



Esta obra está sob o direito de
Licença Creative Commons
Atribuição 4.0 Internacional

ANÁLISE COMPARATIVA: EFEITOS DO CICLO GELO/DEGELO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ARGAMASSA DURANTE A CURA

Emanuel Bezerra Braga¹
Luís Henrique Araújo Amorim²
Anderson Laursen³

RESUMO

O estudo de soluções construtivas é indispensável para o entendimento do comportamento das argamassas sujeitadas à baixas temperaturas. Seguindo esse raciocínio foram desenvolvidas amostras de traços de argamassas utilizando uma proporção de cimento, areia, água e aditivo definidas para possibilitar o programa experimental. A pesquisa utilizou materiais como cimento Portland, areia de rio lavada e peneirada, e um agente incorporador de ar da marca ADITEX. Encaminharam-se os ensaios de granulometria da areia e determinação das propriedades físicas da argamassa, como índice de consistência e resistência à compressão. Os corpos de prova foram submetidos a ciclos de congelamento num freezer e imersos em água para descongelamento. Para realizar a análise comparativa, foram selecionados dois grupos de amostras: um grupo foi submetido apenas à cura úmida, enquanto o outro grupo passou por ciclos de gelo e degelo durante a cura. Após cada período de exposição, os corpos de prova foram testados quanto à resistência à compressão para ambos os grupos. Os resultados obtidos indicaram que a argamassa submetida ao efeito de gelo e degelo durante a cura apresentou uma elevação na resistência à compressão em comparação com as amostras que passaram apenas pela cura normal. Essa conservação foi observada ao final dos ciclos analisados. Este estudo contribui para o entendimento dos efeitos do gelo e degelo na fase de cura da argamassa e pode auxiliar na elaboração de diretrizes e práticas mais eficazes para o uso desse material em condições de baixas temperaturas ou ambientes sujeitados a ciclos de congelamento e descongelamento.

Palavras-chave: Argamassa, gelo/degelo, durabilidade, aditivo e resistência à compressão.

¹ E-mail: emanuelbbraga@hotmail.com

² E-mail: luis._amorim@hotmail.com

³ E-mail: anderson.laursen@professores.unifavip.edu.br

LISTA DE SIGLAS

a/c	Relação água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	Aditivo Incorporador de Ar
CP	Corpo de prova
CP	V-ARI Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CPs	Corpos de prova
IAR	Incorporador de Ar

INTRODUÇÃO

As argamassas são materiais porosos utilizados em inúmeros processos na construção civil. O entendimento desse material é de fundamental importância devido a enorme usabilidade na esfera construtiva. Atualmente as argamassas têm o cimento associado como o principal tipo de ligante constituinte, mas até certo tempo atrás não era assim. O uso dela é associado a diversos tipos de construções antes mesmo do desenvolvimento do cimento e da sua comercialização. Diversas civilizações antigas a exemplo dos Egípcios, Babilônios, Palestinos e Israelitas, a utilizavam como revestimento de muralhas e paredes (reboco), e assentamento de pedras ou blocos de tijolos, citadas na Bíblia Sagrada: “Depois tomarão outras pedras, e as porão no lugar das primeiras; e outra argamassa se tomará, e se rebocará a casa.”(Bíblia Sagrada, Lv. 14, 42)⁽⁰⁾. Utilizada também em pelo menos 5

das 7 Maravilhas do Mundo Moderno, e entre outras obras antigas.

No decorrer de muitos séculos as argamassas utilizadas na construção eram à base de cal aérea. Mas ao longo das décadas recentes com o rápido avanço tecnológico a partir do surgimento do cimento como conhecemos hoje, devido ao seu rápido endurecimento e possuir altas resistências mecânicas, as argamassas à base de cal foram saindo do uso cotidiano sendo substituídas prioritariamente pelo cimento na sua composição como ligante⁽⁰⁾. Constituídas pela mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (cimento e/ou cal), agregado miúdo (areia) e água (potável), podendo haver ou não aditivos e/ou adições, proporcionando melhorias de propriedades específicas ao material final. O conceito de argamassa relaciona-se a proteção da superfície, com uma ou mais camadas de sobreposição, em espessura uniforme, nivelando-a. As principais funções de um revestimento de argamassa são: proteger a superfície de agentes agressivos, impermeabilizar a estrutura, dar conforto termoacústico e proporcionar o nivelamento da superfície dando acabamento e finalização, com o intuito de receber artificiais decorativos de acordo com o projeto arquitetônico. O revestimento argamassado com espessura entre 30% e

40% da espessura da superfície, pode ser responsável por 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico e até de 100% da estanqueidade⁽⁰⁾.

Os fundamentos de durabilidade e forma são “pilares” significativos no uso da argamassa, atualmente são os mais importantes para a construção, devido as funcionalidades atribuídas ao material na aplicação em edifícios e residências. A argamassa possui maior longevidade conforme resiste aos agentes externos de deterioração. E possui melhor adaptação a forma desejada consoante a sua consistência. As construções na sua totalidade estão sujeitas à várias ações acidentais ao longo do seu tempo de utilização, tais como intempéries, inundações, incêndios, choques mecânicos, entre outros⁽⁰⁾.

A atuação da água presente nos traços de argamassa interage com os ligantes hidráulicos (cimento) dando plasticidade ao material no estado fresco e proporcionando potencial aglutinação à mistura, conferindo hidratação aos silicatos e aluminatos de cálcio presentes⁽⁰⁾, promovendo o iminente endurecimento da massa, oferecendo as funcionalidades desejadas, boa forma e boa resistência mecânica.

Um dos principais fatores determinantes para a qualidade da

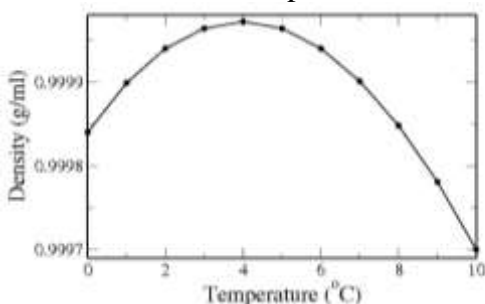
argamassa é o quantitativo de água, definindo: no estado fresco a sua consistência, plasticidade e trabalhabilidade; no estado endurecido a sua aderência, ductibilidade, dureza e impermeabilidade. Para garantir essas funções a quantidade de água deve estar em nível baixo uma vez que a resistência mecânica e o quantitativo de água são inversamente proporcionais, procurando manter o equilíbrio entre resistência e trabalhabilidade.

