento dos corpos de prova, após 24 horas da moldagem, em câmara úmida

com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa superior a 95% ou na imersão em solução saturada de hidróxido de cálcio a 23 ± 2 °C. É evidente que estabelecer estes parâmetros, dentro do canteiro de obras, é praticamente impossível, assim como argumenta Hoppe Filho (2025), “*por mais rigoroso que seja a cura úmida realizada in loco, dificilmente todas as superfícies do concreto se manterão saturadas ao longo do tempo*”.

Potdar *et al.* (2023) afirmam que, para se ter uma análise adequada da influência da cura na qualidade do concreto, deve-se avaliar tanto as propriedades mecânicas, como as de durabilidade. Entretanto, as informações adquiridas através das propriedades mecânicas do material são os principais dados utilizados nos estudos para a análise superficial da eficácia da cura. Sendo assim, para mostrar a influência disto nesta propriedade, na Figura 1, foram apresentados os efeitos mecânicos gerados pela ausência total de cura (cura ao ar), através da compilação de publicações, analisando a resistência à compressão dos corpos de prova expostos em ambientes laboratoriais (indoor). Os valores utilizados encontram-se na forma de resistência à compressão relativa à cura úmida. A Tabela 1 apresenta as informações dos trabalhos analisados, detalhando as condições de cura úmida e ao ar e os corpos de prova utilizados.

Tabela 1 - Trabalhos científicos que abordam os efeitos da cura ao ar sobre a resistência à compressão

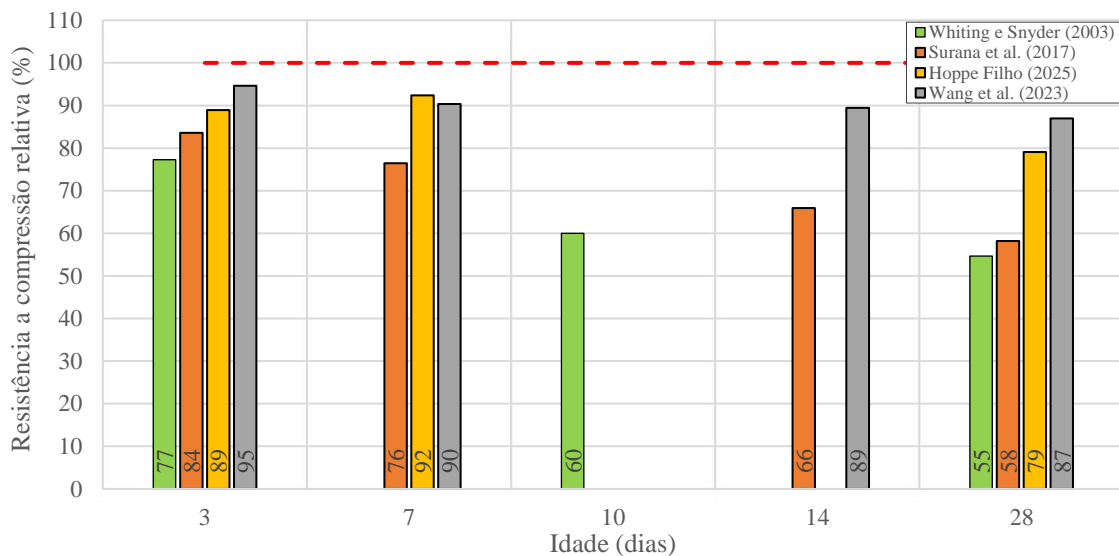
Autores	Resistência 28 dias (MPa)	Corpos de prova	Cura úmida (condições)	Cura ao ar (condições)
Whiting e Snyder (2003)	59,3	Argamassa Cúbico (a = 5 cm)	Imersão Solução saturada de cal	Câmara ventilada (37,8 °C/32% UR)
Surana <i>et al.</i> (2017)	45,4	Argamassa Cúbico (a = 10 cm)	Imersão Solução saturada de cal	Câmara ambiental (25 °C/65% UR)
Hoppe Filho (2025)	40,2	Concreto Cilíndrico (Ø10x20 cm)	Imersão Solução saturada de cal	Ambiente laboratorial (Sem controle)
Wang <i>et al.</i> (2023)	43,8	Concreto Cilíndrico (Ø10x20 cm)	Câmara úmida (23 °C/95% UR)	Ambiente laboratorial (22 °C/50% UR)

Fonte: Autor (2025)

É possível notar uma redução significativa na resistência à compressão já nas primeiras idades, ficando mais evidente ao longo do tempo. Nota-se também que os dados dos trabalhos divergem quando analisados por idade. Isto ocorreu devido ao material utilizado nos corpos de prova de cada trabalho. Whiting e Snyder (2003) e Surana *et al.* (2017) utilizaram corpos de prova feito de argamassa, enquanto Hoppe Filho (2025) e Wang *et al.* (2023) de concreto. Esta

diferença se dá pelo fato de que, segundo Whiting e Snyder (2003), nas argamassas, a evaporação da água para o meio ambiente tende a ser maior que no concreto, tornando-as mais sensíveis. Apesar desta diferença, ainda é evidente que a falta de cura reduz a resistência à compressão, atingindo valores aos 28 dias que variam na ordem de 45% para as argamassas, e de 13 a 21% para o concreto.

Figura 1 - Resistência à compressão relativa de concretos e argamassas submetidos à procedimentos de cura em condições não idealizadas.



Adaptado de: Whiting e Snyder (2003), Surana *et al.* (2017), Hoppe Filho (2025) e Wang *et al.* (2023).

Pode-se notar que, mesmo o experimento sendo executado em ambiente interno com e sem controle, uma variação significativa destes valores é observada. Se mudarmos estas condições para a realidade de um canteiro de obras, onde há maior incidência solar, interferência do vento e temperatura ambiente, o impacto nas propriedades mecânicas do material tende a ser maior. Isto foi apresentado por Bushlaibi (2002) no seu experimento, no qual comparou as resistências à compressão dos elementos submetidos à vários métodos de cura, como também não curados, expostos em ambiente externo e interno, chegando à conclusão que o ambiente externo diminuiu significativamente a resistência do material. Com isso, fica mais evidente a importância do processo de hidratação do cimento através do controle da cura.

2.2 MÉTODOS DE CURA ÚMIDA

A cura úmida é um método amplamente utilizado na construção civil para garantir o desenvolvimento adequado das propriedades mecânicas e de durabilidade de matrizes cimentícias, como concretos e argamassas. Essa técnica consiste na manutenção de um ambiente saturado ou com umidade controlada que garanta que a água de mistura permaneça no concreto durante o período inicial de hidratação do cimento, evitando a evaporação prematura e garantindo as reações químicas completas. Exemplos de métodos de cura com água incluem o método de lagoa ou alagamento, imersão, cobertura com substratos úmidos, aspersão e nebulização.

2.2.1 Imersão em água

Este método consiste na submersão do elemento estrutural em tanques ou recipientes com água, garantindo saturação contínua. É amplamente utilizado em ensaios laboratoriais para controle de qualidade, conforme as prerrogativas da NBR 5738 (ABNT, 2016), garantindo propriedades mecânicas e de durabilidade confiáveis. Segundo Neville (2016), este método é eficaz para peças de pequenas dimensões, como corpos de prova, pois assegura um grau máximo de hidratação. No entanto, em estruturas de grande porte, a aplicação é limitada devido a questões logísticas.

2.2.2 Método de lagoa ou alagamento

A cura por lagoa ou alagamento é um método tradicional de cura úmida que consiste na aplicação de uma camada superficial de água sobre elementos de concreto recém- moldados. A sua aplicação é recomendada para superfícies horizontais (ASTBHA & ZHUTOVSKY, 2022), como lajes, pisos e pavimentos. Para reter esta água na superfície, pode-se utilizar de barreiras de areia ao redor do perímetro (KOSMATKA *et al.*, 2008).

Essa técnica visa manter a umidade necessária para a hidratação do cimento, evitando a evaporação prematura da água de amassamento. O ACI 308R-16 (2016), do American Concrete Institute, considera um método bastante eficaz para prevenir fissuras por secagem. Mas para que isto seja garantido, é necessário o controle da temperatura da água utilizada. Kosmatka *et al.* (2008) argumentam que esta temperatura não deve estar mais do que cerca de 11 °C mais

fria do que o concreto, para evitar possíveis tensões térmicas. Já NBR 14931 (ABNT, 2023) sugere que esta variação não deve ser acima de 20 °C.

2.2.3 Cobertura com substratos úmidos

Este é um método de cura amplamente utilizado, particularmente para concreto estrutural (PAWAR & KATE, 2020), que consiste na cobertura da superfície através de substratos encharcados como sacos de juta, areia, serragem, estopa, etc. Ele fornece umidade adicional ao liberar a água que contém, minimizando a evaporação da superfície do concreto (ATSBHA & ZHUTOVSKY, 2022). A eficácia do método depende da manutenção do teor de umidade do substrato, garantindo um gradiente contínuo de água que impulsiona a difusão da umidade no concreto (MOHAMED & NAJM, 2019). Sua aplicação prática abrange tanto superfícies horizontais (lajes e pavimentos), assim como estruturas verticais (ACI 308R-16, 2016).

2.2.4 Nebulização e aspersão

A nebulização e a aspersão com água são excelentes métodos de cura quando a temperatura ambiente está bem acima de zero, sob condições normais de vento e quando a umidade é baixa (ACI 308R-16, 2016). A aspersão geralmente fornece umidade adicional para o processo de cura, enquanto a nebulização é usada para aumentar a umidade relativa acima da superfície do concreto e diminuir a taxa de evaporação (ATSBHA & ZHUTOVSKY, 2022). O processo de nebulização parte da frequente aplicação de uma névoa fina por meio de um sistema de bicos ou pulverizadores, com o intuito de minimizar a formação de fissuras por retração plástica até a conclusão das operações de acabamento (KOSMATKA *et al.*, 2008). Esta névoa deve ser direcionada para cima e não para a superfície do concreto, pois seu objetivo é aumentar a umidade do ar e reduzir a taxa de evaporação. Sendo assim, se adequadamente realizada, é ideal para superfícies horizontais planas, como lajes. Na aspersão, uma vez que o concreto atinge sua pega final, irrigadores de gramado são eficazes caso o escoamento de água não for um motivo de preocupação, e contanto que a frequência de aspersão seja controlada para evitar ciclos de secagem e molhagem, que podem induzir fissuras (ACI 308R-16, 2016).

Os métodos de cura úmida apresentam vantagens significativas, como a garantia de hidratação adequada do cimento, prevenção de fissuras por retração plástica e secagem, além de melhorar as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto. Técnicas como as citadas

são altamente eficazes para saturação contínua. No entanto, esses métodos também possuem limitações. O grande consumo de água torna as técnicas como alagamento e aspersão pouco sustentáveis em regiões com escassez hídrica. Além disso, exigem bombas, reservatórios e sistemas de aspersão, aumentando custos e complexidade logística. Métodos como a cobertura com sacos de estopa ou mantas úmidas demandam mão de obra intensiva para disposição, recolhimento, limpeza e estocagem adequada dos materiais, que podem deteriorar-se com o tempo. Portanto, apesar de sua eficácia, a cura úmida deve ser planejada considerando disponibilidade de recursos, impacto ambiental e viabilidade econômica.

2.3 CURA QUÍMICA

A cura do concreto é um processo essencial para assegurar o desenvolvimento adequado de suas propriedades mecânicas e de durabilidade. A literatura (Wang *et al.* (2023); Atsbha & Zhutovsky (2022); Ibrahim *et al.* (2013); Surana *et al.* (2017)) traz estas comprovações acompanhado dos variados processos que podem ser utilizados. Ela pode ser dividida em dois procedimentos: métodos que mantêm a presença de água de mistura no concreto durante o período inicial de endurecimento (cura úmida) e métodos que reduzem a perda de água de mistura da superfície do concreto (cura selada).

Apesar da diversidade apresentada, na prática, muito dos processos apresentam limitações em sua aplicação, dificultando a execução. Wang *et al.* (2023) argumentam que, dentre estes métodos, a cura selada apresenta maiores vantagens, pois traz economia no consumo de água, na mão de obra, além da sua ampla aplicabilidade. São adequadas para grandes áreas, como pavimentos e lajes, onde métodos convencionais seriam impraticáveis (HELENE, 2019). Este processo de cura pode ser efetuado por meio da aplicação de filmes de polietileno ou através de compostos de cura. Atsbha e Zhutovsky (2022) afirmam que os filmes de polietileno, além de apresentarem boa resistência ao rasgo, possuem flexibilidade e barreira à umidade, ainda são leves e quimicamente inertes, tornando-os ideais para estruturas simples e complexas. Hoppe Filho (2025) complementa que, apesar disto, o seu uso não apresenta a mesma versatilidade dos compostos de cura química, que abrange também superfícies verticais.

O uso de compostos químicos é particularmente vantajoso em regiões onde a água é escassa, oferecendo uma alternativa sustentável aos métodos de cura que consomem muita água (IBRAHIM *et al.*, 2013). Além disso, o seu uso pode levar a uma economia significativa de tempo e mão de obra, pois elimina a necessidade de umedecimento constante ou de cobrimento da superfície de concreto. Isso torna a cura química uma opção economicamente atraente para

grandes projetos de construção (RAHIMI *et al.*, 2023; WANG *et al.*, 2023; WHITING & SNYDER, 2003; SURANA *et al.*, 2017).

A cura química do concreto representa uma abordagem inovadora para aumentar a hidratação e melhorar o desempenho geral das estruturas de concreto, oferecendo uma série de vantagens e desvantagens que devem ser cuidadosamente consideradas para uma aplicação ideal. Os compostos de cura, normalmente produtos químicos formadores de membrana, são aplicados à superfície do concreto recém-lançado e adensado para evitar a perda de umidade durante os estágios iniciais da hidratação (RAHIMI *et al.*, 2023). Esses compostos criam uma barreira que reduz a evaporação da água da superfície do concreto, permitindo que o processo de hidratação continue e o concreto ganhe resistência (MOHAMED & NAJM, 2019). Esta membrana de baixa permeabilidade deixada entre a superfície do concreto e o ambiente, é desenvolvida após a evaporação do veículo volátil utilizado nestes compostos químicos (HOPPE FILHO, 2025). Dentro destes, destacam-se duas categorias principais: os compostos à base de água e à base de VOC (compostos orgânicos voláteis). Aqueles de base aquosa utilizam-na como solvente, tornando-os uma opção mais sustentável e ecologicamente correta, devido à sua baixa emissão de compostos orgânicos voláteis. Em contrapartida, os compostos à base de VOC empregam solventes orgânicos, que evaporam após a aplicação, formando uma membrana impermeável (AL-GAHTANI, 2010).

Al-Gahtani (2010) avaliou o efeito de diferentes métodos de cura em concretos. Os compostos de cura utilizados foram à base água e acrílico. Entre os dois métodos de cura investigados, o composto de cura à base de acrílico apresentou melhor desempenho do que o à base de água. Wang *et al.* (1994) também estudaram o desempenho da cura por membrana. Entre os compostos de cura utilizados, a borracha clorada foi relatada como a mais eficaz, seguida pelo composto de cura à base de solvente e à base de água. Quando comparados a outros tipos de compostos de cura, aqueles à base de água são os menos eficientes na prevenção da perda de umidade (ATSBHA & ZHUTOVSKY, 2022).

