

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ANA RAQUEL PESSA  
TABAJARA MACHADO DE SOUZA NETO**

**INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES TEORES DE CAL E ADITIVO INCOPORADOR  
DE AR NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE EMBOÇO**

**PATO BRANCO  
2023**

**ANA RAQUEL PESSA  
TABAJARA MACHADO DE SOUZA NETO**

**INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES TEORES DE CAL E ADITIVO INCOPORADOR  
DE AR NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE EMBOÇO**

**The influence of different lime contents and air-entraining admixture in  
rendering mortars proprieties**

Trabalho de conclusão de curso de Graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray

**PATO BRANCO  
2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ANA RAQUEL PESSA  
TABAJARA MACHADO DE SOUZA NETO**

**INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES TEORES DE CAL E ADITIVO INCOPORADOR  
DE AR NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE EMBOÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: Dia/mês por extenso/ano

---

Mario Arlindo Paz Irrigaray  
Doutorado em Engenharia Civil - UFSC  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

---

Cleovir Jose Milani  
Doutorado em Engenharia na Área de Infraestrutura e Meio Ambiente – Universidade Passo Fundo  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

---

José Miguel Etchalus  
Mestrado em Qualidade Ambiental -FEEVALE  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

**PATO BRANCO  
2023**

Dedicado às famílias, professores e colegas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a todos que de alguma forma participaram, e contribuíram em nossa jornada. Nosso muito obrigado a nosso orientador Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray, pelo apoio e dedicação ao compartilhar seu conhecimento no desenvolvimento deste trabalho.

Gratidão à Professora Dra. Elizangela Macelo Siliprandi, ao Professor Dr. Cleovir Jose Milani e ao Professor Me. Jose Miguel Etchalus, por acreditarem em nossa pesquisa. E a todos os professores do departamento de construção civil, não só pelo conhecimento transmitido em sala de aula, mas principalmente pelos conselhos e ensinamentos que nos moldaram como profissionais.

Ao professor Dr. Sergio Luiz Ribas Pessa, pelas noites em claro, conselhos e amparo no desenvolvimento deste trabalho.

A nossos amigos e colegas com quem compartilhamos, longas horas em laboratório, amizades que irão muito além da graduação.

Acima de tudo à nossas famílias que não economizaram esforços, apoiando cada passo neste caminho em busca de conhecimento.

A menos que modifiquemos à nossa  
maneira de pensar, não seremos capazes de  
resolver os problemas causados pela forma como  
nos acostumamos a ver o mundo.  
(ALBERT EINSTEIN).

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o estudo da influência de diferentes teores de cal e aditivo incorporador de ar – AIA, em argamassas mistas compostas, produzidas a partir da mistura de dois agregados miúdos, 70% de areia artificial e 30% de areia natural. Para avaliar os efeitos produzidos pelos diferentes teores de cal e de aditivo incorporador de ar, foram produzidas 9 argamassas com traços de cimento areia de 1:6 e diferentes adições de cal (0,2; 0,4 e 0,6) e AIA (0,2%; 0,4% e 0,6%), dosadas em busca de uma consistência de  $260^{\pm 10}$  mm (*flow table*). Os resultados obtidos indicaram a influência do AIA sobre as propriedades da argamassa. À medida que a quantidade do aditivo aumentava, as argamassas necessitavam de menos água para atingir o espalhamento ideal. Notou-se também que o aumento no teor do aditivo resultava em uma maior quantidade de ar incorporado às argamassas, levando a redução de suas resistências. Dos traços estudados cinco se enquadraram nos critérios da norma ABNT NBR 13281 para argamassas de emboço externo, enquanto quatro se enquadraram apenas como argamassas para revestimento interno.

Palavras-chave: dosagem de argamassas; emboço; areia de britagem; aditivo incorporador de ar.

## ABSTRACT

This study aimed to investigate the influence of different lime and air-entraining admixture (AEA) contents in composite mortar mixtures, which were produced by blending two fine aggregates, 70% artificial sand and 30% natural sand. To evaluate the effects produced by different proportions of lime and air-entraining admixture, 9 mortar mixes were prepared with a cement-to-sand ratio of 1:6 and varying additions of lime (0.2, 0.4, and 0.6) and AEA (0.2%, 0.4%, and 0.6%), dosed to achieve a consistency of  $260\pm 10$  mm (flow table). The results indicated the influence of AEA on the mortar properties. As the admixture content increased, the mortars required less water to achieve the desired workability. It was also observed that the increase in AEA content resulted in a higher amount of entrained air in the mortars, leading to a reduction in their strengths. Among the studied mixtures, five complied with the criteria of the ABNT NBR 13281 standard for external plaster mortars, while four only met the criteria for internal coating mortars.

**Keywords:** mortar dosing; plaster; crushed sand; air-entraining admixture.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Fluxograma método de dosagem Santos et al. (2018) .....	22
Figura 2 - Desenvolvimento de resistência dos compostos puros .....	25
Figura 3 - Comportamento bolhas de ar.....	36
Figura 4 - Fluxograma Metodologia de Pesquisa .....	38
Figura 5 - Fluxograma Metodologia Experimental.....	39
Figura 6 - Agitador mecânico e Conjunto de Peneiras.....	42
Figura 7 – Separação do material retido em cada peneira.....	43
Figura 8 - Frascos de Le Chatelier.....	47
Figura 9 - Franco de Le Chatelier pós segunda leitura .....	47
Figura 10 - Peso do recipiente padrão.....	48
Figura 11 - Volume recipiente padrão.....	49
Figura 12 - Ensaio massa unitária cimento .....	49
Figura 13 - Ensaio massa unitária cal CH-III .....	49
Figura 14 - Ensaio massa unitária areia natural .....	50
Figura 15 - Ensaio massa unitária areia de britagem .....	50
Figura 16 -.....	51
Figura 17 - Retifica, Ensaio de Compressão e Corpos de Prova.....	52
Figura 18 - Mesa de Consistência "Flow Table" .....	54
Figura 19 - Abertura Flow Table.....	54
Figura 20 - Massa conjunto funil filtro .....	55
Figura 21 - Massa conjunto funil argamassa ( $m_a$ ) .....	56
Figura 22 - Massa conjunto funil argamassa após sucção ( $m_s$ ) .....	56
Figura 23 – Avaliação de Aderência Inicial .....	59
Figura 24 - Forma corpos de prova retração.....	60
Figura 25 - Aparelho comparador de comprimento.....	60
Figura 26 - Uso equipamento de comparação de comprimento.....	61
Figura 27 - Corpos de prova Retração.....	61
Figura 28 - Prensa Hidráulica.....	62
Figura 29 - Posicionamento do corpo de prova.....	62
Figura 30 - Ensaio de tração na flexão .....	63
Figura 31 - Posicionamento corpo de prova na prensa .....	63
Figura 32 - Ensaio Compressão .....	64

<b>Figura 33 - Execução Chapisco .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 34 - Execução Mestras .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 35 - Execução Emboço .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 36 - Localização pontos de Ensaio .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 37 – Incompatibilidade de encaixe no segundo equipamento. ....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 38 - Ensaio da resistência de aderência a tração.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 39 - Preparo CP para ensaio de absorção d'água por capilaridade.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 40 - Ensaio de absorção de água por capilaridade.....</b>	<b>68</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Traço ideal para areias natural e artificial em massa.....	22
Tabela 2 - Tabela da massa mínima por amostra de ensaio .....	41
Tabela 3 - Exemplo Granulometria areia natural.....	43
Tabela 4 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	44
Tabela 5 - Quantidade de material .....	51
Tabela 6 - Tabela dos Traços de Estudo .....	53
Tabela 7 - Resumo Misturas .....	53
Tabela 8 - Granulometria Areia Natural .....	69
Tabela 9 - Granulometria Areia de Britagem .....	69
Tabela 10- Identificação Material Pulverulento Agregados.....	72
Tabela 11- Massa Específica Agregados.....	72
Tabela 12- Massa Específica Aglomerantes.....	73
Tabela 13 - Resultados Resistência a Compressão Cimento CII-Z 32 .....	73
Tabela 14 - Abertura Flow Table e Relação Água / Cimento .....	74
Tabela 15 - Cal x AIA x Fator Água/Cimento .....	75
Tabela 16 - Classificação ABNT NBR 13281 – Retenção de água .....	78
Tabela 17 - Cálculo Densidade Massa .....	79
Tabela 18 - Teor de Ar Incorporado .....	80
Tabela 19 - Classificação ABNT NBR 13281 - Densidade de massa .....	82
Tabela 20 - Variação dimensional 28 dias .....	83
Tabela 21 - Classificação ABNT NBR 13281 - Retração .....	84
Tabela 22 - Resistências Médias Compressão e à Tração na Flexão.....	84
Tabela 23 - Classificação ABNT NBR 13281 - 1(2023) Tração na Flexão .....	86
Tabela 24 - Classificação ABNT/NBR 13281-1/23- Resist. Aderência a Tração .	88
Tabela 25 - Classificação ABNT/NBR 13281-1/23- Coeficiente de Capilaridade	91
Tabela 26 - Tabela Resumo Classificação ABNT NBR 13281 (2023) .....	94

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 - Traços Argamassas de Revestimento Região de Porto Alegre .....</b>	<b>23</b>
<b>Quadro 2 - Principais compostos do cimento Portland .....</b>	<b>25</b>
<b>Quadro 3 -Calor de hidratação dos compostos puros .....</b>	<b>26</b>
<b>Quadro 4 - Tipos de Cimento Portland .....</b>	<b>28</b>
<b>Quadro 5 - Composição química Cal Hidratada.....</b>	<b>30</b>
<b>Quadro 6 - Tabela composição química Cal Hidratada .....</b>	<b>30</b>
<b>Quadro 7 - Classificação pelo modulo de finura dos agregados miúdos .....</b>	<b>32</b>
<b>Quadro 8 - Limites da distribuição granulométrica de agregados miúdos.....</b>	<b>32</b>
<b>Quadro 9 - Tabela Processos de Britagem .....</b>	<b>34</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 - Curva Granulométrica Areia .....</b>	<b>70</b>
<b>Gráfico 2 - Curva Granulométrica Areia Britagem .....</b>	<b>70</b>
<b>Gráfico 3 - Curva Granulométrica Areia 30% Areia de Britagem 70% .....</b>	<b>71</b>
<b>Gráfico 4 - Resistência do Cimento (Mpa).....</b>	<b>73</b>
<b>Gráfico 5 - Relação Água/Cimento x Teor de Cal.....</b>	<b>75</b>
<b>Gráfico 6 - Relação Água/Cimento x AIA.....</b>	<b>75</b>
<b>Gráfico 7- Gráfico Retenção de Água x Teor de Cal.....</b>	<b>77</b>
<b>Gráfico 8 - Retenção de Água x AIA .....</b>	<b>78</b>
<b>Gráfico 9 - Densidade de massa x AIA .....</b>	<b>79</b>
<b>Gráfico 10 - Teor de ar Incorporado x AIA.....</b>	<b>80</b>
<b>Gráfico 11 - Massa Unitária /Densidade de massa x teor de cal.....</b>	<b>81</b>
<b>Gráfico 12 - Variação Dimensional x AIA .....</b>	<b>83</b>
<b>Gráfico 13 - Resistência a Compressão x Teor de Cal .....</b>	<b>85</b>
<b>Gráfico 14 - Resistência à Tração na Flexão x Teor de Cal.....</b>	<b>85</b>
<b>Gráfico 15 - Resistência de Aderência a Tração x AIA.....</b>	<b>87</b>
<b>Gráfico 16 - Resistência de Aderência a Tração x Teor de Cal.....</b>	<b>87</b>
<b>Gráfico 17 - Absorção por Capilaridade 10 min x Teor de Cal.....</b>	<b>89</b>
<b>Gráfico 18 - Absorção por Capilaridade 90 min x Teor de Cal.....</b>	<b>89</b>
<b>Gráfico 19 - Absorção por Capilaridade 10 min x Aditivo Incorporador Ar .....</b>	<b>90</b>
<b>Gráfico 20 - Absorção por Capilaridade 90 min x AIA.....</b>	<b>90</b>
<b>Gráfico 21 - Resit. Flexão x Teor de Ar Incorporado .....</b>	<b>92</b>
<b>Gráfico 22 - Resit. Compressão x Teor de Ar Incorporado .....</b>	<b>92</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>14</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	14
1.1.2	Objetivos Específicos .....	14
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Argamassas de Revestimento</b> .....	<b>17</b>
2.1.1	Propriedades das Argamassas.....	18
<u>2.1.1.1</u>	<u>Trabalhabilidade/ Consistência e Plasticidade</u> .....	<u>18</u>
<u>2.1.1.2</u>	<u>Resistência Mecânica</u> .....	<u>19</u>
<u>2.1.1.3</u>	<u>Retração</u> .....	<u>20</u>
<u>2.1.1.4</u>	<u>Aderência</u> .....	<u>20</u>
<u>2.1.1.5</u>	<u>Coesão e Exsudação</u> .....	<u>20</u>
<u>2.1.1.6</u>	<u>Absorção por capilaridade</u> .....	<u>21</u>
2.1.2	Dosagem e Traços .....	21
2.1.3	Variação da Cal e Aditivo Incorporador de Ar em Argamassas .....	23
<b>2.2</b>	<b>ABNT NBR 13281 (2023)</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>24</b>
2.3.1	Cimento.....	24
<u>2.3.1.1</u>	<u>Tipo de Cimento Portland</u> .....	<u>27</u>
2.3.2	Cal.....	28
2.3.3	Água.....	31
2.3.4	Agregado Miúdo .....	31
<u>2.3.4.1</u>	<u>Areia Natural</u> .....	<u>33</u>
<u>2.3.4.2</u>	<u>Areia de Britagem</u> .....	<u>33</u>
2.3.5	Aditivos.....	35
<u>2.3.5.1</u>	<u>Aditivos Incorporadores de Ar</u> .....	<u>36</u>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>39</b>
3.1.1	Cimento.....	39

