



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

**RAMON DE JESUS MIRANDA**

**ESTUDO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO EM PROPRIEDADES DE ARGAMASSA  
INORGÂNICA PARA ASSENTAMENTO DE UNIDADES DE ALVENARIA  
ESTRUTURAL NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO.**

**BARREIRAS-BA**

**2024**

**RAMON DE JESUS MIRANDA**

**ESTUDO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO EM PROPRIEDADES DE ARGAMASSA  
INORGÂNICA PARA ASSENTAMENTO DE UNIDADES DE ALVENARIA  
ESTRUTURAL NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO.**

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

Orientador: Dr. Kuelson Rândello Dantas Maciel.

**BARREIRAS-BA**

**2024**

## FICHA CATALOGRÁFICA

---

M672 Miranda, Ramon de Jesus.

Estudo da relação água/cimento em propriedades de argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria estrutural no estado fresco e endurecido. / Ramon de Jesus Miranda. – 2024.

78f.

Orientador: Prof. Dr. Kuelson Rândello Dantas Maciel.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2024.

1. Argamassa. 2. Água cimento (a/c). 3. Resistência a compressão. 4. Dosagem. I. Maciel, Kuelson Rândello Dantas. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

---

**RAMON DE JESUS MIRANDA**

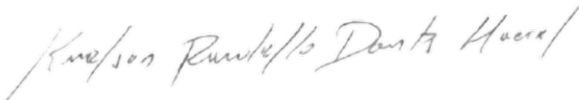
**ESTUDO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO EM PROPRIEDADES DE ARGAMASSA  
INORGÂNICA PARA ASSENTAMENTO DE UNIDADES DE ALVENARIA  
ESTRUTURAL NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO.**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal  
do Oeste da Bahia, como requisito para obtenção do  
grau de engenheiro civil.

Orientador: Dr. Kuelson Randello Dantas Maciel

Aprovado em: 20/06/2024.

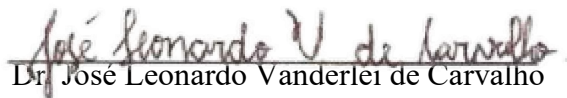
**Banca examinadora**



Dr. Kuelson Randello Dantas Maciel (Orientador)  
Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB



Dr. Elier Pavón de la Fé  
Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB



Dr. José Leonardo Vanderlei de Carvalho  
Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, à minha família, pelo apoio e incentivo incondicional que foram fundamentais em minha jornada acadêmica.

Expresso minha profunda gratidão ao Professor Kuelson, cuja orientação e sabedoria foram essenciais para a realização deste trabalho. Sua paciência e dedicação foram uma fonte constante de inspiração. Também agradeço por não me deixar sem orientador, mesmo eu enrolando bastante para finalizar esse trabalho.

Além do Professor Kuelson, gostaria de expressar minha profunda gratidão ao Professor José Leonardo como orientador da minha iniciação científica, ele desempenhou um papel crucial no desenvolvimento das minhas ideias e métodos. Foi através da pesquisa realizada sob sua orientação que consegui aplicar essas ideias e métodos neste Trabalho de Conclusão de Curso.

Por fim, sou grato à Universidade, que me proporcionou uma plataforma para aprender, crescer e explorar o mundo do conhecimento. Agradeço a todos os professores e colegas que contribuíram para a minha formação. Esta instituição não apenas me deu conhecimento, mas também me ensinou a ser um pensador crítico e um aprendiz ao longo da vida.

## RESUMO

A argamassa constitui um dos componentes construtivos mais empregados na indústria da construção civil, tornando-se imperativo o estudo aprofundado de suas propriedades para garantir sua utilização adequada, respeitando a função para a qual foi concebida e a dosagem para a qual foi projetada. O objetivo dessa pesquisa foi verificar a influência da relação água/cimento em argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria estrutural - AAE utilizando dois tipos de cimentos, o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI) e o Cimento Portland II F (CPII-F). Foram produzidos 3 traços de argamassas na proporção 1:5 (cimento: areia) com a variação da relação água/cimento(a/c) nas proporções de 0,56; 0,70 e 0,84 e moldados 90 corpos de prova, sendo avaliado o índice de consistência no estado fresco e, no estado endurecido, as propriedades de absorção de água e porosidade aparente aos 28 dias de idade, e de resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias. Os resultados mostraram que o índice de consistência, com a adição de 20% de água ao traço de referência (a/c =0,70) aumentou o índice de consistência das argamassas em 24% e 25% para CPII-F e CPV-ARI, respectivamente, enquanto a retirada da mesma proporção de água resultou em uma redução de 3% e 2% na consistência das argamassas CPII e CPV. Em relação à resistência à compressão, observou-se que as argamassas com CPII-F exibem resistência inicial reduzida, mas ganham resistência significativa após 28 dias, enquanto as argamassas com CPV-ARI demonstram alta resistência inicial e continuam aumentando ao longo do tempo. Observou-se que à medida que a relação água/cimento diminui a resistência a compressão das argamassas aumenta, sendo que o cimento CPV-ARI proporciona a maior resistência em comparação com o CPII. Além disso, por meio da análise da absorção de água e porosidade, constatou-se um maior índice dessas duas propriedades nas argamassas produzidas com CPII em relação às produzidas com CPV. Finalmente, as argamassas com cimento CPII e relação água/cimento de 0,56 e 0,7 foram classificadas como AAE5 e as argamassas com cimento CPV foram classificadas como AAE8 aos 28 dias de idade. No entanto, a argamassa com CPII com relação água/cimento de 0,84 não atingiu a classificação AAE. Por meio da análise estatística, foi possível verificar que, para um nível de significância de 5%, tanto as argamassas com CPV e CPII foram influenciadas na resistência à compressão significativamente quando variado a fator a/c.

**Palavras-chave:** Argamassa; Água cimento (a/c); Resistência a compressão; Dosagem.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados referente à resistência a compressão das argamassas.....	72
Quadro 2 - Dados referente à absorção de água e porosidade das argamassas aos 28 dias de idade .....	73
Quadro 3 - Teste ANOVA dos resultados Resistência à compressão das argamassas com cimento CII e CPV aos 28 dias. ....	74
Quadro 4 - Teste de Tukey referente a Resistência à compressão das argamassas com cimento CII e CPV aos 28 dias. ....	74
Quadro 5 - Teste ANOVA dos resultados da absorção de água das argamassas com cimento CII e CPV aos 28 dias .....	74
Quadro 6 - Teste de Tukey referente a absorção de água das argamassas com cimento CII e CPV aos 28 dias.....	74
Quadro 7 - Teste ANOVA dos resultados da porosidade aparente das argamassas com cimento CII e CPV aos 28 dias. ....	75
Quadro 8 - Teste de Tukey referente a porosidade aparente das argamassas com cimento CII e CPV aos 28 dias.....	75

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AA - Absorção de água

AAE - Argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria estrutural

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

C<sub>3</sub>S - Silicato dicálcico ou Belita

C<sub>3</sub>A - Aluminato tricálcico ou Celita

C<sub>3</sub>S - Silicato tricálcico ou Alita

C<sub>4</sub>AF - Ferroaluminato tetracálcico ou Ferrita

CP - Corpo de prova

CPV - ARI - Cimento Portland de alta resistência inicial

CP II – F32 – Cimento Portland com material carbonático com classe de resistência 32 MPa

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do planejamento experimental a argamassada .....	35
Figura 2 - Secagem de agregado miúdo em estufa.....	37
Figura 3 - Peneiras encaixadas sobre o agitador mecânico .....	38
Figura 4 - Frasco de Chapman.....	39
Figura 5 - Aditivo plastificante.....	41
Figura 6 - Fluxograma do planejamento experimental para execução dos ensaios das argamassas .....	44
Figura 7 - Pesagem das matérias primas na produção das argamassas .....	45
Figura 8 - Mistura da argamassa no misturador mecânico .....	45
Figura 9 - Determinação do índice de consistência da argamassa .....	46
Figura 10 - Moldagem corpo de prova cilíndrico.....	47
Figura 11 - Corpos de prova em repouso .....	47
Figura 12 - Identificação dos corpos de provas e cura submersa .....	48
Figura 13 - Máquina universal da marca EMIC, modelo DL 30000.....	48
Figura 14 - Ruptura do corpo de prova com pratos metálicos e discos de neoprene shore 70.....	49
Figura 15 - Secagem dos corpos de provas em estufa a 105 °C.....	50
Figura 16 - Pesagem dos CP's submerso em balança hidrostática.....	50
Figura 17 - Determinação da massa saturada .....	51
Figura 18- Representação gráfica da distribuição granulométrica acumulada agregado miúdo (média das amostras) .....	55
Figura 19 - Representação gráfica do índice de consistência das argamassas estudadas em relação a resistência à compressão aos 28 dias.....	57
Figura 20 - Resistência à compressão das argamassas com cimento CPII.....	58
Figura 21 - Resistência à compressão das argamassas com cimento CPV – ARI.....	59
Figura 22 - Classes de uso da argamassa inorgânica AAE (NBR 13281-2.....	61
Figura 23 - Porosidade e absorção de água aos 28 dias de idade. ....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição granulométrica da areia normal .....	17
Tabela 2 - Limites granulométricos do agregado miúdo (areia). .....	17
Tabela 3 - Classificação das argamassas segundo as suas funções .....	26
Tabela 4 - Resistência a compressão para argamassas inorgânicas – Estado endurecido .....	30
Tabela 5 - Classes de uso e respectivos critérios de resistência à compressão .....	31
Tabela 6 - Conjunto de peneiras das séries normal (abertura nominal) .....	38
Tabela 7 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,56 utilizando o cimento CPV – ARI .....	42
Tabela 8 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,70 utilizando o cimento CPV – ARI .....	42
Tabela 9 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,84 utilizando o cimento CPV – ARI .....	43
Tabela 10 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,56 utilizando o cimento CII – F32 .....	43
Tabela 11 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,7 utilizando o cimento CII – F32 .....	43
Tabela 12 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,84 utilizando o cimento CII – F32 .....	44
Tabela 13 - Propriedades do cimento Portland CPV-ARI.....	52
Tabela 14 - Propriedades do cimento Portland composto CII-F .....	53
Tabela 15 - Granulometria do agregado miúdo.....	54
Tabela 16 - Traço unitário em massa para o cimento CP V - ARI.....	56
Tabela 17 - Traço unitário em massa para o cimento CP II- F32.....	56

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	HIPÓTESES.....	12
1.3	OBJETIVOS.....	13
1.3.1	Objetivos específicos.....	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
2.1.	ARGAMASSA.....	14
2.1.1.	Histórico .....	14
2.1.2.	Composição das argamassas .....	15
2.1.3.	Aplicação da argamassa na construção civil .....	25
2.1.4.	Propriedade físicas e mecânica das argamassas .....	26
2.1.5.	Estudos sobre argamassas .....	31
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1.	MATERIAIS .....	36
3.2.	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	36
3.2.1.	Etapa 1 - Agregado miúdo (areia).....	36
3.2.2.	Etapa 1 - Aditivo .....	41
3.2.3.	Etapa 1 - Água.....	41
3.2.4.	Etapa 1 - Estudo da relação água cimento na produção de argamassa.....	41
3.2.5.	Etapa 1 - Execução da mistura de argamassa.....	44
3.2.6.	Etapa 2 - Índice de consistência. ....	46
3.2.7.	Etapa 2 - Moldagem, identificação e cura das argamassas .....	46
3.2.8.	Etapa 2 - Propriedades físicas e mecânica das argamassas .....	48
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
4.1.	ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS.....	52

4.1.1.	Cimento Portland.....	52
4.1.2.	Agregado miúdo .....	53
4.2.	ETAPA 1 - DOSAGEM.....	55
4.3.	ETAPA 2 - ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO.....	56
4.4.	ETAPA 2 - ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO .....	57
4.4.1.	Resistência a compressão .....	58
4.4.2.	Absorção de água e porosidade .....	61
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE A – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS COM CIMENTO CII E CPV .....</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE B – ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE APARENTE DAS ARGAMASSAS COM CIMENTO CII E CPV .....</b>	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE C - TESTES ANOVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DAS ARGAMASSAS COM CIMENTO CII E CPV.....</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde épocas remotas o homem emprega materiais que têm a finalidade de unir solidariamente elementos de várias naturezas na construção de edificações. Do antigo Egito há relatos de emprego de um aglomerante natural caracterizado como um geopolímero obtido de resíduos das minas de cobre existentes no monte Sinai (RECENA, 2012).

Com a progressão dos estudos e investigações referentes à argamassa, novos tipos de cimentos foram desenvolvidos e aprimorados para substituir os convencionais em sua constituição. Atualmente, a argamassa é um material amplamente empregado na construção civil com diversas finalidades, como a fixação de tijolos e azulejos, revestimentos e outros. Tal mistura é definida por algumas diretrizes nacionais e internacionais como, por exemplo, as normas NBR 13281-1:2023 - Argamassas inorgânicas - Requisitos e métodos de ensaios, Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e teto e a NBR 13281-2:2023 - Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios, parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria, que apresentam as definições de argamassa assim como especifica os requisitos para argamassa utilizada em revestimento de paredes e tetos e argamassa para assentamento de alvenaria, estrutural e não estrutural.

Já em relação a utilização das argamassas, conforme delineado por Recena (2012), temos argamassas de assentamento cuja função é unir elementos que compõe uma alvenaria de vedação para elevação de paredes ou muros, distribuindo uniformemente as cargas atuantes, selando as juntas promovendo estanqueidade e absorvendo deformações naturais. Argamassas colantes ou de fixação que são utilizadas no assentamento de elementos cerâmicos de revestimento, fixando as peças ao substrato. Argamassas para revestimentos de pisos também utilizadas como camada de regularização para posterior acabamento do piso. E por fim, à argamassa para recuperação de estruturas aplicadas na recuperação geométrica de elementos estruturais. Sendo que as proporções dos componentes da argamassa variam de acordo com a finalidade de sua aplicação.

Dentre as aplicações da argamassa, destaca-se aquela utilizada para execução de alvenaria estrutural, visto que esta, de acordo com Santos Neto (2022) é um sistema com função estrutural que pode ser adotado para a concepção de projeto de uma edificação, sendo um modelo bastante utilizado pelo setor da construção civil tanto pela forma de racionalização, quanto de custos e recursos.

A alvenaria estrutural trata-se, portanto, de um processo construtivo, no qual as paredes têm função estrutural, ou seja, são autoportantes. Dessa maneira, fica encarregada da

transmissão das cargas até a fundação. Diferentemente da alvenaria convencional, na qual esta é utilizada como elemento de vedação. Na alvenaria estrutural, a resistência depende unicamente das unidades de alvenaria argamassadas (NETO, PELUSO e CARVALHO, 2015).

Em vista disso, evidencia-se a relevância da argamassa de assentamento para este sistema construtivo de alvenaria estrutural, e para a fabricação de uma argamassa de assentamento adequada é necessário controlar os fatores que exercem influência na sua mistura, sendo uns destes a relação água-cimento e o tipo de cimento, que são fatores críticos que determinam a resistência e a durabilidade da argamassa. A escolha do tipo de cimento deve ser feita com base no ambiente de aplicação e nas propriedades desejadas da argamassa. Além disso, a quantidade de água adicionada à mistura deve ser cuidadosamente controlada para garantir que a argamassa tenha a consistência adequada e atenda aos padrões de qualidade. Portanto, a definição da finalidade da argamassa é um processo complexo que requer uma compreensão profunda dos materiais e das proporções de mistura, bem como das normas técnicas aplicáveis.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A argamassa como sendo um material amplamente utilizado na construção civil se faz necessário a obtenção de parâmetros para caracterizá-la, um desses parâmetros que pode variar é a relação água cimento e o tipo de cimento, e com essa variação podemos produzir produtos argamassados com características completamente diferentes, fluidez, resistência a compressão, porosidade, absorção de água.

## 1.2 HIPÓTESES

- A adição de água à argamassa proporciona um aumento no índice de consistência, porosidade aparente e absorção de água, porém pode influenciar negativamente a resistência à compressão das argamassas, especialmente aquelas produzidas com o cimento CII-F.
- As argamassas produzidas com cimento CPV-ARI apresentam maior resistência à compressão inicial do que as produzidas com cimento CII-F, porém as últimas mostram um ganho de resistência significativo após 28 dias de cura.

- A relação água/cimento é um fator determinante na classificação das argamassas como adequadas ou não para assentamento de unidades de alvenaria estrutural, sendo que uma relação mais baixa tende a resultar em uma maior resistência à compressão.

### 1.3 OBJETIVOS

: Este estudo tem como objetivo investigar a influência da relação água/cimento em argamassas inorgânicas utilizadas para o assentamento de unidades de alvenaria estrutural. No estado fresco, analisar o índice de consistência, enquanto no estado endurecido, focar na resistência à compressão nas idades de 3, 7 e 28 dias. Além disso, avaliar a porosidade aparente e a absorção de água aos 28 dias de idade. Realizar uma comparação entre dois tipos distintos de cimentos: o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI) e o Cimento Portland com Material Carbonático (CPII-F). Por fim, classificar a argamassa de acordo com a norma NBR 13281-2 (ABNT, 2023).

#### 1.3.1 Objetivos específicos

- Analisar como a relação água/cimento afeta a consistência da argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria estrutural.
- Investigar o impacto das relações água/cimento, (0,56; 0,7; 0,84), nas propriedades das argamassas inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria estrutural após o endurecimento, como resistência à compressão, porosidade aparente e absorção de água.
- Comparar as diferenças nas propriedades da argamassa quando se utiliza o cimento Portland de alta resistência inicial – CPV ARI e cimento Portland – CP II F.
- Classificar as argamassas inorgânica AAE de acordo com as classes de uso, utilizando os critérios de resistência a compressão, seguindo os critérios estabelecidos pela NBR 13281 – 2 (ABNT, 2023).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta fase foram coletados dados bibliográficos referente a estudos e pesquisas que envolvem tanto a argamassa quanto seus componentes – cimento, areia e água. Além disso, as definições normativas brasileiras relacionadas à argamassa estudada foram apresentadas, e as pesquisas realizadas sobre esse material também foram discutidas, juntamente com sua composição e aplicações na área da construção civil.