Embora os compostos à base de VOC possam oferecer uma maior eficiência na retenção de água, sua utilização tem sido cada vez mais restrita devido às preocupações ambientais e regulamentações que visam reduzir a emissão de poluentes atmosféricos. Produtos contendo níveis mais baixos de VOC são incentivados e podem até ser exigidos em circunstâncias específicas (WHITING & SNYDER, 2003).

A eficácia desses tratamentos químicos depende de vários fatores, incluindo o tipo de composto usado, a taxa de aplicação e as condições ambientais, como temperatura e umidade

(RAHIMI *et al.*, 2023). Wang *et al.* (1994) também afirmam que esta eficácia depende marcadamente do tempo de sua aplicação que, por sua vez, está atrelada à quantidade de cimento presente no concreto. Ou seja, para misturas mais ricas (com 400 kg/m³ de cimento ou mais), o composto de cura deve ser aplicado tão cedo quanto possível. Além disso, a seleção dos compostos de cura exige uma compreensão abrangente de sua composição química e de como eles interagem com a matriz do concreto. Vários tipos de compostos químicos são empregados na cura do concreto, cada um com seu próprio conjunto de vantagens e limitações (RAHIMI *et al.*, 2023). Whitting e Snyder (2003) realizaram uma pesquisa de laboratório para analisar a eficiência de diversos tipos de compostos de cura na retenção de água para hidratação. Comparações de resistência à compressão, permeabilidade, perda de umidade e porosidade capilar foram feitas para amostras representando três compostos de cura com alto teor de VOC e outros três com baixo teor de VOC. O desempenho de todos os compostos de cura variou. Os corpos de prova curados com compostos de alto teor de VOC tenderam a ter menos perda de umidade, maiores resistências à compressão e menor permeabilidade do que os corpos de prova curados com compostos de baixo teor de VOC. Concluíram, ainda, que o teor de VOC como um bom indicador de desempenho depende da composição química dos compostos. Compostos com composições químicas diferentes podem ter um potencial de cura muito diferente, mesmo quando os teores de VOC são semelhantes.

Embora a cura química ofereça várias vantagens, ela não está isenta de limitações. Atsbha e Zhutovsky (2022) afirmam que a ineficiência dos compostos de cura pode estar atribuída à condição ambiental, à aplicação tardia e aos constituintes do composto. Outra preocupação é o potencial de aplicação desigual, que pode levar a áreas localizadas de cura inadequada e variações subsequentes na resistência e durabilidade do concreto. Além disso, a cura química não abrange os concretos com baixa relação água/cimento ($a/c < 0,42$), já que para estes, o fornecimento de fonte externa de água para garantir a hidratação do cimento é crucial (WHITING & SNYDER, 2003). A escolha do composto de cura também deve considerar sua compatibilidade com quaisquer tratamentos de superfície ou revestimentos subsequentes que possam ser aplicados ao concreto. Além disso, é necessário cuidado com o uso de compostos de cura que contenham solventes de alta volatilidade em espaços confinados, porque a evaporação de voláteis pode causar problemas respiratórios (KOSMATKA *et al.*, 2008).

2.4 COMPARAÇÕES ENTRE CURA QUÍMICA E OUTROS MÉTODOS

A hidratação do cimento, um processo fundamental na tecnologia do concreto, é significativamente influenciada pelos métodos de cura, com a cura úmida e a cura química desempenhando papéis distintos na obtenção das propriedades ideais do concreto. A cura é essencial para promover a hidratação do cimento, controlando a temperatura e o movimento da umidade, garantindo um ganho contínuo de resistência (PAWAR; KATE, 2020). A cura úmida, um método tradicional, envolve a manutenção de um ambiente saturado na superfície do concreto por meio de métodos como nebulização ou aspersão, alagamento ou cobertura com substrato encharcado, fornecendo água diretamente para a hidratação (WHITING & SNYDER, 2003; WANG *et al.*, 2023).

Em contrapartida, a cura química, também conhecida como cura por membrana, emprega compostos líquidos que, quando aplicados à superfície do concreto, formam uma membrana impermeável para impedir a evaporação da umidade do concreto (SURANA *et al.*, 2017). A escolha entre a cura úmida e a cura química depende de fatores específicos do projeto, como condições ambientais, projeto da mistura de concreto e critérios de desempenho desejados (MOHAMED; NAJM, 2019). Os métodos de cura úmida são funcionais e servem ao seu propósito, mas são demorados e consomem quantidades substanciais de água para curar uma estrutura inteira, tornando-se inadequadas para operações de alta produção, como estruturas de grandes edifícios, pavimentações, lajes de pavimentos consideráveis, entre outros (RAHIMI *et al.*, 2023; WHITING & SNYDER, 2003; XUE *et al.*, 2015). Por outro lado, os compostos de cura oferecem uma alternativa mais conveniente, especialmente em projetos de grande escala ou áreas com acesso limitado à água, criando uma barreira que minimiza a perda de umidade sem a necessidade de aplicação contínua de água (RAHIMI *et al.*, 2023; MOHAMED; NAJM, 2019).

Estudos investigaram a eficácia de diferentes compostos químicos de cura comparados com a cura úmida no desempenho do concreto. Rahimi *et al.* (2023) avaliaram o desempenho de um composto de cura à base de parafina e os resultados experimentais mostraram que a resistência à compressão das amostras curadas com água foi ligeiramente superior à curada por membrana. Após 28 dias de cura, a resistência à compressão dos corpos de prova curados com composto químico alcançou 88,4% em relação aos curados em água. Xue *et al.* (2015), estudaram o efeito de quatro tipos de compostos de cura (à base de acrílico, à base de parafina, à base de silicato e à base de compósitos) nas propriedades mecânicas e de durabilidade. A

resistência à compressão dos corpos de prova curados por compostos pode chegar à 95,5% dos curados com água. Os resultados indicaram que os compostos de cura foram eficazes em aumentar a resistência à compressão, à flexão e a permeabilidade dos concretos, além de diminuir a retração por secagem e as fissuras. Todos os compostos de cura obtiveram resultados superiores aos corpos de prova sem cura (cura ao ar). Avaliando os resultados obtidos entre os compostos químicos, em geral, o composto de cura à base de compósito e de acrílico tiveram desempenhos melhores do que os compostos à base de parafina e de silicato.

Ibrahim *et al.* (2013) analisaram o efeito dos métodos de cura nas propriedades mecânicas do concreto com cimento Portland comum e cimento com sílica ativa. Os autores estudaram quatro tipos de compostos de cura, sendo eles à base de acrílico, água, betume e alcatrão de carvão. Os autores observaram que a durabilidade, analisada através de ensaios de absorção de água e permeabilidade ao cloreto, e a resistência à compressão do concreto curado com compostos químicos eram iguais ou melhores do que as do concreto curado usando cobertura com estopa úmida. Os compostos de cura tiveram um efeito limitado na resistência à compressão, mas teve efeito mais pronunciado na durabilidade. Por fim, concluíram que o melhor desempenho foi apresentado pelos corpos de prova curados com o composto à base de betume, sendo que o pior resultado foi observado naquele à base de água.

Whiting e Snyder (2003) examinaram o efeito de vários compostos de cura na hidratação do cimento e mostraram que a aplicação destes melhorou a resistência à compressão do concreto e reduziu a permeabilidade, quando comparado às curas com folhas de polivinil, por imersão e ao tratamento sem cura. O desempenho dos compostos testados variou, mas nenhum deles teve desempenho superior quanto aos corpos de prova curados com água ou folhas de plástico. Porém, em relação aos corpos de prova sem tratamento de cura, foi relatado que todos os compostos de cura tiveram melhor desempenho. Wang *et al.* (2023) também estudaram os efeitos das condições de cura sobre a resistência e a durabilidade do concreto. Investigaram diferentes tipos de cura, incluindo a cura úmida, a cura ao ar e a cura com composto químico. Os resultados mostraram que a resistência à compressão aos 28 dias das amostras curadas ao ar e através do composto químico, atingiram, respectivamente, 87% e 98% em relação à cura úmida.

Como se sabe, a eficácia dos procedimentos de cura depende de vários fatores, e as condições ambientais, como temperatura e umidade, são um exemplo. Surana *et al.* (2017) mostraram a influência que o ambiente de exposição tem sobre a cura e o ganho de resistência. Eles avaliaram diferentes métodos de cura, como a cura úmida, cura ao ar e a cura química, sob

as condições de ambiente controlado ameno (25° C e 65% UR) e quente (45° C e 55% UR). Os resultados mostram que a cura úmida, tanto em ambiente ameno quanto quente, levam à maiores resistências à compressão aos 28 dias. Por outro lado, o composto de cura apresenta uma resistência à compressão relativa com cerca de 70% em relação aos corpos de prova curados úmidos. Observa-se a influência da temperatura apenas nas primeiras idades, ou seja, de 3 a 14 dias, na qual a temperatura ambiente mais elevada (45° C) resulta em um maior ganho de resistência à compressão. Comparativamente, a resistência à compressão do composto de cura relativa à cura úmida ao 3° dia, foi, aproximadamente, de 91% e 106% para 25° C e 45° C, respectivamente. Os autores argumentam que, no caso dos compostos químicos, esta diminuição do ganho de resistência à compressão após 3 dias, sugere uma indisponibilidade de água suficiente nos poros para o progresso da hidratação. Para ambos ambientes de exposição, a cura ao ar apresentou os piores resultados.

A avaliação geral das referências bibliográficas utilizadas neste trabalho demonstra que a cura química, quando comparado à cura úmida, tem eficiência parcial na retenção da água de amassamento do concreto, uma vez que parte dela é evaporada, afetando negativamente a resistência à compressão. Embora o processo de aplicação de compostos de cura afete o desenvolvimento da resistência do concreto, estudos mostram que, em comparação com os métodos de cura úmida, a cura por membrana pode atingir 80 a 90% de eficácia (RAHIMI *et al.*, 2023). No entanto, a redução percentual da resistência é substancialmente menor quando comparada com a cura ao ar. Hoppe Filho (2025) traz uma compilação que resume as tendências observadas nos trabalhos de diversos autores que abordaram os efeitos da cura ao ar e da cura química sobre a resistência à compressão, e os resultados apresentam uma variação na redução da resistência aos 28 dias de 2 a 16% e de 14 a 36% para cura química e cura ao ar, respectivamente.

Entre os métodos mais comuns utilizados em obra estão os de cura úmida e exposição ao ar sem nenhum tratamento. Como já apresentado, os métodos de cura úmida, quando executados corretamente, são confiáveis na retenção da água de hidratação do cimento, porém, essas técnicas têm suas limitações quando praticadas em grande escala, necessitando de grande quantidade de recursos. A cura sem tratamento (ao ar), por outro lado, ainda é bastante utilizada, mas, ineficaz. Sob tais circunstâncias, a cura através de um composto químico torna-se uma opção viável e mais vantajosa na utilização de recursos para melhorar o desempenho do concreto em obra.

3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo, está apresentado os materiais empregados no planejamento e execução experimental da presente pesquisa, assim como a metodologia adotada para alcançar os objetivos propostos. Os ensaios necessários foram conduzidos nas instalações dos Laboratórios de Construção Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), Campus Barreiras, utilizando-se os equipamentos disponíveis nos referidos laboratórios.

3.1 MATERIAIS

Neste tópico estão descritos os materiais que foram utilizados na execução das argamassas do presente estudo.

3.1.1 Cimento Portland

Para preparação das argamassas será utilizado o Cimento Portland do tipo CP V-ARI, especificado de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018) – Cimento Portland – Requisitos.

Para o ensaio de massa específica, seguiu-se as preconizações da NBR 16605 (ABNT, 2017) – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. A massa específica obtida para a amostra utilizada foi de $3,1 \text{ g/cm}^3$, compatível com o intervalo para cimentos Portland comerciais, que variam entre $3,0$ e $3,2 \text{ g/cm}^3$.

3.1.2 Areia comercial regional

O agregado miúdo natural que será utilizado para a preparação das argamassas apresenta características típicas dos agregados disponíveis na região oeste da Bahia, mais especificamente no município de Barreiras – BA. Esta areia é proveniente dos leitos de rios e caracterizam-se por terem granulometria fina para média.

Para a caracterização do material, foram realizados os seguintes ensaios, conforme as normas técnicas vigentes: análise granulométrica, seguindo a NBR 17054 (ABNT, 2022) – Agregados – Determinação da composição granulométrica; determinação da massa específica, de acordo com a NBR 16916 (ABNT, 2021) – Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água; e avaliação da massa unitária, conforme a NBR 16972 (ABNT, 2021) –

Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. A Tabela 2, detalha os resultados e os ensaios de caracterização realizados com o agregado miúdo.

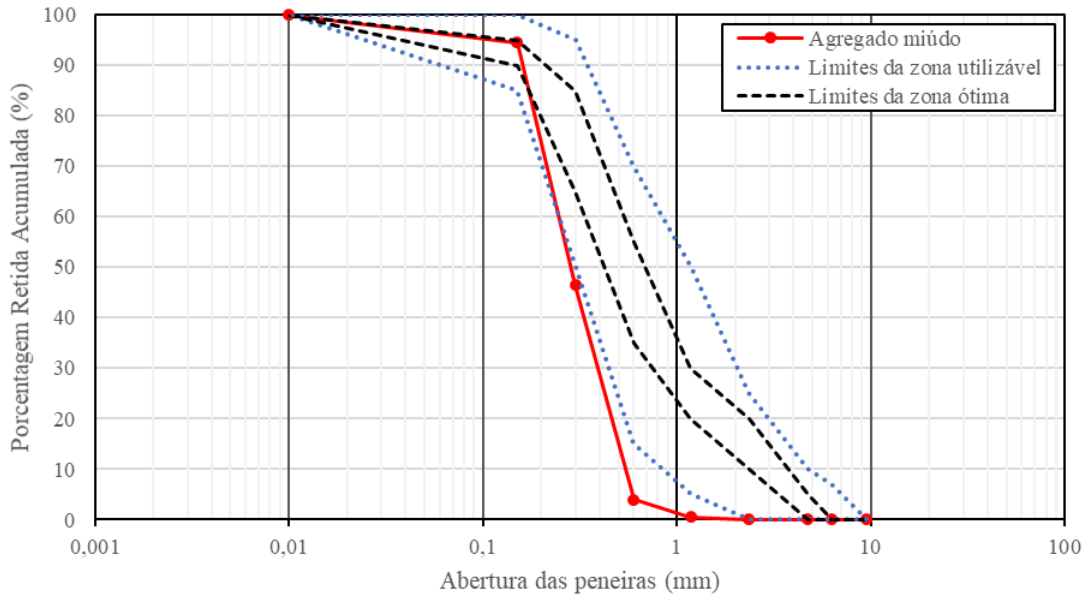
Tabela 2 - Caracterização do agregado miúdo

Ensaio de caracterização	Resultado	Norma
Massa específica da areia	2,63 g/cm ³ (em duplicata)	NBR 16916:2021
Massa unitária no estado solto	1,586 g/cm ³ (em triplicata)	NBR 16972:2021
Massa unitária no estado compactado	1,649 g/cm ³ (em triplicata)	
Módulo de finura	1,45	NBR 17054:2022
Diâmetro máximo característico	0,60 mm	

Fonte: Autor (2025)

A massa específica, determinada em duplicata, foi de 2,63g/cm³. A massa unitária em estado solto e compactado foi de 1,586 g/cm³ e 1,649 g/cm³. O módulo de finura e o diâmetro máximo característico foram obtidos por meio do ensaio de granulometria, assim como a curva granulométrica apresentada na Figura 2. O agregado empregado no estudo apresentou módulo de finura igual a 1,45 e diâmetro máximo de 0,6 mm, características que permitem classificá-la como areia muito fino.