3.1.2	Cal.....	40
3.1.3	Agregado Miúdo Natural.....	40
3.1.4	Agregado Miúdo Artificial.....	40
3.1.5	Aditivo Incorporador de Ar - AIA.....	40
3.1.6	Água.....	41
<b>3.2</b>	<b>Métodos .....</b>	<b>41</b>
3.2.1	Análise Granulométrica dos Agregados Miúdos .....	41
3.2.2	Análise do teor de material pulverulento.....	44
3.2.3	Massa Específica .....	46
<u>3.2.3.1</u>	<u>Agregados.....</u>	<u>46</u>
<u>3.2.3.2</u>	<u>Aglomerantes .....</u>	<u>47</u>
3.2.4	Massa Unitária .....	48
3.2.5	Resistência do Cimento.....	51
3.2.6	Dosagem da Argamassa .....	52
3.2.7	Ensaio Estado Plástico .....	54
<u>3.2.7.1</u>	<u>Ensaio Da Mesa De Consistência (<i>Flow Table</i>).....</u>	<u>54</u>
<u>3.2.7.2</u>	<u>Retenção de Água.....</u>	<u>55</u>
<u>3.2.7.3</u>	<u>Massa Específica e Teor de Ar Incorporado.....</u>	<u>57</u>
<u>3.2.7.4</u>	<u>Adesão Inicial.....</u>	<u>58</u>
3.2.8	Ensaio Estado Endurecido.....	59
<u>3.2.8.1</u>	<u>Retração.....</u>	<u>59</u>
<u>3.2.8.2</u>	<u>Resistência a Tração na Flexão e Compressão .....</u>	<u>62</u>
<u>3.2.8.3</u>	<u>Resistência de Aderência a Tração .....</u>	<u>64</u>
<u>3.2.8.4</u>	<u>Absorção por Capilaridade .....</u>	<u>67</u>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>69</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização dos Materiais .....</b>	<b>69</b>
4.1.1	Análise Granulométrica dos Agregados .....	69
4.1.2	Teor de material pulverulento Agregados .....	71
4.1.3	Massa Específica .....	72
<u>4.1.3.1</u>	<u>Massa Específica Agregados .....</u>	<u>72</u>
<u>4.1.3.2</u>	<u>Massa Específica Aglomerantes .....</u>	<u>72</u>
4.1.4	Resistência do Cimento.....	73
<b>4.2</b>	<b>Ensaio no Estado Plástico .....</b>	<b>74</b>
4.2.1	Dosagem e <i>Flow Table</i> .....	74

4.2.2	Retenção de Água.....	76
4.2.3	Densidade de Massa e Teor de Ar incorporado.....	79
4.2.4	Adesão Inicial.....	82
<b>4.3</b>	<b>Ensaio estado endurecido .....</b>	<b>83</b>
4.3.1	Retração.....	83
4.3.2	Resistência Tração na Flexão e Compressão .....	84
4.3.3	Resistência de Aderência a Tração .....	86
4.3.4	Absorção por capilaridade.....	88
<b>4.4</b>	<b>Análises .....</b>	<b>91</b>
4.4.1	Teor de Ar Incorporado e Resistência à Tração na Flexão e Compressão 91	
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>93</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>96</b>
	<b>ANEXO I - TABELAS ABNT NBR 13281 (2023).....</b>	<b>103</b>
	<b>ANEXO II - TABELAS CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO .....</b>	<b>107</b>
	<b>APENDICE A - RELATÓRIO CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO .....</b>	<b>109</b>
	<b>APENDICE B – RELATÓRIO RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....</b>	<b>112</b>
	<b>APENDICE C – RELATÓRIO RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO .....</b>	<b>114</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Argamassa, *mortar* (inglês), tem sua origem do latim – *mortarium* - massa do construtor. A história da cal e da argamassa de revestimento são citados desde a antiguidade (6.000 a. C), aparecendo inicialmente em cidades como Çatal Hüyük na Turquia. Os gregos a utilizavam como reboco, recobrando paredes internas de suas cisternas, mas foram os romanos que aplicaram a cal em argamassas de revestimento e assentamento (ADAM, 1989).

O arquiteto Vitruvius (1914) em seu livro “*The ten Books on Architecture*” cita que as argamassas de cal, foram utilizadas pelos romanos, aperfeiçoando sua técnica adicionando agregados e pozzolanas (cinzas vulcânicas do monte Versúvio). A mistura de cal areia e cinzas produzia uma pasta rica em silicatos de alumina, resultando numa argamassa resistente a água.

Com a descoberta do cimento por Vicat em 1818, o uso da cal como principal aglomerante em argamassas foi reduzindo. O cimento, inicialmente aplicado apenas em obras com presença constante de água, tornou-se o principal aglomerante em rebocos a partir dos anos 70 (MARGALHA, 2011).

No ano de 2004 Guimarães apresentava uma nova tendência com as argamassas mistas ganhando o mercado. O uso do cimento Portland em argamassas de revestimento e assentamento, consolidou-se pelo ganho de resistência e a redução do tempo de cura, em contrapartida a cal é o aglomerante responsável pela plasticidade da argamassa no estado fresco. As dimensões inferiores das partículas de cal favorecem a retenção de água, o endurecimento e a aderência no substrato e diminuindo a retração hidráulica (GUIMARÃES, 2004).

De acordo com Alves (2002), a presença de ar incorporado nas argamassas traz melhoras na coesão e plasticidade, reduzindo a exsudação e o volume de água de amassamento, reduzindo a retração plástica.

O uso de Aditivos Incorporadores de Ar (AIA) altera as características das argamassas no estado endurecido, melhorando as propriedades elásticas e termoacústicas, mas reduzindo a resistência mecânica e aumentando a permeabilidade (ROMANO, 2013).

Os impactos ambientais associados aos agregados marcam outro ponto na história desse material construtivo. De acordo com Menossi *et al.* (2010) a construção

civil no Brasil consome cerca de 320 milhões de m<sup>3</sup> de areia natural por ano. Além do impacto associado a retirada desta areia do leito de rios, a alta demanda tornou a areia natural um material escasso em diversas regiões do país. Este cenário estimulou o meio técnico a procura de agregados alternativos como a areia de britagem.

A substituição da areia natural pela de britagem é uma tendência de mercado na construção civil, em decorrência disso este trabalho emprega em seus agregados 70% de areia de britagem e 30% de areia natural.

Considerando as vantagens técnicas oferecidas tanto pela cal quanto pelo aditivo incorporador de ar, as argamassas serão produzidas com diferentes proporções de cal e aditivo incorporador de ar, buscando atender os requisitos de desempenho tanto no estado plástico quanto no estado endurecido estabelecidos na norma ABNT NBR13281 “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos” (2023).

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo Geral

Verificar a influência das diferentes proporções de cal e de incorporador de ar nas propriedades das argamassas de emboço frente aos requisitos da norma ABNT NBR13281 (2023).

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar os traços de argamassas de emboço mais frequentes.
- Caracterizar e especificar materiais: cimento, cal hidratada, areia natural, areia de britagem e AIA;
- Determinar curva granulométrica dos agregados (areia natural e de britagem), ABNT NBR 7211 (2022).
- Determinar curva granulométrica da mistura de areia natural 30% e artificial 70% e o módulo de finura dessa combinação;

- Determinar a quantidade de água para os traços com diferentes teores de cal (0,2; 0,4 e 0,6) e de aditivo incorporador de ar (0,2%; 0,4% e 0,6%). De forma a atender *flow table* de  $260^{\pm 10}$  mm, ABNT NBR 13726 (1995);
- Determinar massa específica, teor de ar incorporado e retenção de água das argamassas no estado plástico;
- Determinar a resistência de aderência a tração, resistência à tração na flexão, resistência à compressão, variação dimensional e absorção por capilaridade das misturas no estado endurecido (propriedades mecânicas);
- Verificar quais misturas atendem aos requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 13281 (2023)

## 1.2 Justificativa

No âmbito da construção civil a demanda por areia natural vem crescendo, como apontado por Quaresma (2009, p.5) “Na projeção para 2030, prevê-se que o consumo atinja 524 milhões de toneladas no ‘cenário frágil’ 827 milhões de toneladas no ‘cenário vigoroso’ e 1.276 milhões de toneladas no ‘cenário inovador’[...].”

Os possíveis impactos ao meio ambiente devido as atividades de extração da areia como a alteração da paisagem, ruído (das máquinas) a emissão de particulados atmosféricos (QUARESMA, 2009). Esses fatores destacam a importância do emprego de um produto alternativo desse agregado miúdo, sendo a areia de britagem um bom candidato.

No entanto, como Carasek (2016) destaca que devido a presença de finos e a forma laminar das partículas, criadas pelo seu processo de fabricação, a areia de britagem pode causar uma influência nas propriedades da argamassa, principalmente na trabalhabilidade. Uma possível solução para melhora das características da argamassa em seu estado plástico é o uso da cal hidratada. Guimarães (2004) afirma que a presença do aglomerante nas argamassas aperfeiçoa a plasticidade ao aumentar a retenção de água no estado fresco.

A cal por sua vez também apresenta impactos ambientais seja na extração da matéria prima, mineração de rochas calcárias, ou no processo de fabricação, onde para que a calcinação ocorra são necessários fornos que alcancem 900° a 1200°C. Estima-se que a produção da cal viva (que posteriormente será hidratada para uso na

construção civil) emita entre 464 e 868 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada produzida, sendo que 70% dessas emissões derivam das reações químicas do processo produtivo e 30% da queima de combustíveis fósseis nos fornos de calcinação ( JHON, 2014).

O uso da cal auxilia na retenção do ar incorporado na pasta. Segundo Romano et. al (2018) o ar incorporado auxilia na trabalhabilidade, coesão, reduz tendência a exsudação, aumenta resistência à ciclos gelo-degelo, reduz o consumo de cimento e auxilia no conforto térmico. O uso de aditivos incorporadores de ar vem como uma solução para possíveis problemas como o da trabalhabilidade em argamassas produzidas com areia artificial.

A adição da cal hidratada e aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento pode possibilitar a substituição parcial da areia natural por areia de britagem. No entanto essa adição altera o custo dessa argamassa, sendo importante entender os efeitos dessa adição para não inviabilizar o custo de produção com essas adições.

Considerando as propriedades da cal hidratada, o trabalho propõe estudar os efeitos das variações das porcentagens da cal hidratada e AIA na composição de argamassas produzidas com 30% areia natural e 70% areia de britagem.