### 2.1. ARGAMASSA

A argamassa é definida, de acordo com a NBR 13281-2 (ABNT, 2023), como sendo a mistura homogênea de um ou mais ligantes inorgânicos, agregados miúdos e água, que pode conter fibras, adições e/ou aditivos, com características especiais de desempenho adequadas à utilização.

Outras definições de argamassas são propostas por diversos acadêmicos na literatura científica, para Isaia et al. (2007) as argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, aglomerado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais. Enquanto Recena (2012) afirma que por argamassa entende-se o material de construção obtido a partir da mistura de uma pasta com um agregado miúdo, podendo ainda haver o emprego de aditivos e adições. Por pasta deve ser entendida como o material obtido da mistura de um ou mais aglomerantes de origem mineral com água, devendo também ser considerado o ar aprisionado durante a mistura ou intencionalmente incorporado pela ação de aditivos específicos.

#### 2.1.1. Histórico

Segundo Alvarez et al. (2005) as primeiras argamassas conhecidas foram descobertas na localidade de Yftah'el, Galileia, hoje estado de Israel, com mais de 10 000 anos de existência. Além de que, em Eynan, Jericó, (8000 – 7000 a C.) denota-se a presença de cal e gesso nas construções e nas cabeças de estátuas votivas modeladas. Também na mesma época, em Çatal Hüyük, Turquia, usou-se gesso como reboco de paredes.

Os povos egípcios amplamente conhecedores das ciências construtivas já fazia utilização de elementos semelhantes a argamassas como apresentado por Carvalho (2008), o material de vedação da Pirâmide de Quéops (Khufu) (2.700 a.C.) demonstrou que os egípcios tinham experiência na utilização da argamassa de cal. Na pirâmide do faraó egípcio

Tutancâmon (1.450 a.C.), há uma porta construída com enormes pedras rebocadas com argamassa, e na antecâmara havia um recipiente com argamassa utilizada para rebocar a porta.

Já no império romano houve um grande avanço nos estudos tanto da argamassa quanto do concreto, isso aliado a ampliação do próprio império que contribuía para adquirir conhecimentos de povos distintos e mesclar com os saberes já adquirido acerca do assunto proporcionando assim o avanço da tecnologia cimentícia da época, possibilitando aprimorar as argamassas com adição de novos componentes, segundo Carvalho (2008) a grande descoberta que alavancou a engenharia romana e possibilitou dotar as cidades dessa infraestrutura foi um novo material de construção: o Opus Caementicium, cujo componente principal era uma cinza pozolânica que misturada à argamassa de cal produzia um material de características semelhantes ao cimento atual.

Com a utilização de argamassas a base de cimento nessas sociedades antigas foi estabelecido uma nova vida útil para as edificações que seriam ali construídas sendo que algumas perduram até os dias atuais além de nomes que ainda hoje são utilizados na indústria cimentícia. Neville (2016) cita que o nome "cimento pozolânico" é utilizado até hoje para descrever cimentos obtidos pela simples moagem de materiais naturais em temperaturas ambientes. Algumas estruturas em que a alvenaria foi assentada com argamassa, como o Coliseu, em Roma, e a Pont du Gard, próxima a Nimes, e estruturas de concreto, como o Panteão, em Roma, resistem até os dias atuais, com o material cimentício ainda firme.

### 2.1.2. Composição das argamassas

A partir da determinação conceitual da argamassa pelos direcionamentos da NBR 13281-2 (ABNT, 2023), é possível constatar que os elementos constituintes dessa mistura são, efetivamente, os agregados miúdos, ligante inorgânicos e a água, podendo ou não conter adições e/ou aditivos.

#### **Areia**

De acordo com Lara (2013) o agregado seria um material granular, inerte, formado por um conjunto de grãos de variados tamanhos. Pode ser miúdo (areia) ou graúdo (brita). No caso das argamassas é utilizado o agregado miúdo (areia) em detrimento do agregado graúdo, que geralmente é utilizado em concretos.

Já segundo com Bauer (2008) agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gamas de

tamanhos. E podem ser classificados segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente.

- Segundo a origem: Naturais e industrializados;
- Segundo as dimensões das partículas: Graúdo e miúdo;
- Segundo o peso específico aparente: Leves, médios ou pesados.

Apesar da existência de diversos critérios para a classificação de agregados, a norma brasileira NBR 7211:2009 - Agregados para concreto – Especificação, os classifica como graúdos e miúdos com base nos tamanhos de suas partículas, sendo que agregado miúdo os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e agregado graúdo os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Em relação a disponibilidade desses agregados temos que, a maioria dos agregados encontra-se disponível na natureza, como é o caso das areias, seixos e pedras britadas. Alguns passam por processos de beneficiamento como é o caso das britas, cuja rocha é extraída de uma jazida e precisa passar por diversos processos de beneficiamento para chegar aos tamanhos adequados aos diversos usos (HAGEMANN, 2011).

O agregado miúdo utilizado recorrentemente em argamassas é a própria área, sendo que está é definida por Hagemann (2011) como um agregado miúdo que pode ser originário de fontes naturais como leitos de rios, depósitos eólicos, bancos e cavas ou de processos artificiais como a britagem. Quando proveniente de fontes naturais, a extração do material, na maioria dos casos, é feita por meio de dragas e processos de escavação e bombeamento. Independente da forma de extração, o material passa por processos de lavagem e classificação antes de ser comercializado.

A sua classificação se dá por meio de faixas granulométricas específicas, sendo que a NBR 7225:1993 - Materiais de pedra e agregados naturais, classifica a areia como um material natural, de propriedades adequadas, de dimensão nominal máxima inferior a 2,0 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm. No qual à areia grossa é aquela compreendida entre 0,2 mm e 1,20 mm, areia média compreendida entre 1,20 mm e 0,42 mm e areia fina é aquela compreendida entre 0,42 mm e 0,075 mm. Além dessas ainda há à areia lavada que é uma areia não beneficiada e areia lavada que é uma areia sujeita a processo de limpeza.

Já de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) a distribuição granulométrica, determinada segundo a ABNT NBR NM 248: 2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica, deve atender aos limites estabelecidos na Tabela 1. Vale ressaltar, porém, que

pode utilizar como agregado miúdo, para concreto por exemplo, areia com distribuições granulométricas fora das zonas estabelecidas na Tabela 2, desde que estudos prévios de dosagem comprovem sua aplicabilidade.

Tabela 1 - Distribuição granulométrica da areia normal

Denominação da fração	Abertura nominal de malha das peneiras (mm)	Porcentagem retida em massa de material nas peneiras (%)
Grossa	2,4 e 1,2	25 ± 5
Média grossa	1,2 e 0,6	50 ± 5
Média fina	0,6 e 0,3	75 ± 5
Fina	0,3 e 0,15	97 ± 3

Fonte: Adaptado da NBR 7214 (ABNT, 2015)

Tabela 2 - Limites granulométricos do agregado miúdo (areia).

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310 -1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
0,6 mm	15	35	55	70
0,3 mm	50	65	85	95
0,15 mm	85	90	95	100

Nota 1: O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

Nota 2: O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

Nota 3: O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: Adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2009)

Outra definição presente é a de Bauer (2008) onde é afirmado que a areia, geologicamente, é um sedimento clássico inconsolidado, de grãos em geral quartzosos de diâmetro entre 0,6 mm e 2 mm, e sua origem pode ser de diversos lugares como de rios, de cava, de britagem, de escória e de praias e dunas. Podendo essas serem classificadas em faixas granulométricas, sendo que:

- Areia fina: de 0,15 mm a 0,6 mm;
- Areia média: de 0,42 mm a 1,2mm;
- Areia grossa: de 2,4mm a 4,8mm.

As características físicas da areia exercem influência no produto argamassado final. De acordo com o estudo feito por Carasek et al., (2016) a porosidade da areia influenciou o teor de

fases presentes nas argamassas que, por sua vez, afetou a consistência da argamassa. Assim, quanto maior a porosidade da areia (ou seja, menor o fator de empacotamento), menor o índice de consistência (argamassa menos fluida), independente de outras características dos agregados, como a forma e a textura.

Tristão (2005) analisou a influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. Tendo como objetivo estudar a variação das propriedades das argamassas mistas de cimento Portland e cal para revestimento de paredes e tetos, com relação aos diferentes aspectos texturais das areias, considerando-se a distribuição granulométrica, forma e textura dos grãos das areias. Inicialmente foram feitas a caracterização de sete tipos de areia e separada a proporção de matérias para a argamassa considerando a sua adequação para revestimento de tetos e paredes. A partir destas proporções foram produzidas quatorze argamassas, variando o tipo de areia dessa argamassa. Concluindo na pesquisa que a influência da forma dos grãos da areia foi maior do que a sua distribuição granulométrica, principalmente na proporcionalidade da água e quanto maior a esfericidade e o fator de forma, menor a quantidade de água usada nas argamassas.

A finura da areia também exerce interferência nas propriedades de argamassas colantes, Miguel e Alexandre, (2018) estudaram a influência da granulometria da areia na aderência de argamassas colantes. Na pesquisa do autor, foi proposta na produção da argamassa colante, e a incorporação de três diferentes granulometrias de areia: areia natural, areia média (peneira #16) e areia fina (peneira #50), a fim de avaliar qual obtém o melhor desempenho no ensaio de aderência e resistência. Com resultado desse estudo o autor constatou que a adição de areia natural não atende aos requisitos mínimos de força e resistência à tração para o tipo ACIII, conforme a ABNT NBR 14081-1:2012 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos. No entanto, a areia média mostrou resultados adequados, sendo uma opção viável para a produção de argamassas colantes dos tipos ACI e ACII. A melhor opção para incorporação nas três variedades de argamassa é a areia fina, que foi peneirada na peneira #50 e demonstrou altos níveis de resistência à tração e força.

## **Aditivos**

Os aditivos, de acordo com Bauer (2008), podem ser definidos como todo produto não indispensável à composição e finalidade do concreto, que colocado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades geralmente pequenas e bem homogeneizado, faz aparecer ou reforça certas características. O autor cita que os aditivos

podem ser classificados baseando-se na sua ação ou efeito, sendo o critério baseado na ação o mais científico e distingue apenas as ações puramente químicas, física ou físico-químicas.

Além da definição previamente mencionada, existe uma definição estabelecida pela norma ASTM C125 – 20 - Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. Nesta norma, traduzindo para o português, o termo "aditivo" é definido como sendo um material que não seja água, agregados, cimento ou reforço de fibra que é usado como ingrediente de uma mistura cimentícia para modificar suas propriedades recém misturadas, e que é adicionado a estes antes ou durante a mistura. Esta definição é amplamente aceita e utilizada no contexto de concreto e argamassas.

A norma brasileira NBR 16826:2020 – Aditivos para argamassas inorgânicas – Definição, classificação e métodos de ensaio, traz a classificação dos aditivos em:

- Aditivos incorporadores de ar: aditivos em pó ou líquido, responsável pela incorporação intencional de bolhas de ar nas argamassas, visando a melhora da trabalhabilidade aumento da coesão e facilidade de espalhamento.
- Aditivo polimérico auxiliador de aderência e flexibilidade: polímero (látex formador de filme) em pó redispersível ou na forma de emulsão ou dispersão, que melhora as propriedades de aderência e deformação das argamassas.
- Aditivo retentor de água: aditivo que reduz a evaporação e exsudação de água da argamassa no estado fresco e lhe confere capacidade de retenção de água frente a sucção por bases absorventes e à ação do meio ambiente.

A escolha do tipo adequado de aditivo visando a finalidade da argamassa a ser produzida é de essencial importância. Martins et al., (2019) estudaram a influência do uso de aditivo incorporador de ar em argamassa autoadensável visando redução no consumo de cimento por metro cúbico assim como questões de sustentabilidade. Para esse estudo, os autores testaram a adição de aditivo incorporador de ar na argamassa em detrimento dos aditivos superplastificante. A metodologia utilizada foi a formulação de duas composições com diferentes consumos de cimento, com e sem aditivo incorporador de ar e por fim foi analisado o índice de ligante. Como o cálculo do índice de ligante foi possível verificar que o uso de aditivo incorporador de ar na composição de argamassa autoadensável é ineficiente, visto que ocorre uma redução muito pequena de cimento para queda de resistência a compressão, além de que é melhor buscar uma proporção mais rica em agregado miúdo do que acrescentar aditivo incorporador de ar quando se objetiva a redução do consumo de cimento.

Um elemento adicional que impacta a eficácia da utilização de aditivos em argamassas é a proporção empregada na composição da mistura. Comumente, o fabricante sugere um

intervalo específico para a aplicação do seu produto. No entanto, na ausência de tal recomendação, torna-se imprescindível conduzir estudos para determinar o limite de eficiência do referido aditivo. Diante dessa necessidade, Krauczuk et al., (2023) conduziram um estudo cujo objetivo foi analisar o uso de diferentes teores de aditivos incorporadores de ar em argamassas com vistas a sua colocação no mercado, nesse trabalho foi avaliada as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido variando os teores de incorporação do aditivo incorporador de ar em 0,2%, 0,5%, 1%, 1,5% e 2% além de uma argamassa produzida como referência, sem utilização de aditivo. Como resultado dessa pesquisa foi obtido que, no estado fresco, o índice de consistência das argamassas não apresentou comportamento linear conforme o aumento do teor de aditivo enquanto a massa específica apresentou-se como uma propriedade adequada para o controle de incorporação de ar pelo aditivo, em relação a resistência à compressão das argamassas aditivadas, estas foram inferiores a argamassa referência. Os autores concluíram que o teor de 1,5% foi o que conferiu um bom comportamento para as argamassas e menor prejuízo em relação a resistência à compressão.

Outro tipo de aditivo frequentemente utilizado na produção de argamassa de assentamento são os retentores de água. Isso se deve ao fato de que, após a interação da argamassa com o bloco, a depender do estado desse bloco, ocorre uma perda de água por parte da argamassa. Oliveira et al., (2015) avaliaram a influência do uso de aditivo retentor de água à base de éter de celulose nas propriedades das argamassas de assentamento em alvenaria estrutural de blocos de concreto, para esse estudo foi empregado um hidroxipropilmetilcelulose em uma argamassa mista de cimento e cal, em diferentes teores (0,00%, 0,03%, 0,06% e 0,09% em relação à massa total de materiais secos) para a avaliação da influência do referido aditivo nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. Além disso, foram confeccionados prismas com três blocos e miniprismas, com pedaços serrados de blocos, para avaliação da resistência à compressão, módulo de deformação e tensão de aderência. Os resultados indicam que há potencial para o uso de retentores de água à base de éter de celulose na produção de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto. Foi observado um aumento na capacidade de retenção de água das argamassas, sem influenciar a resistência à compressão das mesmas e dos prismas. No entanto, a resistência à compressão das juntas de assentamento, o módulo de elasticidade dos prismas e a resistência à aderência na flexão sofreram reduções significativas com o uso do éter de celulose.

### **Aglomerantes**

Outro componente de fundamental importância para a produção de uma argamassa durável e resistente são os aglomerantes, que segundo Hagemann (2011) são definidos como produtos empregados na construção civil para fixar ou aglomerar outros materiais entre si. Geralmente são materiais em forma de pó, também chamados de pulverulentos que, misturados com a água, formam uma pasta capaz de endurecer por simples secagem ou devido à ocorrência de reações químicas.

Já Lara (2013) define aglomerante como sendo um material em forma de pó, ativo, que misturado com água forma uma pasta capaz de endurecer por meio de reações químicas, aderindo-se aos materiais com os quais se acha envolvido e cuja resistência aumenta com o tempo.

Há disponíveis tipos distintos de aglomerantes para serem utilizados na construção civil. Bauer (2008) traz uma listagem composta por asfaltos, cal, gesso e cimento. Com isso temos, que na fabricação de argamassas os aglomerantes podem variar de acordo com a finalidade do seu produto argamassado, porém o cimento Portland e a cal hidratada são usualmente utilizados para exercerem a função de aglomerantes em obras de pequeno e grande porte. Nesta pesquisa, os aglomerantes selecionados para a realização dos estudos foram o Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI) e o Cimento Portland composto com Fíler (CP II F).

### **Cimento Portland**

O cimento Portland é o aglomerante artificial obtido da mistura de clínquer (produto da queima conjunta de calcário e argila) com gipsita (gesso) e adições minerais (LARA, 2013).

Já Bauer (2008) afirma que o cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

E ainda, segundo o autor, os constituintes fundamentais desse cimento são a cal ( $C_aO$ ), a sílica ( $S_iO_2$ ), a alumina ( $Al_2O_3$ ), o óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ), certa proporção de magnésia ( $M_gO$ ) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico ( $SO_3$ ), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Sendo que, a cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os componentes essenciais do cimento Portland e constituem, geralmente, 95 a 96% do total na análise de óxido.

O processo de fabricação do cimento consiste essencialmente na moagem da matéria-prima, na sua mistura íntima em determinadas proporções e na queima (a temperaturas de até

cerca de 1.450 °C) em grandes fornos rotativos, onde o material é sinterizado e parcialmente fundido, tomando a forma de esferas conhecidas como clínqueres. O clínquer é resfriado e recebe a adição de um pequeno teor de sulfato de cálcio, sendo então moído até se tornar um pó bastante fino. O material resultante é o cimento Portland, tão utilizado em todo o mundo (NEVILLE, 2016).