Esses fatores no que lhe diz respeito podem ser decisivos quanto a degradação causada por intempéries, mais especificamente pelo efeito de gelo/degelo, onde a água do interior da estrutura aumenta seu volume devido à sua dilatação anômala, no processo de mudança de estado líquido para sólido, e sólido para líquido repetidamente, fenômeno que com frequência ocorre em climas úmidos e frios, de forma cíclica. A água é um dos principais agentes degradantes tratando-se de argamassas, senão o maior, aumentando consideravelmente os efeitos causados pelos ciclos. A conservação da argamassa aos ciclos gelo/degelo está relacionada a habilidade de resistência a inserção de água (impermeabilidade), e a porosidade microestrutural que permite a rápida perda de água e resistência as tensões provocadas

pelo aumento volumétrico da água na mudança de estado⁽⁰⁾.

Grande parte dos materiais dilatam e contraem com as mudanças de temperatura. Dessa forma . A água comporta-se como um líquido normal entrando em processo de retração quando há redução de temperatura até 4 °C, porém para temperaturas de 4°C à 0°C ela expande, um pensamento contrário a lógica padrão. Esse mecanismo é causado pela reestruturação das ligações moleculares das partículas de hidrogênio, as baixas temperaturas resultam na abertura angular das ligações, conseqüentemente sofrendo ação dilatante. Esse processo é conhecido como dilatação anômala da água⁽⁰⁾.

Figura 1 - Densidade versus temperatura a 1 atm de pressão.



Fonte: BARBOSA, M. C. *Aprendendo com as esquisitices da água. e-Boletim da Física*, [S. l.], v. 4, n. 6, p. 1-5, 2016. DOI: 10.26512/e-bfis.v4i6.9807.

O emprego de aditivos pode ser uma das alternativas de conseguir que a estrutura porosa se adeque às necessidades das habilidades das argamassas. A incrementação do aditivo incorporador de ar (AIA) pode motivar a argamassa a resistir eficazmente a possível degradação causada

pelos ciclos gelo/degelo. O IAR é composto por substâncias surfactantes, que agem alterando a porosidade das argamassas e concretos causando a formação de microbolhas de tamanhos proporcionais e razoavelmente distribuídos na microestrutura. Na fase de materiais secos o aditivo é adicionado à mistura e em seguida acrescentado água. Após a cura conseqüentemente gerados os poros, eles exercem a eminente missão na longevidade das argamassas, porquanto após curadas não são saturadas mesmo que a estrutura se encontre completamente úmida⁽⁰⁾.

A partir de estudos anteriores foi considerado apropriado o desdobramento de uma investigação laboratorial para analisar o desempenho de argamassas sujeitas à ação de ciclos de gelo/degelo, com e sem a presença de aditivos, variando a quantidade de IAR, adotando um traço padrão, para melhor análise do comportamento da porosidade atribuída à estrutura.

1. METODOLOGIA

1.1. Materiais utilizados

A presente análise experimental e suas metodologias foram pautadas nos documentos normativos disponíveis. A seleção dos materiais utilizados nessa investigação tivera em consideração trabalhos anteriores desenvolvidos por

outros autores relacionando o aditivo agente incorporador de ar (IAR) empregado nas argamassas à base de cimento. Os materiais utilizados foram cimento Portland do tipo CP V-ARI doado pela empresa Polimix Concreto Ltda, areia de rio lavada e peneirada (agregado miúdo) e o agente incorporador de ar (IAR) da marca ADITEX cuja designação é: AD-Foamer LSS e água potável da rede pública de distribuição.

AD-Foamer LSS é um sal orgânico de álcool graxo, comumente denominado como Lauril Sulfato de Sódio. É um tensoativo aniônico, emulsionante e umectante de alta solubilidade em água. Indicado para aplicações específicas, tem como principais características promover a incorporação de microbolhas de ar que possibilitam o aumento da plasticidade e homogeneidade, além de reduzir o índice de exsudação e/ou segregação. (ADITEX, 2023).

1.2. Ensaio Granulométrico

A areia de rio lavada utilizada foi peneirada e analisada segundo a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). Coletada a amostra (NBR NM 26), separada duas amostras (NBR NM 27), as amostras secas em estufa, em seguida feito o ensaio sobre as peneiras: malha 4 (4,75mm); malha 8 (2,36mm); malha 16 (1,18mm); malha 30 (600µm); malha 50 (300µm) e malha 100 (150µm).

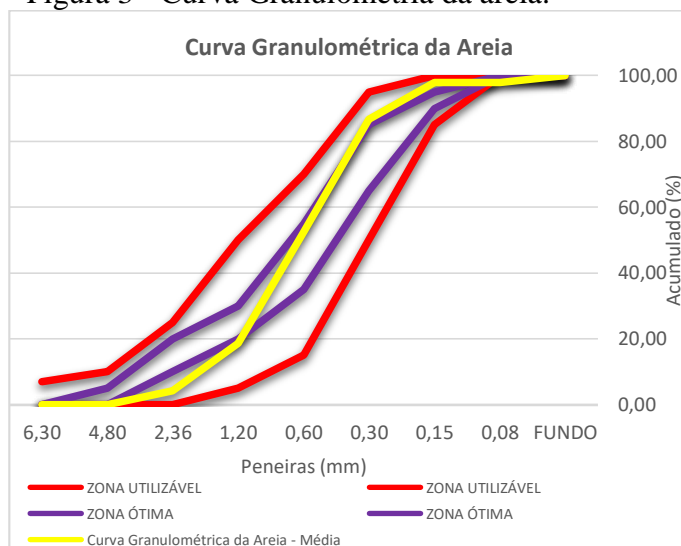
Figura 2 - Ensaio Granulométrico.