O Laboratório de Materiais da UTFPR campus Pato Branco – Lab. Materiais, forneceu a infraestrutura, insumos e equipamentos necessários para realização dos ensaios previstos no trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo trata do histórico, sobre a origem e evolução das argamassas, também é abordado as principais características de cada material, suas variantes, e fatores que influenciam no produto.

### 2.1 Argamassas de Revestimento

A ABNT NBR 13281 (2023) define argamassas como misturas homogêneas de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em loco ou em instalações próprias como no caso de argamassa industrializadas.

Argamassas foram classificadas em função de sua aplicação em: argamassas de assentamento (alvenaria de vedação, alvenaria estrutural); argamassa de encunhamento (expansivas); argamassas de revestimento paredes e teto (chapisco, emboço e reboco); argamassas de revestimento de piso (regularização, autoadensáveis, de alta-resistência); argamassas colantes (ACI, ACII, ACIII, *over-lap* ou piso sobre piso); argamassas de rejuntamento (acrílico, epóxi e cimentícia); argamassa para reparo estrutural e argamassas refratárias. Quanto ao tipo de aglomerante classificam-se em aéreas (cal), hidráulicas (cimento, gesso) ou mistas (cal e cimento; cal e gesso). E de acordo com a dosagem, fracas ou magras no caso de argamassas com volume de aglomerante insuficiente para preencher os vazios entre os agregados, cheia quando vazios são preenchidos e ricas ou gordas quando há um excesso desta pasta (DUBAJ, 2000).

Adições minerais também podem ser empregadas, como cinza de casca-de-arroz, *filler* calcário, metacaulim e sílica-ativa. Assim como aditivos orgânicos, incorporadores de ar, aditivos plastificantes e aceleradores ou retardadores de pega. (BAUER, 1997)

Para Silva (2006), as argamassas de revestimento podem ser definas em 4:

- Chapisco: Camada do revestimento responsável por preparar a base melhorando as condições de aderência da próxima camada ao substrato, sendo indispensável quando a superfície é muito lisa, como em concretos

assim como em revestimentos expostos a maiores ações como externos e de teto.

- Emboço: Camada de regularização da alvenaria, apresenta espessura entre 15mm e 25mm. Aplicado acima da base preparada (chapisco), o emboço recebe as camadas seguintes de revestimento devendo apresentar a porosidade e aderência necessária para o acabamento previsto. Características determinadas pela granulometria dos materiais e pela execução.
- Reboco: Massa fina, é o acabamento do revestimento de argamassa. Aplicada sobre o emboço tem no máximo 5mm de espessuras o reboco recebe acabamento, como pintura, não deve apresentar fissuras.
- Massa única: Também conhecida como emboço paulista, é o revestimento executado em apenas uma única camada, a argamassa desse revestimento executa ambas as funções do emboço e reboco, regularizando a superfície e apresentando um bom acabamento.

## 2.1.1 Propriedades das Argamassas

### 2.1.1.1 Trabalhabilidade/ Consistência e Plasticidade

A trabalhabilidade de uma argamassa, facilidade de manusear e aplicá-la, está ligada de forma direta com a consistência dessa argamassa. Fatores como a proporção de água no traço, a granulometria do agregado, o tipo de aglomerante e a relação água/aglomerante afetam de forma direta a consistência da massa (SANTOS, 2014).

A consistência é a propriedade que garante a argamassa em seu estado fresco resistir a deformação. Já Cincontto *et al.* (1995), classificam as argamassas quanto a sua consistência em: **secas** (necessitam energia para serem conformadas em sua forma final onde a pasta preenche os vazios entre os grãos), **plásticas** (com pequeno esforço atingem o acabamento pasta não só preenche os vazios entre os grãos, mas atua como um lubrificante na superfície dos agregados) e **fluidas** (são autonivelantes, não precisam de esforço além da gravidade para atingir sua forma final, os grãos ficam imersos na pasta).

O pesquisador Cardoso (2009), define a plasticidade como a propriedade das argamassas que as permite deforma e reter certas deformações após a redução das tensões a que foi submetida. Esta propriedade está diretamente ligada a consistência, coesão, retenção de água, teor de ar aprisionado e natureza do aglomerante escolhido. Uma argamassa possui boa plasticidade quando se espalham facilmente pelo substrato aderindo a superfícies garantindo facilidade e qualidade no acabamento.

#### 2.1.1.2 Resistência Mecânica

A resistência mecânica de acordo com Santos (2014) pode ser definida como a propriedade das argamassas de suportar ações de diferentes naturezas, podendo ser, resistência à abrasão superficial, de impactos e de movimentação higroscópica ou movimentação estrutural.

A norma ABNT NBR 13279 “Argamassa para revestimento de paredes e tetos -Determinação da resistência a tração na flexão e compressão” (2015) normatiza os procedimentos para os ensaios de resistência a tração na flexão e a compressão axial em argamassas, e a ABNT NBR 13281 (2023) classifica as argamassas e estabelece os requisitos mínimos para as mesmas.

Para Carasek (2010) a resistência mecânica, principalmente à resistência a compressão deve ser garantida rapidamente, para permitir o assentamento de várias fiadas em um curto período de tempo, bem como desenvolver ao longo do tempo uma resistência adequada. Porém Carasek afirma que não necessárias resistências muito alta das argamassas para garantir bom desempenho na parede, a resistência da argamassa não deve ser superior a resistência dos blocos de assentamento. A autora ainda aponta como argamassas de alta resistência devido ao elevado teor de cimento, além de torná-las mais caras faz com que as mesmas possuam baixa capacidade de absorver deformações, que é um requisito fundamental para juntas de assentamento.

### 2.1.1.3 Retração

Segundo Silva (2006) a retração é o fenômeno em que ocorre a diminuição do volume de argamassa, após perda de água para o substrato por sucção, por evaporação ou pelas reações químicas dos componentes de cimento e da cal.

De acordo com Silva (2011) a retração quando ocorre no estado fresco de uma argamassa é devido a principalmente a perda de água, quando parte da água da mistura é retirada devido à evaporação e outra parte é retirada por sucção pelo substrato. Sendo essa a principal causa de fissuras por retração que surgem nos revestimentos nas primeiras 24 horas.

Segundo Bastos (2001) a retração quando ocorre no estado endurecido, chamada de retração por secagem, depende do tamanho e do tipo de vazios que se forma com a perda de água, e da maneira que essa água está ligada nas superfícies sólidas da pasta endurecida.

Já a retração química, no caso do cimento ocorre principalmente devido aos compostos do clínquer (C3A e C3S) e no caso da cal, devido a carbonatação. Essa retração é de pouco impacto em argamassas de assentamento e revestimento, dado que o consumo desses materiais é, relativamente, baixo (BASTOS 2001).

### 2.1.1.4 Aderência

Para Carasek (2010) a aderência é uma propriedade essencial para as argamassas de assentamento, pois ela que permitirá a parede resistir aos esforços de cisalhamento e de tração, também será a responsável por impedir que a água penetre nas juntas, para as argamassas de revestimento o mesmo vale, sem a aderência o revestimento de argamassa não atendera nenhuma de suas funções.

A aderência é a propriedade que permite ao revestimento absorver as tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com o substrato (CARASEK 2010).

### 2.1.1.5 Coesão e Exsudação

Segundo Carasek (2010) a coesão é uma propriedade relacionada com a trabalhabilidade da argamassa, sendo esta referente as forças físicas de atração entre as partículas sólidas da argamassa e a suas ligações químicas da pasta de



aglomerantes. Assim quanto maior a superfície específica de um aglomerante ou adição mineral, maior será sua capacidade de produzir coesão.

De acordo com Brauer (2017) a exsudação é a formação de um filme de água na superfície da argamassa, após certo tempo de repouso em um recipiente, sendo mais comum em argamassas com baixo consumo de cimento e/ou baixo teor de adições minerais. A exsudação é relacionada com a trabalhabilidade da argamassa pela falta de plasticidade e coesão da argamassa. Uma forma de corrigir isso seria o aumento do teor de finos na composição da argamassa.

#### 2.1.1.6 Absorção por capilaridade

De acordo com Beltrame (2007) a capilaridade é o fenômeno em que ocorre atração ou repulsão de líquidos quando em contato com sólidos. A tendência dos líquidos de subirem pelos tubos capilares é chamada de capilaridade ou ação capilar, devido a tensão superficial.

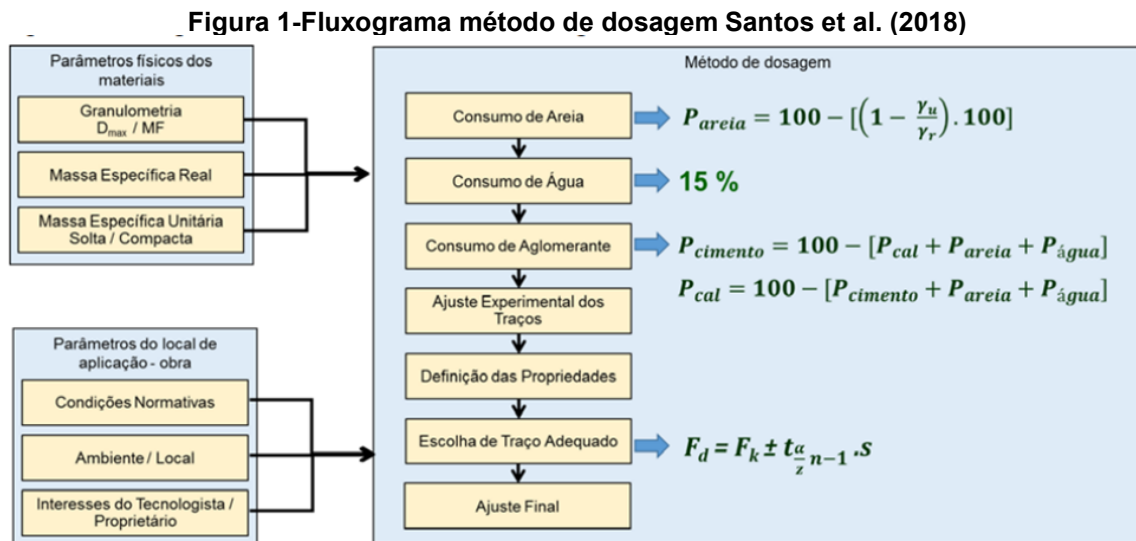
Segundo Aleixo (2017) a umidade por capilaridade, ocorre nas fundações, nas vigas baldrame e em alvenarias, devido as condições úmidas do solo e à falta de obstáculos que impeçam essa água de ascender.

Para Neville (2011), a fluidez do material é proporcional ao volume de vazios e ao tamanho dos poros, o autor também acrescenta que o teor de ar incorporado na mistura afeta a absorção por capilaridade da argamassa, devido as microbolhas formadas pelo AIA, não terem capilares, criando barreiras que impedem a passagem do líquido.

#### 2.1.2 Dosagem e Traços

Ao longo dos anos diversos métodos de dosagem para argamassas de revestimentos foram desenvolvidos. Selmo (1989) buscou o teor ótimo de material plastificante e água para a consistência desejada, verificando a formação de fissuras, textura superficial, aderência, resistência superficial, permeabilidade, absorção de água e custo-benefício. Lara *et al.* (1995) dosaram argamassas a partir de traços básico, consumo máximo de finos e a proporção de água necessária para obter uma consistência de  $260 \pm 10$  mm no *Flow table*.

Santos *et al.* (2018), desenvolveram um método de dosagem, buscando um traço ideal para as condições estabelecidas como tipo de agregado, e dimensão máxima do agregado (2,4 mm para acabamentos mais ásperos e 1,2mm para superfícies mais finas). Uma vez definidos estes parâmetros o método segue seu passo de fórmulas definindo teor de agregados miúdos, estimativa de água, quantidade de aglomerante e possíveis ajustes, a figura 1 apresenta o fluxograma do método.



Fonte: Santos et al. (2018)

Os autores Santos et al. (2019), analisaram o uso de seu método em argamassas compostas por agregados miúdos naturais e artificiais chegando aos traços da tabela 1. Os traços do estudo foram submetidos a testes da ABNT NBR 13281(2023), para resistência a compressão e flexão, aderência a tração, tendência a fissuração modulo de elasticidade e porosidade.