Conforme salienta Bauer (2008), nesse processo de formação do clínquer ocorrem combinações químicas, principalmente no estado sólido, que conduzem a formação dos seguintes compostos:

- Silicato tricálcico ( $3C_aO \cdot S_iO_2 = C_3S$ );
- Silicato dicálcico ( $2C_aO \cdot S_iO_2 = C_2S$ );
- Aluminato tricálcico ( $3C_aO \cdot Al_2O_3 = C_3A$ );
- Ferro aluminato tetracálcico ( $4C_aO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 = C_4AF_e$ ).

A mistura e a moagem das matérias-primas podem ser feitas tanto em condição úmida quanto seca, originando as denominações de processo "por via seca" e "por via úmida". Os métodos de fabricação dependem, na realidade, tanto da dureza das matérias-primas como de seu teor de umidade (BAUER, 2008)

Além dessas definições para cimento Portland temos aquela estabelecida pela NBR 16697:2018 - Cimento Portland – Requisitos, que define Cimento Portland como sendo um ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos nesta norma. Sendo que, nessa mesma norma, há definições de variações no tipo cimento como, cimento Portland de alta resistência inicial, cimento Portland de alto-forno, cimento Portland pozolânico, cimento Portland resistente a sulfatos, cimento Portland branco e o cimento Portland de baixo calor de hidratação.

Ainda de acordo com essa norma os cimentos Portland são designados por seu tipo que correspondem a adições e propriedades especiais. São identificados por suas siglas, seguidas de sua classe de resistência (25, 32, 40 ou ARI). Acrescido do sufixo RS quando são resistentes a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no item 5.3 da norma citada, além dos requisitos para seu tipo e classe originais e o sufixo BC quando tem baixo calor de hidratação se aplicando a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no item 5.4 da norma citada, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

Devido ao seu uso generalizado na indústria da construção e à existência de vários tipos, é necessário realizar estudos sobre o cimento Portland para avaliar suas reais influências em argamassas e concreto. Um dos fatores que o tipo de cimento pode contribuir para uma mistura é a consistência do produto, Oliveira (2021) analisa a Influência do tipo de cimento Portland na consistência de pastas cimentícias. Essa pesquisa teve como objetivo investigar o efeito dos diferentes tipos de cimentos brasileiro sobre o espalhamento de pastas de cimento Portland realizado na mesa de consistência, de acordo com a ABNT NBR 13276:2016 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência, visto que, segundo o autor, a consistência de pastas cimentícias é um importante parâmetro reológico indicativo da resistência o fluxo, ou seja, a mobilidade das partículas. Esse ensaio foi realizado por meio de produção de pastas cimentícias com diferentes relações água/ligante e determinado, posteriormente, a consistência em diferentes intervalos de tempo. A medida de consistência corresponde ao espalhamento atingido pela pasta cimentícia no ensaio de mesa de consistência. Com esses experimentos elaborados pela autora constatou-se que a consistência é significativamente alterada ao longo do tempo, dado a natureza reativa do cimento Portland; a consistência é diretamente afetada pelo tipo de cimento Portland e as relações água/ligante.

Outro fator que tem que ser mensurado na utilização de cimentos é a sua influência no meio ambiente, pois no processo de produção do cimento há liberação de grandes concentrações de compostos nocivos ao meio ambiente, principalmente o CO<sub>2</sub>. Há em curso pesquisas para substituir parcial ou totalmente o cimento por outros compostos na produção de argamassa. Bezerra et al., (2011) avaliou a utilização da cinza produzida pela queima da casca de arroz em substituição parcial do cimento para a produção de argamassas de assentamento, com isso ele verificou a cinza da casca do arroz (CCA) apresenta pozolanicidade e verificou que os corpos de prova com incorporação da CCA forneceram valores superiores aos de referência com relação às propriedades físicas e mecânicas, devido à provável ocorrência das reações pozolânicas. Por fim, constatou-se que a utilização da CCA é viável, tanto do ponto de vista técnico quanto ecológico.

#### Cimento Portland de alta resistência inicial

Por definição da norma, ABNT NBR 5733:1991 - Cimento Portland de alta resistência inicial, o cimento de alta resistência inicial é classificado como um aglomerante hidráulico que atende às exigências de alta resistência inicial, obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.

Além disso temos que o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI) tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade (BORGES, 2018).

De acordo com CASTRO et al., 2017 o CPV ARI apresenta um maior teor de clínquer dentre os cimentos disponíveis e, assim, constitui em um cimento “mais puro” em termos de adições minerais, além de apresentar uma moagem mais fina que o torna mais reativo.

O cimento Portland de alta resistência inicial tem alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido. O clínquer é o mesmo utilizado para a fabricação de um cimento convencional, mas permanece no moinho por um tempo mais prolongado. O cimento continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais, proporcionando maior rendimento ao concreto. É largamente utilizado em produção industrial de artefatos, onde se exige deformação rápida, concreto protendido pré e pós-tensionado, pisos industriais e argamassa armada. Devido ao alto calor de hidratação, não é indicado para concreto massa. Contém adição de até 5% de filler calcário. A ausência de pozolana não o recomenda para concretos com agregados reativos (CIMENTO ORG, 2023).

Já de acordo com a fabricante, CIPLAN, do cimento CP V - ARI esse é o produto mais nobre dentre as suas opções, sendo que a sua resistência inicial é proporcionada pelo balanceamento das matérias primas selecionadas.

Em virtude dos fatores previamente elucidados, optou-se pela utilização deste tipo específico de cimento. Embora sua aplicação em argamassa de assentamento não seja comum.

#### Cimento Portland composto com material carbonático CP II - F32

A norma ABNT NBR 16697 (ABNT, 2018), traz a classificação dos tipos de cimentos disponíveis para uso. Dentre elas temos os cimentos Portland compostos CP II – E, CP II – F e CP II – Z. A escolha do cimento Portland composto com material carbonático CP II – F 32 para a produção de argamassa é justificada por várias razões. Primeiramente, o cimento CP II – F 32 é conhecido por sua versatilidade e resistência, sendo adequado para uma ampla gama de aplicações na construção civil.

De acordo com a organização Cimento org, (2010) o cimento Portland composto tem diversas possibilidades de aplicação e por isso é um dos cimentos mais utilizados no Brasil. Suas propriedades atendem desde estruturas em concreto armado até argamassas de

assentamento e revestimento, concreto massa e concreto para pavimentos. O CP II F-32 tem adição de filer calcário, em teor entre 6 e 10% e não é o mais indicado para aplicação em meios muito agressivos.

### **Água**

Além dos agregados e aglomerantes a quantidade e qualidade de água presente em uma argamassa exerce grande influência no seu produto argamassado final. De acordo com a ABNT NBR 7215:2019 - Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, a água usada na mistura de argamassa deve ser destilada ou deionizada e estar à temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C, porém devido as condições em canteiro de obra são utilizadas água de concessionária local.

#### 2.1.3. Aplicação da argamassa na construção civil

A argamassa é amplamente utilizada na construção civil e possui uma vasta gama de aplicações. Suas características variam para se adequar à finalidade específica para a qual é destinada. Carasek (2010) afirma que as argamassas podem ser classificadas segundo sua função na construção, conforme apresentados na Tabela 3.

A Tabela 3, apresentada a seguir, é uma classificação abrangente das argamassas, dividida em sete categorias distintas. Cada categoria representa um aspecto específico da argamassa, permitindo uma análise detalhada e multifacetada do material. A classificação é baseada na natureza do aglomerante, no tipo de cimento, no número de aglomerantes, na consistência e densidade da argamassa, no tipo específico de argamassa, bem como forma de preparo ou fornecimento.

Tabela 3 - Classificação das argamassas segundo as suas funções

Funções	Tipos
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) - alv. de vedação
	Argamassa de chapisco
Para revestimentos de paredes e tetos	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimentos de pisos	Argamassa de contrapiso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas - colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: Carasek (2010).

#### 2.1.4. Propriedade físicas e mecânica das argamassas

##### **Absorção de água**

A água é um elemento fundamental para a hidratação do cimento e, conseqüentemente, para a produção de argamassas. No entanto, esse elemento pode causar alguns problemas nas argamassas, como por exemplo a infiltração indesejada nos poros das argamassas, reduzindo sua vida útil. Rodrigues (2004) afirma que a retenção de água por parte de uma argamassa é uma característica fundamental, por poder condicionar o desempenho efetivo dos constituintes que compõe a argamassa e as respectivas condições de aplicação.

Em função disso o parâmetro de absorção de água de uma determinada argamassa deve ser controlado para evitar problemas patológicos futuro, em seu uso. De acordo com a ABNT NBR 9778:2005 - Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, a absorção de água por imersão é o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. Além de que, é também o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

Os valores de absorção são usados para calcular a mudança na massa de um material agregado devido à água absorvida nos espaços porosos dentro das partículas constituintes, em comparação com a condição seca, se for considerado que o agregado esteve em contato com a água por tempo suficiente para satisfazer a maior parte do potencial de absorção, traduzido ASTM C128 - 15:2015 - Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.

Mendonça et al., (2021) realizaram um estudo que tem como objetivo principal avaliar a absorção de água e verificar o índice de vazios de argamassas incorporadas com Politereftalato de etileno - PET nos teores de 20% e 30% em substituição ao agregado miúdo. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 5 cm x 10 cm para avaliação da absorção de água por imersão e índice de vazios. E com isso observou-se que a incorporação que apresentou melhor desempenho foi a correspondente a 30% PET, pois as argamassas não apresentaram divergências considerativas para as propriedades avaliadas em relação às argamassas de referência.

Outro estudo recente perceptível é o dos autores Da Costa e Da Silva (2023) que estudaram sobre influência de diferentes impermeabilizantes nas propriedades mecânicas e na absorção de água em argamassa de assentamento e revestimento. Neste estudo, os materiais foram caracterizados e a argamassa foi preparada e curada por 28 dias. Após a cura, os produtos impermeabilizantes foram aplicados e os corpos-de-prova foram submetidos a ensaios de absorção de água por capilaridade e resistência a tração e compressão. Os resultados mostraram que os impermeabilizantes não afetaram a resistência à compressão e à tração, porém todos os impermeabilizantes reduziram drasticamente a absorção de água em comparação com os corpos-de-prova de referência.

### **Índice de consistência**

A argamassa de assentamento de alvenaria é utilizada para a elevação de paredes e muros de tijolos ou blocos, também chamados de unidade de alvenaria (CARASEK, 2010). E ainda segundo o autor dentre as principais funções das juntas de argamassa na alvenaria temos a trabalhabilidade – consistência e plasticidade adequada ao processo de execução, além de uma elevada retenção de água.

A consistência adequada de uma argamassa para uma determinada aplicação é de suma importância. Segundo Carasek (2010) se a argamassa não apresentar consistência adequada, estando muito fluida quando houver a colocação de um bloco sobre a junta de assentamento que ainda está no estado fresco, a argamassa pode ser esmagada em demasia, gerando uma junta

de altura inadequada, ou seja, de espessura menor do que a prevista, além de dificultar a execução da parede no alinhamento e no prumo.

A consistência como sendo uma das propriedades relacionadas a trabalhabilidade pode ser definido, segundo Carasek (2010) como sendo a maior ou menor facilidade da argamassa deforma-se sobre ação de cargas.

Essa propriedade pode ser verificada também pela quantidade de água adicionada em uma determinada mistura, sendo que a adição de mais ou menos água vai interferir diretamente na consistência ou fluidez de uma determinada argamassa. Segundo Cavalheiro (1997) as consistências das argamassas encontram-se classificadas em secas, plásticas e fluidas. Estas três consistências são determinadas pela película de pasta que rodeia os grãos de areia. Na argamassa seca, a pasta só preenche os vazios entre os grãos, permanecendo estes em contato com o que se traduz por massas ásperas e pouco trabalháveis. Na argamassa plástica, uma fina película de pasta molha a superfície dos grãos de areia atuando como lubrificante. Na argamassa fluida, as partículas de areia estão imersas na pasta, sem coesão interna e com tendência a segregar e sem possibilidade de ser empregado. Nesse caso, a argamassa se espalha parecido com um líquido.

Para avaliar a consistência da argamassa, a mesa de consistência prescrita pela NBR 7215 (ABNT, 2019) é tradicionalmente usada no Brasil. Os procedimentos de teste para determinar o índice de consistência são prescritos pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Além deste método comumente usados para avaliar a consistência das argamassas no Brasil, de acordo com SILVA (2006), existem outros métodos. O método da penetração do cone preconizado pela ASTM C780 – 15a (2015); o método vane test (ensaio de palheta); ensaio de dropping ball (BS 4551), e mais recentemente, vem sendo empregado o método squeeze flow, devido, principalmente, à grande sensibilidade às variações do comportamento reológico da argamassa.

Visando a caracterização dessa propriedade foi elaborado um estudo por Barbosa et al., (2019), com o objetivo de avaliar a influência da água no tempo de pega em pastas e argamassas estabilizadas, cujo a metodologia foi avaliar pastas e argamassa com e sem aditivo estabilizador de hidratação e seis relações água/cimento, 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55. Sendo que para as pastas foram avaliadas, no estado fresco, espalhamento, tempo de início de pega, densidade de massa e teor de ar incorporado e para as argamassas foram avaliadas o índice de consistência, tempo de início de pega, densidade de massa e teor de ar incorporado. Como resultado, foi obtido que, para as pastas com e sem aditivo, quanto maior a relação água/cimento, maior fluidez e para as pastas com aditivo foi observado um aumento na fluidez em relação as pastas

sem aditivos com a mesma relação a/c, porém esse comportamento não foi verificado na argamassa.

### **Porosidade**

A porosidade pode ser definida, de acordo com Bauer (2008), como a relação entre o volume dos vazios existentes e o volume do agregado. Já outras bibliografias definem a porosidade aparente de um sólido como sendo o volume de vazios contidos no volume total da amostra. Sendo que este volume de total, por sua vez, é definido como sendo o volume do sólido acrescido do volume de vazios.

Já Quarcioni et al. (2001) define que a porosidade de um revestimento está intrinsecamente ligada a composição da argamassa, a sua aplicação e cura, como também a porosidade e textura da superfície sobre a qual é aplicada. Influi sobre a durabilidade do revestimento por contribuir para a suscetibilidade da argamassa à ação deletéria de agentes agressivos do meio ambiente, como gases ácidos, material particulado em suspensão no ar chuvas e ventos fortes e ciclos intensos de molhamento e secagem. Ela tem particular importância por acumular umidade ambiente, muitas vezes carregando sais para o interior da argamassa. Submetida a ciclos de molhamento e secagem os sais dissolvidos cristalizam provocando expansão e fissuramento do revestimento.

A porosidade por ser um espaço vazio na argamassa pode interferir na resistência final desse produto, Mehta e Monteiro (2008) afirmam que há uma relação inversa entre porosidade e resistência nos sólidos. A resistência se encontra na parte sólida de um material; assim, vazios são prejudiciais a resistência.

Assim, a formação de poros na pasta de cimento geralmente está associada à hidratação do cimento e à evaporação da água livre. O volume de vazios capilares na pasta de cimento endurecida depende da quantidade de água de amassamento adicionada no início da hidratação e do grau de hidratação do cimento. Quando se tem a pega do cimento, a pasta adquire um volume estável, que é aproximadamente igual ao volume de cimento mais o volume de água. Esse cálculo foi feito por Powers, a fim de demonstrar variações na porosidade capilar com diferentes graus de hidratação em pastas de cimento contendo diferentes relações água-cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

### **Resistência a compressão**

A resistência mecânica de uma argamassa, principalmente de assentamento, é uma de suas principais funções. Carasek (2010) diz que a argamassa deve adquirir rapidamente alguma resistência, permitindo o assentamento de várias fiadas no mesmo dia, bem como desenvolver

resistência adequada ao longo do tempo. Apesar disso, não são necessárias resistências altas das argamassas para garantir o bom desempenho das paredes; pelo contrário, a resistência da argamassa não deve ser nunca superior a resistência dos blocos. Ainda segundo o autor isso ocorre, pois, a argamassa exerce pouca influência pelo estado multiaxial de tensões ao qual a junta de argamassa está submetida, devido à restrição de deformações laterais que os blocos impõem a junta.

De acordo com Mota (2001) a resistência à compressão das argamassas se inicia com o endurecimento e aumenta continuamente com o tempo. As argamassas exclusivamente de cal e areia desenvolvem uma resistência pequena e de maneira lenta e cujo valor depende muito da umidade apropriada e da adequada absorção do dióxido de carbono do ar para ser atingida. Ao contrário, as argamassas de cimento dependem menos das condições ambientais, para desenvolver a resistência à compressão esperada. Ainda segundo a autora a resistência requerida para uma argamassa a ser empregada na alvenaria estrutural irá variar com a resistência à compressão dos elementos.

No Brasil há normatizações a serem seguidas para a aferição de resistência mínima para argamassas de assentamento. A NBR 13281-2 (ABNT, 2023) estabelece os critérios para resistência a compressão das seguintes argamassas: Argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria sem função estrutural (vedação) – AAV, argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria estrutural – AAE e argamassa inorgânica para a fixação horizontal de alvenaria (encunhamento) – AAF, sendo estes representados na Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 - Resistência a compressão para argamassas inorgânicas – Estado endurecido

Requisito	Unidade	Critérios por tipo de argamassa	
		AAV	AAF
Resistência à compressão (fa)	MPa	$2,0 \leq fa \leq 5,0$	$1,5 \leq fa \leq 5,0$

Fonte: Adaptado da NBR 13281 – 2 (ABNT, 2023)

Tabela 5 - Classes de uso e respectivos critérios de resistência à compressão

Classes de uso <sup>1</sup>	Classe de resistência à compressão da argamassa (fa) em MPa
AAE5	$5,0 \leq fa \leq 8,0$
AAE8	$8,0 \leq fa \leq 12,0$
AAE12	$12,0 \leq fa \leq 16,0$
AAE16	$16,0 \leq fa \leq 20,0$
AAE20	$20,0 \leq fa \leq 24,0$
AAEE (Especial) <sup>3</sup>	$fa \geq 24,0$

<sup>1</sup> Valores de resistência estabelecidos considerando situações de uso em alvenaria estrutural de edifícios com paredes revestidas. Para outras situações de uso não consideradas nessas classes, por exemplo, alvenarias não revestidas, arrimos e reservatórios, recomenda-se utilizar argamassas inorgânicas com resistência à compressão superior ao considerado.