Fonte: Autor.

Segundo os resultados dos ensaios a areia analisada confere uma curva granulométrica dentro dos limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo solicitados pela NBR 7211:2005, representada a seguir e conforme o anexo A:

Figura 3 - Curva Granulométria da areia.



Fonte: Autor.

1.3. Preparação da Argamassa

Todo o preparo dos traços de argamassa fora realizado segundo as normas da NBR 7215:2019, e conseqüentemente os ensaios de determinação de índice de consistência

foram feitos, chegando aos resultados de espalhamento de 260mm+/-5mm, adequados para dar continuidade ao estudo. Os corpos de prova (CPs) foram moldados em formato cilíndrico com 50mm de diâmetro e 100mm de altura, desmoldados após 24h de cura ao ar e em temperatura ambiente. A pesquisa consistiu na determinação das propriedades da argamassa fresca por meio da análise de consistência por espalhamento, determinação das resistências à compressão no estado endurecido e determinação das resistências à compressão nos ciclos gelo/degelo.

Figura 4 - Ensaio de Índice de Consistência.



Fonte: Autor.

Figura 5 - Preparação de traço e moldagem de CPs.



Fonte: Autor.

1.4. Ensaio de Resistência à Compressão

As resistências mecânicas a compressão foram realizadas pela máquina da marca EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaios Ltda, modelo EMIC SSH300 ligada ao computador, utilizando o software TESC VERSÃO 3.04, seguindo por padrão a NBR 7215:2019 - Determinação da Resistência à Compressão, para padronizar a velocidade de carregamento, todos viabilizados pela UNIFAVIP. O processo é baseado na aferição da carga de ruptura dos CPs em Newtons (N) por milímetros quadrados (mm²), expressando os resultados finais em MPa($\frac{10^6 \times N}{m^2}$).

Figura 6 - Ensaio de Determinação da Resistência à Compressão.



Fonte: Autor.

1.5. Especificação de Traços

Os traços de argamassa e a quantidade de aditivo acrescentados a mistura, foram escolhidos de acordo com testes feitos em laboratório até um resultado satisfatório de

acordo com o ensaio de índice de consistência. Os traços definidos são:

Tabela 1 – Especificação dos Traços Analisados

Nomes	Traços (ligante: agregado: a/c	AIA (%)
Traço A	(1:2:0,65)	-
Traço B	(1:2:0,65)	0,1
Traço C	(1:2:0,65)	0,05

Fonte: Autor.

1.6. Ciclos de Gelo e Degelo

O programa experimental é constituído por um grupo total de 52 corpos de prova cilíndricos de argamassa divididos em subgrupos de traços alterados, sujeitados a ensaios de compressão, com a finalidade de determinar a resistência média à compressão dos CPs. 42,31% dos CPs foram submetidos à ciclos de gelo/degelo durante 28 dias, os 57,69% restantes foram mantidos em cura úmida em tanques de água, e não sofreram quaisquer alterações de temperatura, exceto a variação padrão do ambiente.

O tempo estabelecido para duração de cada ciclo de gelo/degelo fora de 48h, que correspondem ao tempo de 24h submetidos à congelamento no freezer e 24h para total descongelamento em cura saturada dentro do tanque. Foram adotadas as quantidades de 3,5; 7 e 14 ciclos de 48h, onde os CPs permaneceram aproximadamente 168, 336 e 672 horas sob

ciclos de gelo/degelo ordinariamente. Estabelecidos os dias dedicados para o processo de cura submersa e de congelamento, o ensaio foi iniciado. Consistiu em acomodar os CPs no freezer por 24 horas mantidos à temperatura de até -10 °C, após o término do período de congelamento os CPs foram submersos em água em temperatura ambiente variando em torno de 30 a 35 graus Celsius aproximadamente pelo período de 24 horas, totalizando 48 horas de ciclo e consideráveis variações térmicas. Ao término do período introdutório de 7 dias de cura úmida, os CPs tiveram suas propriedades físicas avaliadas nos intervalos de 7, 14 e 28 dias de exposição aos ciclos, ou seja, totalizando 14, 21 e 35 dias de cura. Ao fim de 3,5 ciclos, equivalentes a 7 dias e/ou 168 horas, parte dos CPs foram submetidos à ruptura. Posteriormente, os corpos de provas cilíndricos restantes foram mantidos por mais 3,5 ciclos, atingindo um total de 7 ciclos equivalentes a 14 dias e/ou 336 horas, e uma fração foi sujeitada a ruptura. Por fim concluindo as ciclagens, os CPs completaram 14 ciclos equivalentes a 28 dias e/ou 672 horas, encerrando os ensaios de compressão e a coleta de dados para análises analíticas. Ao fim de cada ciclo a vista das normas, os CPs foram capeados com enxofre quente com a finalidade de

planear as extremidades para dar início ao processo de ensaio de rompimento na prensa hidráulica.

Figura 7 - CPs Submetidos à congelamento no freezer



Fonte: Autor.

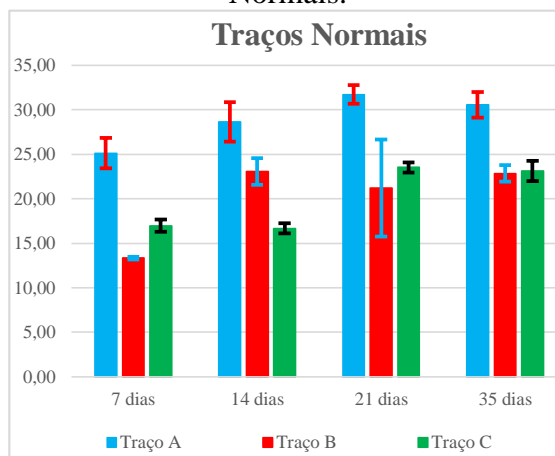
2. RESULTADOS

Os resultados citados a seguir foram alcançados pela prática laboratorial, e nesta etapa são apresentados com a pretensão de análise e interpretação individualizada, com intuito de relacionar os resultados de resistências dos ensaios de traços normais com os resultados de resistências dos ensaios de traços submetidos aos efeitos dos ciclos de gelo/degelo. Os traços foram mantidos em iguais proporções, realizadas apenas alterações nos percentuais das inserções de AIA. Os gráficos apresentados a seguir foram produzidos baseados nas fichas de ensaio adicionadas nos anexos B, C, D, E, F e G.