Figura 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor (2025)

3.1.3 Água

A água que será utilizada tanto para a realização da moldagem quanto para a cura dos corpos de prova, é proveniente do abastecimento público da Empresa Baiana de Saneamento (EMBASA).

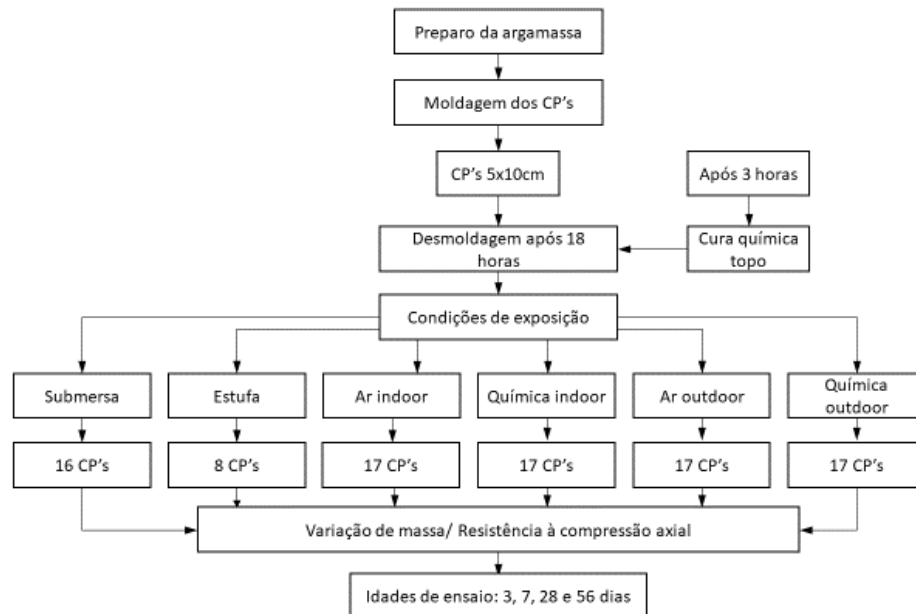
3.1.4 Agente de cura

O agente de cura utilizado trata-se de uma emulsão de hidrocarbonetos parafínicos, de cor branca. Apresenta densidade de $1,0 \text{ g/cm}^3$ e teor de sólidos entre 11 e 13%. Foi aplicado com pincel 3/4", seguindo o consumo recomendado pelo fabricante de $0,20 \text{ kg/m}^2$.

3.2 MÉTODOS

Nesta seção, estão descritos os procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento da pesquisa. O planejamento experimental, ilustrado na Figura 3, apresenta de forma esquemática e resumida as etapas consecutivas executadas para a obtenção dos dados analisados no estudo.

Figura 3: Fluxograma do planejamento experimental.



Fonte: Autor (2025)

3.2.1 Tipo de amostra

Para o estudo utilizou-se argamassa em vez do concreto. A ASTM C156 (2011), norma técnica que trata do método de ensaio padrão para perda de água através de compostos de cura formadores de membrana, estipula o uso de uma mistura de argamassa devido ao seu potencial de perda de umidade em uma mistura, o que aumenta a capacidade de distinguir a eficácia entre os diferentes tratamentos.

A proporção de mistura unitária da argamassa foi de 1,0:2,0:0,5. A relação a/c (água/cimento) de 0,5 foi escolhida devido a proporção se assemelhar às utilizadas em concretos com resistência à compressão característica entre 25 e 30 MPa, utilizadas em concretos estruturais. Além disso, esta proporção é importante para evitar a autodessecação da pasta de cimento. É sabido que uma relação a/c de 0,42 é necessária para a hidratação completa do cimento, e que qualquer mistura com valores abaixo disto pode levar à autodessecação da pasta (NEVILLE & BROOKS, 2016). Dessa maneira, o uso da cura úmida forneceria água externa ao cimento, auxiliando na hidratação deste além do que se alcançaria com a água de mistura. Isto dá uma vantagem indevida à cura úmida em relação aos métodos de cura selada, na qual essa água adicional não está envolvida.

3.2.2 Preparo das amostras

A NBR 7215 (ABNT, 2025) estabelece os procedimentos para determinação da resistência à compressão, especificando os materiais utilizados, os procedimentos de preparo da argamassa, moldagem dos corpos de prova (CP's), cura das amostras e rompimento das mesmas.

3.2.2.1 Preparação da argamassa

Seguindo as recomendações preconizadas pela NBR 7215:2025, para a preparação da argamassa de cimento foi utilizado um misturador mecânico contendo uma cuba de aço inoxidável com capacidade de aproximadamente 5 litros e de uma pá metálica que gira em torno do seu próprio eixo em movimento planetário.

O procedimento iniciou-se com a colocação de toda água necessária para a mistura na cuba metálica, seguido da adição gradativa e uniforme do cimento, evitando possíveis perdas de material. A mistura destes materiais será feita por um período de 30 segundos, com o misturador na velocidade baixa. Após este período, sem paralisar a mistura, adicionou-se a areia de forma gradual durante mais 30 segundos. Imediatamente após a adição total da areia, alterou-se a configuração de rotação do equipamento para velocidade alta, mantendo a mistura por mais 30 segundos. Findado este tempo, desligou-se o misturador e, com o auxílio de uma espátula, retirou-se a argamassa que não foi suficientemente misturada e que ficou aderida à borda da cuba e da pá, colocando-a no interior da cuba. A mistura ficou em descanso por 1 minuto e 30 segundos. Após este intervalo, ligou-se novamente o equipamento em velocidade alta por um período de 1 minuto.

3.2.2.2 Índice de consistência das argamassas

Através de um informativo, a NBR 7215:2025 especifica o método de determinação do índice de consistência da argamassa a ser utilizada na realização de caracterização do material. Este índice é utilizado para mensurar a trabalhabilidade das argamassas.

O procedimento consiste no preenchimento de um molde tronco-cônico com argamassa em três camadas sucessivas, sendo aplicadas em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes e posterior rasamento com uma régua metálica, exemplificado na Figura 4.

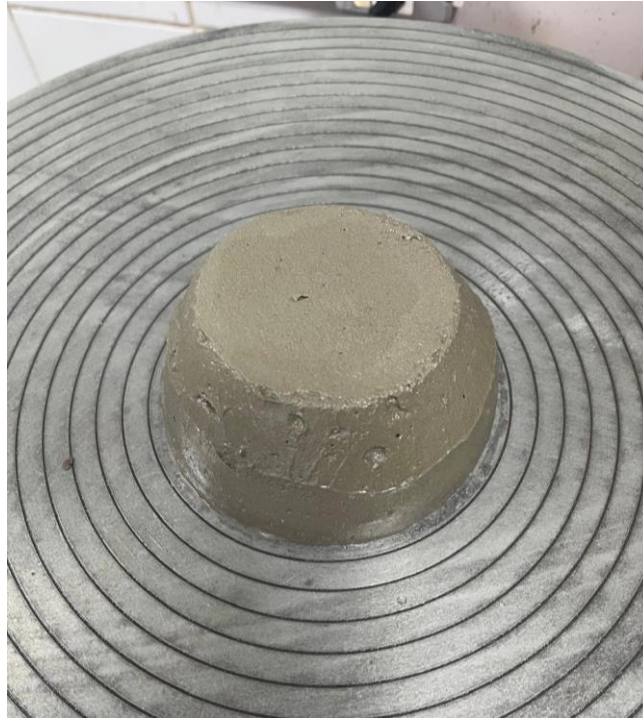
Após esta etapa, o molde foi removido verticalmente (Figura 5) e a mesa de consistência submetida a 30 movimentos de queda por um período de 30 segundos (Figura 6). Utilizando-se uma régua graduada, a massa espalhada foi medida em 3 pontos onde os diâmetros estavam distribuídos de forma equivalente pelo perímetro (Figura 7). A argamassa apresentou espalhamento médio de $275 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$.

Figura 4 - Molde tronco-cônico preenchido com argamassa



Fonte: Autor (2025)

Figura 5 - Argamassa após retirada do molde



Fonte: Autor (2025)

Figura 6 - Espalhamento da argamassa



Fonte: Autor (2025)

Figura 7 - Leitura do diâmetro da argamassa espalhada



Fonte: Autor (2025)

3.2.2.3 Moldagem dos corpos de prova e cura

A moldagem dos corpos de prova seguiu as recomendações da NBR 7215:2025. Os corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 5x10cm, foram moldados em quatro camadas de altura aproximadamente iguais, adensadas com 30 golpes cada uma, finalizando a operação com a rasadura do topo dos CP's com o auxílio de uma régua. Após este procedimento, foram submetidos a cura inicial ao ar, com a face superior protegida por filme de polietileno (Figura 8), até serem desmoldados após 18 ± 1 h e expostos às suas respectivas condições de cura. Após o desmolde, fazia-se a identificação dos CP's e a determinação de suas massas.

O procedimento de moldagem foi executado em 3 etapas, totalizando 96 CP's. A cada preparo de argamassa, moldava-se 6 CP's. A primeira etapa foi para os corpos de prova de referência, os que foram submersos e os que expostos à estufa. Já a segunda e terceira etapa para as condições de cura que seriam expostas ao ambiente interno e externo, respectivamente.

Figura 8 - Corpos de prova pós moldagem cobertos por filme de polietileno



Fonte: Autor (2025)

3.2.3 Condições de exposição

No presente estudo foram adotadas seis condições diferentes de exposição para os CP's de argamassa: cura submersa (REF), exposição em estufa a 105 °C, exposição ao ar em ambiente interno (AI), exposição ao ar em ambiente externo (AE), cura química em ambiente interno (QI) e cura química em ambiente externo (QE). O método de cura submersa foi utilizado como referência de condição ideal e o procedimento sem qualquer tratamento representou a prática da ausência desta nos canteiros de obra. Tanto o procedimento sem qualquer tratamento quanto a cura química foram submetidos a ambientes externos para simular as condições reais de obra, com incidência solar e a ação dos ventos. A exposição à alta temperatura (105 °C) em estufa tem por objetivo balizar a máxima influência sobre a perda de massa ao longo do tempo e o efeito sobre a resistência à compressão aos 28 dias de idade.

3.2.3.1 Cura submersa (REF) e exposição à alta temperatura (estufa - 105 °C)

O procedimento de moldagem para a cura submersa e exposição à alta temperatura foi a primeira a ser realizada, produzindo 24 CP's de argamassa de dimensões Ø5x10 cm. A desmoldagem dos CP's ocorreu 18 horas após a mistura da argamassa. Dos 24 corpos de prova moldados, apenas 16 foram submetidos à cura úmida. Os 8 restantes foram utilizados para

ensaio em estufa. A cura úmida foi realizada em balde com água saturada de cal até as idades do teste, conforme as diretrizes da norma NBR 7215 (ABNT, 2025). Nos CP's expostos à alta temperatura foram realizadas sucessivas determinações de massa para o acompanhamento da perda gradual de água ao longo do tempo. As determinações de massa foram mais concentradas nas primeiras horas e nos primeiros 3 dias, de forma a propiciar mais dados neste intervalo de tempo e melhor representar a perda de massa ao longo do tempo.

3.2.3.2 Exposição ao ar em ambiente interno (AI)

Para a exposição em ambiente interno foram moldados 17 CP's. No dia subsequente à moldagem, transcorridas 18 horas da mistura da argamassa, os CP's foram desmoldados e expostos em bancada laboratorial (Figura 9) até as respectivas idades de ensaios, sem incidência solar e sob variações climáticas diárias (temperatura e umidade relativa). Junto dos CP's foi colocado um higrômetro digital para monitoramento dessas variáveis.

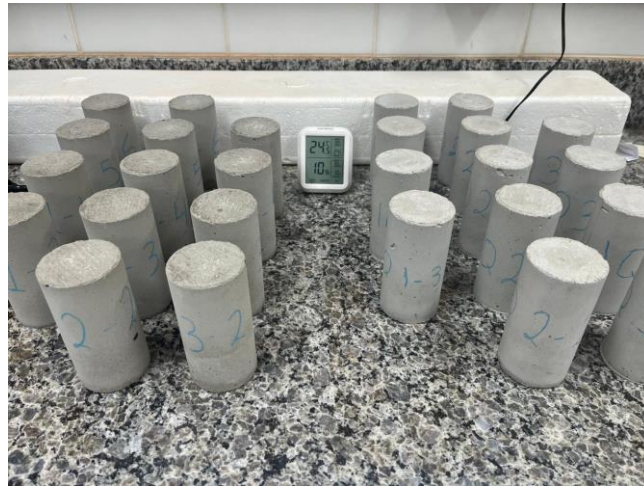
3.2.3.3 Exposição ao ar em ambiente externo (AE)

Para a exposição em ambiente externo foram moldados 17 CP's. No dia subsequente à moldagem, transcorridas 18 horas da mistura da argamassa, os CP's foram desmoldados e levados para a cobertura do prédio laboratorial da Universidade Federal do Oeste da Bahia, onde foram mantidos até as idades de ensaios (Figura 10), sob as variações das condições climáticas diárias (temperatura, chuva e umidade relativa).

3.2.3.4 Cura química em ambiente interno (QI)

Para o procedimento de moldagem para a cura química expostos em ambiente interno foram moldados 17 CP's. Passado 3 horas de moldagem, foi aplicado no topo dos CP's o agente de cura. No dia subsequente à moldagem, transcorridas 18 horas da mistura da argamassa, os CP's foram desmoldados e receberam, nas suas superfícies expostas, uma camada do agente de cura. Após secagem e formação da película, os CP's foram expostos em bancada laboratorial até as respectivas idades de ensaios, sujeitos as mesmas condições do procedimento sem qualquer tratamento (Figura 9).

Figura 9 - Corpos de prova expostos em ambiente interno



Fonte: Autor (2025)

3.2.3.5 Cura química em ambiente externo (QE)

Para o procedimento de moldagem para a cura química expostos em ambiente interno foram moldados 17 CP's. Passado 3 horas de moldagem, foi aplicado no topo dos CP's o agente de cura. No dia subsequente à moldagem, transcorridas 18 horas da mistura da argamassa, os CP's foram desmoldados e receberam, nas suas superfícies expostas, uma camada do agente de cura. Após secagem e formação da película, os CP's foram levados para a cobertura do prédio laboratorial da Universidade Federal do Oeste da Bahia, onde foram mantidos até as idades de ensaios sujeitos as mesmas condições do procedimento sem qualquer tratamento (Figura 10).