<sup>2</sup> Resistência à compressão (fa) especificada pelo valor médio e coeficiente de variação inferior a 20 %.

<sup>3</sup> Argamassas acima de 24 MPa são consideradas especiais, ficando sujeitas à especificação para cada obra por especialistas.

Fonte: Adaptado da NBR 13281 – 2 (ABNT, 2023)

#### 2.1.5. Estudos sobre argamassas

Em andamento e já concluídos, existem estudos sobre as propriedades das argamassas e como elas podem ser aprimoradas para atender às necessidades específicas de cada aplicação, além de melhor aproveitamento de seus materiais levando em consideração as questões ambientais.

Malafaia et al., (2023) realizou o estudo das propriedades das argamassas no estado fresco com incorporação da fibra de malva (*Urena Lobata L.*). Para isso foram realizados os ensaios de consistência, densidade de massa, ar incorporado e retenção de água no estado fresco nas porcentagens de 0, 1,5% e 3,0% de incorporação em relação à massa de cimento. Por meio desse estudo foram obtidos que os resultados mostraram que a adição de fibra de malva manteve uma boa trabalhabilidade da argamassa com índice de consistência no intervalo de 260 +/- 5 mm e o ensaio de densidade teve uma redução, indicando uma alternativa como material mais leve, e os ensaios de teor de ar incorporado e retenção de água ficaram dentro da faixa de valores estabelecidos para manter uma boa trabalhabilidade.

Vieira (2020) promoveu um estudo visando verificar o desempenho de argamassas industrializadas ensacadas de diferentes resistências nominais para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto de resistências variadas, que é um sistema construtivo racional e econômico, mas com limitações devido à baixa aderência e eficiência das argamassas disponíveis no mercado. O trabalho utiliza blocos de concreto de quatro resistências nominais

(4, 6, 8 e 12 MPa) e argamassas industrializadas de quatro resistências nominais (4, 7, 10 e 14 MPa) e avalia as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, bem como as propriedades mecânicas dos prismas de blocos de concreto, aos 28 e aos 90 dias de idade, por meio de ensaios de trabalhabilidade, retenção de água, resistência à compressão, tração na flexão, módulo de elasticidade, fator de eficiência e mecanismo de ruptura. Concluindo que as argamassas industrializadas estudadas apresentaram um bom desempenho em relação às propriedades nos estados fresco e endurecido, além de obter um bom desempenho nos ensaios de resistência à compressão e tração na flexão dos prismas de bloco de concreto, onde o fator de eficiência, aos 90 dias, ultrapassou os 90%. A pesquisa verificou também que as argamassas industrializadas apresentaram um bom desempenho para ser utilizada assentamento de alvenaria estrutural, inclusive para blocos de resistência nominal de 12 MPa.

Fortunato et al. (2019) desenvolveu uma pesquisa no qual realizaram a substituição de cimento Portland pelo fino de britagem em argamassa autoadensável. Visando o uso do pó de pedra como uma alternativa mais sustentável para argamassa, verificando, no estado fresco, se há uma fluidez adequada do produto e, no estado endurecido, avaliando a resistência de tração na flexão e resistência à compressão. Com esse estudo foi possível verificar que as argamassas com 5% e 10% de substituição obtiveram a fluidez adequada para se tornarem argamassas autoadensável, em relação as resistências houve uma pequena diminuição tanto na resistência de tração na flexão quanto na resistência à compressão, porém os menores valores de resistência à compressão ainda estão acima do limite mínimo para todas as argamassas testadas.

Marvila et al., (2019) estudaram a interferência da relação água/cimento nas propriedades tecnológicas de argamassas no estado endurecido, objetivando avaliar a interferência da relação água/cimento em argamassas, utilizando diferentes traços, 1:1:6, 1:2:9 e 1:3, e diferentes tipos de cimento, CP-II-E e CP-III. Foram realizados ensaios de consistência com três valores de referência diferentes, de e resistência à compressão aos 14 e 28 dias para verificação das validades das leis de Abrams, lei de Lyse e lei de Molinari. Além disso foram realizados ensaios de absorção de água por imersão e porosidade em parte dos traços estudados. Após a realização dos ensaios e computação dos resultados foi possível observar que o parâmetro água/cimento ( $a/c$ ) é um dos mais importantes no estudo de materiais cimentícios, quer seja concreto ou quer seja argamassas, além de que essa relação exerce uma interferência considerável nas propriedades desses produtos, como por exemplo a porosidade, que segundo os autores quanto maior a quantidade de cimento na argamassa, e conseqüentemente menor o valor  $a/c$ , maior o calor de hidratação liberado durante a hidratação do material. O maior calor de hidratação provoca aparecimento de fissuras e surgimento de poros internos no material, que

contribuiu para o aumento da porosidade e da absorção de água obtidas pelas composições com maiores teores de cimento.

Alves (2018) estudou sobre o desempenho de argamassas de assentamento em blocos de concreto para alvenaria estrutural. Este estudo buscou identificar a argamassa que proporciona o melhor desempenho em um sistema de alvenaria estrutural de blocos de concreto. Foram comparadas argamassas industrializadas, argamassas dosadas em obra sem aditivo e argamassas dosadas em obra com aditivos. Foram realizados ensaios no estado fresco e endurecido. Devido à falta de normas para o teste de arrancamento em alvenaria estrutural, foi adaptado o ensaio de aderência potencial à tração e criado um ensaio para resistência ao cisalhamento. Além disso, foram verificados os parâmetros normativos para ensaios de resistência mecânica (compressão). Os resultados indicaram que as argamassas com resistência à compressão inferior ao limite imposto pela norma não são aplicáveis para os blocos utilizados. A argamassa dosada em obra sem aditivo plastificante com traço 1:0,5:9 apresentou o melhor desempenho para uso em alvenarias estruturais compostas por blocos de concreto com resistência à compressão estimada de 9,9MPa.

Magri e Berton (2016) realizaram estudos sobre o efeito da redução do teor de cimento no desempenho de matrizes e compósitos cimentícios visando analisar o efeito da substituição parcial do cimento por teores de finos, reativos e/ou não reativos, com granulometria e dispersão controlada, no desempenho de compósitos cimentícios. Foi realizada a substituição do cimento por calcário e os resultados obtidos demonstram que é possível substituir até 18% do ligante por calcário para obtenção de uma argamassa com resistência à compressão de 32 MPa e de 34% para 25 MPa. Para a aplicação da argamassa em revestimentos externos é possível substituir até 51% do ligante pelo material garantindo uma resistência de aderência à tração satisfatória, porém houve um aumento da porosidade com o aumento das substituições do ligante por calcário. Para utilização em revestimentos internos, o teor de substituição pode chegar até 78%. Já a incorporação de nano-sílica não contribuiu de maneira significativa para o desempenho mecânico, provavelmente devido à pouca idade dos compostos ensaiados e em relação a porosidade notou que o uso desse material contribuiu de forma positiva, visto que em ambas as composições onde foi inserida, observou-se uma composição menos porosa.

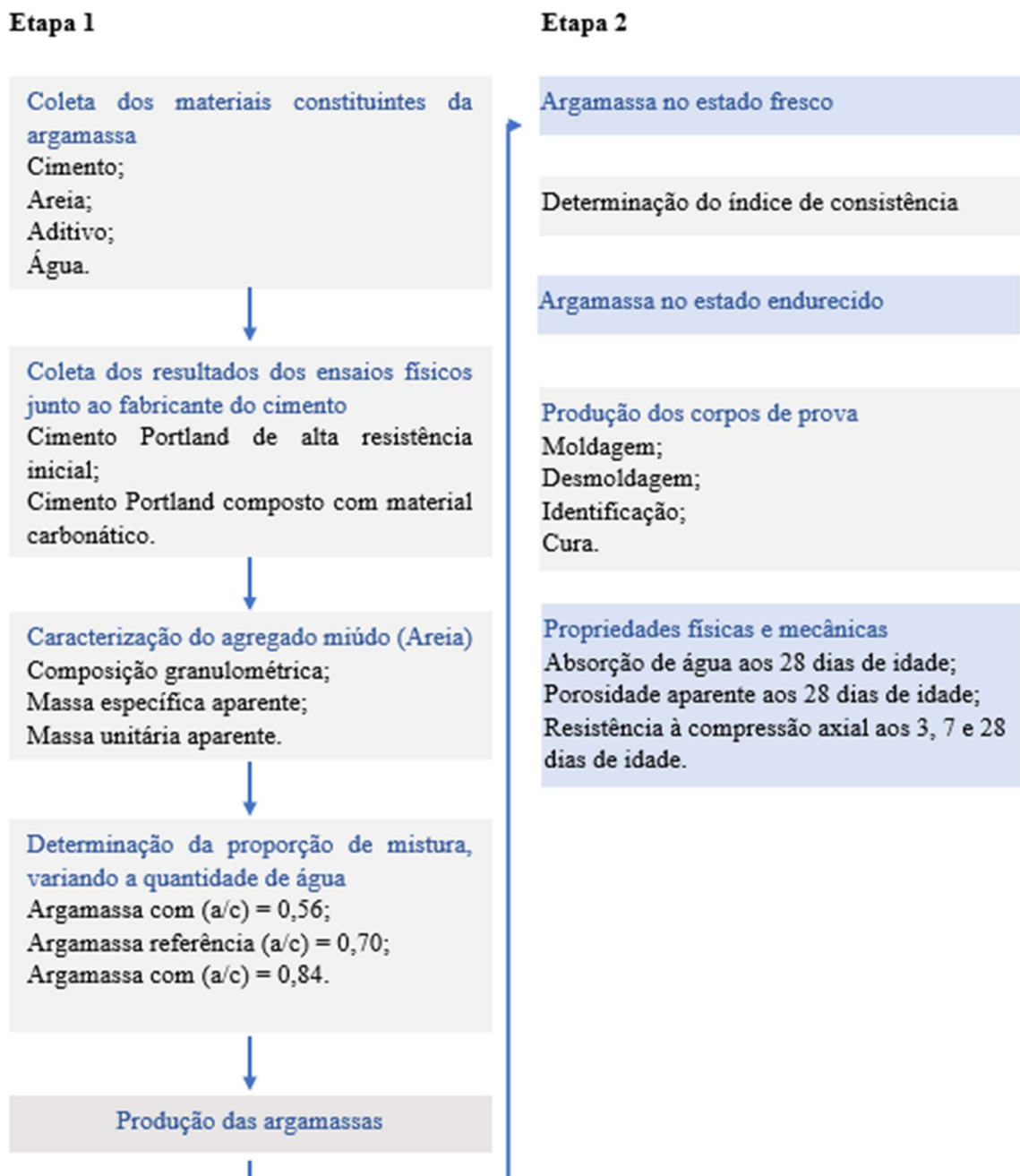
Herrera et al., (2012) analisam as propriedades físicas e mecânicas de argamassas de alvenaria fabricadas com resíduo de construção e demolição (RCD) mistos, visto que foram obtidos a partir do desabamento de edifícios. Esses resíduos geralmente são tratados por duas maneiras para que sejam produzidos agregados reciclados, uma é por meio do peneiramento em uma peneira com abertura de 5 mm e a outra é por britagem das frações grosseiras em

máquinas que produzem agregados reciclados. No trabalho foram avaliados agregados reciclados de um mesmo RCD misto, um obtido pela britagem da parte grossa do resíduo e outro pela parte fina. Com os dois agregados reciclados foram confeccionadas argamassas de alvenaria de acordo com as especificações da norma cubana e composições, e os comparado com uma argamassa de referência feita com agregado natural seguindo as normas cubanas. As argamassas foram submetidas a ensaios retenção de água, resistência à flexão, resistência à compressão, aderência e absorção de água por capilaridade. E como resultado obtiveram as argamassas elaboradas a partir da fração grossa do resíduo apresentam melhor desempenho mecânico em relação a produzida com a fração fina, atendendo assim aos padrões estabelecidos pela norma cubana.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são apresentados os materiais e métodos empregados para a execução da pesquisa proposta. O programa experimental, conforme ilustrado na Figura 1, foi dividido em duas etapas e direcionado para a investigação do comportamento de uma argamassa de assentamento, na qual serão variados dois parâmetros, quantidade de água e o tipo de cimento.

Figura 1 - Fluxograma do planejamento experimental a argamassada



Fonte: Autor (2024)

Na primeira etapa, realizou-se uma investigação acerca dos componentes para utilização na produção das argamassas de assentamento, nomeadamente cimento, areia, aditivo e água, por meio da análise das normas vigentes no país e da bibliografia disponível. Foi efetuada a coleta de informações das propriedades junto ao fabricante e/ou fornecedor dos cimentos, aditivo e água, e caracterizado a areia. Adicionalmente, procedeu-se à determinação das proporções das misturas que foram empregadas, sendo as variáveis críticas a relação água-cimento e o tipo de cimento, e, concluindo esta etapa, efetuou-se a execução da mistura argamassada.

Na segunda etapa, procedeu-se à produção das argamassas e determinação de suas propriedades tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Esta fase envolveu uma análise metódica e sistemática para avaliar as propriedades das argamassas inorgânicas AAE. As informações coletadas durante a realização dos experimentos foram, por fim, analisadas e tratadas por meio de métodos matemáticos e estatísticos.

### 3.1. MATERIAIS

Para a realização desta pesquisa, foram utilizados diversos materiais na confecção do objeto de estudo, a argamassa de assentamento. Estes incluem cimento, areia, aditivo e água. Os tipos de cimento empregados foram o cimento Portland composto com material carbonático (CPII-F32) e o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI), ambos do fabricante CIPLAN. A areia, proveniente de leito de rio, foi adquirida na cidade de Barreiras – BA. O aditivo utilizado foi um plastificante incorporador de ar da marca Quartzolit. A água foi fornecida pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A (Embasa), também localizada na cidade de Barreiras-BA.

### 3.2. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

#### 3.2.1. Etapa 1 - Agregado miúdo (areia)

Este estudo empregou um agregado miúdo originário de leito fluvial, comercialmente disponível na região de Barreiras, Bahia.

Devido à ausência de uma norma nacional específica para a determinação e caracterização do agregado miúdo para AAE, esta pesquisa empregou a caracterização desses agregados com base nas normas destinadas à sua utilização na produção de concreto, especificamente a NBR 7211 (ABNT, 2009) e a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

No total foram utilizados 33,75kg de aria para a moldagem de 90 corpos de prova cilíndricos com dimensões de  $\varnothing$  5x10 cm. Inicialmente todo esse material foi posto para secar em estufa, fracionando para não exceder capacidade da estufa, a temperatura de 105°C e posteriormente esfriadas à temperatura ambiente, Figura 2.

Figura 2 - Secagem de agregado miúdo em estufa



Fonte: Autor (2024)

Para a determinação do módulo de finura, dimensão máxima característica e composição granulométrica do agregado, esse material foi dividido em duas amostras, denominadas  $m_1$  e  $m_2$ , onde foi utilizado uma balança com precisão de 0,1g para execução da pesagem. A massa mínima para ensaio, estabelecida pela norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), para agregado miúdo é de 300 g, as amostras coletadas tinham a seguinte massa: Massa ( $m_1$ ) = 310,4 g Massa ( $m_2$ ) = 310,6 g. É importante enfatizar que o experimento começou com a amostra de massa  $m_1$ . Todos os procedimentos subsequentes, que serão detalhados, aplicam-se igualmente à amostra de massa  $m_2$ . Esta abordagem garante a consistência metodológica em todo o estudo.

Inicialmente realizou-se o encaixe das peneiras sobre o agitador mecânico Figura 3, previamente limpas, onde a abertura da malha estava de modo crescente da base ao topo. Todas as peneiras utilizadas pertencem a série normal, além de conter um fundo onde recebeu todo material passante das peneiras acima. Após organizar as peneiras, a amostra de massa  $m_1$  foi colocada sobre a peneira disposta acima, evitando que houvesse a formação de uma camada espessa de agregado sobre as peneiras e que tenha um igual acesso de grãos à tela. Posterior a essa organização, o conjunto de peneiras foi agitado mecanicamente por 3 minutos. Após retirada do conjunto de peneiras do agitador mecânico, foi pesada cada amostra retida em cada uma das peneiras. O material que ficou na peneira é considerado retido e o que passou pela

parte inferior, é considerado material passante. Após finalizar o ensaio com a amostra  $m_1$ , foi realizado procedimento igual para a amostra de massa  $m_2$ , conforme está vigente na normativa.

Figura 3 - Peneiras encaixadas sobre o agitador mecânico



Fonte: Autor (2024)

Após a obtenção das massas retidas acumuladas foi possível a determinação do módulo de finura desse agregado miúdo, para isso foi necessário obter a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa do agregado, nas peneiras da série normal Tabela 6, e dividir por 100.