**Tabela 1-Traço ideal para areias natural e artificial em massa**

Traço Final	Cimento	Cal	Areia	Água
Areia Natural	1,000	0,551	4,653	0,964
Areia Artificial	1,000	0,455	6,793	1,298

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2019)

O pesquisador Dubaj (2000), estudou os diversos traços de argamassas e revestimentos utilizados em Porto Alegre Rio Grande do Sul. Todos os traços foram submetidos aos ensaios de consistência, resistência à compressão axial, resistência a tração por compressão diametral, módulo de deformação elástica, resistência de

aderência a tração e cisalhamento. Dos traços analisados (quadro 1) notou-se que o traço III apresentou o melhor desempenho como um todo nas propriedades ensaiadas, enquanto o traço V apresentou os piores resultados.

**Quadro 1 - Traços Argamassas de Revestimento Região de Porto Alegre**

TRAÇO	PROPORÇÃO (em volume)	MATERIAIS	OBS.
I	1:2:9	Ci : Cal : Areia	-
II	1:2:7	Ci : Cal : Areia	2,5 lt. Sika / 30 lt. H <sub>2</sub> O
III	1:1:6	Ci : Cal : Areia	-
IV	1:9	Ci : Arg. Pré-Mist.	1,10m <sup>3</sup> areia / 100 a 110 kg de cal.
V	1:1:10	Ci : Pozolan : Areia	5 vol. areia média, 5 vol. de areia fina.
VI	1:6	Ci : Areia	250 ml de morter/ saco de cimento; 5 volumes de areia média, 1 volume areia fina.

Fonte: Adaptado de Dubaj (2000)

### 2.1.3 Variação da Cal e Aditivo Incorporador de Ar em Argamassas

A variação de cal e aditivo incorporador de ar em argamassas produzidas com areia de britagem foi pouco explorada. Um estudo que se destacou foi o de Trentin et al (2020), que avalia a influência da utilização de diferentes teores de cal e aditivo incorporador de ar em argamassas produzidas com 70% areia de britagem. O estudo focou em traços compostos por 1:6 (cimento: areia), variando o teor de cal em (0,25, 0,50 e 0,75) um teor de aditivo de (0,5%, 1,0% e 1,5%). Dosando as misturas de forma a satisfazer uma consistência (*flow table*) de 260<sup>±10</sup> mm.

A pesquisa de Trentin et al (2020), focou nos ensaios de Resistência tração na flexão, compressão e coeficiente de capilaridade. Concluindo que as melhores resistências mecânicas foram obtidas com 0,5% de aditivo incorporador de ar, enquanto o menor coeficiente de capilaridade foi obtido com o teor de 1,5% e 0,25 cal. O estudo conclui que a argamassa com melhor comportamento (resistência mecânica e capilaridade) foi a de traço (1:0,25:6), no entanto em relação ao teor de aditivo os dados se mostraram inconclusivos.

## 2.2 ABNT NBR 13281 (2023)

A Norma ABNT NBR 13281-1 (2023) tem como objetivo definir os requisitos para argamassas utilizadas em assentamento e revestimento de paredes e tetos, passou por uma atualização este ano, resultando em alterações nos ensaios e classificações. No momento, a norma apresenta requisitos classificatórios, tais como:

- Resistência potencial de aderência à tração ao substrato (RA);
- Resistência potencial à tração (RS);
- Módulo de elasticidade dinâmico (Ed);
- Variação dimensional ( $\epsilon$ ).

Além disso, são fornecidos requisitos informativos, como:

- Retenção de água (U);
- Teor de ar incorporado e densidade da massa no estado fresco (DF);
- Densidade de massa no estado endurecido (DE);
- Resistência à tração na flexão (RF);
- Coeficiente de absorção de água por capilaridade (Wh);
- Fator de resistência à difusão de vapor de água ( $\mu$ ).

Neste trabalho iremos focar nos seguintes requisitos, resistência de aderência a tração ao substrato (RA), variação dimensional ( $\epsilon$ ), retenção de água (U), teor de ar incorporado, densidade da massa no estado fresco (DF), resistência à tração na flexão (RF) e coeficiente de absorção de água por capilaridade (Wh). O Anexo I apresenta as tabelas de classificação da norma.

## 2.3 Materiais

### 2.3.1 Cimento

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a palavra cimento vem do latim “Caementu”, que era a designação para pedras naturais de rochedos não esquadrejadas.

Registros indicando que a cerca de 4500 anos a humanidade já utilizava ligas de gesso calcinado em suas obras primordiais. Porém em 1756 o engenheiro inglês

John Smeaton, conseguiu revolucionar o cimento, desenvolvendo um produto de alta resistência através de uma mistura calcinada de calcário e argila que após seco obtinha uma resistência tão alta quanto as pedras utilizadas nas construções da época. Após isso o engenheiro francês Louis Vicat em 1818 inventou o que seria chamado de cimento artificial, onde ele através do uso de componentes argilosos e calcário conseguiu obter resultados semelhantes ao de Smeaton.

Por fim em 1824 o construtor francês Joseph Aspdin criou o que é conhecido atualmente como cimento Portland, homenageando a Portland Stone, que era uma rocha nativa da região francesa muito usada nas construções locais.

Aspdin, observou que ao queimar em conjunto a argila e pedras calcárias obtinha um pó fino futuramente chamado de Clínquer que ao submergir a mistura em água, após seca se tornava um material tão resistente quanto ao material utilizado nas obras na época.

De acordo com Neville (2011), a composição básica do cimento consiste em 4 principais compostos químicos, que podem ser encontrados no quadro 2:

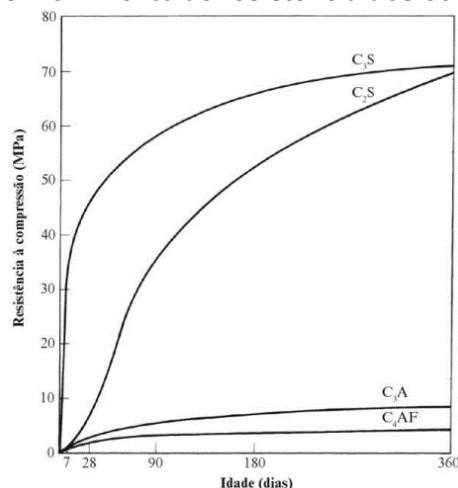
**Quadro 2 - Principais compostos do cimento Portland**

Nome do Composto	Composição em óxidos	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3CaO.SiO_2$	$C_3S$
Silicato dicálcico	$2CaO.SiO_2$	$C_2S$
Aluminato tricálcico	$3CaO.Al_2O_3$	$C_3A$
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	$C_4AF$

Fonte: Adaptado de Neville (2011)

Sendo os mais importantes os silicatos  $C_3S$  e  $C_2S$ , pois são os responsáveis para dar a resistência a pasta do cimento hidratada, como podemos ver na figura 2:

**Figura 2 - Desenvolvimento de resistência dos compostos puros**



Fonte: R. H. BOGUE, Chemistry of Portland Cement (1995)

Uma característica importante do cimento é o calor de hidratação pelo qual esse é responsável. Segundo Neville (2011), o calor de hidratação se dá pelas reações químicas exotérmicas do processo de hidratação do cimento, variando de acordo com a composição de cada tipo de cimento Portland. De maneira geral entre 1 e 3 dias metade do calor será liberado, 75% em 7 dias e 90% em 6 meses. No quadro 3 podemos observar qual a quantidade de calor em joules liberada por cada composto do cimento Portland.

**Quadro 3 -Calor de hidratação dos compostos puros**

Composto	Calor de Hidratação	
	J/g	Cal/g
$C_3S$	502	120
$C_2S$	260	62
$C_3A$	867	207
$C_3AF$	419	100

**Fonte: Adaptado de Neville (2011)**

Outra característica importante do cimento é sua resistência a agente agressivos, agentes esses que podem estar presentes no solo ou no ar, como por exemplo em regiões litorâneas, onde a agressividade ambiental é um ponto importante ao se considerar o tipo de cimento utilizado e modo de confecção do concreto.

De acordo com Bauer (1997), águas acidas, como água da chuva, contem em sua composição gás carbônico dissolvido que age sobre a cal do cimento hidratado, seguindo um processo que varia de acordo com a concentração de anidrido carbônico, sendo que se for uma concentração baixa o sal formado se transforma em carbonato cálcico, pouco solúvel, que obstrui os poros, assim criando uma proteção a ataque posteriores, porem se a concentração for alta o carbonato formado é dissolvido em bicarbonato, atacando a massa de cimento até que haja a exaustão completa da cal presente.

Bauer afirma que para estimar a resistência química do cimento a águas puras e acidas deve-se utilizar o índice de VICAT, ou seja, se a relação sílica alumina dividida por cal for inferior a 1, o cimento é rico em cal, ou seja um cimento suscetível a ataques. Porém se for superior a 1 como o cimento pozolânico trata-se de um material pobre em cal, tendo assim uma maior resistência a esses agentes agressivos.

Com relação as características físicas do cimento podemos citar de acordo com Bauer (1997), a pasta do cimento, tempo de pega, resistência e exsudação.

A pasta do cimento se dá pela mistura do cimento com água, onde a partir do começo da mistura os processos químicos começam dando o início de pega, sendo essa regulada para atender os objetivos da aplicação do material.

A mistura, transporte, lançamento e adensamento devem ser feitos nesse período, dependendo da situação pode ser adotado aditivos redutores ou acelerador de pega (BAUER,1997).

Em relação ao tempo de pega, de acordo com Neville (2011) ao se dar início da hidratação dos componentes C3S e C2S, é quando acontece a chamada “início de pega”, que é quando a começa a surgir uma elevação da temperatura. Quando a temperatura chega a seu pico acontece o fenômeno chamado de “fim de pega”, o intervalo de tempo entre esses dois processos é chamado de “tempo de pega”.

Esses fenômenos não devem ser confundidos com a “falsa pega”, onde nessa não há liberação de calor na pasta de cimento.

Com relação a resistência mecânica do cimento Portland, esta é determinada pelos ensaios em corpos de prova cilíndricos com 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro feitos com areia natural seguindo as prescrições descritas na ABNT NBR 7215 “Cimento Portland determinação da resistência a compressão” (2019)

Por fim a exsudação é o fenômeno de segregação que ocorre em uma pasta de cimento onde a água da mistura é aflorada devido a gravidade, se acumulando na superfície. Ocorre antes do início de pega, sendo causada pelo excesso água na mistura ou devido a finura do cimento, podendo prejudicar a qualidade do concreto afetando sua resistência (BAUER, 1997).

### 2.3.1.1 Tipo de Cimento Portland

De acordo com a ABNT NBR 16697 “Cimento Portland – Requisitos” (2018) os tipos de Cimentos Portland podem ser divididos de acordo com o quadro 4:

**Quadro 4 - Tipos de Cimento Portland**

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo		
Cimento Portland Comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC		
	Com adição	CP I - S				
Cimento Portland Composto	Com escória granulada de alto forno	CP II - E				
	Com material carbonático	CP II - F				
	Com material Pozolânico	CP II - Z				
Cimento Portland de alto forno		CP III				
Cimento Portland Pozolânico		CP IV				
Cimento Portland de Alta resistência inicial		CP V	ARI			
Cimento Portland Branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40			
	Não estrutural	CPB	-	-		

**Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16697 (2018)**

Sendo os sufixos “RS” e “BC” significando resistente a sulfatos e baixo calor de hidratação respectivamente. E os números 25, 32 e 40 nas siglas representam as classes de resistência em mega pascal que o concreto deve ter em 28 dias.

A norma ainda nos informa sobre os limites de composição do Cimento Portland, os requisitos químicos, os requisitos físicos e mecânicos, as determinações facultativas e por fim o valor máximo de calor de hidratação que podem ser observados nas tabelas presentes no anexo B deste trabalho.

### 2.3.2 Cal

A cal é o nome genérico dado ao aglomerante que resulta da calcinação de rochas calcárias, podendo ter diversas variedades de acordo com características resultantes da matéria prima empregada e processamento conduzido (BAUER, 1997).

Bauer também diz que elas podem ser cálcicas ou magnesianas, sendo as cálcicas tendo em sua composição químicas teores mínimos de 75% de CaO e as magnesianas com teores mínimos de 20% de MgO, a somas desses compostos devem sempre ser de no mínimo 95% para todos os casos.