Figura 10 - Corpos de prova expostos em ambiente externo



Fonte: Autor (2025)

3.2.4 Ensaio de variação de massa

A variação de massa dos corpos de prova foi monitorada nas idades de 1, 3, 7, 28 e 56 dias para todas as condições de exposição, exceto para aqueles expostos à alta temperatura, onde as leituras foram intensificadas nos primeiros 3 dias. A massa dos CP's foi determinada em balança com precisão de 0,1 g. Todos os corpos de prova de cada condição de exposição foram pesados imediatamente após a desmoldagem. Para a cura submersa, 4 CP's por idade foram retirados da solução, secos superficialmente com pano úmido e imediatamente pesados, sendo a média desses valores adotada como referência para comparação com os demais métodos. Nas idades intermediárias do ensaio (14 e 21 dias), também foram determinadas as massas dos CP's remanescentes (houve redução progressiva dos CP's em função da realização dos ensaios de resistência à compressão).

Para os métodos de cura em ambiente interno, todos os CP's tiveram suas massas monitoradas diariamente até os 3 dias de idade. Após isso, o monitoramento foi feito apenas nas idades de ensaio. Para os métodos de cura em ambiente externo, foi determinada a massa apenas nos dias de ensaio, monitorando 4 CP's para cada tipo de cura.

A análise, nas idades de interesse, foi realizada por meio dos valores absolutos e da massa relativa média dos diferentes procedimentos de cura em relação à massa média obtida na cura submersa (referência).

Do primeiro lote de moldagem, 8 CP's foram retirados para serem submetidos à exposição em estufa a 105 °C (Figura 11), com o intuito de quantificar a máxima perda de água possível. Esta exposição foi feita com CP's sem qualquer tratamento e com o agente de cura química aplicado (4 CP's/método). A massa dos corpos de prova foi monitorada diariamente até os 7 dias. A primeira leitura foi realizada 7 horas após exposição, com variação na leitura de 24 ± 1 h nos dias seguintes. Aos 21 dias, os CP's foram retirados da estufa e expostos ao ambiente laboratorial. Quatro destes, sendo 2 sem qualquer tratamento e 2 com agente de cura química, ficaram sobre a bancada laboratorial expostos às variações de temperatura e umidade relativa, e o restante submerso em água saturada com cal, onde permaneceram até a idade de 28 dias, quando foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Estes resultados serviram de base de comparação para avaliação da eficiência do composto químico de cura em auxiliar na retenção de água nos CP's estudados, bem como em determinar a quantidade máxima de água que pode ser evaporada.

Figura 11 - Corpos de prova expostos em estufa à 105 °C. À esquerda, 4 CP's sem tratamento superficial. À direita, 4 CP's com aplicação do agente de cura química à base de hidrocarbonetos parafínico.



Fonte: Autor (2025)

3.2.5 Ensaio de resistência à compressão

As idades de rompimento dos CP's foram aos 1, 3, 7, 28 e 56 dias. Para cada método rompeu-se 4 CP's por idade. No dia de cada idade de ensaio, os corpos de prova foram retirados de suas respectivas condições de cura e realizadas as leituras de suas massas. Após isso, as superfícies planas dos CP's foram retificadas (Figura 12) e, em seguida, realizados os ensaios de resistência à compressão. Os ensaios foram executados conforme preconiza a NBR 7215:2025, utilizando a máquina universal de ensaios EMIC, com capacidade de 300 KN (Figura 13). A média dos resultados obtidos no ensaio representa a resistência à compressão axial da argamassa.

Figura 12 – Retífica utilizada para o preparo das superfícies planas dos CP's.



Fonte: Autor (2025)

Figura 13 - Corpo de prova após o ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autor (2025)

3.2.6 Dados climáticos

Os registros climáticos aplicados na análise da exposição dos corpos de prova em ambiente externo, foram extraídos do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com dados obtidos através da estação meteorológica automática A402 - Barreiras, Bahia. Os parâmetros analisados durante o período de estudo foram a temperatura, a umidade relativa do ar e a chuva acumulada. Os ensaios realizados neste estudo contemplam o período de tempo compreendido entre 29/09/2025 e 24/11/2025, caracterizado regionalmente pelo encerramento da estiagem de aproximadamente 6 meses e início do período chuvoso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este quarto capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos nos ensaios realizados, com ênfase na evolução da resistência à compressão e na variação de massa dos corpos de prova submetidos aos diferentes métodos de cura. A discussão busca interpretar o comportamento observado, relacionando-o aos fundamentos teóricos e às condições experimentais estabelecidas, de modo a avaliar a eficácia do agente de cura química frente aos demais procedimentos.

4.1 DADOS CLIMÁTICOS

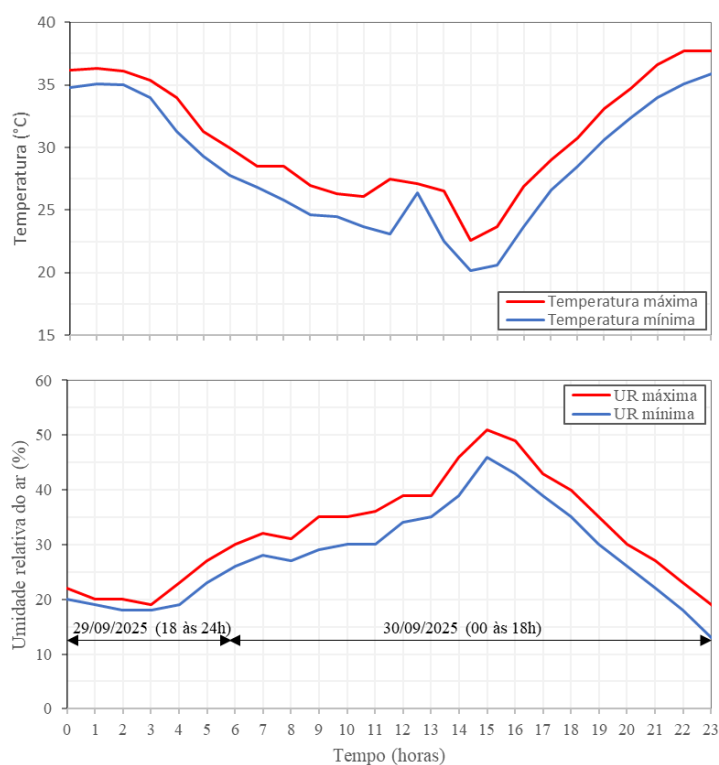
Inicialmente, faz-se necessário apresentar os dados climáticos da região de exposição externa (*outdoor*) das argamassas referentes ao período de estudo, compreendido entre 29/09/2025 e 24/11/2025. A apresentação dessas informações é relevante, uma vez que parte da água de mistura pode ser suprimida do material em função das condições climáticas que o envolvem, influenciando suas propriedades no estado endurecido e sua durabilidade. Assim, tais informações permitem correlacionar as condições ambientais ao processo de exposição externa (*outdoor*) e os efeitos sobre a evolução da resistência à compressão de CP's sem qualquer procedimento de cura e daqueles com a aplicação de agente de cura química.

A Figura 14 apresenta a variação da temperatura e da umidade relativa registradas pela estação meteorológica nas primeiras 24 horas após a moldagem dos corpos de prova. A moldagem ocorreu no dia 29/09/2025 às 18 horas, e a condição climática era de 36,2 °C e 22% de umidade relativa. Nas horas seguintes, observa-se uma tendência de redução gradual da temperatura, alcançando valores mínimos próximos de 20 °C entre 15 e 16 horas, acompanhada por um aumento progressivo da umidade relativa, que atingiu aproximadamente 50% no mesmo período. Essa combinação indica que, apesar do início crítico, o microclima evoluiu para uma condição menos agressiva nas primeiras 16 horas após a moldagem. Os corpos de prova permaneceram expostos em ambiente interno (*indoor*) até a desmoldagem (18 horas), sem controle de temperatura ou umidade. Dessa forma, embora o laboratório atenuie parcialmente as oscilações observadas no ambiente externo, o comportamento geral apresentado no gráfico sugere que os CP's estiveram expostos a um microclima relativamente quente e seco nas primeiras horas, caminhando de forma gradual para um regime mais úmido e ameno.

Na Figura 15 encontram-se os dados referentes às primeiras 24 horas após os corpos de prova serem posicionados no ambiente externo (cobertura do Pavilhão de Laboratórios da

UFOB). No momento em que os corpos de prova foram expostos (dia 30/09/2025 às 14 horas), verifica-se temperaturas elevadas, com máxima de 37,7 °C, seguido de um declínio contínuo até valores mínimos em torno de 18 °C entre 19 h e 20 h. A umidade relativa, por sua vez, iniciou o ciclo com valores próximos de 30%, sofrendo queda acentuada nas três primeiras horas (chegando a valores inferiores a 15%) e, posteriormente, apresentando um aumento gradativo até aproximadamente 45%. Esses resultados evidenciam que, uma vez expostos ao ambiente externo, os corpos de prova passaram a enfrentar condições climáticas substancialmente mais severas do que aquelas do laboratório, especialmente nas primeiras horas de exposição. A combinação de temperaturas elevadas, baixa umidade e maior circulação de ar intensifica consideravelmente o potencial de evaporação da água de amassamento.

Figura 14 - Dados climáticos referentes às primeiras 24 horas após a moldagem dos corpos de prova



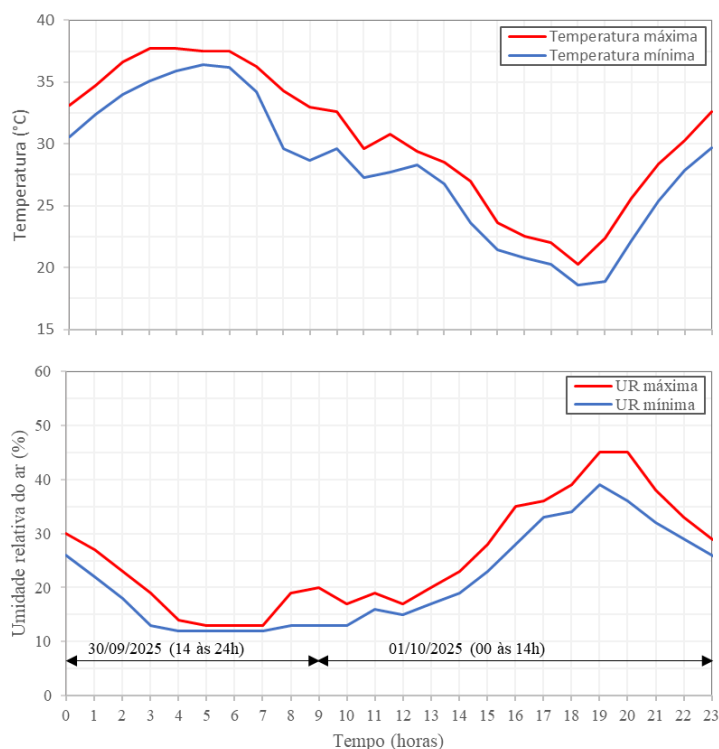
Fonte: Autor (2025)

Para os corpos de prova expostos em ambiente laboratorial, o monitoramento foi realizado com auxílio de um higrômetro digital, o qual registra os valores máximos e mínimos de temperatura ambiente e umidade relativa. Embora as medições não tenham sido feitas diariamente, os registros foram obtidos nos dias de ensaios de resistência à compressão e nos dias em que houve monitoramento da massa dos CP's. Nessa condição, a temperatura oscilou

entre 20 °C e 31 °C, enquanto a umidade relativa variou de 10% a 63% ao longo de todo o período de estudo. Apesar de menos severos que o ambiente externo, estes dados caracterizam um microclima relativamente seco, que também favorece a evaporação da água de amassamento.

Na Figura 16 estão apresentados os dados climáticos referentes às idades de ensaio de 3, 7, 28 e 56 dias. Observa-se que, ao longo dos 28 dias, as variações diárias de temperatura e umidade relativa apresentaram comportamentos semelhantes, alterando-os aos 56 dias, com a diminuição da temperatura média e aumento da umidade relativa, em virtude da ocorrência de precipitação próxima à idade de ensaio dos CP's.

Figura 15 - Dados climáticos referentes às primeiras 24 horas após os corpos de prova serem expostos ao ambiente externo

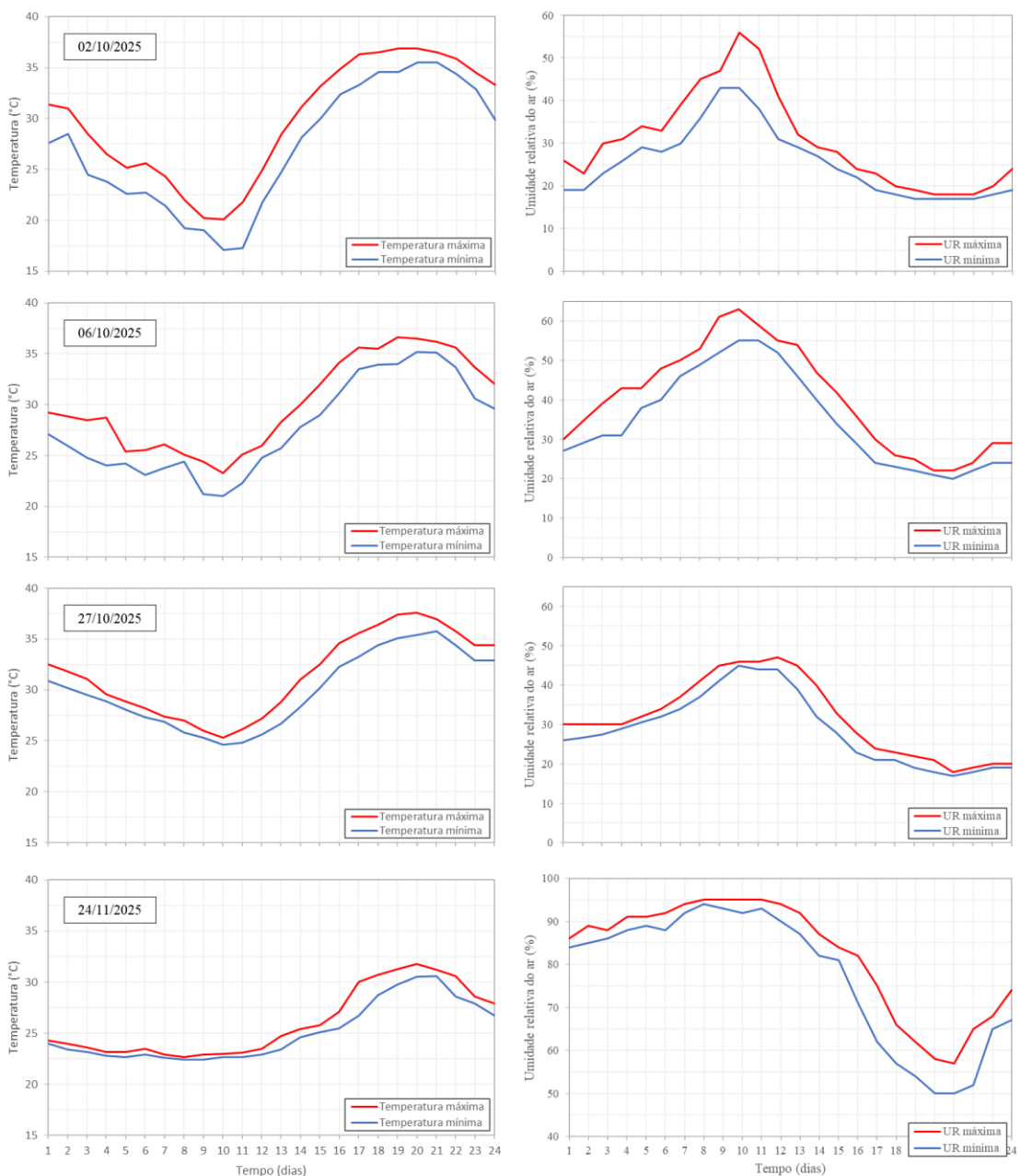


Fonte: Autor (2025)