Tabela 6 - Conjunto de peneiras das séries normal (abertura nominal)

Série normal	Série intermediária
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
0,6 mm	-
0,3 mm	-
0,15 mm	-

Fonte: Adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2009)

Em seguida foi obtido a dimensão máxima característica do agregado miúdo, sendo esta segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

### Composição granulométrica

Para determinar a composição granulométrica do referido agregado, foram executados os cálculos subsequentes, conforme descrito em detalhes no item 6.1 da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Posteriormente, utilizando os limites da distribuição granulométrica disponíveis na Tabela 2 foi elaborado um gráfico comparativo entre a granulometria da areia ensaiada com os parâmetros estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

### Massa específica aparente

Para determinação da massa específica da areia foi realizado os procedimentos segundo a norma NBR NM 52:2009 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente, segundo a mesma massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis e a massa específica aparente é a mesma massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis.

Inicialmente foi pesada 500g de amostra de massa ( $m_3$ ) e separada. Posteriormente foi utilizado o frasco de Chapman, Figura 4, no qual foi colocado um volume inicial de 200 ml de água e as 500g de areia, assim a água subiu no gargalo do frasco até uma determinada medida, foi feita essa leitura e do valor obtido foi diminuído os 200 ml, obtendo-se, assim, um volume final sendo este o valor absoluto de areia; dividindo-se o peso dos 500g de areia pelo volume achado, teremos a massa específica real ou peso específico real. Para determinação da massa específica do agregado foi usado a Equação (1).

Figura 4 - Frasco de Chapman



Fonte: Autor (2024)

$$d_a = \frac{m}{v - v_a} \quad (1)$$

Onde:

$d$  é a massa específica do material (g/ml);

$m_3$  é a massa do agregado (g);

$v$  é o volume final do agregado mais água (ml);

$v_a$  é o volume de água adicionada ao frasco (ml).

### Massa unitária aparente

Para determinação da massa unitária do agregado miúdo foi seguido os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR NM 45:2006 Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Primeiramente, um recipiente com capacidade de 10 dm<sup>3</sup> foi isolado e sua massa foi aferida quando vazio (1.052,30 g).

Para calcular a massa unitária do agregado compactado foi utilizado o método A da norma: O recipiente foi preenchido com o material até alcançar um terço de sua capacidade total. Em seguida, procedeu-se ao adensamento da camada de agregado por meio de 25 golpes uniformes da haste de adensamento. Posteriormente, o recipiente foi preenchido até atingir dois terços de sua capacidade total, e o adensamento foi realizado novamente, tomando cuidado para não perturbar a camada inferior. Por fim, o recipiente foi completamente preenchido, e um adensamento adicional foi realizado. A camada superficial do agregado foi então nivelada utilizando a barra de adensamento e a massa do recipiente completo de agregado compactado foi aferida (17.910,80 g). Este procedimento assegura uma distribuição uniforme e consistente do agregado dentro do recipiente.

Já para determinar a massa unitária do material solto de agregado miúdo, foi empregado o método C, conforme estabelecido pela norma. A massa do recipiente vazio já havia sido registrada previamente. As etapas subsequentes envolveram o preenchimento do recipiente com o material, utilizando uma pá para despejar o agregado a uma altura inferior a 50 mm da borda do recipiente, a fim de evitar a segregação. Posteriormente, a camada superficial do agregado foi nivelada com a borda superior do recipiente. Finalmente, a massa do recipiente cheio foi registrada (16.767,80 g). Para a determinação das massas unitárias foram utilizados a Equação (2).

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (2)$$

Onde:

$\rho_{ap}$  é a massa unitária do agregado (kg/m<sup>3</sup>)

$m_{ar}$  é a massa do recipiente mais o agregado (kg)

$m_r$  é massa do recipiente vazio (kg)

V é o volume do recipiente (m<sup>3</sup>)

### 3.2.2. Etapa 1 - Aditivo

O aditivo empregado neste estudo foi o plastificante da marca Quartzolit (Figura 5). Este é um aditivo incorporador de ar com propriedades plastificantes, formulado à base de surfactantes. Sua aplicação é destinada a otimizar a trabalhabilidade e incrementar a durabilidade das argamassas de assentamento e revestimento. A escolha deste aditivo visou alcançar uma trabalhabilidade que se enquadra no intervalo arbitrado para esta pesquisa, mesmo consentido que, por ser um aditivo incorporador de ar a sua utilização em uma argamassa tende a aumentar a sua porosidade aparente, absorção de água e conseqüentemente reduzir a sua resistência à compressão. Para a determinação da dosagem do referido produto, foram adotadas as orientações prescritas pelo fabricante, que estabelece uma dosagem de 0,2% do produto em relação ao peso do cimento.

Figura 5 - Aditivo plastificante



Fonte: Autor (2024)

### 3.2.3. Etapa 1 - Água

A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento da concessionária local, Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A (Embasa), para a produção das argamassas.

### 3.2.4. Etapa 1 - Estudo da relação água cimento na produção de argamassa

Nesta investigação experimental, estabeleceu-se uma relação água/cimento média de 0,7, na qual a composição da mistura consistia em 210g de água para 300g de cimento. A partir dessa quantidade de água, foram definidos dois traços adicionais, um com um acréscimo de 20% de água e outro com uma redução de 20% de água. Estas variações foram implementadas com o objetivo de explorar o impacto dessas alterações na performance da mistura argamassada.

Conseqüentemente, a quantidade de água, um elemento que exerce influência direta na

consistência e resistência da argamassa, foi submetida a variações. Os índices de consistência, para fins experimentais, das argamassas produzidas serão estabelecidos em um intervalo de 200mm a 280mm. Para manter a consistência da argamassa dentro dos limites estipulados, foi empregado aditivo plastificante, seguindo as proporções sugeridas pelo fabricante. Esta estratégia buscou garantir a manutenção das propriedades desejadas da argamassa.

O traço utilizado foi 1:5, em massa, variando apenas a quantidade de água na mistura além do tipo de cimento utilizado na argamassa. Visto que não há normativa brasileira para determinação de um traço específico para argamassa de assentamento, este traço foi determinado baseando-se nas argamassas para assentamento produzidas para alvenaria da construção de um edifício localizado na cidade de Barreiras – BA.

As Tabelas 7 a 9 detalham os materiais para a produção de argamassas, usadas na moldagem de quatro corpos de prova de Ø 5x10 cm. O aglomerante utilizado nessas tabelas é o CPV – ARI.

Tabela 7 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,56 utilizando o cimento CPV – ARI

Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI)	300
Areia	1500
Aditivo	0,6
Água	168
Relação água cimento (a/c)	0,56
Massa	1968,6

Fonte: Autor (2024)

Tabela 8 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,70 utilizando o cimento CPV – ARI

Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI)	300
Areia	1500
Aditivo	0,6
Água	210
Relação água cimento (a/c)	0,7
Massa	2010,6

Fonte: Autor (2024)

Tabela 9 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,84 utilizando o cimento CPV – ARI

Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI)	300
Areia	1500
Aditivo	0,6
Água	252
Relação água cimento (a/c)	0,84
Massa	2052,6

Fonte: Autor (2024)

Nas Tabelas 10 a 12, o aglomerante é o CII – F32, porém a proporção de mistura se manteve a mesma estabelecida para o CPV–ARI.

Tabela 10 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,56 utilizando o cimento CII – F32

Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland Composto (CP II – F32)	300
Areia	1500
Aditivo	0,6
Água	168
Relação água cimento (a/c)	0,56
Massa	1968,6

Fonte: Autor (2024)

Tabela 11 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,7 utilizando o cimento CII – F32

Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland Composto (CP II – F32)	300
Areia	1500
Aditivo	0,6
Água	210
Relação água cimento (a/c)	0,7
Massa	2010,6

Fonte: Autor (2024)

Tabela 12 - Proporção de mistura com relação a/c igual a 0,84 utilizando o cimento CII – F32

Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland Composto (CP II – F32)	300
Areia	1500
Aditivo	0,6
Água	252
Relação água cimento (a/c)	0,82
Massa	2052,6

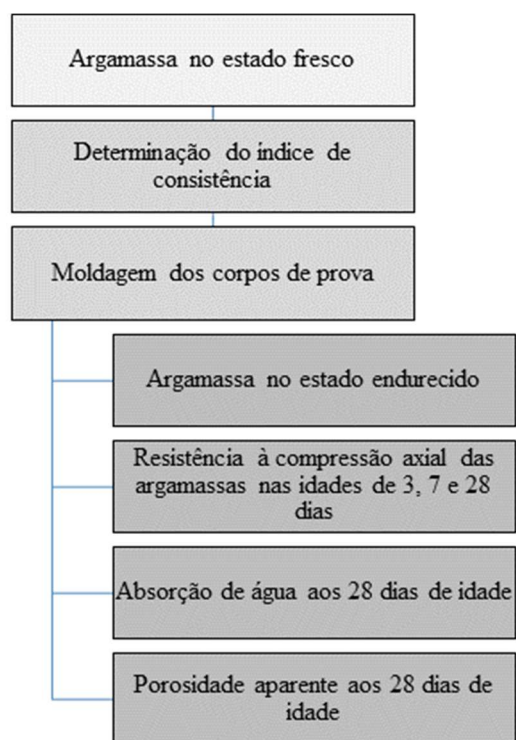
Fonte: Autor (2024)

Nesta etapa, foi realizada a mistura de argamassa para a execução de ensaios em seu estado fresco. Posteriormente, essa mistura foi utilizada para moldar corpos de prova e verificar suas características no estado endurecido.

### 3.2.5. Etapa 1 - Execução da mistura de argamassa

Nesta fase, procedeu-se ao planejamento experimental para a produção de argamassa, seguido pelos ensaios propostos para a mesma. Todas estas etapas estão delineadas no fluxograma apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma do planejamento experimental para execução dos ensaios das argamassas



Fonte: Autor (2024)

Para a execução da mistura da argamassa foram seguidos, com algumas exceções, os procedimentos estabelecidos no item 5.2.1 da ABNT NBR 16541:2016 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios.

Inicialmente foi realizado a pesagem das materiais primas (Figura 7) para assegurar o que foi estabelecido nas tabelas de proporções de mistura (Tabela 7 a Tabela 12) para o cimento, areia, aditivo e água.

Figura 7 - Pesagem das matérias primas na produção das argamassas



Fonte: Autor (2024)

Após esse procedimento de aferição das massas, foi realizada a mistura mecânica através de uma argamassadeira automática do tipo AMC, com velocidade indicada pela norma (Figura 8).

Figura 8 - Mistura da argamassa no misturador mecânico



Fonte: Autor (2024)

### 3.2.6. Etapa 2 - Índice de consistência.

Para a determinação do índice de consistência foram seguidos os critérios do item 5.3 da norma ABNT NBR 13276:2016 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência de consistência (Figura 9). É importante enfatizar que, no âmbito deste estudo, foi examinada uma gama de índices de consistência de 200 mm à 280 mm. Observou-se que a consistência do produto exibe uma alteração proporcional em resposta à variação na quantidade de água incorporada na mistura de argamassa.

Figura 9 - Determinação do índice de consistência da argamassa



Fonte: Autor (2024)

### 3.2.7. Etapa 2 - Moldagem, identificação e cura das argamassas

Após a execução da mistura e a aferição do índice de consistência da argamassa, a mistura foi recolhida da mesa de fluidez e imediatamente, sem tempo para ficar em repouso, foi utilizada para moldar os corpos de prova (Figura 10). Nesta fase, para fins experimentais, optou-se por utilizar corpos de prova cilíndricos com dimensões  $\varnothing 5 \times 10$  cm em vez dos corpos de prova prismáticos 4 cm x 4 cm x 16 cm.

A escolha dos corpos de prova cilíndricos pode ser justificada pela familiaridade do autor com este formato de corpo de prova, visto que foi objeto de estudo tanto na sua graduação quanto no projeto de iniciação científica cujo mesmo participou, sendo assim, pode contribuir para uma manipulação mais eficiente e precisa durante os experimentos.

Figura 10 - Moldagem corpo de prova cilíndrico



Fonte: Autor (2024)

Além de que, a consistência na utilização do mesmo formato de corpo de prova ao longo de diferentes experimentos pode ajudar a garantir a comparabilidade dos resultados. Portanto, a escolha de corpos de prova cilíndricos é fundamentada em considerações práticas. Em função disso as moldagens dos corpos de prova (Figura10) foram feitas seguindo os critérios estabelecidos pelo item 3.5.3 da NBR 7215 (ABNT ,2019).

Foram moldados 4 (quatro) corpos de prova para cada idade de ensaio (3, 7 e 28 dias), para cada relação água/cimento e para cada tipo de cimento, totalizando assim 72 corpos de prova para a realização do ensaio de resistência à compressão axial das argamassas e mais 18 corpos de provas, 3 (três) para cada relação água/cimento e para cada tipo de cimento, para a realização dos ensaios de absorção de água e de porosidade aparente aos 28 dias de idade, totalizando 90 corpos de prova.

As misturas de argamassa após a moldagem foram postas em repouso por um período de 24 horas, em moldes cobertos por uma película plástica protegendo-os de um eventual gotejamento, em temperatura ambiente (Figura 11).

Figura 11 - Corpos de prova em repouso



Fonte: Autor (2024)

Após esse intervalo, as amostras foram removidas dos moldes identificadas e submetidas a um processo de cura submersa em água saturada com cal (Figura 12). Sendo essas, as amostras utilizadas nos estudos para os ensaios das propriedades de resistência à compressão axial, absorção de água e porosidade aparente.

Figura 12 - Identificação dos corpos de provas e cura submersa



Fonte: Autor (2024)

### 3.2.8. Etapa 2 - Propriedades físicas e mecânica das argamassas

#### Resistência à compressão axial das argamassas

Nas idades pré-estabelecidas (3, 7 e 28 dias) os 4 corpos de provas cilíndricos de cada traço de argamassa serão retirados da cura submersa e imediatamente levados para o rompimento em uma máquina universal da marca EMIC modelo DL (Figura 13) localizado no laboratório de construção civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia. Sendo a velocidade de carregamento de 0,05 MPa/s, adaptado da NBR 7215 (ABNT ,2019).

Figura 13 - Máquina universal da marca EMIC, modelo DL 30000



Fonte: Autor (2024)

Para a obtenção de um melhor resultado dos ensaios foi utilizado dois pratos de aço equipados com discos de neoprene de dureza shore 70 reduzindo assim as imperfeições da superfície dos corpos-de-prova (Figura 14). A deformação diferencial do disco de neoprene, resultante das irregularidades do corpo de prova, irá contribuir para uma melhor e mais uniforme distribuição da carga na área de carregamento, além de compensar pequenas inclinações na superfície do topo do corpo de prova.

Figura 14 - Ruptura do corpo de prova com pratos metálicos e discos de neoprene shore 70



Fonte: Autor (2024)

A resistência à compressão ( $f_c$ ), em MPa, de cada corpo de prova será determinado dividindo a força de ruptura ( $F$ ) pela área nominal da seção do corpo de prova ( $A_s$ ), conforme a Equação (3)

$$f_c = \frac{F}{A_s} \quad (3)$$

Onde:

$f_c$  é a resistência à compressão (MPa);

$F$  é a força de ruptura (N);

$A_s$  é área nominal da seção do corpo de prova (mm).

Absorção de água (AA)

Este experimento foi conduzido com corpos de prova com 28 dias de idade. No total, foram ensaiados três corpos de prova para cada relação água/cimento e para cada tipo de cimento, resultando em um conjunto de 18 corpos de prova.

A determinação da absorção de água dos corpos-de-prova e da porosidade seguiu os procedimentos da NBR 9778 (ABNT, 2005), adaptando algumas etapas em virtude da indisponibilidade de equipamentos laboratoriais compatíveis. Cada amostra constitui de um

corpo de prova de 5 x 10 cm, cumprindo assim a quantidade mínima de material estabelecida pela norma. As amostras foram secas em estufa à temperatura de 105 °C por um período de 24 horas para realizar a determinação da massa de amostra seca ( $p_s$ ) (Figura 15).

Figura 15 - Secagem dos corpos de provas em estufa a 105 °C



Fonte: Autor (2024)

Posteriormente as amostras foram imergidas em água à temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C por um período de 24 horas. Completando a etapa de saturação em água, foram determinadas as massas dos corpos de prova submerso em água com auxílio de balança hidrostática ( $m_i$ ) (Figura 16).

Figura 16 - Pesagem dos CP's submerso em balança hidrostática



Fonte: Autor (2024)

Em seguida, após a remoção das amostras da água e remoção do excesso de água superficial, foi realizado a pesagem para a determinação da massa saturada ( $p_u$ ) (Figura 17).

Figura 17 - Determinação da massa saturada



Fonte: Autor (2024)

O valor da absorção de água (AA) em porcentagem (%) foi obtido segundo a Equação (4).

$$AA = \frac{(p_u - p_s) \times 100}{p_s} \quad (4)$$

Onde:

AA é a absorção de água (%);

$p_u$  = massa do corpo de prova saturado de água (g);

$p_s$  = massa do corpo de prova seco (g).

Porosidade aparente (PA)

Para a determinação da porosidade aparente (PA) das amostras de argamassas foi utilizada a massa da amostra submersa ( $p_i$ ). Após a coleta desse parâmetro houve a sua aplicação na equação (5), adaptada da NBR 9778 (ABNT, 2005):

$$PA = \frac{(p_u - p_s) \times 100}{p_u - p_i} \quad (5)$$

Onde:

PA é a porosidade aparente (%);

$p_i$  = massa da amostra submersa em água (g).

Os resultados referentes às propriedades físicas e mecânicas das argamassas, após 28 dias de cura, foram submetidos a análise estatística utilizando o software STATISTICA V.10.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

Conforme sustentado neste estudo, os insumos empregados na elaboração de argamassas englobam aglomerantes, agregados e água. Devido à escassez de alternativas viáveis para a substituição dos itens necessários à fabricação da referida mistura, torna-se crucial que seja efetuada, previamente à sua produção, uma pesquisa que objetive a caracterização da matéria-prima utilizada. Nesta seção, serão coletadas as especificações dos aglomerantes junto ao fabricante, mais especificamente o cimento Portland de alta resistência inicial – CPV–ARI e o cimento Portland composto com material carbonático CPII–F32, bem como a caracterização do agregado miúdo.