2.1. Resistências à Compressão – Traços Normais

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados na máquina EMIC SSH300 sob comando do software TESC VERSÃO 3.04, nativo da própria máquina regulados segundo a NBR 7215:2019 de Determinação da Resistência à Compressão. Foi estabelecido nessa análise um traço 1:2, consideravelmente forte. O gráfico de coluna a seguir foi representado de acordo com os anexos B, D e F.

Figura 8 - Gráfico de Resultados de Resistência à Compressão - Traços Normais.



Fonte: Autor

Segundo Neville a utilização do AIA tem a função de aumentar a criação de espaços adjacentes preenchidos de ar, servindo de escape para a água quando houver a expansão das suas partículas no efeito de congelamento, para que não ocorra ação deletéria nos ciclos de gelo e degelo na microestrutura. Neville afirma que segundo

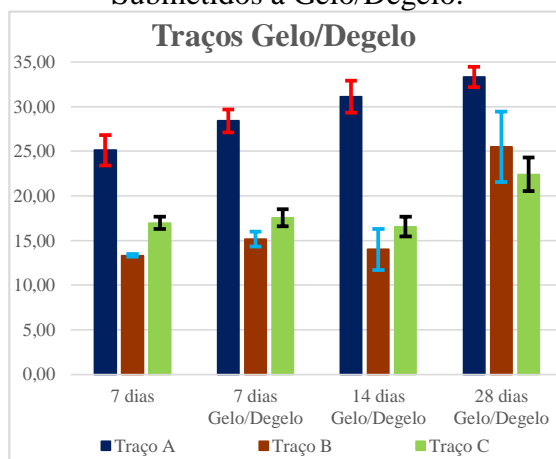
seus estudos as proporções da relação água/cimento não interferem na perda de resistência causada pelo AIA, a diminuição média de resistência à compressão é causada pelo volume de poros que representa uma quantidade significativa na perda do volume da pasta cimentícia, podendo chegar a 5,5% para cada ponto percentual presente de aditivo na mistura. Neville ainda pontua que a inserção de poros motivada pelo AIA não é motivo de grande perda de resistência quanto era esperado na análise, e para melhor controle da perda de resistência, a inclusão de AIA deve ser acompanhada da redução da relação água/cimento, buscando balancear a perda considerável de resistência nessa fase. Consequentemente por haver redução da relação a/c, a incrementação de AIA deve ser acompanhada da redução conjunta de agregado, devido ao comportamento relacionado à trabalhabilidade, em virtude de as bolhas de ar diminuírem o atrito superficial⁽⁰⁾.

2.2. Resistência à Compressão – Traços submetidos à ciclos gelo/degelo

As normativas brasileiras não possuem abrangência em nenhum documento definindo os ensaios quanto a resistência à compressão de corpos de prova de argamassa de base cimentícia ou de outros tipos submetidos à ciclos de gelo e

degelo que possam realmente ocorrer em circunstâncias reais. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados na máquina EMIC SSH300 sob comando do software TESC VERSÃO 3.04, nativo da própria máquina regulados segundo a NBR 7215:2019 de Determinação da Resistência à Compressão. O gráfico de coluna a seguir foi representado de acordo com os anexos C, E e G.

Figura 9 - Gráfico de Resultados de Resistência à Compressão - Traços Submetidos à Gelo/Degelo.

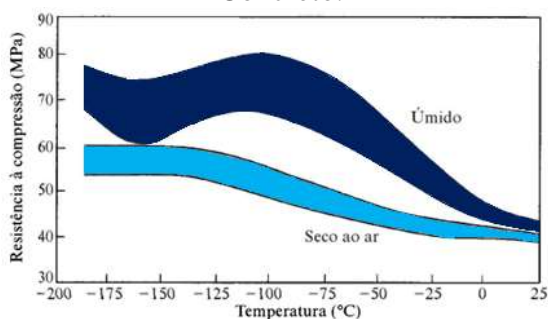


Fonte: Autor

Segundo já citado, Neville afirma que tratando-se de gelo e degelo é importante estabelecer o valor máximo da relação água/cimento, utilizando associadamente um traço de base cimentícia forte⁽⁰⁾. Seguindo esse padrão o traço 1:2 (significativamente forte) fora estabelecido para as análises. Ainda conforme a pesquisa de Neville, o material estando úmido enquanto é resfriado pode ter a resistência à compressão entre duas e três vezes

aumentada em comparação a quando está em temperatura ambiente, essa diferença é relacionada à mudança de estado da água quando ocorre a formação de gelo na pasta de cimento hidratada, preenchendo e assumindo a forma dos poros, tomando resistência para si. Caso não esteja exposto à altos teores de umidade quando submetido à baixas temperaturas, o material não adquire ganho de resistência à compressão. Portanto o elevado teor de umidade e a diminuição das temperaturas afetam positivamente as matrizes cimentícias⁽⁰⁾. A figura a seguir é apresentada no livro “Propriedades do Concreto” (Neville, 1997), e caracteriza o ganho considerável de resistência adquirida aos CPs de concreto nas análises considerando o alto teor de umidade associado a baixas temperaturas.

Figura 10 - Resistência à Compressão (MPa) versus Temperatura (°C) - Concreto.



Fonte: NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Adam M. Neville; tradução Salvador E. p.408. Giammusso. - 2. ed. rev. atual. - São Paulo: Pini, 1997-b.