De acordo com Cincotto, Quarcioni e John (2007), as variantes da cal mais utilizadas na construção civil, são a cal virgem e cal hidratada, porém a mais



requisitada pelo mercado da construção é a cal hidratada devido as propriedades químicas. Segundo Guimarães (2004) uma das principais funções da cal hidratada é unir para sempre os grãos de areia presentes nas argamassas de assentamento e revestimento.

Algumas propriedades desse aglomerante são:

- **Plasticidade:** Termo utilizado para conceituar maior ou menos facilidade na aplicação das argamassas como revestimento, criando uma superfície lisa sob o rasto da colher de pedreiro permitindo uma melhor trabalhabilidade, sendo que a cal magnésiana se destaca na produção de argamassas mais trabalháveis em comparação com outras variantes da cal (BAUER,1997).
- **Retração:** Devido a carbonatação do hidróxido à uma perda de volume do produto assim sujeitando o mesmo a retração, que pode vir a criar trincas ou fissuras nos revestimentos. A cal quando misturada junto na elaboração dessas argamassas devido a sua capacidade de retenção da água minimiza os efeitos dessa retração (BAUER,1997).
- **Endurecimento:** Como é necessário a absorção de  $\text{CO}_2$  do ar para o endurecimento da cal, o material não endurece debaixo da água, porém o endurecimento da cal também se dá pela combinação do hidróxido com a sílica que se encontra no agregado miúdo constituído na argamassa, gerando um produto de elevada dureza e resistência (BAUER,1997).
- **Rendimento:** Entendesse como rendimento da pasta o valor do volume de pasta de cal obtido com uma tonelada de cal viva. A cal apresenta duas variedades, a cal gorda e cal magra se o rendimento da pasta for maior que 1,82 a cal será considerada cal gorda e caso seja inferior a esse valor, será considerada cal magra. O rendimento limite é de 1,82  $\text{m}^3$  de pasta para uma tonelada de cal viva, ou seja, 550 kg de cal viva para 1  $\text{m}^3$  de pasta. A consistência da pasta é feita por uma consistência arbitrária, utilizando um abatimento de um cilindro de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, que se deforma para 8,7cm após remoção do molde. Bauer acrescenta que a variante cálcica oferece rendimentos melhores que cal magnésiana (BAUER,1997).

A cal tem seu endurecimento muito lento quando comparado ao do cimento Portland, pois depende que o  $\text{CO}_2$  penetre no interior do produto, por isso conceitos como tempo de pega não se aplicam a argamassas exclusivas de cal, além disso produtos que utilizam cal como aglomerante apresentam resistências mecânicas

inferiores em comparação a produtos feitos com cimento Portland, devido à dificuldade de produzir um sistema com baixa porosidade, dessa forma a cal gera massas com menores módulos de elasticidade, ou seja menor rigidez, o que potencialmente contribui para sua maior durabilidade. Devido a suas características únicas, a cal se mostra um material importante em diversas aplicações na construção civil (CINCOTTO, QUARCIONI, JOHN; 2007).

- Segundo a ABNT-NBR 7175 “Cal hidratada para argamassas – requisitos” (2003), a cal hidratada pode ser classificada em 3 variações, CH-I, CH-II e CH-III,

onde essa deve atender a exigências químicas e físicas, como podemos ver nos quadros 5 e 6.

**Quadro 5 - Composição química Cal Hidratada**

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico ( $CO_2$ )	Na fábrica	$\leq 5\%$	$\leq 5\%$	$\leq 13\%$
	No depósito	$\leq 7\%$	$\leq 7\%$	$\leq 15\%$
Óxido de cálcio e magnésio não hidratado calculado ( $CaO + MgO$ )		$\leq 10\%$	$\leq 15\%$	$\leq 15\%$
Óxidos totais na base de não-voláteis ( $CaO_t + MgO_t$ ) <sup>2</sup>		$\geq 90\%$	$\geq 88\%$	$\geq 88\%$

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7175 (2003)

**Quadro 6 - Tabela composição química Cal Hidratada**

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Finura (% retirada acumulada)	Peneira 0,600 mm	$\leq 5\%$	$\leq 0,5\%$	$\leq 0,5\%$
	Peneira 0,075mm	$\leq 10\%$	$\leq 15\%$	$\leq 15\%$
Retenção de água		$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 70\%$
Incorporação de areia		$\geq 3,0$	$\geq 2,5$	$\geq 2,2$
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		$\geq 110$	$\geq 110$	$\geq 110$

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7175 (2003)

De acordo com estudos como o de Polito (2008), o emprego da cal em argamassas de revestimento, apresentou melhoras significativas no estado plástico da argamassa, como melhora na consistência, melhora na retenção de água, maiores porcentagens de ar incorporado na argamassa, toda via como era de se esperar, os resultados dos testes no estado endurecido, mostraram resistências de compressão,

tração e arrancamento, menores ao se aumentar o teor de cal na argamassa, visto isso é necessário mais estudos na área para identificação da dosagem ideal, além do fato de que a maioria dos estudos contemporaneamente não mostram essa influência da cal em argamassas feitas com teores mistos de agregado miúdo.

### 2.3.3 Água

Como descrito por Bastos (2019), a água é a responsável por permitir as reações químicas de hidratação do cimento, essas reação serão as responsáveis por garantir a resistência e durabilidade do concreto, além disso a água também é responsável por diminuir o atrito entre os grãos devido a película que ela cria entre eles, promovendo assim uma aglutinação do agregado pela pasta de cimento, fornecendo coesão e consistência para que o concreto em seu estado plástico possa ser produzido, transportado e colocado em formas sem perder a homogeneidade.

De acordo com Helene e Andrade (2010), outra influência da água na produção de argamassas e concreto, é a relação água/cimento, onde foi constatado que ao aumentar essa relação as massas produzidas apresentaram maior trabalhabilidade e fluidez, porém com um custo, pois ao aumentar a relação água/cimento foi observado uma diminuição nas resistências mecânicas das massas.

### 2.3.4 Agregado Miúdo

Para a norma ABNT NBR 9935 “Agregados Terminologia” (2011), o agregado é um material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para preparação de argamassas ou concreto

De acordo com a ABNT NBR 7211 “Agregados para Concreto - Requisitos” (2022), agregado miúdo são os agregados cujo os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 150 µm, com uma nota ressaltando que esses ensaios devem seguir a ABNT NBR 17054 “Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de Ensaio” (2022) com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1 “Peneiras de ensaio- Requisitos técnicos e verificação -parte1” (2011).

Segundo Bauer (1997), os agregados podem ser classificados quanto sua origem (natural ou artificial), tamanho (gráudo ou miúdo) e massa específica (leves normais e pesados). No caso dos agregados miúdos, também chamado de areia, esses podem ser caracterizados de acordo com seu modulo de finura (areia fina, média fina, média grossa ou grossa).

De acordo com Mesquita (2013) o modulo de finura é a soma das porcentagens retinas nas peneiras serie normal dividido por 100, no quadro 7 podemos ver como é feita essa divisão:

**Quadro 7 - Classificação pelo modulo de finura dos agregados miúdos**

Areia	Módulo de finura
1-Fina	<2,00
2-Média fina	2,00 - 2,49
3-Média grossa	2,50 – 2,85
4-Grossa	>2,85

**Fonte: Adaptado de Lara (2013)**

Outra característica importante de se avaliar os agregados miúdos são às curvas granulométricas, onde a partir delas, de acordo com a ABNT NBR 7211 (2022), podemos ver se a areia se encontra em uma zona ótima ou utilizável (quadro 8):

**Quadro 8 - Limites da distribuição granulométrica de agregados miúdos**

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
600µm	15	35	55	70
300µm	50	65	85	95
150µm	85	90	95	100

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

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

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

**Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7211 (2022)**

Estudos como os de Montanari (2016), já comprovaram como uma boa distribuição da granulometria dos grãos é importante para a resistência da argamassa ou do concreto produzido, pois caso a variação seja uniforme (distribuição granulométrica contínua) os grãos irão se compactar de forma que os menores irão

preencher os espaços entre os grãos maiores deixando assim a massa com menos poros, os autores ainda acrescentam que essa porosidade pode diminuir mais ainda com adição de grãos mais finos porém isso fara com que a necessidade de água aumente para que se atinja mesma trabalhabilidade.

#### 2.3.4.1 Areia Natural

Segundo Mesquita (2013) os agregados miúdos de origem natural são as provenientes da natureza como leito de rios (areia lavada) ou areias exploradas que são chamadas de areias de barranco ou de mina.

Segundo Nobre Filho (2011), a extração da areia natural em leitos de rios é ideal pois pode ser usada *in natura*, ou seja, sem que haja necessidade de tratamento, devido ao processo natural de lixiviação.

De acordo com o sumario mineral de 2017, publicado pela agência nacional de mineração, no brasil no período de 2014 a 2016 a produção de areia variou de 391.765.746 toneladas a 312.042.680 toneladas, sendo que 35% desse valor é destinado apenas as argamassas.

De acordo com Luz, Almeida e Braga (2012) cerca de 70% dessa extração no brasil é proveniente de leitos de rios e 30% das demais fontes. Porém como observado por Silva (2016) a extração em leitos de rios é prejudicial ao meio ambiente podendo causar destruição da vegetação das margens dos rios, alagamentos, aprofundamento extremo do leito, reduzir a fertilidade do solo e modificar o aspecto da paisagem.

#### 2.3.4.2 Areia de Britagem

A areia de britagem se enquadra como agregado artificial que de acordo com Mesquita (2013) se define como agregado obtido por processos industriais.

Segundo Silva *et al.* (2005) o emprego de areia artificial possui duas principais vantagens, a primeira sendo a redução dos impactos ambientais, já mencionados anteriormente, e a vantagem econômica, pois a produção da areia artificial pode ser realizada nas pedreiras das regiões próximas a obra, a partir de britadores instalados nos canteiros das pedreiras.

De acordo com Luz, Almeida e Braga (2018) o processo de britagem pode ser dividido em etapas como podemos ver no quadro 9:

**Quadro 9 - Tabela Processos de Britagem**

<b>Estágio de Britagem</b>	<b>Tamanho Máximo de Alimentação (mm)</b>	<b>Tamanho Máximo de Produção (mm)</b>
Britagem primária	1000	100,0
Britagem secundária	100	10,0
Britagem terciária	10	1,0
Britagem quaternária	5	0,8

**Fonte: Adaptado de Luz e Almeida (2018)**

Os autores afirmam que os processos de britagem têm como objetivo redução da granulometria do material que está sendo moído. Sendo que na britagem primária são utilizados os britadores, mandíbulas, giratórios, impacto e rolo dentado.

Para a britagem secundária é normalmente utilizado os britadores cônicos, giratórios secundários, mandíbula secundários, impacto e britador de rolos.

Para a britagem terciária é mais comumente utilizado os britadores cônicos, com granulometrias máximas de 25 a 3 mm, geralmente nessa etapa esses equipamentos operam em circuitos fechados.

Autores como Cabral (2007), informam um cuidado ao utilizar o “pó de pedra”, devido o seu auto teor de material pulverulento ou teor de fração fina, que é o material que passa da peneira de 0,075mm, criado pelos processos de britagem. Esse material demanda um alto consumo de cimento pois necessita de mais água na mistura para que se obtenha uma boa trabalhabilidade.

Outra característica importante a se salientar sobre a areia de britagem é sobre a forma de seus grãos como já descrito por Silva *et al.*(2005), a forma dos grãos podem influenciar na trabalhabilidade da argamassa, sendo que a areia de brita apresenta grãos mais angulosos, Luz, Almeida e Braga (2018) informam que uma forma de controlar essa variável é a utilização do britador de impacto vertical (*Vertical Shaft Impact*) ou VSI, onde os autores afirmam ser um britador capaz de produzir partículas com formatos mais cúbicos ou arredondados.

### 2.3.5 Aditivos

A classificação dos aditivos é baseada na ação ou efeito que esse causa na argamassa ou concreto, podendo ser química, física ou físico-química.