#### 4.1.1. Cimento Portland

Nas tabelas 13 e 14 estão apresentados os limites aceitáveis dos ensaios físicos do cimento Portland de alta resistência inicial e do cimento Portland composto com material carbonático da marca CIPLAN.

Tabela 13 - Propriedades do cimento Portland CPV-ARI

CPV-ARI ENSAIOS FÍSICOS	Especificações ABNT	
	Quantidade	Normas
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	>3000	NBR NM 76
Tempo de início de pega (h:min)	>1	NBR NM 65
Tempo de fim de pega (h:min)	<10	NBR NM 65
Finura na peneira # 200 (%)	<6,0	NBR 11579
Expansibilidade a quente (mm)	<5,0	NBR 11582
Resistência à compressão 1 dia (MPa)	>14,0	NBR 7215
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	>24,0	NBR 7215
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	>34,0	NBR 7215

Fonte: Adaptado cimento.org (2023)

Tabela 14 - Propriedades do cimento Portland composto CPII-F

CP II-F32	Especificações ABNT	
ENSAIOS FÍSICOS	Quantidade	Normas
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	>2600	NBR NM 76
Tempo de início de pega (h:min)	>1	NBR NM 65
Tempo de fim de pega (h:min)	<10	NBR NM 65
Finura na peneira # 200 (%)	<12,0	NBR 11579
Expansibilidade a quente (mm)	<5,0	NBR 11582
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	>10,0	NBR 7215
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	>20,0	NBR 7215
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	>32,0	NBR 7215

Fonte: Adaptado cimento org (2023)

De acordo com as fichas de informações dos produtos fornecida pela fabricante dos cimentos em uso (CIPLAN), a massa específica absoluta, dos dois tipos de cimento, está entre 2,8 e 3,2 g/cm<sup>3</sup> enquanto a massa unitária está entre 0,9 e 1,2 g/cm<sup>3</sup>. Para efeito de cálculo dos traços, será utilizado as massas específicas como sendo 3,1 g/cm<sup>3</sup> e massa unitária com 1,2g/cm<sup>3</sup>, tanto para o CPV – ARI quanto para o CPII – F32.

#### 4.1.2. Agregado miúdo

Na Tabela 15 estão dispostos os dados obtidos a partir dos ensaios realizados com o agregado miúdo.

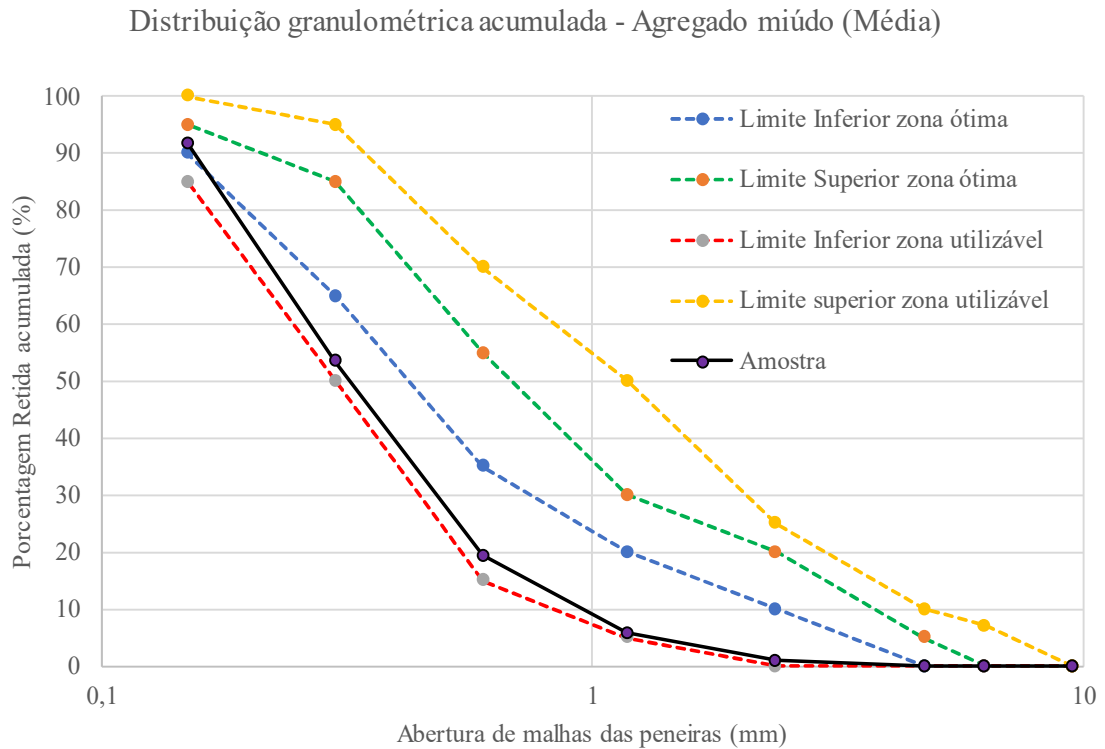
Tabela 15 - Granulometria do agregado miúdo

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Massa retida acumulada (%)		Média retida acumulada (%)
	Amostra	Amostra	Amostra	Amostra	Amostra	Amostra	
	1	2	1	2	1	2	
4,75	-	-	0	0	0	0	0
2,36	2,5	3	0,81	0,97	0,81	0,97	0,89
1,18	15,50	15,20	5,01	4,90	5,81	5,87	5,84
0,60	42,50	41,70	13,73	13,44	19,54	19,31	19,43
0,30	105,30	106,10	34,01	34,20	53,55	53,51	53,53
0,15	118,20	119,30	38,18	38,46	91,73	91,97	91,85
Fundo	25,60	24,90	8,27	8,03	100,00	100,00	100,00
Somatório	309,60	310,20	100,00	100,00	-	-	-
Perda (%)	0,26	0,13					
Módulo de finura			1,71				
Dimensão máxima característica (mm)			2,36				

Fonte: Autor (2023)

A partir dos dados obtidos na Tabela 15 e utilizando os limites da distribuição granulométrica disponíveis na NBR 7211 (ABNT, 2009), Tabela 2, podemos avaliar com a granulometria da areia obtida se a areia estaria dentro das zonas utilizáveis. A Figura 18 representa a distribuição granulométrica dos limites das zonas utilizáveis e ótima, assim como a da média das amostras de agregado miúdo, como pode-se observar.

Figura 18- Representação gráfica da distribuição granulométrica acumulada agregado miúdo (média das amostras)



Fonte: Autor (2023)

O fato de que a areia ensaiada (cor preta) está acima do limite inferior da zona utilizável, o que implica, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2019), tratar-se de uma areia fina, porém utilizável, o que se confirma pelo módulo de finura encontrado pela média das amostras, tal que o Módulo de Finura é igual a 1,71, o qual é enquadrado na zona utilizável inferior (1,55 – 2,20). Em relação a dimensão máxima característica desse agregado é de 2,36mm.

A massa específica do agregado miúdo utilizado foi determinada seguindo os procedimentos descritos no item 3.2.1 obtendo assim uma massa específica de 2,62g/cm<sup>3</sup>. E, de acordo com o mesmo item, a massa unitária solta e massa unitária compactada foram definidas aplicando os resultados obtidos na Equação (2), sendo esses respectivamente:

$$\rho_{ap} \text{ (solto)} = 1,57 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{ap} \text{ (compactado)} = 1,68 \text{ g/cm}^3$$

#### 4.2. ETAPA 1 - DOSAGEM

Os traços unitários, foram calculados a partir das proporções de misturas dispostos no subitem 3.2.4. Nas

Tabela 16 e Tabela 17 estão dispostos os traços em massa, da mistura utilizando os dois tipos de aglomerantes. Além das proporções de mistura mencionadas, para obter uma consistência de argamassa dentro dos limites estabelecidos nesta pesquisa, utilizamos o aditivo plastificante da marca Quartzolit na proporção de 0,2% da massa do cimento.

Tabela 16 - Traço unitário em massa para o cimento CP V - ARI

	Cimento	Areia	Água
	1	5	0,56
Traço unitário	1	5	0,7
	1	5	0,84

Fonte: Autor (2024)

Tabela 17 - Traço unitário em massa para o cimento CP II- F32

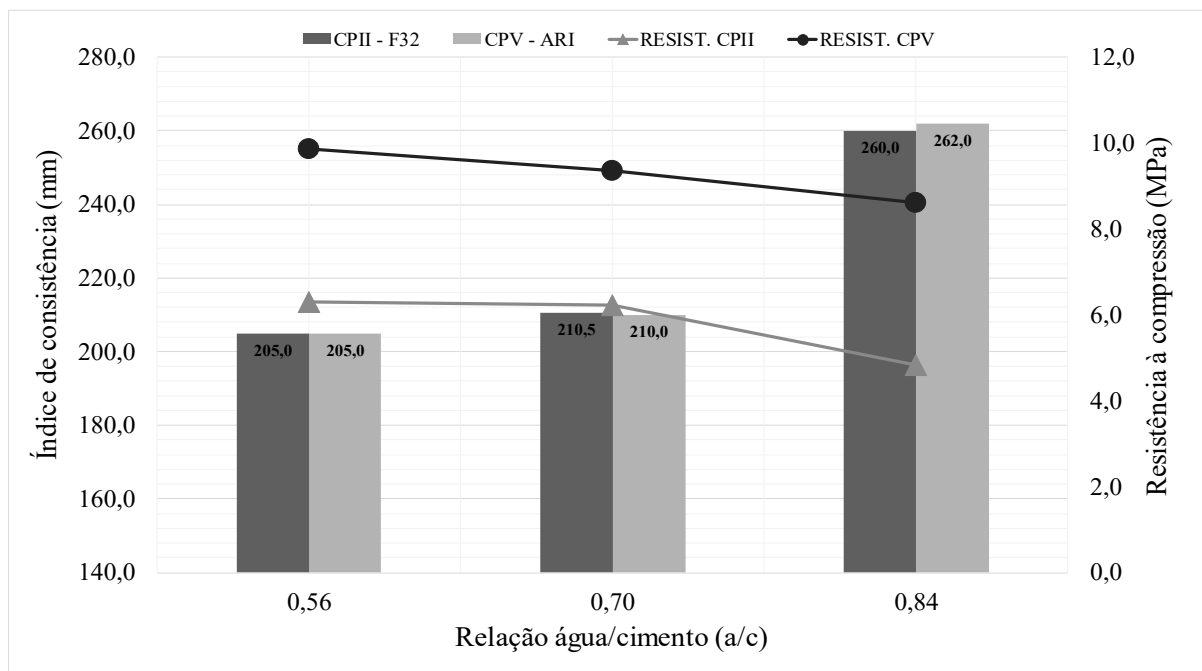
	Cimento	Areia	Água
	1	5	0,56
Traço unitário	1	5	0,7
	1	5	0,84

Fonte: Autor (2024)

#### 4.3. ETAPA 2 - ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

Os dados coletados, com a variação do índice de consistência, estão apresentados na Figura 19. Conforme antecipado na hipótese inicial do estudo, observou-se uma correlação direta entre o índice de consistência das argamassas analisadas e a quantidade de água incorporada nas misturas, porém, como ficou perceptível, a alteração no tipo de cimento não influenciou significativamente essa propriedade.

Figura 19 - Representação gráfica do índice de consistência das argamassas estudadas em relação a resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Autor (2024)

Em relação ao incremento de água de 20% sobre o traço referência houve uma elevação de 24% e 25% do índice de consistência para o CII e CPV respectivamente. Já em relação a retirada de água na mesma proporção da mistura houve um decréscimo de 3% e 2% na consistência das argamassas produzidas a partir do CII e CPV respectivamente.

Este fenômeno pode ser atribuído à natureza intrínseca das argamassas, onde a adição de água atua como um agente de ligação do aglomerante com os outros componentes da argamassa, aumentando a sua fluidez. Este aumento na fluidez é quantificado pelo índice de consistência, que, como observado, aumenta proporcionalmente com a adição de água.

Adicionalmente, torna-se evidente uma outra correlação, anteriormente prevista, entre o índice de consistência e a resistência à compressão das argamassas. Observa-se que, com o aumento da relação água/cimento, ocorre um incremento no índice de consistência da argamassa e uma redução significativa na sua resistência à compressão.

A análise detalhada dos resultados obtidos reforça a validade destas correlações observadas. Aumentos incrementais na quantidade de água resultaram em aumentos correspondentes no índice de consistência e redução na resistência à compressão, confirmando a hipótese inicial.

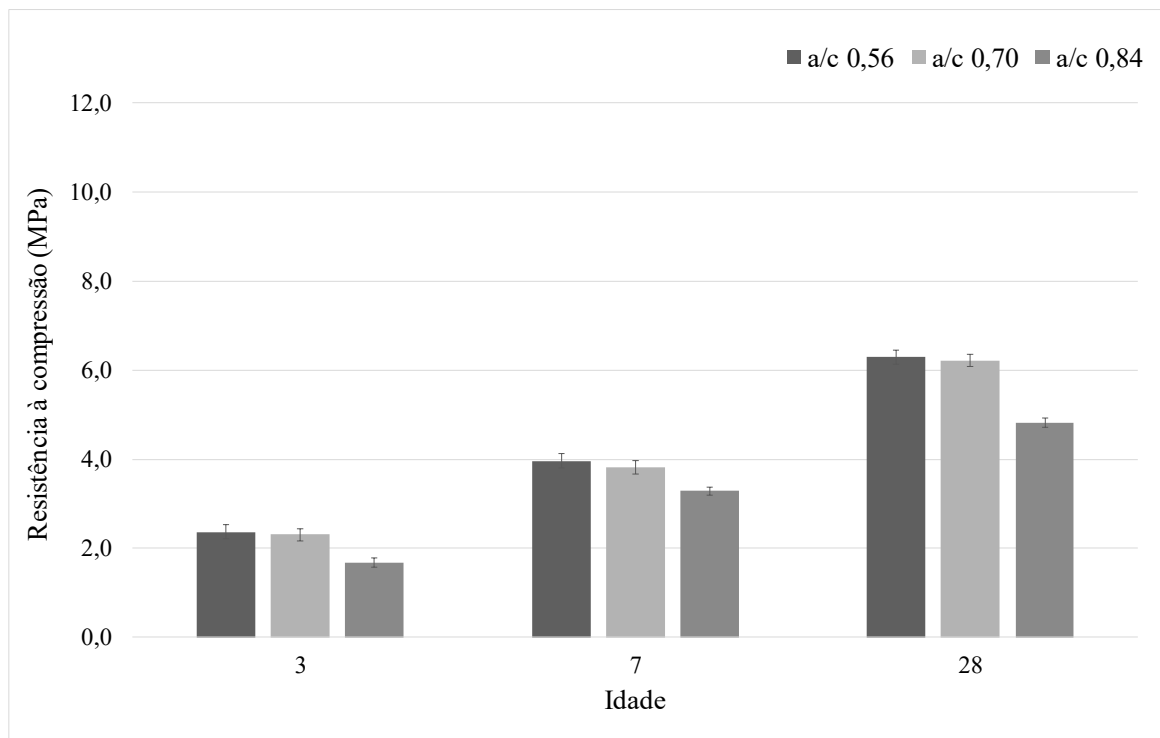
#### 4.4. ETAPA 2 - ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

As propriedades físicas e mecânicas das argamassas avaliadas foram Resistência à compressão (Fc), Absorção de Água (AA) e Porosidade Aparente (PA). A partir dos resultados das argamassas, aos 28 dias de idade, foram feitas análises estatísticas (Análise de Variância - ANOVA e teste de Tukey) com o auxílio do programa Statistica.

#### 4.4.1. Resistência a compressão

A Figura 20 apresenta os dados de resistência à compressão das argamassas utilizando o cimento CPII.