De acordo com as informações retratadas, comparando os dados citados, os resultados expressos nos gráficos, e

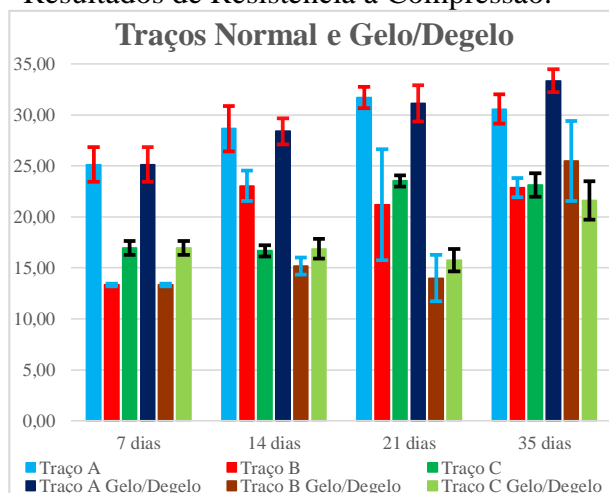
características similares dos materiais, a argamassa pode ser equiparada por analogia ao concreto, assemelhando-se no processo de ganho de resistência quando sujeita a redução de temperaturas em elevados teores de umidade. As proporções não podem ser aferidas, devido as diferentes características dos materiais utilizados em cada estudo, e da particularidade genérica da argamassa e do concreto.

3. DISCUSSÕES

3.1. Comparativo entre resistências

O gráfico de coluna a seguir foi representado de acordo com os anexos B, C, D, E, F e G.

Figura 11 - Gráfico Comparativo de Resultados de Resistência à Compressão.



Fonte: Autor

Conforme os dados apresentados nos resultados é possível confirmar as teses apresentadas associadas as argamassas: quando o AIA é utilizada há perda de

resistência à compressão; há ganho de resistência à compressão mediante altos teores de umidade e baixas temperaturas. As argamassas menos resistentes foram com aplicação de AIA e as mais resistentes foram sem a utilização de adição.

Os traços A, B e C normais mantiveram ganho de resistência satisfatório e considerados comuns, gradativos ao longo dos dias de cura úmida dentro dos limites do desvio padrão. Os traços A, B e C expostos aos ciclos de gelo e degelo obtiveram resultados completamente inesperados ao que era aguardado ao início do experimento devido ao alto poder de degradação dos efeitos congelantes/descongelantes, mas cabalmente suportaram a adversidade atribuída.

Iniciando os comparativos específicos, nota-se a semelhança entre o traço A normal e o traço A gelo/degelo, e percebe-se que o processo de gelo/degelo aumentou a sua resistência à compressão final, e se manteve crescente equiparado ao traço A normal ao longo dos ciclos.

No comparativo do traço B normal com o traço B gelo/degelo, é visto um pico de resistência à compressão elevado ao fim da segunda semana do ensaio do traço B normal, e em seguida uma queda da capacidade resistente, possivelmente relacionada à inserção de ar adquirida na

sua confecção resultando em poros vazios sem capacidade resistente que ocupam espaço substituindo a massa cimentícia. Já no traço B submetido ao gelo/degelo é possível verificar que nas três primeiras semanas inicialmente não houve ganho de resistência considerável, porém ao longo do último ciclo, houve considerável resistência à compressão, capaz de suportar até 25MPa dentro do desvio padrão, o que era inesperado devido a percentualidade de AIA.

Os resultados apresentados dos traços C foram intrigantes, pois fugiram dos padrões expectáveis sugeridos pelos demais traços e do que foi apresentado por Neville (1997), devido a sua menor concentração de IAR sua resistência deveria ter superado o traço B que também possui IAR na composição. Porém a diferença entre as resistências do traço C normal e o traço C gelo/degelo apresenta positividade quanto a superação da deterioração causada pelo efeito degradante.

Tabela 2 - Relação Resistência média(Pa)/Peso médio(g)

Relação Resistência média(Pa)/Peso médio(g)			
Traço A	7378,137	Traço A Gelo/Degelo	8046,171
Traço B	6567,050	Traço B Gelo/Degelo	7327,586
Traço C	6584,514	Traço C Gelo/Degelo	6152,883

Fonte: Autor

Relacionando a discussão e os resultados citados, analisando a relação resistência/peso, observa-se que a melhor opção de aplicação dentre as argamassas com AIA para o uso em situações reais de durabilidade necessária submetidas às baixas temperaturas e altos teores de umidade cumprindo os requisitos analisados é o traço B, cuja resistência média foi mais bem atribuída em relação ao seu peso médio. Ou fazer a utilização de um traço consideravelmente forte assim como foi executado o traço A. O uso de ambos os traços pode ser empregado, variando de acordo com a exigência de resistência solicitada pelo projetista, e os valores de cotação dos produtos de cada região.

CONCLUSÕES

A realização dessa investigação permitiu analisar o comportamento da argamassa quanto a resistência à compressão frente aos ciclos gelo/degelo ocasionados no estágio de cura. O método utilizado consistiu no comparativo entre três definições de traços de argamassa consideravelmente fortes utilizando CP V de alta resistência inicial (ARI) com diferentes proporções de aditivo IAR, submetendo os três traços aos ciclos e realizando ensaios semanais de determinação de resistência à compressão. Ao decorrer das análises práticas

confirmaram-se duas teses, a primeira que no geral a utilização de aditivos incorporadores de ar implicam a perda considerável de resistência à compressão, e a segunda confirma surpreendentemente que baixas temperaturas e altos teores de umidade resultam em ganho de resistência à compressão e um bom desempenho de durabilidade para as argamassas de base cimentícia. Alguns estudos e o raciocínio lógico nos impedem de sequer imaginar que essa segunda tese analisada seria confirmada, porém mediante aos dados e as análises de outras literaturas mais aprofundadas sobre o assunto foi possível chegar a tal conclusão.

A ação do aditivo incorporador de ar não foi satisfatória em relação ao que era esperado. O efeito de aumentar a porosidade proporcionado pelo aditivo não foi suficientemente capaz de manter a resistência e durabilidade da argamassa aos ciclos de congelamento e a dilatação anômala da água nos traços B e C, porém graças a escolha do traço rico em matriz cimentícia os resultados foram satisfatórios e suficientes para realizar e finalizar esse estudo. Os surpreendentes resultados são fundamentados mediante a justificativa que se trata de um trabalho de análises práticas inacabado, e que pretende ser convidativo às próximas levas de engenheiros a pesquisarem e se aprofundarem sobre os

temas aqui abordados, que se mostram repletos de lacunas a serem preenchidas.