A Figura 17 sintetiza as faixas de temperatura e umidade relativa experimentadas pelos corpos de prova expostos ao ambiente externo, bem como os registros de chuva acumulada em 24 horas ao longo dos 56 dias. O período de estudo ocorreu próximo ao início da temporada de chuvas na região. Nota-se que, até os 28 dias, os índices pluviométricos permaneceram reduzidos, em torno de 5 mm, com maior acúmulo registrado a partir dos 38 dias. Verifica-se

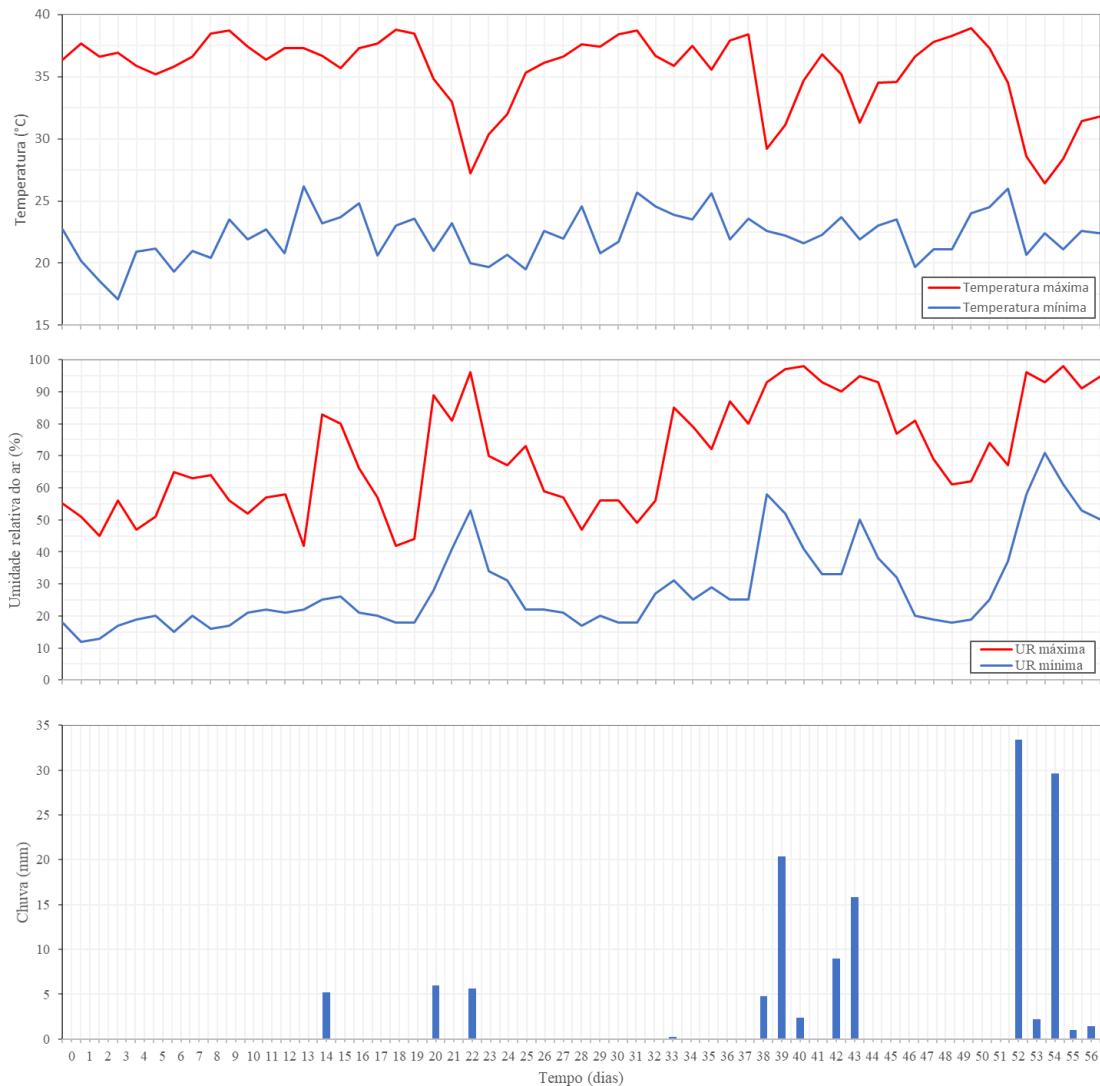
ainda, que, a partir do início das precipitações, ocorreram variações nas temperaturas e nas umidades relativas próximas aos dias em que o fenômeno foi registrado, com redução significativa da temperatura máxima e aumento da umidade relativa, que atingiu aproximadamente 95%. Apesar disso, de maneira geral, as condições de exposição foram praticamente constantes ao longo do período estudado, com os corpos de prova experimentando temperatura máxima média em torno de 35 °C e umidade relativa de cerca de 50%.

Figura 16 - Dados climáticos referentes às idades de 3, 7, 28 e 56 dias dos CP's expostos ao ambiente externo



Fonte: Autor (2025)

Figura 17 - Temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas e chuva acumulada em 24 horas ao longo do período de 56 dias de exposição da argamassa



Fonte: Autor (2025)

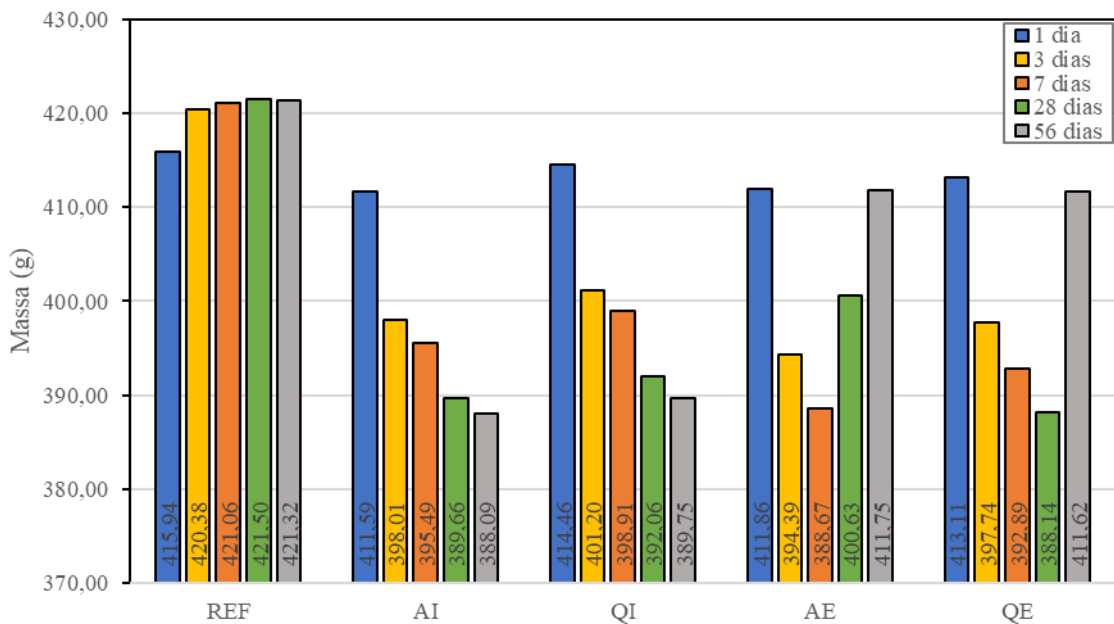
4.2 VARIAÇÃO DE MASSA

A Figura 18 apresenta a evolução da massa média dos corpos de prova para as diferentes condições de exposição, nas idades de 1, 3, 7 e 28 e 56 dias. Observa-se que a cura de referência (REF), realizada por imersão em água, apresentou massas saturadas superfície seca em torno de 421 g a partir de 3 dias de idade, evidenciando a manutenção da umidade ao longo do período de cura. Na idade de 1 dia, logo após a desmoldagem, se determinou uma massa de

aproximadamente 416 g, indicando que para a ressaturação da argamassa foi necessária uma massa de água próxima a 5 g.

Nas condições de cura realizadas em ambiente interno (AI e QI), verifica-se uma redução de massa mais pronunciada após a desmoldagem (1 dia), com perdas variando entre 22 e 33 g para os corpos de prova sem qualquer tratamento (AI) e entre 19 e 29 g para aqueles submetidos à cura química (QI). Para os corpos de prova expostos em ambiente externo (AE e QE), as perdas de massa foram mais acentuadas, o que se deve às condições ambientais mais severas, caracterizadas por temperaturas elevadas, maior circulação de ar e baixa umidade relativa. Observa-se, entretanto, uma anomalia a partir dos 28 dias na condição AE. Após perdas progressivas de massa nas idades anteriores, ocorre um ganho repentino, superando os valores anteriores. Esse comportamento está associado ao início do período de chuvas na região durante essa fase do estudo. Além disso, o recipiente utilizado para a exposição dos corpos de prova apresentava uma pequena área de contenção, o que favoreceu o acúmulo de água e consequente reabsorção por parte dos CP's de argamassa, como pode ser visto na Figura 19.

Figura 18 - Massa média dos CP's nas idades de 1, 3, 7, 28 e 56 dias



Fonte: Autor (2025)

Para os corpos de prova curados quimicamente em ambiente externo (QE) essa tendência também foi observada, porém, apenas aos 56 dias. Até os 7 dias, as perdas variaram entre 23 e 28 g, valores ligeiramente superiores aos verificados para a condição AE (entre 26 e

32 g). Quando se analisa até os 28 dias, nota-se que o acúmulo de água proveniente das chuvas não teve influência significativa sobre os corpos de prova tratados com o agente de cura, evidenciando que o filme protetor formado pelo composto químico limitou a absorção. Entretanto, aos 56 dias, os CP's apresentaram ganho significativo de massa, alcançando valores próximos aos atingidos pelos AE. Além da película ser parcialmente permeável, nesta idade, verificou-se pequenas fissuras na membrana parafínica formada (Figura 20), que, segundo Hoppe Filho (2025), pode ocorrer durante a secagem do produto e os ciclos diários de aquecimento e resfriamento, o que tende a auxiliar na absorção de umidade pelo corpo de prova.

Figura 19 - Corpos de prova expostos ao ambiente externo em recipiente com lâmina d'água após chuva



Fonte: Autor (2025)

A Figura 21 apresenta a massa relativa média dos CP's submetidos aos tratamentos alternativos em relação à cura submersa. Para todos os ambientes de exposição, as perdas de massa relativa para os diferentes tratamentos representaram valores abaixo dos 8%, não havendo diferença significativa aos 28 dias. Apesar de as perdas apresentarem valores próximos, verifica-se, até os 7 dias, uma maior eficiência do agente de cura, uma vez que os corpos de prova curados quimicamente (QI e QE) mantiveram massas ligeiramente superiores às daqueles sem nenhum tratamento (AI e AE). Esse comportamento indica que o composto de cura foi capaz de reduzir parcialmente a evaporação da água de amassamento nas condições de exposição, ainda que não tenha evitado completamente as perdas.

Figura 20 - Corpos de prova curados quimicamente apresentando fissuração na membrana forma pelo agente de cura

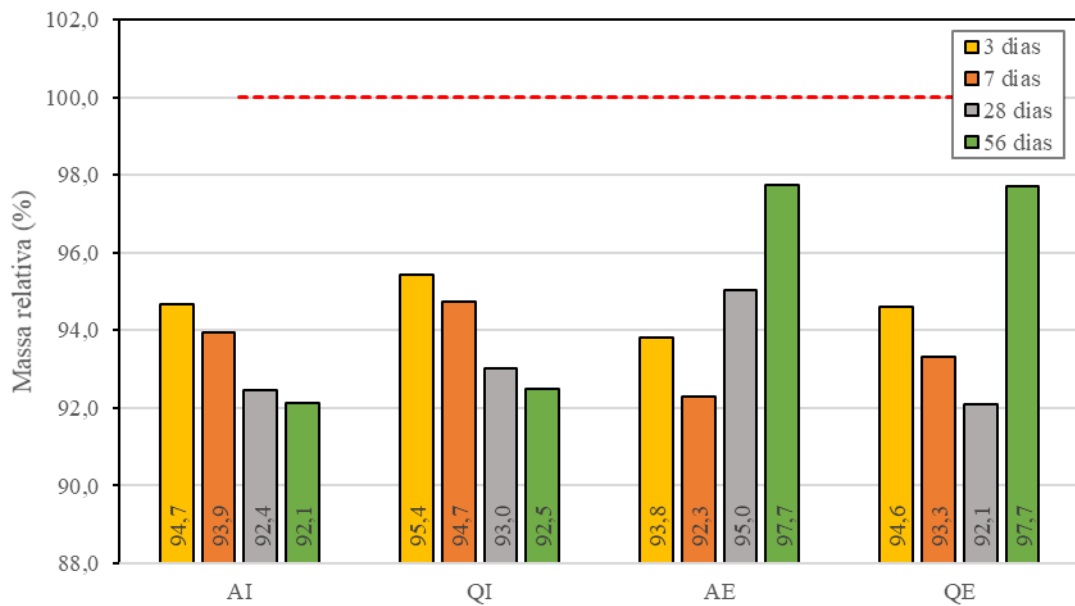


Fonte: Autor (2025)

Com relação ao ambiente de exposição, as massas dos corpos de prova expostos em ambiente interno permaneceram superiores às observadas para o ambiente externo, o que evidencia a influência determinante do ambiente de exposição na capacidade de retenção de umidade (BUSHLAIBI; ALSHAMSI, 2002).

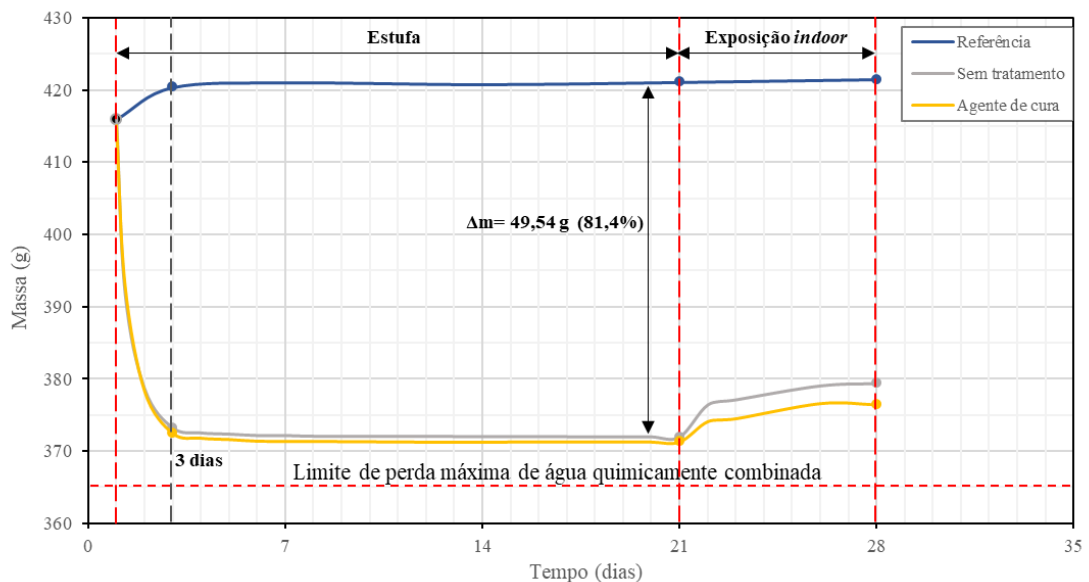
A Figura 22 apresenta a variação de massa dos corpos de prova expostos em estufa a 105 °C e daqueles mantidos submersos (referência). A partir do volume real dos corpos de prova, obtido por meio das dimensões médias de altura e diâmetro, determinou-se a massa total média de cada unidade, 426,13 g. Com base nesse valor, foi possível estimar a quantidade de cada material presente no corpo de prova. Para o traço utilizado (1,0:2,0:0,5), a quantidade inicial de água incorporada ao material foi de 60,88 g, representando o total de água potencialmente disponível para reação ou suscetível à perda para o ambiente.