Figura 20 - Resistência à compressão das argamassas com cimento CPII



Fonte: Autor (2024)

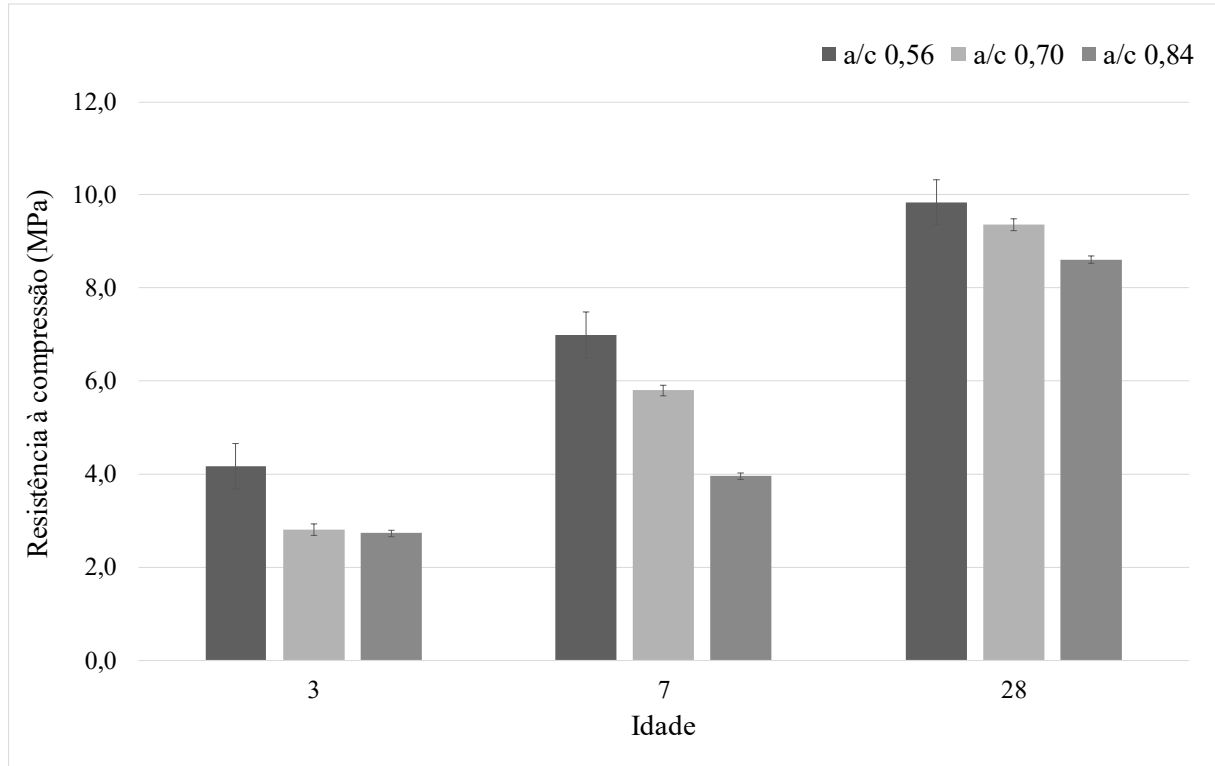
Conforme antecipado, as argamassas formuladas com cimento do tipo CPII exibiram uma resistência inicial reduzida durante os primeiros dias de cura. Este fenômeno pode ser atribuído à natureza do cimento CPII, que é conhecido por sua taxa de hidratação relativamente lenta. Durante este período inicial, a matriz de cimento ainda está em processo de endurecimento e ganhando força.

Contudo, após o período de 28 dias, em comparação com a resistência inicial, registrou-se um aumento expressivo na resistência. Especificamente, observou-se um acréscimo de 166%, 170% e 187% na resistência para as relações água/cimento (a/c) de 0,56, 0,7 e 0,84, respectivamente. Este é um marco importante no ciclo de vida de uma argamassa de cimento,

pois é geralmente aceito na indústria da construção que a resistência à compressão de 28 dias é uma boa indicação do desempenho a longo prazo do material.

A outra argamassa produzida, cujo aglomerante foi o CPV, apresenta um maior ganho de resistência, tanto nas idades iniciais quanto na idade final de 28 dias, Figura 21.

Figura 21 - Resistência à compressão das argamassas com cimento CPV – ARI



Fonte: Autor (2024)

A partir da análise da Figura 21, é evidente uma resistência inicial elevada, corroborando as características intrínsecas do cimento CPV empregado, em contraste com o cimento CII. Além disso, ao atingir a marca de 28 dias, observa-se que houve um aumento de resistência de 136%, 233% e 215% para as relações água/cimento (a/c) de 0,56, 0,7 e 0,84 respectivamente se comparadas a mesma argamassa aos 3 dias de idade, indicando a eficácia do cimento CPV em manter e melhorar a resistência ao longo do tempo.

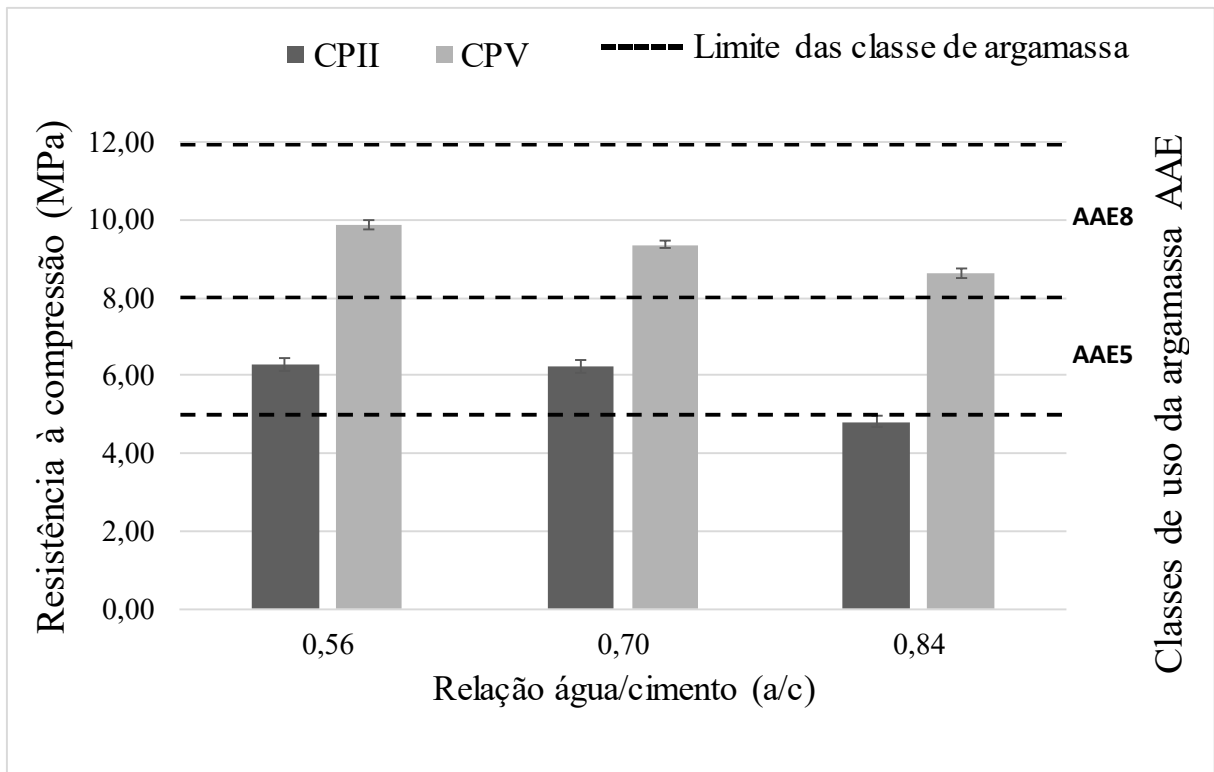
Analisando a Figura 20 e Figura 21, observa-se um aumento na resistência à compressão à medida que a relação água/cimento decresce, respondendo assim uma das hipóteses iniciais dessa pesquisa, é notável que, já aos 3 dias de idade, ao reduzir a relação a/c de 0,84 para 0,56 houve um ganho de resistência 41% para a argamassa produzida com CII e de 52% para argamassa produzida com CPV. Adicionalmente, constata-se uma resistência superior na argamassa produzida com o uso do cimento Portland de alta resistência inicial, fator esse que é o esperado, visto que o cimento CPV – ARI proporciona alta resistência já nos seus primeiros

dias de aplicação, essa peculiaridade pode ser explicado, segundo o fabricante CIPLAN, por esse cimento se tratar de um produto mais nobre dentre as suas opções de cimento, sendo que a sua resistência inicial é proporcionada pelo balanceamento das matérias primas selecionadas. Outro fator que pode influenciar no seu alto ganho de resistência é o seu grau de pureza, visto que ele possui menos adições minerais que o CII – F32. Aos 28 dias, utilizando o traço referência com a/c 0,7 é observado uma elevação de 50% na resistência a compressão das argamassas produzidas com CPV em relação as produzidas com CII.

Logo, foi possível verificar que as argamassas com cimento CPV aos 28 dias apresentaram resistência à compressão média superior em relação as argamassas com cimento CII, se comparado as mesmas relações (a/c). Essas observações foram estatisticamente significativas, conforme evidenciado pelo teste t ( $p < 0,05$ ). A análise de variância (ANOVA) encontra-se no Quadro 3 (APÊNDICE C - TESTES ANOVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DAS ARGAMASSAS COM CIMENTO CII E CPV) e o testes Tukey no Quadro 4 (APÊNDICE C - TESTES ANOVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DAS ARGAMASSAS COM CIMENTO CII E CPV) sendo significativamente influenciada pela relação água cimento e tipo de cimento, porém a interatividade entre cimento e relação água/cimento não foram significativos.

Por meio da resistência à compressão aos 28 dias de idade foi possível classificar as classes de uso das argamassas produzidas, de acordo com a NBR 13281 – 2 (ABNT, 2023), Figura 22.

Figura 22 - Classes de uso da argamassa inorgânica AAE (NBR 13281-2)



Fonte: Autor (2024)

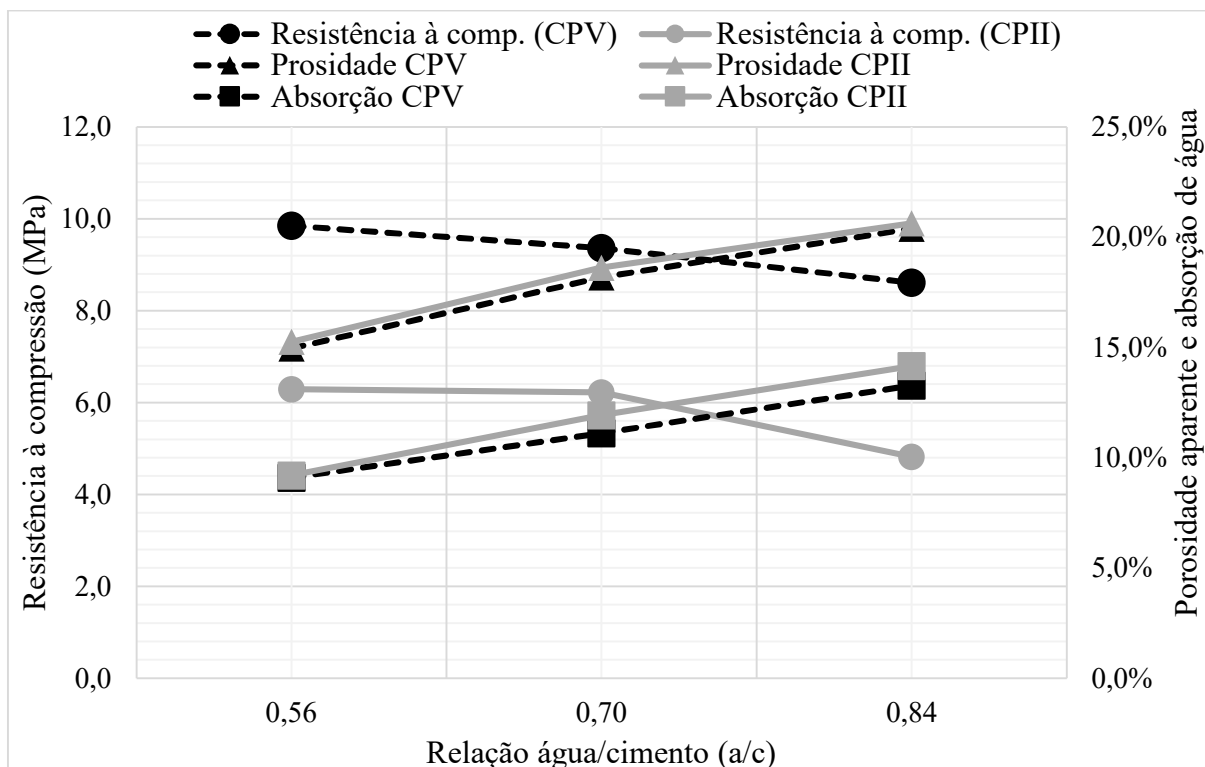
Na Figura 22 foi possível verificar as categorias de uso das argamassas analisadas. As argamassas produzidas com o cimento CII, com relação água/cimento de 0,56 e 0,7, foram classificadas como argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria estrutural - AAE5. Por outro lado, as argamassas produzidas com cimento CPV-ARI foram classificadas como AAE8. No entanto, a argamassa produzida com CII e relação água/cimento de 0,84 não atendeu aos critérios mínimos para ser classificada como AAE.

Os dados para a confecção da Figura 22 encontra-se no Quadro 1 (APÊNDICE A). E, por meio da análise deste quadro, é perceptível que houve uma variação mínima entre as amostras de um mesmo traço nos ensaios realizados, o que indica uma padronização dos métodos de ensaio.

#### 4.4.2. Absorção de água e porosidade

A Figura 23 apresenta os resultados dos ensaios de absorção de água e porosidade aparente das argamassas estudadas e um comparativo com a resistência à compressão das respectivas argamassas.

Figura 23 - Porosidade e absorção de água aos 28 dias de idade.



Fonte: Autor (2024)

Os resultados indicaram que as argamassas compostas pelo cimento CPII apresentaram valores superiores de absorção de água e porosidade aparente quando comparadas às argamassas que empregaram o cimento CPV. Adicionalmente, foi observada uma correlação positiva entre a relação água-cimento e os índices de absorção de água e porosidade. Conforme a relação água-cimento aumentava, constatou-se um incremento proporcional tanto na absorção de água quanto na porosidade. Essas observações foram estatisticamente significativas, conforme evidenciado pelo teste t ( $p < 0,05$ ) (Figura 23). A análise de variância (ANOVA) da absorção de água encontra-se no Quadro 5 (APÊNDICE C) e o teste Tukey no Quadro 6 (APÊNDICE C) sendo significativamente influenciada tanto pelo tipo de cimento quanto pela relação água cimento assim como a interação entre as duas variáveis.

Enquanto a análise para porosidade aparente encontra-se Quadro 7 (APÊNDICE C) e o teste Tukey no Quadro 8 (APÊNDICE C) sendo significativamente influenciada tanto pelo tipo de cimento quanto pela relação água cimento, porém a interatividade entre cimento e relação água/cimento não foram significativos.

Com base na análise dos dados, é possível observar que as argamassas produzidas com o cimento CPII-F apresentaram características distintas em relação àquelas produzidas com outros tipos de cimento. Notadamente, a argamassa feita com o cimento CPII-F demonstra uma

maior absorção de água. Este fenômeno pode ser atribuído à estrutura porosa do material, que permite a infiltração de água em seus interstícios.

A absorção de água é um fator crucial na determinação das propriedades de uma argamassa. Uma maior absorção de água pode resultar em uma maior porosidade, o que pode afetar a resistência e a durabilidade do material. Neste caso, a argamassa produzida com o cimento CII – F apresentou uma maior porosidade em comparação com a mistura feita utilizando o CPV. E conseqüentemente por apresentar uma maior porosidade essa argamassa proporcionou uma menor resistência a compressão aos 28 dias. Os dados para a formulação do gráfico da Figura 23 se encontram no Quadro 2 (APÊNDICE B).

## CONCLUSÃO

A pesquisa proposta para esse trabalho foi concebida de maneira a desenvolver novos conhecimentos das propriedades e classificação das argamassas de assentamento de unidades de alvenaria estrutural, seguindo os critérios estabelecidos pela norma a NBR 13281 – 2 (ABNT, 2023), variando nos ensaios os tipos de cimentos utilizados e a relação água cimento da mistura

. As conclusões apresentadas a seguir referem-se aos resultados obtidos dos ensaios realizados com os cimentos CPV e CII, e com as diferentes relações água cimento

### **Índice de consistência:**

Nesse estudo, foi obtido como resultado que a incorporação de água na argamassa inorgânica AAE influencia diretamente o seu índice de consistência, sendo que quanto mais água estiver na mistura maior será o índice de consistência, sendo o inverso verdadeiro também, porém é notado que o tipo de cimento não exerce grande influência na consistência das argamassas estudadas.

Verificou-se que o índice de consistência houve uma pequena variação se comparar aquele coletado das argamassas produzidas com CII para aquelas com CPV, porém se o comparativo for entre a relação água cimento de uma mesma argamassa, da menor relação (0,56) com a maior (0,84) é possível constatar um crescimento de aproximadamente  $27\% \pm 1\%$  a medida que a quantidade de água na mistura aumenta, tanto para o CII quanto para o CPV.

### **Resistência à compressão:**

Como especulado nas hipóteses dessa pesquisa, houve um ganho de resistência a medida que a relação água cimento diminuía, além de que as argamassas produzidas com CPV – ARI apresentaram uma maior resistência à compressão tanto nas idades iniciais quanto aos 28 dias se comparada com as argamassas produzidas com o CII – F.

À argamassa com a relação a/c de referência (0,7), a mistura produzida com CPV – ARI apresentou uma resistência à compressão média maior do que aquelas produzidas com CII, tanto nas primeiras idades (3 e 7 dias) quanto na idade mais avançada (28 dias). Aos 28 dias, houve aproximadamente 50% a mais de resistência à compressão; aos 7 dias, 52,22% a mais; e aos 3 dias, aproximadamente 22% a mais de resistência à compressão na argamassa produzida com o CPV – ARI em comparação com aquela cujo aglomerante é o CII - F.

Dentro das argamassas produzidas com CII – F, variando a quantidade de água da mistura, observou-se um ganho de resistência à compressão média em todas as idades à medida que a relação água-cimento diminuía. Aos 3 dias, houve um aumento de aproximadamente

40%; aos 7 dias, de aproximadamente 21%; e aos 28 dias, de aproximadamente 30%, sendo este um comparativo entre as argamassas produzidas com relação água cimento de 0,84 com as produzidas com relação  $a/c = 0,56$ .

Os resultados obtidos com o CPV – ARI assemelham-se aos da argamassa produzida com o CII. O padrão de aumento da resistência à compressão manteve-se à medida que a relação água-cimento diminuiu.

#### **Absorção de água e porosidade:**

Em relação a esses parâmetros, verificou-se que tanto a absorção de água quanto a porosidade das argamassas produzidas com o cimento CII foram maiores em comparação com as argamassas produzidas com o cimento CPV – ARI. Essa maior absorção de água resultou em uma maior porosidade e, conseqüentemente, em uma menor resistência à compressão.