ANEXO A: Ficha – Dados de análise granulométrica.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA			
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3
PENEIRA (mm)	RETIDO (g)	RETIDO (g)	RETIDO (g)
4,8	0,00	0,00	0,00
2,36	31,20	20,20	12,20
1,2	85,90	86,10	44,20
0,6	188,30	171,30	149,10
0,3	119,20	170,90	221,60
0,15	66,50	42,10	59,50
0,075	0,00	0,00	0,00
FUNDO	9,60	9,40	13,40
TOTAL	500,70	500,00	500,00

Curva Granulométrica da Areia – Média			
PENEIRA (mm)	RETIDO (g)	%RETIDO	%ACUMULADO
TOTAL	500,23		
FUNDO	10,80	2,16	100,00
0,075	0,00	0,00	97,84
0,15	56,03	11,20	97,84
0,3	170,57	34,10	86,64
0,6	169,57	33,90	52,54
1,2	72,07	14,41	18,64
2,36	21,20	4,24	4,24
4,8	0,00	0,00	0,00
6,3	0,00	0,00	0,00

ZONA UTILIZÁVEL		ZONA ÓTIMA	
MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
100,00	100,00	100,00	100,00
100,00	100,00	100,00	100,00
85,00	100,00	90,00	95,00
50,00	95,00	65,00	85,00
15,00	70,00	35,00	55,00
5,00	50,00	20,00	30,00
0,00	25,00	10,00	20,00
0,00	10,00	0,00	5,00
0,00	7,00	0,00	0,00

ANEXO B: Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço A (1:2:0,65).

Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço A (1:2:0,65)			
Média peso CPs (g):	414,4		
Data do ensaio:	11/04/2023	Data de moldagem:	05/04/2023
Idade do CP (dias):	7		
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	45506,00	23,18
2	1963,49	51641,00	26,30
3	1963,49	50911,00	25,93
Número de CPs	3	3	3
Média	1963,49	49352,67	25,14
Mediana	1963,49	50911,00	25,93
Desv. Padrão	0,00	3351,25	1,70
Coef. Var.(%)	0,00	6,79	6,78
Mínimo	1963,49	45506,00	23,18
Máximo	1963,49	51641,00	26,30

Data do ensaio:	18/04/2023	Data de moldagem:	05/04/2023
Idade do CP (dias):	14		
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	56024,00	31,21
2	1963,49	60771,00	31,03
3	1963,49	52079,00	26,52
Número de CPs	3	3	3
Média	1963,49	56291,33	29,59
Mediana	1963,49	54051,50	31,03
Desv. Padrão	0,00	4352,16	2,66
Coef. Var.(%)	0,00	7,73	8,98
Mínimo	1963,49	52079,00	26,52
Máximo	1963,49	60771,00	31,21

Data do ensaio:	25/04/2023	Data de moldagem:	05/04/2023
Idade do CP (dias):	21		
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	61283,00	31,21
2	1963,49	60918,00	31,03
3	1963,49	64643,00	32,92
Número de CPs	3	3	3
Média	1963,49	62281,33	31,72
Mediana	1963,49	61283,00	31,21
Desv. Padrão	0,00	2053,39	1,04
Coef. Var.(%)	0,00	3,30	3,29
Mínimo	1963,49	60918,00	31,03
Máximo	1963,49	64643,00	32,92

Data do ensaio:	09/05/2023	Data de moldagem:	05/04/2023
Idade do CP (dias):	35		
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	62013,00	31,58
2	1963,49	58069,00	29,57
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	60041,00	30,58
Mediana	1963,49	60041,00	30,58
Desv. Padrão	0,00	2788,83	1,42
Coef. Var.(%)	0,00	4,64	4,65
Mínimo	1963,49	58069,00	29,57
Máximo	1963,49	62013,00	31,58

Fonte: Autor.

Anexo C: Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço A (1:2:0,65) - Gelo/Degelo.

Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço A (1:2:0,65) - Gelo/Degelo			
Média peso CPs (g):	414,4		
Data do ensaio:	11/04/2023	Data de moldagem:	05/04/2023
Idade do CP (dias):	7		
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	45506,00	23,18
2	1963,49	51641,00	26,30
3	1963,49	50911,00	25,93
Número de CPs	3	3	3
Média	1963,49	49352,67	25,14
Mediana	1963,49	50911,00	25,93
Desv. Padrão	0,00	3351,25	1,70
Coef. Var.(%)	0,00	6,79	6,78
Mínimo	1963,49	45506,00	23,18
Máximo	1963,49	51641,00	26,30
Data do ensaio:	25/04/2023	Data de moldagem:	05/04/2023
Idade do CP (dias):	14	Ciclo (dias):	7
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	53978,00	27,49
2	1963,49	57558,00	29,31
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	55768,00	28,40
Mediana	1963,49	53978,00	28,40
Desv. Padrão	0,00	2531,44	1,29
Coef. Var.(%)	0,00	4,54	4,53

Mínimo	1963,49	53978,00	27,49
Máximo	1963,49	57558,00	29,31

Data do ensaio:	25/04/2023	Data de moldagem:	05/04/2023
Idade do CP (dias):	21	Ciclo (dias):	14
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	58653,00	29,87
2	1963,49	63620,00	32,40
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	61136,50	31,14
Mediana	1963,49	61136,50	31,14
Desv. Padrão	0,00	3512,20	1,79
Coef. Var.(%)	0,00	5,74	5,75
Mínimo	1963,49	58653,00	29,87
Máximo	1963,49	63620,00	32,40

Data do ensaio:	09/05/2023	Data de moldagem:	05/04/2023
Idade do CP (dias):	35	Ciclo (dias):	28
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	64643,00	32,92
2	1963,49	63766,00	32,48
3	1963,49	68003,00	34,63
Número de CPs	3	3,00	3,00
Média	1963,49	64204,50	32,70
Mediana	1963,49	64204,50	32,70
Desv. Padrão	0,00	620,13	0,31
Coef. Var.(%)	0,00	0,97	0,95
Mínimo	1963,49	63766,00	32,48
Máximo	1963,49	64643,00	32,92

Fonte: Autor.