Figura 21 - Massas relativas dos CP's submetidos a tratamentos de cura alternativos em relação à cura submersa (REF)



Fonte: Autor (2025)

Figura 22 - Variação de massa dos CP's expostos em estufa a 105°C durante 21 dias e ambiente laboratorial entre 21 e 28 dias



Fonte: Autor (2025)

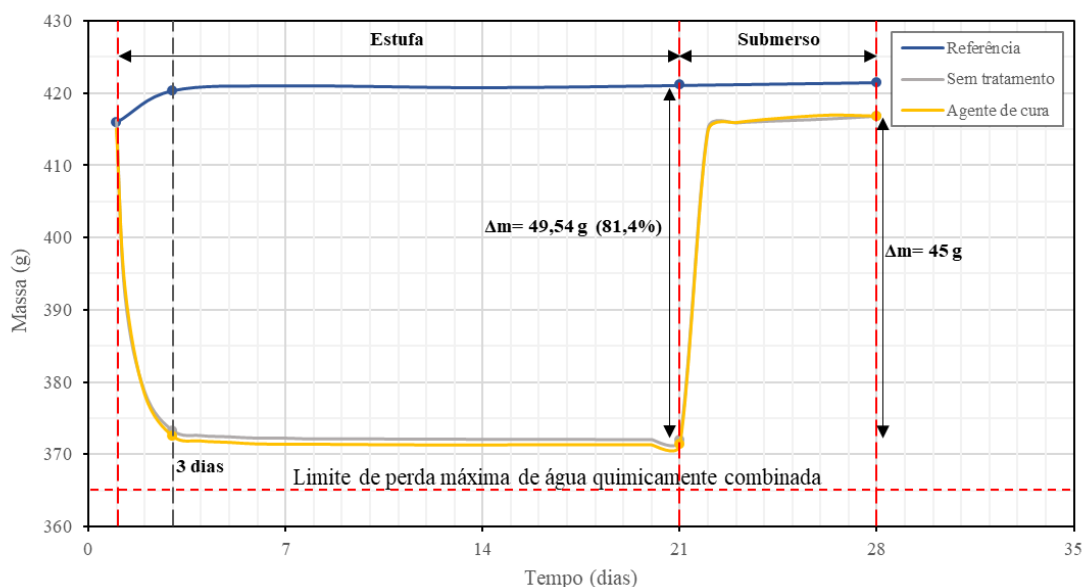
Aos 21 dias, os corpos de prova mantidos em estufa apresentaram perda média de 49,54 g em relação à condição de referência, o que corresponde a 81,4% da água inicialmente disponível. Dessa forma, estima-se que apenas 11,34 g permaneceram no material sob forma

de água quimicamente combinada, refletindo o grau de hidratação efetivamente alcançado. Nota-se ainda que a estabilização da variação de massa dos CP's expostos à alta temperatura ocorre a partir do terceiro dia, evidenciando a necessidade de cura logo nas primeiras idades de moldagem.

Ao comparar os corpos de prova submetidos às diferentes condições de tratamento, verifica-se que não houve diferença significativa entre eles. Esse comportamento indica que, diante da condição extrema de exposição em estufa, o agente de cura utilizado não foi capaz de impedir a perda de água por evaporação. Como consequência, o teor de água retido na argamassa, de apenas 18,6% do inicialmente disponível, tende a impactar negativamente o desenvolvimento da resistência à compressão.

Após 21 dias de estufa, os CP's foram retirados e submetidos tanto à exposição laboratorial quanto à condição submersa, até os 28 dias. Verifica-se que, nesse intervalo, os corpos de prova expostos às condições climáticas do laboratório apresentaram ganho de massa, de 5 a 7%, indicando um processo de reabsorção de umidade decorrente da diferença entre o material seco e o ambiente circundante. Já os CP's submersos (Figura 23) apresentaram um ganho de massa em torno de 45 g, alcançando valores próximos aos corpos de prova de referência, evidenciando a permeabilidade da membrana formada pelo agente de cura química, a qual não alterou a absorção de água quando comparado à argamassa sem tratamento de superfície.

Figura 23 - Variação de massa dos CP's expostos em estufa a 105°C durante 21 dias e submerso entre 21 e 28 dias



Fonte: Autor (2025)

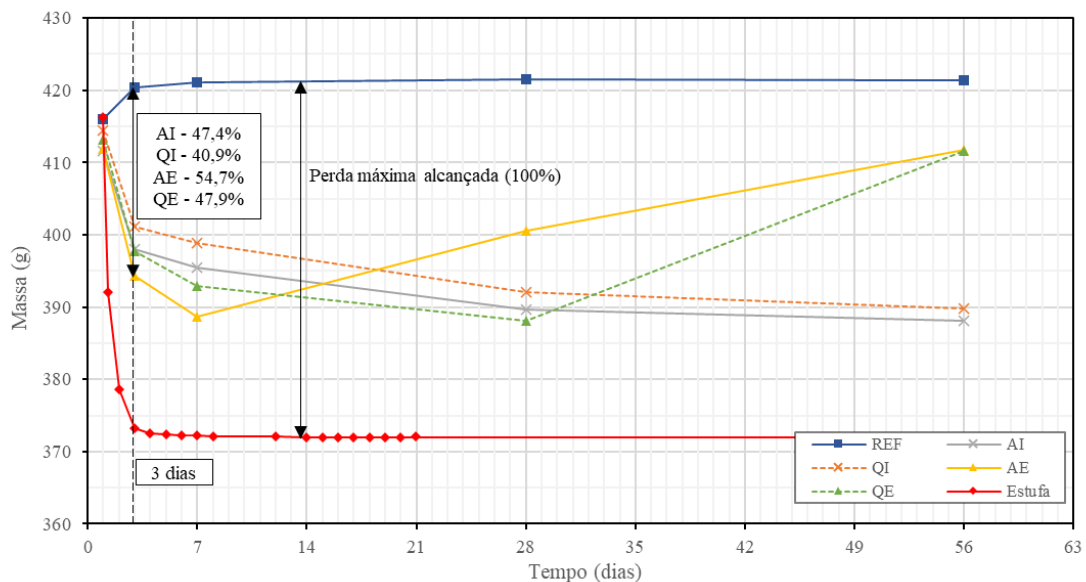
A variação de massa dos corpos de prova submetidos às diferentes condições de exposição, bem como sua eficiência em relação a perda máxima alcançada pelos corpos de prova em estufa está apresentada na Figura 24. Os resultados evidenciam que a maior variação de massa ocorre nas idades iniciais, até os 3 dias, para os procedimentos alternativos. Isto decorre da maior quantidade de água disponível na matriz cimentícia suscetível a evaporação, aliada as condições microclimáticas em torno do material e da elevação da temperatura interna devido ao calor de hidratação, que aumenta a pressão de vapor e acelera a perda de água (NEVILLE, 2016).

Nas exposições ao ar, tanto em ambiente interno (AI) quanto externo (AE), a queda significativa de massa nas primeiras idades evidencia a evaporação intensa da água livre presente nos poros capilares dos corpos de prova recém moldados. No caso dos corpos de prova expostos ao ambiente interno (AI), a perda de massa segue de forma gradual e praticamente contínua ao longo dos 56 dias. Na exposição ao ambiente externo (AE) houve variações em função do microclima característico, inclusive com a ocorrência de precipitação. Nos corpos de prova tratados com composto de cura, verifica-se que a aplicação do agente conferiu proteção parcial contra a perda de água nas primeiras idades. Em ambos ambientes de exposição (QI e QE), a redução da taxa de variação de massa é evidente (40,9% e 47,9%) quando comparada ao AI e AE (47,4% e 54,7%), demonstrando a eficácia do composto em retardar a evaporação. Além disso, observa-se que a maior agressividade de exposição (*outdoor*) intensificou a perda

de água por evaporação em relação ao ambiente interno (*indoor*), independente da condição de tratamento, evidenciando a influência das condições climáticas de exposição.

Já os corpos de prova submetidos à estufa apresentaram perda extrema e imediata, estabilizando rapidamente após a remoção quase completa da água disponível – água lamelar; fisicamente adsorvida; capilar e parte da água quimicamente combinada – que, segundo Potdar; Abrahem; Kakade (2023), só ocorre quando o material é exposto a temperaturas acima de 105 °C. Este comportamento extremo é um processo não representativo da hidratação, mas evidencia o limite máximo de secagem da matriz cimentícia quando sujeita a uma condição de evaporação forçada e bastante severa.

Figura 24 - Variação de massa dos corpos de prova e eficiência das diferentes condições de exposição em relação a perda máxima alcançada pelos corpos de prova em estufa



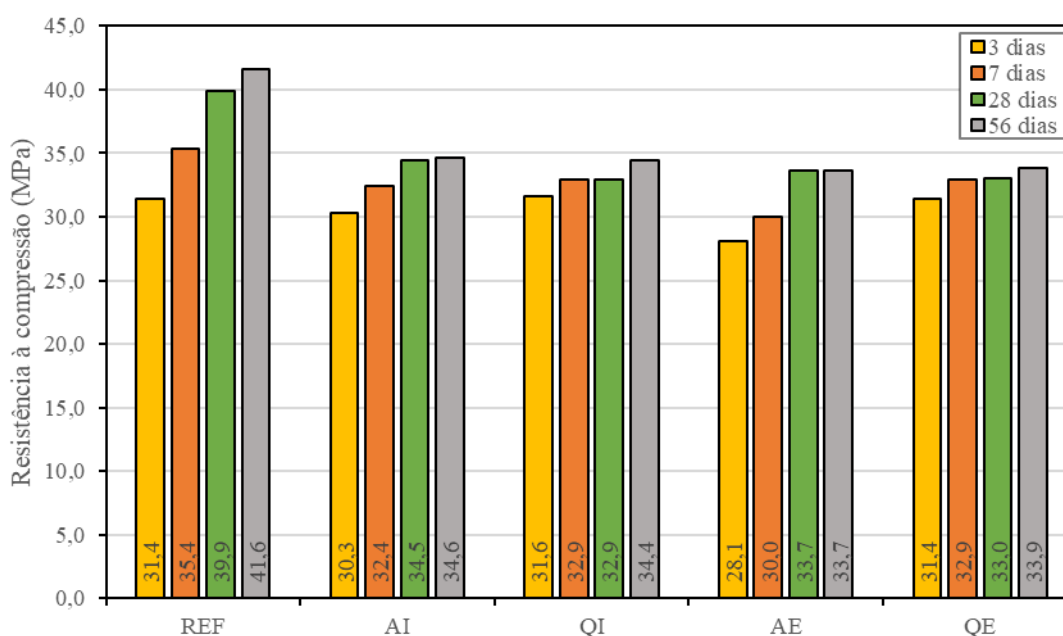
Fonte: Autor (2025)

4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A Figura 25 apresenta a resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa até os 56 dias sob cada condição de cura. Os corpos de prova de referência (REF), mantidos em cura submersa, apresentaram os maiores valores médios em todas as idades, atingindo 39,9 MPa aos 28 dias. A perda de resistência à compressão decorrente da cura deficiente, durante todo o período de estudo, é evidente para todas as condições analisadas. Aos 3 dias, observou-se diferença significativa apenas para os corpos de prova expostos ao ar em ambiente externo, que

alcançaram 28,1 MPa. Para as demais condições, a resistência à compressão foi de 30,3, 31,6 e 31,4 MPa, para AI, QI e QE, respectivamente, valores próximos aos obtidos pelos CP's submersos (31,4 MPa). Esses resultados podem ser associados ao efeito remanescente da água presente na mistura nas primeiras idades, além de o material saturado tender a apresentar menor resistência que o concreto seco devido à pressão hidrostática interna nos poros (POPOVICS, apud SURANA et al., 2017), o que ameniza as diferenças entre as condições. Aos 7 dias, nota-se que essa tendência se manteve para as condições alternativas de cura, as quais apresentaram ganho de resistência muito próximo entre si, embora ainda inferiores à cura submersa. Entretanto, a partir dessa idade, a perda de resistência se acentuou para todas as condições, alcançando valores máximos de 34,6 MPa aos 56 dias.

Figura 25 - Resistência à compressão dos CP's de argamassa até os 56 dias sob cada condição de cura

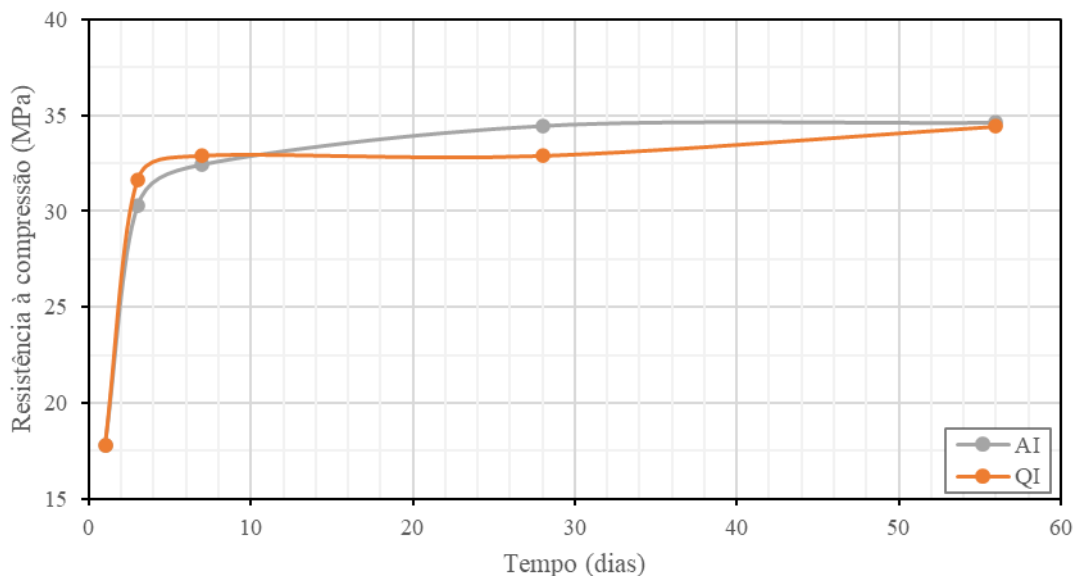


Fonte: Autor (2025)

Nas condições de exposição alternativas, observa-se que, nas primeiras idades, a cura química proporcionou um ganho de resistência à compressão ligeiramente superior ao dos corpos de prova expostos ao ar (Figura 26 e 27). Verifica-se, ainda, que essa diferença se tornou mais expressiva quando analisada em função do ambiente de exposição. Para os corpos de prova expostos ao ambiente externo (AE e QE), o agente de cura proporcionou ganhos de 3,3 MPa e 2,9 MPa, aos 3 e 7 dias, respectivamente. Já no ambiente interno (AI e QI), as variações entre as resistências à compressão em todas as idades não podem ser consideradas representativas.