A argamassa produzida com o cimento CII, utilizando uma relação água-cimento de 0,7, demonstrou uma absorção de água 7% maior e uma porosidade 2,4% superior em comparação com a argamassa produzida com o cimento CPV.

#### **Classificação das argamassas:**

Nesta classificação, as argamassas produzidas com o CII e com uma relação água/cimento ( $a/c$ ) igual a 0,56 e 0,70 foram classificadas como AAE5. No entanto, a argamassa com  $a/c$  igual a 0,84 não atingiu a resistência mínima necessária para ser classificada como argamassa para alvenaria estrutural. Por outro lado, todas as argamassas produzidas com CPV, independentemente da relação  $a/c$ , foram classificadas como AAE8.

Este estudo destacou a importância da caracterização adequada da areia e da definição precisa da relação água/cimento na produção de argamassas. Foi observado que a variação na quantidade de água e o tipo de cimento utilizado têm impactos significativos nas propriedades da argamassa, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. O cimento CPV - ARI, mesmo não sendo indicado para utilização em argamassas, demonstrara superioridade em termos de resistência à compressão se comparados com as argamassas produzidas com cimento CII. Além disso, a classificação das argamassas inorgânicas revelou que a escolha do cimento e a relação água/cimento são fatores determinantes para a adequação da argamassa a diferentes classes de uso. Portanto, a escolha cuidadosa dos materiais e a proporção correta na mistura são essenciais para otimizar o desempenho das argamassas.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, J., SEQUEIRA, C., COSTA, M. Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas. In: **1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC**, Lisboa. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. 1ª ed. Rio de Janeiro. 2006.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7215: cimento Portland: determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7217 Agregados- determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos–Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13281-1: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2023.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13281-2: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios, parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria**. Rio de Janeiro, 2023.
- \_\_\_\_\_. **NBR 14081-1: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos**. Rio de janeiro, 2012.
- \_\_\_\_\_. **NBR 14724: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação**. Rio de Janeiro, 2011.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação**. Rio de Janeiro, 2023.
- \_\_\_\_\_. **NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio Janeiro, 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 16826: Aditivos para argamassas inorgânicas - Definição, classificação e métodos de ensaio**, Rio de Janeiro, 2020.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5733:1991- Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991
- \_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto-especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7214: Areia normal para ensaios de cimento - Especificações**. Rio de Janeiro, 2015.

- \_\_\_\_\_. **NBR NM 248: Agregados-Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 52: Agregado Miúdo- Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7225: Materiais de pedra agregados naturais.** ABNT: Rio de Janeiro, 1993.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos–Determinação da absorção de água, índices de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 16697: Cimento Portland—Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.
- ALVES, N. S. D. **Argamassa de assentamento em blocos de concreto para alvenaria estrutural estudo de desempenho.** Belo Horizonte, 2018.
- BARBOSA, C. S. et al. **Estudo da influência da quantidade de água no tempo de pega em pastas e em argamassas estabilizadas.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, v. 13, p. 769-776, Goiânia, 2019.
- BAUER, F. L. A. **Materiais de construção: concreto, madeira, cerâmica, metais, plásticos, asfalto; novos materiais para construção civil.** 5ª edição, volume 1, LTC, Rio de Janeiro, 2008.
- BEZERRA, I. MT et al. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 639-645, 2011.
- BORGES, A. K. de S. M. et al. **Utilização de técnicas de fluorescência de raios-x e análise termodiferencial e termogravimétrica para caracterização de Cimentos Portland.** Campina Grande-PB, 2018.
- CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 2ªed. São Paulo, IBRACON, 2010. Vol.1. p. 893-943.
- CARVALHO, J. D. N. de. Sobre as origens e desenvolvimento de concreto. **Revista Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 95-112, 2008.
- CAVALHEIRO, O. P. **Curso internacional de alvenaria estrutural.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1997. 145p.
- CASTRO, A. L. de et al. **Caracterização de cimentos compostos com resíduo da indústria de cerâmica vermelha.** Cerâmica, v. 63, p. 65-76, 2017.

CIMENTO ORG. **Cimento org: o mundo do cimento**, c2014-2016. Disponível em: <<https://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial/>>. Acesso em: 13 de jun. de 2023.

CIMENTO ORG. **Cimento org: o mundo do cimento**, c2010-2016. Disponível em: <<https://cimento.org/cp-ii-f-32-cimento-portland-composto-com-filer/>>. Acesso em: 11 de jan de 2024.

CIPLAN. **CIPLAN: tradição construindo qualidade**, c2021. Disponível em: <<https://www.CIPLAN.com.br/produtos/cimento-extra-forte-industrial-cpv/>>. Acesso em: 13 de jun. de 2023.

DA COSTA, F. M. A.; DA SILVA, M. G. S. **Avaliação da influência de diferentes impermeabilizantes nas propriedades mecânicas e na absorção de água em argamassa de assentamento e revestimento**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FORTUNATO, M. et al. Estudo da substituição de cimento Portland pelo fino de britagem em argamassa autoadensável. **Revista Técnico-Científica**, 2019.

HAGEMANN, S. E. **Materiais de construção básicos**. Rio Grande do Sul: Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, 2011.

HERRERA, I. M. et al. **Evaluación de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención**. Revista Cubana de Ingeniería, v. 3, n. 2, p. 11-16, 2012.

ISAIA, G. C. et al. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.1 v. 1712 p.

KRAUCZUK, C. et al. **Análise do uso de diferentes teores de aditivo incorporador de ar em argamassas com vistas à sua colocação no mercado**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, v. 14, 2023.

LARA, L. A. M. **Materiais de construção**. IFMG, Ouro Preto, 2013.

MAGRI, C. H. R.; BERTON, R. **Efeito da redução do teor de cimento no desempenho de matrizes e compósitos cimentícios**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

MALAFAIA, Samuel Araújo Azevedo et al. **ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO COM INCORPORAÇÃO DA FIBRA DE MALVA**. 76º Congresso Anual da ABM – Internacional, parte integrante da ABM Week 7ª edição, São Paulo, 2023.

- MARTINS, BEN-HUR RAÍRA et al. **Influência do uso de aditivo incorporador de ar em argamassa autoadensável**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, v. 13, p. 571-580, Goiânia, 2019.
- MARVILA, M. T. et al. Interferência da relação água/cimento nas propriedades tecnológicas de argamassas no estado endurecido. In: **Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 63º, 2019, Bonito, MS.
- MEDEIROS, W. E. M. de et al. **Análise mecânica da argamassa para revestimento com a incorporação do detergente**. 2019. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal Rural do Semi-árido.
- MENDONÇA, A. M. G. D. et al. **Avaliação da absorção de água e índice de vazios de argamassas incorporadas com politereftalato de etileno**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 3, p. 26877-26887, 2021.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, IBRACON, 2008.
- MIGUEL, T. P.; ALEXANDRE, J. **Influência da granulometria da areia na aderência de argamassas colantes**. ABM WEEK, p. 2–9, 2018.
- MOTA, J. Á. R. **Influência da Junta Vertical na Resistência à Compressão de Prismas em Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto Celular Autoclavado**. (Mestrado - Dissertação), Escola de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, pg. 94, 2001.
- NETO, A.; PELUSO, E.; CARVALHO, V. **Alvenaria Estrutural: Empreendimento Flora Park II**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, p. 59, 2015.
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 5. Ed. São Paulo: Bookman, 2016, 912 p.
- OLIVEIRA, F. B. de. **Influência do tipo de cimento Portland na consistência de pastas cimentícias**. 2021. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal Rural do Semi-árido.
- OLIVEIRA, A. L. et al. **Influência do uso de aditivo retentor de água à base de éter de celulose nas propriedades das argamassas de assentamento em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Ambiente Construído, v. 15, p. 57-69. Porto Alegre, 2015.
- QUARCIONI, V. A. et al. **Caracterização da Porosidade de Argamassa Mista Endurecida de Cimento e Cal com Vistas à Durabilidade**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília, DF. Brasília, DF: PECC; ANTAC, 2001. p. 471-484.
- RECENA, F. A. PI. **Conhecendo argamassa - 2º Edição** – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

RODRIGUES, M. P. S. F. de F. **Argamassa de revestimento para alvenarias antigas: contribuição para o estudo da influência dos ligantes**. 2004. 523 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Campo Grande, 2004.

SANTOS NETO, Luiz Adão dos. **Avaliação do desempenho de argamassas com aditivo incorporador de ar para assentamento de blocos cerâmicos para alvenaria estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal Do Pampa, Alegrete, 2022.

SILVA, N. G. (2006) **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. Tese de Mestrado, UFPR. Sector de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

STANDARD, A. S. T. M. C128-15 (2015). **Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

STANDARD, A. S. T. M. C125-20 (2020) **Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates**. 2020.

STANDARD, A. S. T. M. C780-15a (2015) **Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry**. West Conshohocken. 2015.

TRISTÃO, Fernando Avancini et al. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VIEIRA, R. de S. **Estudo de argamassas industrializadas para assentamento de alvenaria estrutural de bloco de concreto**. Florianópolis-SC, 2020.



## APÊNDICE A – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS COM CIMENTO CPII E CPV

Quadro 1 - Dados referente à resistência a compressão das argamassas

		CPII - F			CPV - ARI		
a/c	Amostras	Dias					
		3	7	28	3	7	28
0,56	CP 01	2,36	3,89	6,02	4,23	7,04	9,46
	CP 02	2,39	3,94	6,29	4,31	7,49	10,82
	CP 03	2,35	4,07	6,57	3,98	6,46	9,27
Média		2,37	3,97	6,29	4,17	7,00	9,85
Desvio padrão amostral		0,02	0,09	0,28	0,17	0,52	0,85
Coeficiente de variância (%)		0,88	2,34	4,37	4,12	7,38	8,58
Erro padrão		0,01	0,05	0,16	0,10	0,30	0,49
0,7	CP 01	2,35	4,16	6,49	3,11	5,63	9,57
	CP 02	2,09	3,69	5,99	2,35	6	9,35
	CP 03	2,48	3,6	6,19	2,97	5,8	9,17
Média		2,31	3,82	6,22	2,81	5,81	9,36
Desvio padrão amostral		0,20	0,30	0,25	0,40	0,19	0,20
Coeficiente de variância (%)		8,61	7,88	4,04	14,39	3,19	2,14
Erro padrão		0,11	0,17	0,15	0,23	0,11	0,12
0,84	CP 01	1,69	3,25	4,73	3,51	3,93	8,59
	CP 02	1,55	3,42	4,72	2,5	4	8,5
	CP 03	1,81	3,19	5,02	2,2	3,95	8,74
Média		1,68	3,29	4,82	2,74	3,96	8,61
Desvio padrão amostral		0,13	0,12	0,17	0,69	0,04	0,12
Coeficiente de variância (%)		7,73	3,63	3,53	25,08	0,91	1,41
Erro padrão		0,08	0,07	0,10	0,40	0,02	0,07

Fonte: Autor (2024)

APÊNDICE B – ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE APARENTE DAS ARGAMASSAS COM CIMENTO CPII E CPV

Quadro 2 - Dados referente à absorção de água e porosidade das argamassas aos 28 dias de idade

a/c	Amostras	CPII - F32					CPV - ARI				
		Pu	Ps	mi	Absorção	Porosidade	Pu	Ps	mi	Absorção	Porosidade
0,56	CP 01	370	339,2	165,2	9,08%	15,04%	369,9	339,1	162,3	9,08%	14,84%
	CP 02	372,7	340,3	167,8	9,52%	15,81%	372,7	341,2	165,7	9,23%	15,22%
	CP 03	370,4	339,8	165,7	9,01%	14,95%	372,9	342,2	165,9	8,97%	14,83%
Média		371,03	339,77	166,23	9,20%	15,27%	371,83	340,83	164,63	9,10%	14,96%
Desvio padrão amostral		1,46	0,55	1,38	0,0028	0,0047	1,68	1,58	2,02	0,0013	0,0022
Coeficiente de variância (%)		0,39	0,16	0,83	3,03	3,11	0,45	0,46	1,23	1,44	1,48
Erro padrão		0,8413	0,3180	0,7965	0,0016	0,0027	0,9684	0,9135	1,1681	0,0008	0,0013
0,7	CP 01	364,7	325,3	155,2	12,11%	18,81%	369,9	332,7	166,6	11,18%	18,30%
	CP 02	366,3	327,6	157,8	11,81%	18,56%	367,8	330,8	165,2	11,19%	18,26%
	CP 03	367,6	328,6	157	11,87%	18,52%	368,4	331,9	165,8	11,00%	18,02%
Média		366,20	327,17	156,67	11,93%	18,63%	368,70	331,80	165,87	11,12%	18,19%
Desvio padrão amostral		1,45	1,69	1,33	0,0016	0,0016	1,08	0,95	0,70	0,0011	0,0015
Coeficiente de variância (%)		0,40	0,52	0,85	1,33	0,83	0,29	0,29	0,42	0,96	0,85
Erro padrão		0,8386	0,9770	0,7688	0,0009	0,0009	0,6245	0,5508	0,4055	0,0006	0,0009
0,84	CP 01	356,5	312,5	141,3	14,08%	20,45%	355,6	314,4	151,3	13,10%	20,17%
	CP 02	355,9	311,4	141,3	14,29%	20,74%	359,3	317	153	13,34%	20,50%
	CP 03	357,2	313	143,9	14,12%	20,72%	359,2	316,8	152,5	13,38%	20,51%
Média		356,53	312,30	142,17	14,16%	20,63%	358,03	316,07	152,27	13,28%	20,39%
Desvio padrão amostral		0,65	0,82	1,50	0,0011	0,0016	2,11	1,45	0,87	0,0015	0,0020
Coeficiente de variância (%)		0,18	0,26	1,06	0,79	0,79	0,59	0,46	0,57	1,14	0,97
Erro padrão		0,3756	0,4726	0,8667	0,0006	0,0009	1,2170	0,8353	0,5044	0,0009	0,0011

Fonte: Autor (2024)

## APÊNDICE C - TESTES ANOVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DAS ARGAMASSAS COM CIMENTO CPII E CPV

Quadro 3 - Teste ANOVA dos resultados Resistência à compressão das argamassas com cimento CPII e CPV aos 28 dias.

ARG. CPII	SS	GDL	MQ	F	P	Significativo
Inter.	1019,863	1	1019,863	6526,893	0,000000	S
Cimento	54,950	1	54,950	351,668	0,000000	S
(a/c)	6,145	2	3,073	19,665	0,000000	S
Cimento*(a/c)	0,322	2	0,161	1,031	0,386040	N. S
Erro	1,875	12	0,156			

SS: Soma dos quadrados, GDL: Graus de liberdade (n-1), MQ: média quadrada, F(calc): F: valor calculado, P: nível de significância, S: valor significativo, NS: valor não significativo, Se  $P < 5\%$  = efeito significativo.

Fonte: Autor (2024)

Quadro 4 - Teste de Tukey referente a Resistência à compressão das argamassas com cimento CPII e CPV aos 28 dias.

Resistência à compressão a 28 dias (MPa)				
Relação água/cimento (a/c)	Argamassa CPII		Argamassa CPV	
	Média	Teste de Tukey	Média	Teste de Tukey
0,84	4,823333	D	8,610000	B
0,70	6,223333	C	9,363333	A
0,56	6,293333	C	9,850000	A

Fonte: Autor (2024)

Quadro 5 - Teste ANOVA dos resultados da absorção de água das argamassas com cimento CPII e CPV aos 28 dias

ARG. CPII	SS	GDL	MQ	F	P	Significativo
Inter.	2366,117	1	2366,117	85114,41	0,000000	S
Cimento	1,626	1	1,626	58,49	0,000006	S
(a/c)	62,738	2	31,369	1128,41	0,000000	S
Cimento*(a/c)	0,554	2	0,277	9,97	0,002812	S
Erro	0,334	12	0,028			

SS: Soma dos quadrados, GDL: Graus de liberdade (n-1), MQ: média quadrada, F(calc): F: valor calculado, P: nível de significância, S: valor significativo, NS: valor não significativo, Se  $P < 5\%$  = efeito significativo.

Fonte: Autor (2024)

Quadro 6 - Teste de Tukey referente a absorção de água das argamassas com cimento CPII e CPV aos 28 dias.

Absorção de água aos 28 dias (%)				
Relação água/cimento (a/c)	Argamassa CPII		Argamassa CPV	
	Média	Teste de Tukey	Média	Teste de Tukey
0,56	9,20217	A	9,09545	A
0,70	11,93121	C	11,12118	B
0,84	14,16390	E	13,27734	D

Fonte: Autor (2024)

Quadro 7 - Teste ANOVA dos resultados da porosidade aparente das argamassas com cimento CPII e CPV aos 28 dias.

ARG. CII	SS	GDL	MQ	F	P	Significativo
Inter.	5840,478	1	5840,478	90273,95	0,000000	S
Cimento	0,482	1	0,482	7,46	0,018247	S
(a/c)	88,916	2	44,458	687,17	0,000000	S
Cimento*(a/c)	0,030	2	0,015	0,23	0,796513	N. S
Erro	0,776	12	0,065			

SS: Soma dos quadrados, GDL: Graus de liberdade (n-1), MQ: média quadrada, F(calc): F: valor calculado, P: nível de significância, S: valor significativo, NS: valor não significativo, Se  $P < 5\%$  = efeito significativo.

Fonte: Autor (2024)

Quadro 8 - Teste de Tukey referente a porosidade aparente das argamassas com cimento CII e CPV aos 28 dias.

Porosidade aparente aos 28 dias (%)				
Relação água/cimento (a/c)	Argamassa CII		Argamassa CPV	
	Média	Teste de Tukey	Média	Teste de Tukey
0,56	15,26679	A	14,96151	A
0,70	18,62878	B	18,19215	B
0,84	20,63478	C	20,39445	C

Fonte: Autor (2024)