Anexo D: Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço B (1:2:0,65) AIA=0,01%.

Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço B (1:2:0,65) AIA=0,01%			
Média peso CPs (g):	348		
Data do ensaio:	18/04/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	7	N° CPs:	7860,96
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	26368,00	13,43
2	1963,49	26003,00	13,24
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	26185,50	13,34
Mediana	1963,49	26185,50	13,34
Desv. Padrão	0,00	258,09	0,13
Coef. Var.(%)	0,00	0,99	1,01
Mínimo	1963,49	26003,00	13,24

Máximo	1963,49	26368,00	13,43
Data do ensaio:	25/04/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	14		
CP	Área da seção Transversal (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistencia à Compressão (Mpa)
1	1963,49	43168,00	21,99
2	1963,49	47332,00	24,11
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	45250,00	23,05
Mediana	1963,49	45250,00	23,05
Desv. Padrão	0,00	2944,39	1,50
Coef. Var.(%)	0,00	6,51	6,50
Mínimo	1963,49	43168,00	21,99
Máximo	1963,49	47332,00	24,11

Data do ensaio:	02/05/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	21		
CP	Área da seção Transversal (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistencia à Compressão (Mpa)
1	1963,49	38493,00	19,60
2	1963,49	32869,00	16,74
3	1963,49	53540,00	27,27
Número de CPs	3	3	3
Média	1963,49	41634,00	21,20
Mediana	1963,49	38493,00	19,60
Desv. Padrão	0,00	10687,47	5,45
Coef. Var.(%)	0,00	25,67	25,68
Mínimo	1963,49	32869,00	16,74
Máximo	1963,49	53540,00	27,27

Data do ensaio:	16/05/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	35		
CP	Área da seção Transversal (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Resistencia à Compressão (Mpa)
1	1963,49	42803,00	21,80
2	1963,49	46382,00	23,62
3	1963,49	45433,00	23,14
Número de CPs	3	3	3
Média	1963,49	44872,67	22,85
Mediana	1963,49	45433,00	23,14
Desv. Padrão	0,00	1854,13	0,94
Coef. Var.(%)	0,00	4,13	4,13
Mínimo	1963,49	42803,00	21,80
Máximo	1963,49	46382,00	23,62

Fonte: Autor.

Anexo E: Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço B (1:2:0,65) AIA=0,01% - Gelo/Degelo.

Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço B (1:2:0,65) AIA=0,01% - Gelo/Degelo			
Média peso CPs (g):	348		
Data do ensaio:	18/04/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	7	N° CPs:	5899,47
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	26368,00	13,43
2	1963,49	26003,00	13,24
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	26185,50	13,34
Mediana	1963,49	26185,50	13,34
Desv. Padrão	0,00	258,09	0,13
Coef. Var.(%)	0,00	0,99	1,01
Mínimo	1963,49	26003,00	13,24
Máximo	1963,49	26368,00	13,43
Data do ensaio: 25/04/2023 Data de moldagem: 11/04/2023			
Idade do CP (dias): 14 Ciclo (dias): 7			
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	30970,00	15,77
2	1963,49	28633,00	14,58
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	29801,50	15,18
Mediana	1963,49	29801,50	15,18
Desv. Padrão	0,00	1652,51	0,84
Coef. Var.(%)	0,00	5,55	5,55
Mínimo	1963,49	28633,00	14,58
Máximo	1963,49	30970,00	15,77
Data do ensaio: 02/05/2023 Data de moldagem: 11/04/2023			
Idade do CP (dias): 21 Ciclo (dias): 14			
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	24323,00	12,39
2	1963,49	30678,00	15,62
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	27500,50	14,01
Mediana	1963,49	27500,50	14,01
Desv. Padrão	0,00	4493,66	2,28
Coef. Var.(%)	0,00	16,34	16,31
Mínimo	1963,49	24323,00	12,39
Máximo	1963,49	30678,00	15,62
Data do ensaio: 16/05/2023 Data de moldagem: 11/04/2023			

Idade do CP (dias):	35	Ciclo (dias):	28
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	55512,00	28,27
2	1963,49	44629,00	22,73
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	50070,50	25,50
Mediana	1963,49	50070,50	25,50
Desv. Padrão	0,00	7695,44	3,92
Coef. Var.(%)	0,00	15,37	15,36
Mínimo	1963,49	44629,00	22,73
Máximo	1963,49	55512,00	28,27

Fonte: Autor.

Anexo F: Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço C (1:2:0,65) AIA=0,005%.

Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço C (1:2:0,65) AIA=0,005%			
Média peso CPs (g):	351,38		
Data do ensaio:	18/04/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	7		
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	32358,00	16,48
2	1963,49	34257,00	17,45
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	33307,50	16,97
Mediana	1963,49	33307,50	16,97
Desv. Padrão	0,00	1342,80	0,69
Coef. Var.(%)	0,00	4,03	4,04
Mínimo	1963,49	32358,00	16,48
Máximo	1963,49	34257,00	17,45
Data do ensaio:	25/04/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	14		
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	31993,00	16,29
2	1963,49	33527,00	17,07
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	32760,00	16,68
Mediana	1963,49	32760,00	16,68
Desv. Padrão	0,00	1084,70	0,55
Coef. Var.(%)	0,00	3,31	3,31
Mínimo	1963,49	31993,00	16,29
Máximo	1963,49	33527,00	17,07
Data do ensaio:	02/05/2023	Data de moldagem:	11/04/2023

Idade do CP (dias):	21		
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	45433,00	23,14
2	1963,49	46966,00	23,92
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	46199,50	23,53
Mediana	1963,49	46199,50	23,53
Desv. Padrão	0,00	1083,99	0,55
Coef. Var.(%)	0,00	2,35	2,34
Mínimo	1963,49	45433,00	23,14
Máximo	1963,49	46966,00	23,92

Data do ensaio:	16/05/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	35		
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	47112,00	23,99
2	1963,49	46309,00	23,58
3	1963,49	42876,00	21,84
Número de CPs	3	3	3
Média	1963,49	45432,33	23,14
Mediana	1963,49	46309,00	23,58
Desv. Padrão	0,00	2249,96	1,14
Coef. Var.(%)	0,00	4,95	4,93
Mínimo	1963,49	42876,00	21,84
Máximo	1963,49	47112,00	23,99

Fonte: Autor.