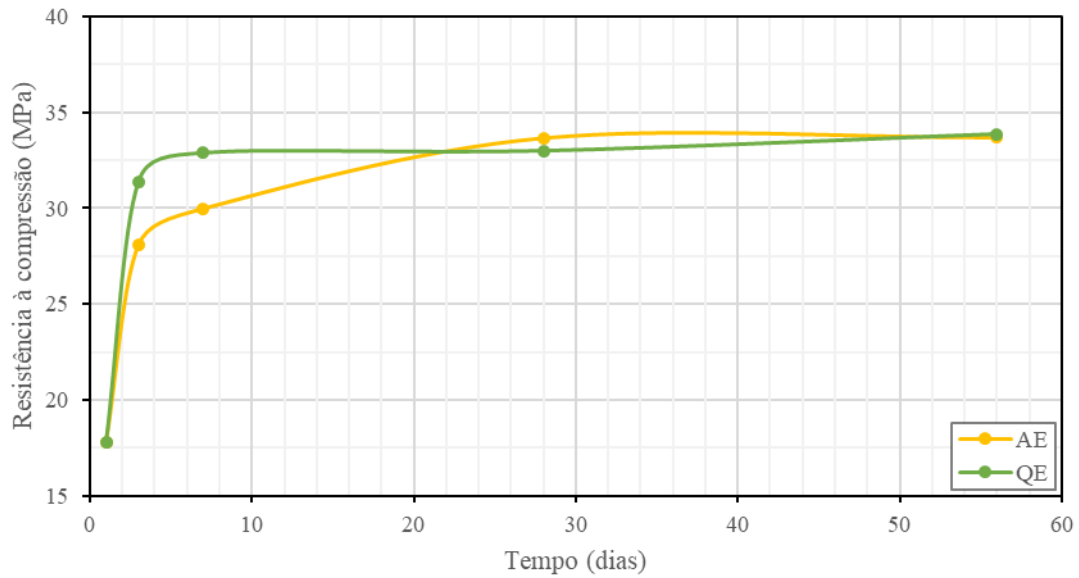
Tendência semelhante foi observada para os CP's expostos em ambiente externo a partir dos 28 dias, que coincide com o ganho de massa ocorrido pelo início das precipitações. Para estas condições, os resultados indicam que a membrana parafínica apresentou eficácia na proteção parcial na perda de umidade, garantindo um aumento da resistência até os 7 dias, quando comparado aos corpos de prova expostos ao ar. Entretanto, a ocorrência de chuva, associada ao acúmulo de água observado no recipiente em que os CP's estavam expostos, proporcionou um ganho hídrico posterior que pode ter favorecido a hidratação tardia dos CP's sem tratamento (ao ar). Esta absorção de água permitiu que a resistência destes se recuperasse, de modo que a partir dos 28 dias não se observou diferença significativa entre as condições de exposição. Assim, embora o composto de cura tenha sido efetivo no controle da perda de massa inicial, sua eficácia sobre a resistência à compressão a partir dos 7 dias para o ambiente externo em relação aos sem tratamento, não pode ser conclusiva devido as alterações climáticas ocorridas durante o estudo.

Figura 26 - Curva de evolução da resistência à compressão dos CP's em ambiente interno



Fonte: Autor (2025)

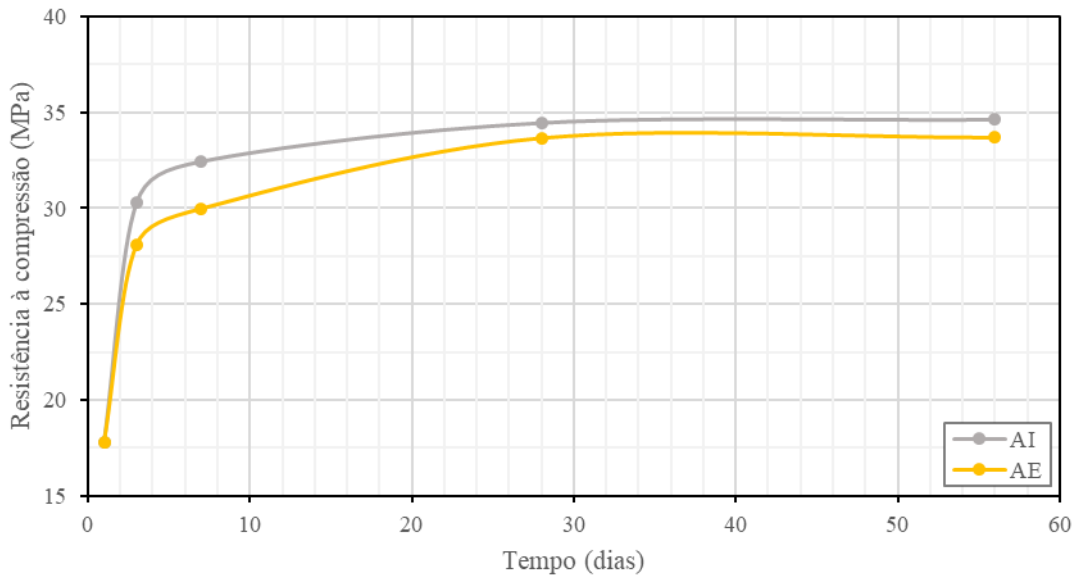
Figura 27 - Curva de evolução da resistência à compressão dos CP's em ambiente externo



Fonte: Autor (2025)

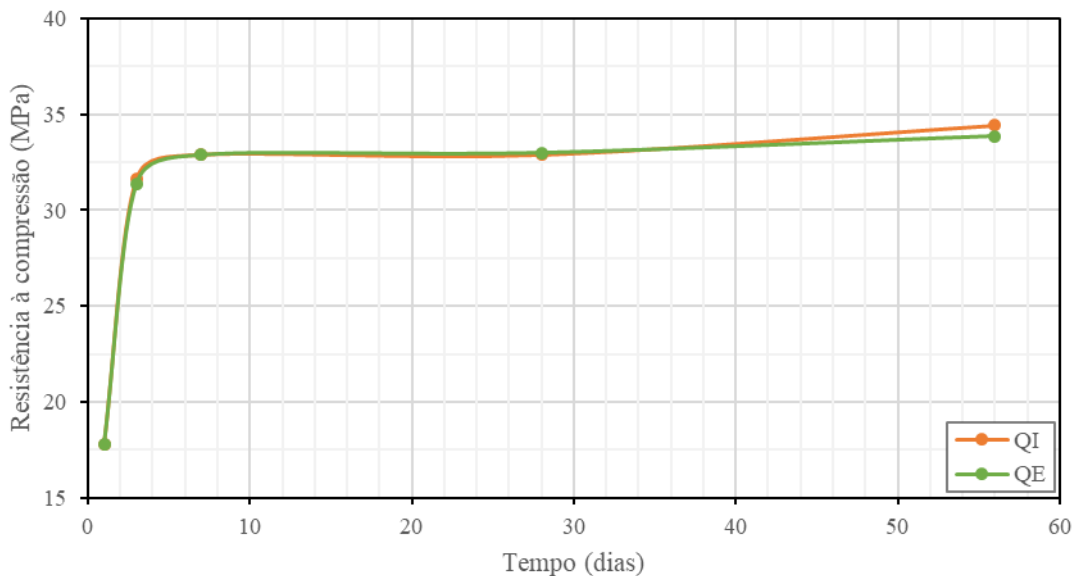
Comparando os mesmos tratamentos de cura nas diferentes condições de exposição, observa-se que, para os corpos de prova expostos ao ar (AI e AE), a hostilidade do ambiente influenciou significativamente a resistência à compressão, sobretudo nas primeiras idades (Figura 28). Climas quentes tendem a reduzir a resistência à compressão, uma vez que as altas temperaturas aumentam a taxa de evaporação da água necessária para a hidratação, além de favorecerem a formação de produtos de hidratação frágeis e mal distribuídos (BUSHLAIBI; ALSHAMSI, 2002). Para os CP's curados quimicamente (QI e QE), não houve diferença significativa entre os dois ambientes (Figura 29).

Figura 28 - Curva de evolução da resistência à compressão dos CP's curados ao ar



Fonte: Autor (2025)

Figura 29 - Curva de evolução da resistência à compressão dos CP's curados quimicamente



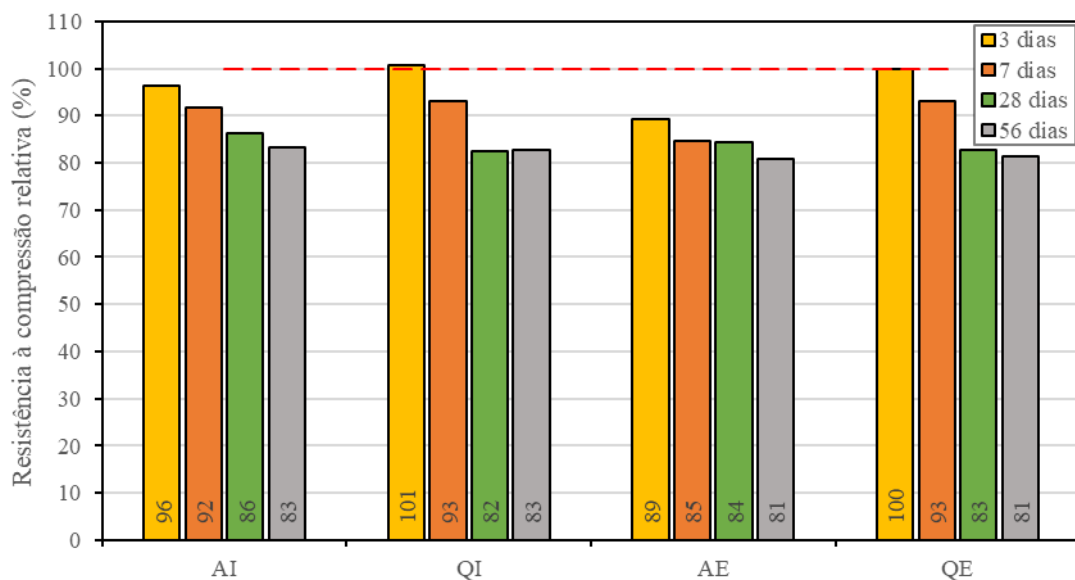
Fonte: Autor (2025)

Na Figura 30 é apresentada a resistência à compressão relativa dos procedimentos de cura alternativos em relação à cura submersa. A cura ao ar em ambiente interno (AI), causou redução de 8% na resistência à compressão aos 7 dias, atingindo 14% aos 28 dias e 17% aos 56 dias. A cura ao ar em ambiente externo (AE) causou redução média de 13% nos primeiros 7 dias, atingindo 16% aos 28 dias e 19% aos 56 dias. Estes valores estão compatíveis com os

apresentados na literatura para argamassas (seção 2.1). Na cura química em exposição aos dois ambientes, a redução da resistência à compressão aconteceu a partir de 7 dias, partindo de 7% nesta idade, passando para 18%, em média, aos 28 dias, mantendo-se aos 56 dias. O resultado aos 28 dias, também está dentro do apresentado na literatura, que atingiram até 30%.

Para os métodos de cura alternativos, verifica-se que o ganho de resistência à compressão diminuiu substancialmente após 3 dias, sugerindo a indisponibilidade de água suficiente nos poros para o desenvolvimento da hidratação. Isso ocorre devido a rápida perda de água por evaporação na superfície da argamassa, que resulta em um processo de hidratação comprometido e prejudica a adequada formação da microestrutura do material (ATSBHA & ZHUTOVSKY, 2022). Esse comportamento pôde ser observado (Figura 21), na qual se verifica perda média de massa de 5% para as condições analisadas. Apesar de relativamente baixa, essa variação ocasiona prejuízos ao ganho de resistência, uma vez que a perda de água próxima à superfície afeta o processo de hidratação nessa região, conhecida como Zona Afetada de Cura (ZAC), resultando em uma microestrutura mais porosa, que impacta significativamente na resistência e durabilidade (POTDAR; ABRAHEM; KAKADE, 2023).

Figura 30 - Resistência à compressão relativa dos CP's submetidos a procedimentos de cura alternativos em relação à cura submersa (REF)



Fonte: Autor (2025)

Observa-se, ainda, que mesmo com a aplicação do agente de cura, a massa dos CP's variou de forma semelhante à dos curados ao ar, comportamento não verificado em relação ao

ganho de resistência à compressão. Nota-se que a resistência à compressão dos CP's curados ao ar foi cerca de 11% inferior à dos curados quimicamente no ambiente externo (*outdoor*), evidenciando que o agente de cura exerceu um papel relevante não necessariamente na retenção total de água, mas na preservação da umidade na camada próxima a superfície do corpo de prova. Ou seja, mesmo que a perda total de massa tenha sido semelhante, pequenas diferenças na taxa inicial de evaporação e na manutenção da umidade superficial pela membrana parafínica exerceram maior influência na ZAC, favorecendo a formação contínua dos produtos hidratados (C-S-H) e, conseqüentemente, reduzindo os danos microestruturais nas primeiras idades.

Este comportamento foi verificado por Xue *et al.* (2015) por meio de teste de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em corpos de prova de concretos curados com composto de cura e sem qualquer tratamento. Os autores constataram que os corpos de prova curados com composto químico formaram uma microestrutura mais compacta e homogênea, com maior presença de C-S-H que aqueles curados ao ar. Resultados que indicam que o composto de cura “faz com que o concreto mantenha alta umidade interna, o que resulta em combinação suficiente entre as partículas de cimento e de água para produzir mais produtos de hidratação”.