De acordo com Bauer (1997), aditivo é todo produto não indispensável a composição e finalidade do concreto, que deve ser integrado antes ou durando a mistura da argamassa, geralmente em quantidades pequenas e homogêneas, fazendo aparecer ou reforçar alguma característica desejada. A classificação dos aditivos é baseada na ação ou efeito que esse causa na argamassa ou concreto, podendo ser química, física ou físico-química.

Como exemplos Bauer propõe os seguintes agrupamentos para os aditivos:

Aditivos destinados a melhorar a trabalhabilidade do concreto:

- Plastificantes redutores
- Incorporadores de ar
- Dispersantes ou fluidificantes

Modificadores de resistência mecânica:

- Redutores plastificantes

Modificadores das resistências do concreto e condições especiais de exposição:

- Incorporadores de ar

Modificadores de tempo de pega e endurecimento:

- Retardadores
- Aceleradores

Impermeabilizantes:

- Repelentes a absorção capilar
- Redutores de permeabilidade

Expansores:

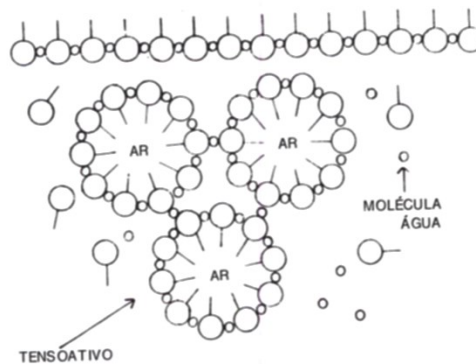
- Geradores de gás
- Estabilizadores de volume
- Geradores de espuma

### 2.3.5.1 Aditivos Incorporadores de Ar

De acordo com Rixon e Mailvaganam (1999), o aditivo incorporador de ar pode ser definido com uma mistura que quando adicionado causa o desenvolvimento de um sistema de bolhas microscópicas nas argamassas, dando a elas uma maior trabalhabilidade podendo assim diminuir o uso de água, além disso também aumenta resistência ao congelamento e descongelamento, e proporcionar um melhor acabamento.

De acordo com Bauer (1997), o incorporador de ar é um tensoativo com função de diminuir a tensão superficial da água, devido a baixa densidade as bolhas tenderão a subir até chegar à superfície onde se estabilizará sem se romper, como podemos ver na figura 3.

**Figura 3 - Comportamento bolhas de ar**



**Fonte: Bauer (1997)**

Diferentemente do ar aprisionado criado no processo de fabricação da argamassa, o ar incorporado por aditivo possui características diferentes, o ar incorporado por aditivo “cria” pequenas bolhas com dimensões predominantemente entre 25 e 250 microns com distância entre elas variando entre 100 a 200 microns, sendo que as bolhas pelo ar aprisionado podem chegar a cerca de 10mm de diâmetro, acarretando a uma diminuição da resistência final do concreto ou argamassa (BAUER, 1997).

Para Romano (2013), a adição de ar incorporado na argamassa, apesar de melhorar propriedades elásticas, acústicas e térmicas (Devido ao ar ser um bom isolante térmico), essa adição pode também resultar em uma maior permeabilidade dessa argamassa e redução da resistência mecânica.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Gil (2002) uma pesquisa pode ser classificada de acordo com seus objetivos e seus procedimentos técnicos utilizados. No caso dos objetivos a pesquisa pode ser exploratória, descritiva ou explicativa e no caso dos procedimentos técnicos ela pode ser uma pesquisa bibliográfica, documental, experimental, *ex-post facto*, levantamento, estudo de caso, pesquisa-ação e pesquisa participante.

Gil define as pesquisas exploratórias como uma pesquisa que objetiva dar uma maior familiaridade com o problema apresentado, pode-se dizer que esta pesquisa tem o objetivo de proporcionar um aprimoramento de ideias ou descoberta de intuições, esse trabalho se enquadra nesse tipo de pesquisa devido ao fato de diversos elementos estarem atuando no produto final, no caso a argamassa mista com agregados miúdos mistos e teores de cal e aditivos incorporadores de ar variados, tornando a compreensão de como essa argamassa responde a essas variações mais claras.

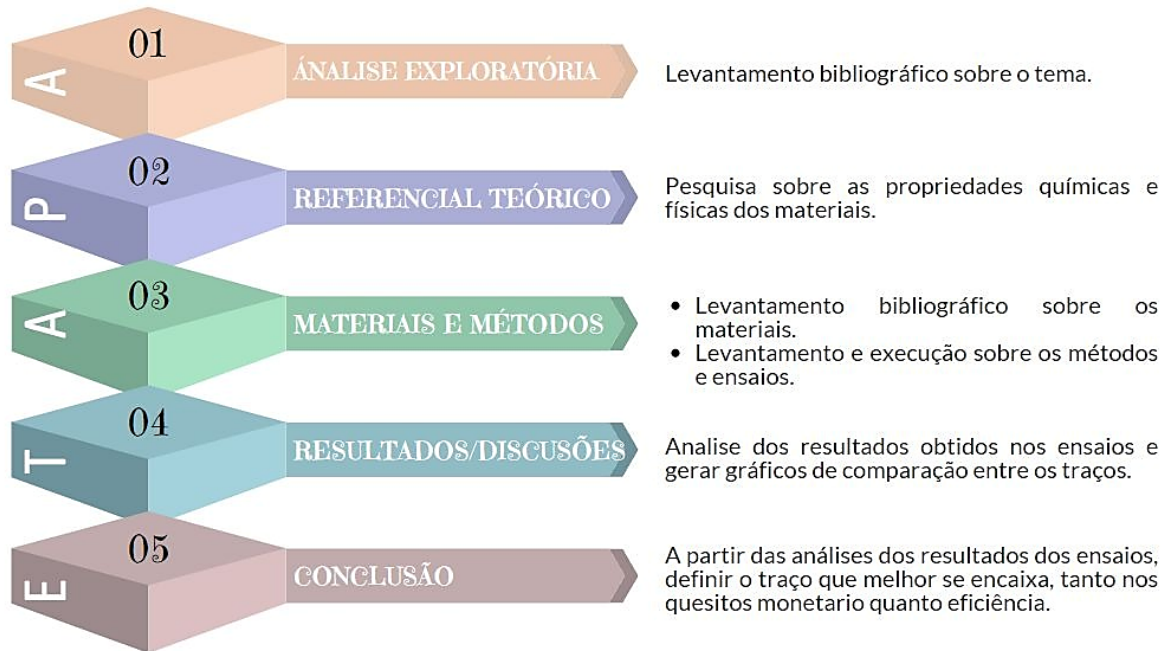
Para pesquisas descritivas o autor diz que o objetivo primordial é a descrição de características de determinado fenômeno ou população, estabelecendo relação entre variáveis, esse trabalho também se enquadra nesse tipo de pesquisa pois devido a variação dos teores de cal e AIA, na análise final dos ensaios poderá ser observado a partir de gráficos de correlação como a variação desses compostos afeta as características do produto.

Por fim, nas pesquisas explicativas, Gil afirma que a principal preocupação é identificar os fatores que contribuem para a ocorrência de determinados fenômenos. Este trabalho também se enquadra nesse tipo de pesquisa, pois, ao analisar os resultados dos ensaios, será possível identificar as variações nos compostos das argamassas que levaram a resultados específicos, permitindo chegar a conclusões sobre como esses elementos podem influenciar tais resultados.

Este trabalho consiste em uma pesquisa que engloba características descritivas, explicativas e qualitativas. Tem como objetivo investigar como os agregados e outros compostos presentes em uma argamassa, como a cal e o aditivo incorporador de ar, influenciam suas propriedades tanto no estado endurecido quanto no estado plástico. Isso será realizado por meio de ensaios experimentais, análise de

resultados e revisão bibliográfica relacionada ao tema. A metodologia do trabalho é representada no fluxograma (figura 4):

**Figura 4 - Fluxograma Metodologia de Pesquisa**



**Fonte: Autores (2023)**

Este fluxograma ilustra a sequência de etapas seguidas no trabalho, desde a seleção dos materiais e a definição das proporções até a realização dos ensaios e a análise dos resultados obtidos. Através dessa abordagem, espera-se obter uma compreensão mais aprofundada sobre o impacto dos diferentes componentes da argamassa nas suas características finais.

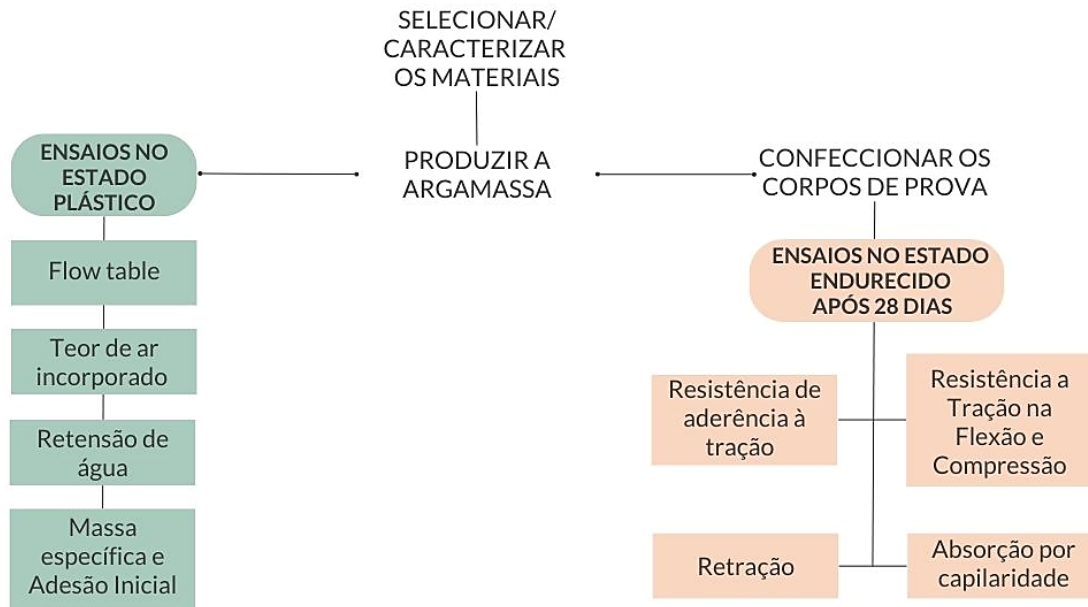
De acordo com Gil (2002) uma pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar variáveis que virão a influenciá-lo e definir as formas de controle e observação dos efeitos que essas variáveis virão a produzir no produto. Este trabalho se enquadra nesse tipo de pesquisa pois seus experimentos são normatizados pelas normas regulamentadores brasileiras, caracterizando todos os materiais utilizados e todos os procedimentos adotados nos ensaios para cada um dos traços das argamassas.

Este trabalho teve seus ensaios experimentais executados no Lab. Materiais nos canteiros da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco,

no bloco J, todos os ensaios, materiais e número de corpos de prova foram determinados com o objetivo de atender as normas regulamentadoras brasileiras.

A metodologia experimental, segue conforme o fluxograma abaixo (figura 5):

**Figura 5 - Fluxograma Metodologia Experimental**



**Fonte: Autores (2023)**

Este capítulo descreve os materiais, métodos de ensaio e procedimentos envolvidos.

### 3.1 Materiais

#### 3.1.1 Cimento

Nesse trabalho em questão a argamassa produzida será feita para revestimento externo, ou seja, estará sujeita ao sol, chuva e diversos outros intempéries. Buscando garantir a relevância deste trabalho ao mercado da construção civil local, optamos pelo cimento Portland composto CPII-Z-32 Votoran, sendo este o mais comumente utilizado nas obras da região e de fácil acesso.

Todos os ensaios foram realizados com o mesmo cimento fabricado em fevereiro de 2023 e lote 010/2023.

### 3.1.2 Cal

A cal hidratada escolhida para o trabalho é a CH-III, da marca Tancal. Que apresenta o padrão de qualidade da ABNT NBR 7175 “Cal hidratada para argamassas-Requisitos” (2003).

### 3.1.3 Agregado Miúdo Natural

O agregado miúdo natural utilizado foi a areia natural disponibilizada pela UTFPR Campus Pato Branco, no bloco J. Para garantir a qualidade, o material foi peneirado, sendo aprovado apenas o material passante pela peneira 4,8 mm.

Após peneirada a areia natural foi seca em estufa a 100° C por 24h, garantindo a umidade mínima necessária para a pesquisa.