Anexo G: Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço C (1:2:0,65) AIA=0,005% - Gelo/Degelo.

Fichas de Ensaio - Resistência Compressão Traço C (1:2:0,65) AIA=0,005% - Gelo/Degelo			
Média peso CPs (g):	351,38		
Data do ensaio:	18/04/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	7	Nº CPs:	#REF!
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	32358,00	16,48
2	1963,49	34257,00	17,45
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	33307,50	16,97
Mediana	1963,49	33307,50	16,97
Desv. Padrão	0,00	1342,80	0,69
Coef. Var.(%)	0,00	4,03	4,04
Mínimo	1963,49	32358,00	16,48
Máximo	1963,49	34257,00	17,45

Data do ensaio:	25/04/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	14	Ciclo (dias):	7
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	31774,00	16,18
2	1963,49	34476,00	17,56
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	33125,00	16,87
Mediana	1963,49	33125,00	16,87
Desv. Padrão	0,00	1910,60	0,98
Coef. Var.(%)	0,00	5,77	5,78
Mínimo	1963,49	31774,00	16,18
Máximo	1963,49	34476,00	17,56

Data do ensaio:	02/05/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	21	Ciclo (dias):	14
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	29436,00	14,99
2	1963,49	32504,00	16,55
Número de CPs	2	2	2
Média	1963,49	30970,00	15,77
Mediana	1963,49	30970,00	15,77
Desv. Padrão	0,00	2169,40	1,10
Coef. Var.(%)	0,00	7,00	6,99
Mínimo	1963,49	29436,00	14,99
Máximo	1963,49	32504,00	16,55

Data do ensaio:	16/05/2023	Data de moldagem:	11/04/2023
Idade do CP (dias):	35	Ciclo (dias):	28
CP	Área da seção	Carga de	Resistencia à
	Transversal (mm ²)	Ruptura (N)	Compressão (Mpa)
1	1963,49	36960,00	18,82
2	1963,49	44848,00	22,84
3	1963,49	44045,00	22,43
4	1963,49	43972,00	22,39
Número de CPs	4	4	4
Média	1963,49	42456,25	21,62
Mediana	1963,49	44008,50	22,41
Desv. Padrão	0,00	3685,60	1,88
Coef. Var.(%)	0,00	8,68	8,69
Mínimo	1963,49	36960,00	18,82
Máximo	1963,49	44848,00	22,84

Fonte: Autor.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211/2005 : Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215/2019 : Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003

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

BARBOSA, M. C. **Aprendendo com as esquisitices da água**. *e-Boletim da Física*, [S. l.], v. 4, n. 6, p. 1–5, 2016. DOI: 10.26512/e-bfis.v4i6.9807. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/e-bfis/article/view/9807>. Acesso em: 31 maio 2023.

BÍBLIA, português. **A Bíblia Sagrada: Antigo e Novo Testamento**. Tradução de João Ferreira de Almeida. Edição rev. e atualizada no Brasil. Brasília: Sociedade Bíblia do Brasil, 1993. Disponível em: <https://bibliajfa.com.br/>. Acesso em: 31 maio 2023.

BOTAS, S. M. S. – **Avaliação do comportamento de argamassas em climas frios**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2009. Disponível em: [https://run.unl.pt/handle/10362/2053?local e=en](https://run.unl.pt/handle/10362/2053?local=e=en). Acesso em: 31 maio 2023.

BOTAS, S. M. S. – **Influência da introdução de ar no comportamento de argamassas aos ciclos gelo/degelo**. Lisboa, 2009. Disponível em: https://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%20100_2010.pdf. Acesso em: 31 maio 2023.

BOTAS, S; RATO, Vasco M.; FARIA, Paulina. **Testing the Freeze/Thaw Cycles in Lime Mortars**. In: HMC2010 – 2nd Historical Mortars Conference. Praga,

2010. Disponível em:
<https://run.unl.pt/handle/10362/11566?locale=en>. Acesso em: 31 maio 2023.

COUTINHO, A. S. - **Fabrico e propriedades do betão. Volume I. 3ª edição.** Lisboa: LNEC 1997. ISBN 972-49-0326-5. Disponível em:
<https://paginas.fe.up.pt/~jcouti/ligantes2006.pdf>. Acesso em: 31 maio 2023.

COUTINHO, J. S. **Materiais de Construção 2 – 1ª parte – Ligantes e Caldas.** Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2006.

CUNHA, Sandra. **Argamassas com incorporação direta de Materiais de Mudança de Fase: Avaliação do comportamento a baixas e elevadas temperaturas.** Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 16, n 3, 2021. Disponível em:
<https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/44572>. Acesso em: 31 maio 2023.

Ficha técnica do aditivo introdutor de ar ADITEX AD-Foamer LSS. Edição Revisada de Fevereiro de 2023. Disponível

em:
<https://aditex.com.br/produtos/produto/ad-foamer-lss>. Acesso em: 31 maio 2023.

KONOW, Thorborg von – **Repair Mortars for Historic Masonry.** RILEM Workshop. Delft University of Technology, 26-28 January 2005.

SZLAK, Bruno et al. **Manual de revestimentos de argamassa.** Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo: ABCP, v. 104, 2002. Disponível em:
<https://www.yumpu.com/pt/document/view/37702293/manual-de-revestimentos-de-argamassa-comunidade-da->. Acesso em: 31 maio 2023.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** Adam M. Neville; tradução Salvador E. Giammusso. - 2. ed. rev. atual. - São Paulo: Pini, 1997-b. Disponível em:
<https://pdfcoffee.com/ediao-pdf-free.html>. Acesso em: 31 maio 2023.