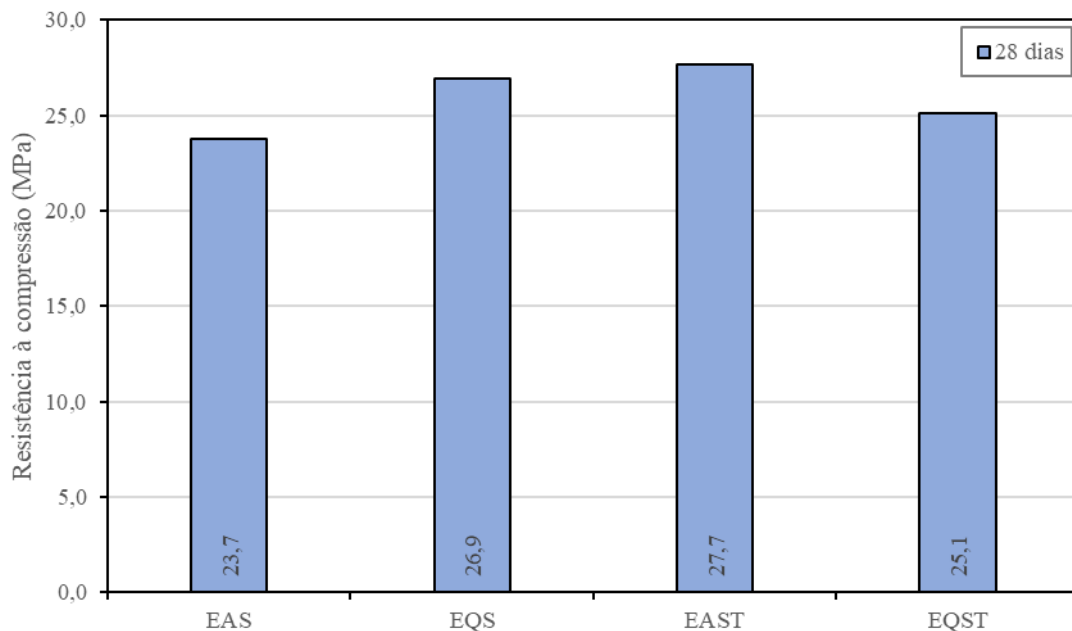
Este efeito foi mais pronunciado no ambiente externo devido as condições microclimáticas – radiação solar, maior velocidade dos ventos, maior variação de temperatura e umidade relativa – intensificarem a evaporação, tornando o material mais suscetível à redução prematura da hidratação nas primeiras idades. Sendo assim, qualquer mecanismo de retenção de umidade, mesmo que parcial, tende a gerar diferenças na resistência à compressão. Isso explica por que, no ambiente interno, onde as condições são mais estáveis e menos agressivas, as diferenças entre os CP's com e sem cura química deixam de ser representativas.

A Figura 31 apresenta os valores médios de resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova expostos na estufa. Após serem retirados da estufa aos 21 dias, os corpos de prova que ficaram expostos ao ambiente laboratorial durante 7 dias atingiram resistências à compressão de 23,7 MPa e 26,9 MPa, para os CP's sem e com aplicação do agente de cura (EAS e EQS), respectivamente. Os que foram submersos, apresentaram resistências de 27,7 MPa e 25,1 MPa, respectivamente, sem e com o agente (EAST e EQST). Considerou-se que a resistência máxima alcançada seria aquela após estabilização da perda de massa na estufa. Ou seja, se os corpos de prova fossem rompidos a partir deste dia (3 dias de idade), a resistência à compressão tenderia a atingir valores próximos dos apresentados aos 28 dias.

Adotando o pior desenvolvimento de resistência dos CP's (EAS), em relação à resistência obtida a 1 dia (17,8 MPa), essa apresentou um ganho de 25%, oriundo dos 18,6% de água disponível que reagiu. Nesta condição de exposição, a perda máxima de resistência alcançada foi de 40,5% em relação à referência (REF) aos 28 dias (Figura 32), reduzindo-a praticamente à metade daquela observada na condição otimizada de hidratação.

Através deste dado, pode-se comparar as condições de exposição adotadas fora da estufa e verificar a sua eficiência. A porcentagem de perda em relação àqueles submersos (REF) para os corpos de prova submetidos aos tratamentos AI e QI, foram de 17,9% e 21,7%, respectivamente. Para os CP's expostos em ambiente externo, AE e QE, estes números foram 19,8% e 21,4%, respectivamente. Esses valores representam, da perda máxima de resistência, 33,7% para AI, 43,3% para QI, 38,7% para AE e 42,8% para QE. Verifica-se que os corpos de prova curados quimicamente tiveram maiores perdas percentuais de resistência, apresentando menor eficiência que aqueles expostos ao ar.

Figura 31 - Resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova expostos na estufa



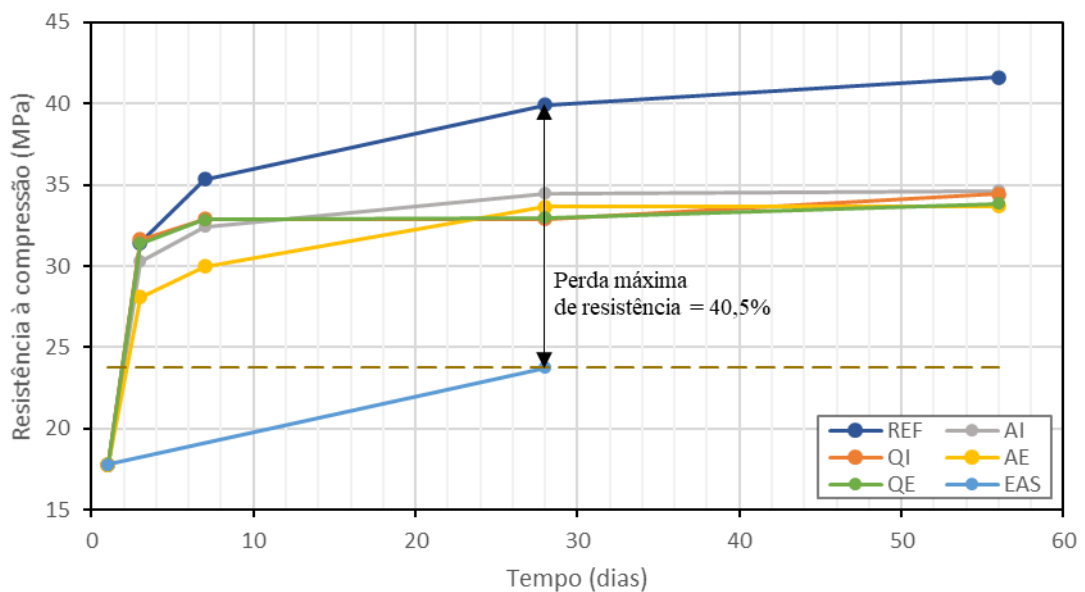
Fonte: Autor (2025)

A partir dos dados apresentados, observa-se que, tanto para os corpos de prova submetidos aos ambientes interno e externo quanto para aqueles expostos em estufa, as duas condições de tratamento analisadas apresentaram comportamentos semelhantes. Verifica-se

que a perda de massa por evaporação não apresentou variações significativas entre os corpos de prova curados com e sem agente de cura, atingindo, aos 28 dias, massa média relativa de 92,5% em comparação aos corpos de prova de referência (Figura 21). Esse comportamento refletiu diretamente nos valores de resistência à compressão aos 28 dias, que também não apresentaram diferenças expressivas entre os métodos.

Para os corpos de prova posicionados sobre a cobertura do laboratório, os quais estiveram sujeitos a períodos de precipitação, os dados de variação de massa não seguiram o mesmo padrão, em razão do ganho de massa observado a partir dos 7 dias. Cabe salientar que, para os CP's curados quimicamente, esse ganho só foi registrado aos 56 dias. Comportamento semelhante foi observado nos CP's que estavam na estufa e foram posteriormente submersos em água. Após 7 dias sob essa condição, os corpos de prova com e sem cura química apresentaram ganho de massa equivalente (Figura 23). Apesar da reabsorção de água verificada, a umidade disponível não promoveu desenvolvimento significativo na resistência à compressão, exceto aos 28 dias para a condição AE, indicando que o processo de hidratação e formação dos hidratos evolui de forma muito limitada em idades mais avançadas. Tal evidência reforça a importância de se garantir umidade suficiente sobretudo nos primeiros dias após a moldagem.

Figura 32 – Curva de evolução das resistências para todas as condições de exposição



Fonte: Autor (2025)

Segundo Atsbha e Zhutovsky (2022), para que um procedimento de cura seja considerado aceitável, quando comparado à cura idealizada (submersa), a resistência à compressão aos 28 dias deve ser superior à obtida pelo concreto curado por apenas 7 dias na condição ideal. Aos 7 dias, os CP's de referência apresentaram resistência média de 35,4 MPa. Para os corpos de prova expostos sem tratamento, a resistência média aos 28 dias foi de 34,1 MPa, enquanto aqueles submetidos ao composto de cura apresentaram 32,9 MPa. Nenhuma das condições avaliadas atingiu o valor mínimo recomendado, sendo que a cura química apresentou, em termos absolutos, os menores resultados. Esses dados indicam que o composto de cura à base de hidrocarbonetos parafínicos utilizado neste estudo não demonstrou eficiência, tanto na retenção da umidade quanto no desenvolvimento da resistência à compressão.

5. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser tiradas com base nos resultados obtidos neste estudo:

a) A cura submersa foi a mais eficiente, alcançando maiores valores de resistência à compressão;

b) O procedimento de cura química à base de hidrocarbonetos parafínicos apresentou benefício limitado no desenvolvimento da resistência à compressão, atuando mais significativamente nas primeiras idades e principalmente no ambiente externo. Entretanto, ao final do período analisado, não superou o desempenho dos corpos de prova expostos ao ar, apresentando perdas iguais ou superiores;

c) A perda de massa por evaporação foi semelhante para os tratamentos com e sem cura química, indicando que o agente de cura não foi eficiente na retenção de umidade para garantir hidratação adequada, especialmente em ambientes mais agressivos;

d) Para as condições alternativas, aos 3 dias o ganho de resistência à compressão foi rápido, podendo, inclusive, ser idêntico àquele observado na argamassa de referência. A partir de 3 dias, a ausência de qualquer procedimento de cura ou a aplicação de agente de cura química, resultou em perda de resistência em relação à referência;

e) A ressaturação tardia não resultou em recuperação expressiva da resistência, evidenciando que o processo de formação dos hidratos evolui de forma muito limitada após a janela crítica inicial;

f) A agressividade do ambiente intensificou as perdas por evaporação e impactou significativamente a resistência, principalmente nas primeiras idades;

g) Segundo o critério de Atsbha e Zhutovsky (2022), nenhuma das condições de tratamento alternativo atingiu o nível de desempenho mínimo aceitável;

h) A cura química é uma alternativa viável para situações em que a cura úmida não pode ser aplicada, pois oferece proteção parcial contra a evaporação da água de mistura. A exposição ao ar em ambiente externo, sujeita à radiação solar e ao vento, deve ser evitada devido às elevadas perdas de umidade. Nesses cenários, a cura química tende a apresentar melhor desempenho em relação à ausência de cura, ainda que sua eficiência seja limitada. Entretanto, no que pese a resistência à compressão, a aplicação do agente de cura química não impactou significativamente no comportamento mecânico da argamassa quando comparado à condição sem qualquer medida protetiva superficial da argamassa.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar compostos com diferentes bases químicas (acrílicos, resinas, ceras modificadas, polímeros hidrofóbicos) e sua aplicação em diferentes tipos de concreto e argamassa.
- Realizar estudos que associem a análise mecânica a ensaios de durabilidade, como de permeabilidade, porosidade, resistência à carbonatação e cloretos e análises complementares como MEV, DRX ou TGA que poderão apresentar com maior precisão a relação entre a eficiência do agente de cura e a durabilidade do material.
- Avaliar concretos ou argamassas com diferentes relações água/cimento, a fim de verificar se amostras mais ricas ou mais pobres de cimento respondem melhor ou pior à cura química.

REFERÊNCIAS

ACI 308R-16. **Guide to Curing Concrete**. American Concrete Institute.

AL-GAHTANI, A. S. Effect of curing methods on the properties of plain and blended cement concretes. **Construction and building materials**, v. 24, n. 3, p. 308–314, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – procedimento: Referências. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916**: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: Referências. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C156: Standard Test Method for Water Retention by Concrete Block or Cured Concrete Block. 2011.

BAUER, L. A F. **Materiais de Construção** - Vol. 1. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2019. E-book. ISBN 9788521636632. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636632/>. Acesso em: 04 abr. 2024.

BUSHLAIBI, A. H.; ALSHAMSI, A. M. Efficiency of curing on partially exposed high-strength concrete in hot climate. **Cement and concrete research**, v. 32, n. 6, p. 949–953, 2002.

Clima, condições meteorológicas e temperatura média por mês de Barreiras (Bahia, Brasil) - Weather Spark. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30524/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Barreiras-Bahia-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 8 maio. 2024.

GEREZIHER ATSBHA, T.; ZHUTOVSKY, S. The effect of external curing methods on the development of mechanical and durability-related properties of normal-strength concrete. **Construction and building materials**, v. 324, n. 126706, p. 126706, 2022.

HELENE, Paulo & LEVY, Salomon M. Qual é a Cura Recomendada para a Estrutura de Concreto? Boletín Técnico nº 8 – Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología e Recuperación de la Construcción – ALCONPAT Int. Março, 2013. 12p

HELENE, P. Técnicas de cura do concreto. In: Curso de Tecnologia do Concreto. São Paulo: PINI, 2019.

HOPPE FILHO, J. Efeitos da cura química in loco sobre a evolução da resistência à compressão de concreto estrutural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 25, e138679, jan./dez. 2025.

IBRAHIM, M. et al. Effect of curing methods on strength and durability of concrete under hot weather conditions. **Cement & concrete composites**, v. 41, p. 60–69, 2013.

KOSMATKA, S. H.; L, M.; PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Design and control of concrete mixtures**. Skokie, Illinois: Portland Cement Association, 2008.

Mohamed, O., & Najm, O. (2019). Effect of curing methods on compressive strength of sustainable self-consolidated concrete. IOP Conference Series. **Materials Science and Engineering**, 471, 032059. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/471/3/032059>

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Porto Alegre: Grupo A, 2013. *E-book*. ISBN 9788582600726. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582600726/>. Acesso em: 04 abr. 2024.

NEVILLE, A M. **Propriedades do concreto**. Porto Alegre: Grupo A, 2016. *E-book*. ISBN 9788582603666. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582603666/>. Acesso em: 04 abr. 2024.

PAWAR, Y.; KATE, S. Curing of concrete: a review. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 7, n. 8, p. 1820–1824, 2020.

POTDAR, N. M.; ABRAHAM, S. M.; KAKADE, V. Assessment of efficacy of curing practices in concrete. **Materials Today: Proceedings**, In Press, 2023.

RAHIMI, M. Z. et al. Research on the influence of curing strategies on the compressive strength and hardening behaviour of concrete prepared with Ordinary Portland Cement. **Case studies in construction materials**, v. 18, n. e02045, p. e02045, 2023.

SARAIVA, Marco Antônio Caixeta. Análise da influência da cura na resistência à compressão do concreto. 2018. **Trabalho de conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIEVANGÉLICA. Anápolis, 2018. Disponível: em: < <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/107> > Acesso em: 02 abr. 2024.

SURANA, S.; PILLAI, R. G.; SANTHANAM, M. Performance evaluation of curing compounds using durability parameters. **Construction and building materials**, v. 148, p. 538–547, 2017.

XUE, B. et al. Effect of curing compounds on the properties and microstructure of cement concretes. **Construction and building materials**, v. 101, p. 410–416, 2015.

WANG, J.; DHIR, R. K.; LEVITT, M. Membrane curing of concrete: Moisture loss. **Cement and concrete research**, v. 24, n. 8, p. 1463–1474, 1994.

WANG, Y. et al. Effect of curing conditions on the strength and durability of air entrained concrete with and without fly ash. **Cleaner Materials**, v. 7, n. 100170, p. 100170, 2023.

WHITING, N. M.; SNYDER, M. B. Effectiveness of Portland cement concrete curing compounds. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1834, n. 1, p. 59–68, 2003.