### 3.1.4 Agregado Miúdo Artificial

O agregado graúdo artificial, utilizado foi o pó de brita fornecido pela UTFPR Campus Pato Branco, no bloco J. Assim como a areia natural a areia de britagem também foi peneirada adotando apenas o material passante pela peneira 4,8 mm.

Após peneirada a areia de britagem foi seca em estufa a 100° C por 24h, garantindo a umidade mínima necessária para a pesquisa.

### 3.1.5 Aditivo Incorporador de Ar - AIA

O AIA utilizado nesta pesquisa foi o “REBOFORT - aditivo incorporador de ar para argamassas e concreto micro celular”, que atende as normas ABNT NBR 11768 “Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Parte 1-Requisitos” (2019) tipo IA, compatível com todos os tipos de cimentos Portland. Doado pela empresa DAF Indústria Química LTDA.

### 3.1.6 Água

Para confecção da argamassa a água da mistura foi disponibilizada pelas instalações hidráulicas da UTFPR-PB, encontradas no canteiro de obras no bloco J.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Análise Granulométrica dos Agregados Miúdos

Como o objetivo deste trabalho é desenvolver um traço de argamassa para emboço, empregando 70% areia de britagem e 30% areia natural, é necessário entender a granulometria de cada um desses agregados e a composição granulométrica da mistura formada por estes.

A análise da composição granulométrica de ambos agregados foi executada conforme a norma ABNT NBR 17054 (2022).

A tabela 2 mostra o tamanho mínimo das amostras recomendados em norma. Como a dimensão máxima dos agregados estudados são de 4,75mm (areia fina) para cada tipo de agregado, foram secas duas amostras de 2kg (superior a mínima de 300g).

<b>Dimensão máxima nominal do agregado (mm)</b>	<b>Massa mínima da amostra de ensaio seca (kg)</b>
<4,75	0,3
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60

**Fonte: Adaptado de ABNT NBR 17054 (2022)**

Inicialmente, procedeu-se à seleção manual por meio de peneiramento para eliminar todo o material com tamanho de partícula superior a 4,75 mm, conforme as

diretrizes estipuladas pela norma ABNT NBR 7211 (2022), que estabelece esse valor como o diâmetro máximo para a classificação de agregado miúdo. Em seguida, tanto a areia natural quanto a areia proveniente do processo de britagem foram submetidas a um processo de secagem em estufas a uma temperatura de 100 graus Celsius por um período de 24 horas.

Após a etapa de secagem, as amostras passaram por um conjunto de peneiras que foram agitadas utilizando um agitador mecânico, conforme ilustrado na figura 6.

**Figura 6 - Agitador mecânico e Conjunto de Peneiras**



**Fonte: Autores (2023)**

Posteriormente, procedeu-se à pesagem do material retido em cada peneira, assegurando que as discrepâncias entre as amostras não excedessem 4%. Caso ocorresse uma diferença superior a esse limite, o ensaio seria reiniciado. O mesmo procedimento foi adotado para a massa total do material retido em todas as peneiras, inclusive o fundo, caso fosse constatada uma discrepância superior a 0,3% em relação à massa da amostra inicial.

Na figura 7 a seguir, podemos ver um exemplo da divisão das amostras retidas em cada peneira da amostra 1 de areia natural:

**Figura 7 – Separação do material retido em cada peneira**



Fonte: Autores (2023)

A porcentagem retida acumulada é calculada como a soma das porcentagens retidas nas peneiras com abertura superior ou igual à peneira em questão. O módulo de finura é obtido dividindo a soma das porcentagens retidas acumuladas divididas por 100.

A Tabela 3, exposta abaixo, é a tabela modelo de como os dados serão categorizados e estruturados durante a execução das análises. Nesse formato esquemático, serão representadas a média das porcentagens retidas e as porcentagens em massa de agregado retidas nas peneiras em relação à amostra total do agregado.

**Tabela 3 - Exemplo Granulometria areia natural**

Natural	Massa Retida (g)		Massa Retida (%)		Variação (%)	Média (%)	Acumulada (%)
	Amostra1	Amostra2	Amostra1	Amostra2			
Abertura da peneira							
4,8 mm	9,500	1,700	0,476	0,085	0,390	0,280	0,280
2,4 mm	17,400	10,300	0,871	0,515	0,355	0,693	0,974
1,2 mm	70,900	60,100	3,549	3,008	0,541	3,278	4,252
0,6 mm	231,300	263,000	11,578	13,163	1,585	12,370	16,622
0,3 mm	968,600	974,300	48,483	48,761	0,278	48,622	65,244
0,15 mm	615,600	628,100	30,814	31,435	0,621	31,124	96,369
FUNDO	13,300	11,200	0,666	0,561	0,105	0,613	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>1997,800</b>	<b>1998,100</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>M. DE FINURA</b>		<b>1,837</b>

Fonte: Autores (2023)

Uma vez determinada a composição granulométrica de ambas as areias, foi determinada a curva granulométrica da mistura 70% areia natural, 30% areia de

britagem. Verificando se a composição formada atende as recomendações da norma ABNT NBR 7211 (2022).

A norma em questão estabelece os limites para a distribuição granulométrica do agregado miúdo, conforme descrito na tabela 4. É importante ressaltar que essas diretrizes são direcionadas à classificação de agregados miúdos para concreto. Dado a ausência de uma norma específica voltada exclusivamente para agregados de argamassas, seguiremos as mesmas recomendações estabelecidas para o contexto de concretos.

**Tabela 4 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo**

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 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
600µm	15	35	55	70
300µm	50	65	85	95
150µm	85	90	95	100

NOTA 1: O módulo de finura utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

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

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

**Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7211 (2022)**

### 3.2.2 Análise do teor de material pulverulento

Conforme discutido previamente, a areia de britagem tende a possuir uma proporção mais elevada de material pulverulento em comparação com a areia natural. Dada a importância deste aspecto, torna-se crucial estabelecer o quanto deste material pulverulento está presente na areia de britagem empregada neste trabalho.

De acordo com a ABNT NBR 7219 “Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos” (2003), que atualmente é utilizada apenas como referência para termos técnicos, material pulverulento é definido como aquele que passa pela



peneira de 0,075 mm. Para identificar a quantidade desse material na areia de britagem estudada, foram adotados os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 16973 “Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75µm por lavagem” (2021).

A relevância desse estudo é destacada por Silva et.al. (2006), que demonstrou que o teor de material pulverulento afeta diretamente as propriedades da argamassa, como exigência de água para que se obtenha uma trabalhabilidade desejada, teor de ar aprisionado, densidade da massa, resistências mecânicas, capilaridade, índices de vazios e absorção de água.

Santos (2020), aprofundou seus estudos para descobrir qual seria a porcentagem ideal de material pulverulento em argamassas estabilizadas, chegando a conclusão que os melhores resultados de desempenho foram obtidos quando a quantidade de material pulverulento se mantém na faixa de 12 a 15%.

Inicialmente, foram coletadas duas amostras de 1 kg de areia de britagem, previamente secas em estufa a uma temperatura de 100 °C por 24 horas. Em seguida, o processo de lavagem do agregado miúdo foi realizado com cuidado, utilizando a peneira de 0,075 mm, a fim de evitar qualquer transbordamento que pudesse comprometer os resultados.

Após a lavagem, o material foi depositado em bandejas e colocado em estufa a uma temperatura de 100°C por 24 horas. Em seguida, foi realizada a pesagem do agregado livre de material pulverulento, utilizando a equação (1), disponibilizada pela ABNT NBR 7219, para determinar o teor desse material no agregado miúdo:

$$m = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde a quantidade de material fino ou material pulverulento ( $m$ ), em porcentagem é definida pela massa inicial da amostra seca ( $m_i$ ) e a massa da amostra seca após lavagem ( $m_f$ ).

### 3.2.3 Massa Específica

#### 3.2.3.1 Agregados

O ensaio de massa específica foi realizado seguindo as recomendações da norma NM 52 “Agregado miúdo- Determinação de massa específica e massa específica aparente” de 2002. O procedimento consiste em saturar uma amostra de 1 kg de areia com água, deixando está submersa por 24h, após esse período a amostra foi retirada da água levando está para uma superfície plana sobre efeito de corrente de ar, secando a amostra até que os grãos deixem de ficar fortemente aderidos entre si. Chegando assim à condição de saturada superfície seca.

Foi então pesado uma amostra de 500g (ms) adicionada a um frasco de capacidade 500cm<sup>3</sup> e erro inferior a 0,15 cm<sup>3</sup> a 20°C, registrando a massa do conjunto amostra mais recipiente (m1). Preenchendo o recipiente até a marca de 500 cm<sup>3</sup> e agitando para eliminar bolhas de ar.

Depois de uma hora o recipiente foi completado novamente para estar em 500cm<sup>3</sup>, pesando novamente o conjunto (m2). Após finalizar o ensaio o agregado foi seco em estufa por 24h a 100°C e pesado novamente obtendo a massa m. O cálculo da massa específica aparente do agregado foi definido pela equação (2):

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (2)$$

Onde d1 é a massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico, m é a massa da amostra seca em estufa, V é o volume do frasco em cm<sup>3</sup> e Va é o volume de água adicionada ao frasco obtido pela equação (3):

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (3)$$

Onde m1 é a massa do conjunto frasco areia, m2 é a massa do conjunto frasco agregado e água e  $\rho_a$  é a massa específica da água. Este procedimento foi realizado para ambas as areias natural e de britagem.

### 3.2.3.2 Aglomerantes

O ensaio de massa específica aparente de ambos os aglomerantes, cimento Portland e cal hidratada segue as recomendações da norma ABNT NBR 16605 “Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica” de 2017. As amostras foram retiradas dos mesmos sacos de cimento e cal utilizados neste estudo.

Como recomenda a norma, um frasco de 250cm<sup>3</sup> (figura 8) até a marca zero da escala e graduação de resolução de 0,05 cm<sup>3</sup>. Preenchido até sua marca zero com líquido não reativo, querosene e seco até parte superior antes do líquido.

**Figura 8 - Frascos de Le Chatelier**



**Fonte: Autores (2023)**

Uma vez preenchido o frasco obteve-se a primeira leitura (V1), introduzindo a amostra de material seco (60 gramas cada), agitando o frasco até que não subam mais bolhas de ar sobre o líquido (figura 9). O frasco foi deixado em repouso e após 30 minutos foi realizada a leitura final (V2).

**Figura 9 - Frasco de Le Chatelier pós segunda leitura**



**Fonte: Autores (2023)**

A massa específica do material foi calculada pela seguinte equação (4):

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1} \quad (4)$$

Onde  $m$  é a massa da amostra de material ensaiado, e  $V_2$  e  $V_1$  as leituras final e inicial do frasco. Foram realizados dois ensaios para cada material, cal e cimento Portland.

### 3.2.4 Massa Unitária

Para esse trabalho utilizamos a norma ABNT NBR 16972 “Agregados-Determinação da massa unitária e do índice de vazios” (2021), mais precisamente o método A.

De acordo com a norma, o método A, a massa unitária de um agregado é a relação entre a massa do material e o volume que ele ocupa, considerando os vazios existentes entre as partículas. Foram realizados os ensaios para determinar a massa unitária do cimento CII-Z, cal, areia natural e areia de britagem.

Nas imagens 10 a 15, são apresentadas a aferição da massa do recipiente com a massa dos agregados, após realização dos procedimentos propostos pelo método A da ABNT NBR 16972.

**Figura 10 - Peso do recipiente padrão**



**Fonte: Autores (2023)**

**Figura 11 - Volume recipiente padrão**



Fonte: Autores (2023)

**Figura 12 - Ensaio massa unitária cimento**



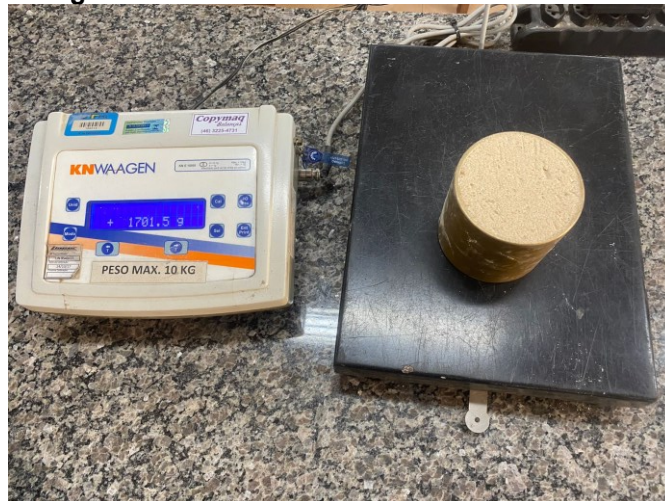
Fonte: Autores (2023)

**Figura 13 - Ensaio massa unitária cal CH-III**



Fonte: Autores (2023)

**Figura 14 - Ensaio massa unitária areia natural**



Fonte: Autores (2023)

**Figura 15 - Ensaio massa unitária areia de britagem**



Fonte: Autores (2023)

Para determinar a massa unitária dos materiais foi adotada a seguinte equação (5):

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (5)$$

Onde a massa unitária ( $\rho_{ap}$ ) em  $\text{kg/m}^3$  é definida pela massa do recipiente com o material estudado ( $m_{ar}$ ) em kg, a massa do recipiente ( $m_r$ ) em kg e o volume do recipiente ( $V$ ) em  $\text{m}^3$ .

### 3.2.5 Resistência do Cimento

De acordo com a norma ABNT NBR 7215 “Cimento Portland-Determinação da resistência á compressão de corpos de prova cilíndricos” de 2019, a resistência á compressão característica do cimento é determinada utilizando corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. As amostras foram produzidas seguindo a recomendação da norma, três partes de areia para uma parte de cimento e com um fator água/cimento de 0,48.

A areia utilizada (figura 16), no ensaio foi a areia normal brasileira do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), que respeita as recomendações da norma ABNT NBR 7214 “Areia normal para ensaio de cimento-especificação” de 2015. Classificada em grossa (#16), média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100).

**Figura 16 – Areias ABNT NBR 7214**



**Fonte: Autores (2023)**

Foram produzidos 4 corpos de prova para cada idade a ser estudada, como recomenda a norma ABNT NBR 16697 “Cimento Portland -Requisitos” de 2018. No caso do cimento CP2-Z, para as idades de 3, 7 e 28 dias. Seguindo a tabela 5 que indica a quantidade de material necessária para o ensaio.

**Tabela 5 - Quantidade de material**

<b>Material</b>	<b>Massa para Mistura (g)</b>
Cimento Portland	624±0,4
Água	300±0,2
Areia Normal:	
-Fração grossa	468±0,3
-Fração média grossa	468±0,3
-Fração média fina	468±0,3
-Fração fina	468±0,3

**Fonte: Adaptado ABNT NBR 7215 (2019)**

Para os 12 corpos de prova necessários foi utilizado o dobro da quantidade indicada. A mistura foi realizada utilizando um misturador mecânico, adicionando primeiramente a água e o cimento em velocidade baixa por 30 segundos, em seguida as areias misturando por mais 30 segundos, em seguida aumentamos a velocidade para alta pelos próximos 30 segundos. A argamassa então descansa por 90 segundos, neste tempo foi limpo com uma espátula as laterais do misturador, após este intervalo agitamos novamente a mistura por 60 segundos em velocidade alta.

Corpos de prova foram moldados em 4 camadas de 30 golpes cada, permanecendo nos moldes por 24h. Uma vez desmoldados os corpos de prova foram curados em um recipiente cobertos por água saturada de cal permanecendo em cura até o momento da rutura.

Ao atingir a idade necessária os corpos de prova foram retificados e rompidos na prensa com uma força de  $0,25 \pm 0,05$  Mpa/s (figura 17). A resistência média foi calculada por meio da média entre os quatro corpos de prova estudados, eliminando corpos de prova que apresentem um desvio relativo maior que 6%.

**Figura 17 - Retifica, Ensaio de Compressão e Corpos de Prova**



**Fonte: Autores (2023)**

### 3.2.6 Dosagem da Argamassa

Ao escolher o traço inicial para este trabalho levamos em consideração os estudos de Santos et al (2019), que chegou a um traço ideal para argamassas de emboço constituídas de areia artificial (1:0,455:6,793). Outro estudo levado em consideração foi o de Dubaj (2000), que estudou e classificou os traços mais utilizados



na Região de Porto Alegre, o traço com melhor desempenho dentro dos ensaios da ABNT NBR 13281 (2023) foi o de 1:1:6. Dessa forma escolhemos como ponto de partida o traço contendo 1 de cimento para 6 de areia.

Os traços desenvolvidos a partir do traço base variam em suas proporções de cal hidratado e AIA como mostra a tabela 6.

**Tabela 6 - Tabela dos Traços de Estudo**

Incorporador de ar	Traço (Cimento: Cal: Areia)		
	0,2	1: 0,2: 6	1: 0,4:6
0,4	1: 0,2: 6	1: 0,4:6	1:0,6: 6
0,6	1: 0,2: 6	1: 0,4:6	1:0,6: 6

**Fonte: Autores (2023)**

Para facilitar o manuseio e organização das misturas estas foram numeradas de um a nove de acordo com o teor de cal incorporado e AIA presente em cada (tabela 7).

**Tabela 7 - Resumo Misturas**

Mistura	Traço (Cimento: Cal: Areia) -Aditivo%
1	(1: 0,2: 6) -0,2%
2	(1: 0,2: 6) -0,4%
3	(1: 0,2: 6) -0,6%
4	(1: 0,4: 6) -0,2%
5	(1: 0,4: 6) -0,4%
6	(1: 0,4: 6) -0,6%
7	(1: 0,6: 6) -0,2%
8	(1: 0,6: 6) -0,4%
9	(1: 0,6: 6) -0,6%

**Fonte: Autores (2023)**

A quantidade de água de cada traço foi determinada pelo ensaio de consistência, partindo de uma porcentagem de 15% (recomendada por Santos *et al.*, 2018), até atingir uma abertura de  $260^{\pm 10}$  mm no *flow table*.

### 3.2.7 Ensaios Estado Plástico

#### 3.2.7.1 Ensaio Da Mesa De Consistência (Flow Table)

O ensaio Flow Table ou ensaio da mesa de consistência (figura 18) é normatizado pela ABNT NBR 13276 “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência” (2016).

**Figura 18 - Mesa de Consistência "Flow Table"**



Fonte: Autores (2023)

Ao produzir cada argamassa, sua consistência foi aferida com a ajuda da mesa de consistência. Adicionando água caso necessário. Com a mesa e tronco cônico limpos, preenchemos o molde em 3 camadas de alturas iguais aplicando em cada camada 15, 10 e 5 golpes respectivamente.

Após esse processo o molde é retirado verticalmente, efetuando em seguida 30 golpes em 30 segundos. Medindo a abertura da argamassa imediatamente após a última queda, 3 medidas de diâmetros diferentes com um paquímetro, o espalhamento da argamassa sobre a mesa (figura 19).

**Figura 19 - Abertura Flow Table**



Fonte: Autores (2023)

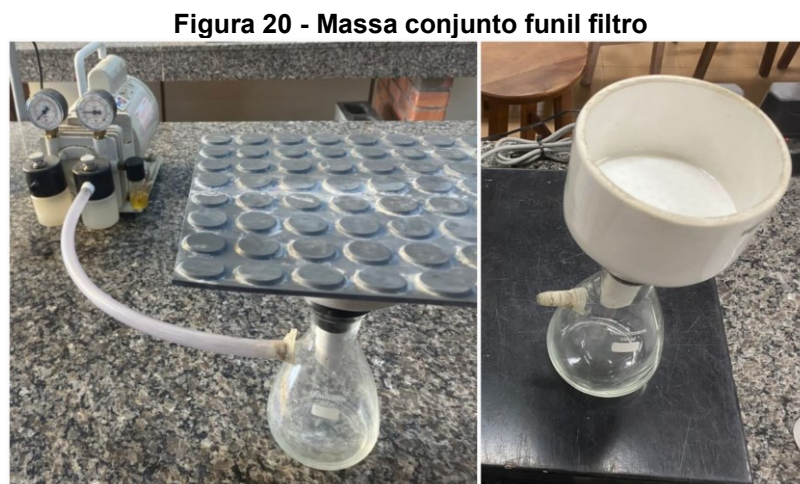
O espalhamento que buscamos é uma abertura de  $260^{\pm 10}$  mm de diâmetro, logo a quantidade de água em cada traço foi definida até atingir a consistência desejada neste ensaio.

### 3.2.7.2 Retenção de Água

Para o ensaio de retenção de água foram adotadas as recomendações da norma ABNT NBR 13277 “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água”, (2005).

Para esse ensaio foi necessário um funil de Buchner com bomba de vácuo, disco de papel-filtro com 200mm de diâmetro, soquete metálico, régua metálica, balança com resolução de 0,1 g e um cronometro, esses utensílios foram disponibilizados pelo laboratório de matérias da UTFPR-PB.

Primeiramente foi verificado se o conjunto funil e bomba estão estanques umidificando o papel filtro e posicionado este sobre o fundo do prato. Acionando a bomba de vácuo criando uma sucção de 51 mm de mercúrio, retirando o excesso de água no papel-filtro por 90 segundos, e em seguida medindo a massa do conjunto funil/papel-filtro ( $m_v$ ), figura 20.



**Fonte: Autores (2023)**

O próximo passo foi preencher o prato com a argamassa recém preparada até um pouco acima da borda e adensá-la com 37 golpes de soquete, sendo 16 aplicados uniformemente junto a borda e 21 aplicados em pontos centrais da amostra.

Após o processo de adensamento, fazendo uso de a régua foi nivelada a superfície e pesado o conjunto com a argamassa ( $m_a$ ), como na figura 21.

**Figura 21 - Massa conjunto funil argamassa ( $m_a$ )**



Fonte: Autores (2023)

O conjunto funil argamassa permaneceu então sobre uma sucção de 51mm de mercúrio por 15 minutos, medindo ao fim a massa do conjunto funil argamassa ( $m_s$ ), como na figura 22.

**Figura 22 - Massa conjunto funil argamassa após sucção ( $m_s$ )**



Fonte: Autores (2023)

O cálculo de retenção da água ( $R_a$ ), realizado através da equação (6):

$$R_a = \left[ 1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF(m_a - m_v)} \right] * 100 \quad (6)$$

Onde, ( $m_a$ ) é a massa do conjunto funil mais argamassa, ( $m_s$ ) é a massa do conjunto funil argamassa após os 15 minutos de sucção e ( $m_v$ ) é a massa do conjunto funil e filtro. E o fator água/argamassa (AF) é definido pela equação (7):

$$AF = \frac{m_w}{m+m_w} \quad (7)$$

Onde ( $m_w$ ) é a massa total de água na argamassa, e ( $m$ ) é a soma das massas dos componentes anidros da argamassa.

### 3.2.7.3 Massa Específica e Teor de Ar Incorporado

Para determinar a massa específica e teor de ar incorporado da argamassa no estado fresco foram adotados os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 13278 “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado” (2005).

Primeiramente, foi realizada uma análise do recipiente cilíndrico, na qual se determinou a massa do recipiente vazio ( $m_v$ ). Em seguida, o recipiente foi preenchido com água e sua massa foi aferida ( $m_s$ ). O volume do recipiente ( $V_r$ ) é determinado utilizando a seguinte equação (8):

$$V_r = m_s - m_v \quad (8)$$

Após a confecção da argamassa, preenchamos o recipiente padrão em 3 camadas iguais, aplicando 20 golpes em cada. Após a execução das camadas foram efetuadas 3 quedas de 3 cm do recipiente, em seguida rasando o recipiente com ajuda de uma espátula e registrando a massa do molde com a argamassa ( $m_c$ ).

O cálculo da densidade da argamassa ( $d$ ), pode ser efetuado de acordo com a seguinte equação (9):

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} * 1.000 \quad (9)$$

Onde a densidade da argamassa ( $d$ ) em  $\text{kg/m}^3$  é definida pela massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa ( $m_c$ ) em gramas, a massa do recipiente cilíndrico vazio ( $m_v$ ) e o volume do recipiente em ( $v_r$ )  $\text{cm}^3$ .

O teor de ar incorporado da argamassa ( $A$ ) pode ser definido através da equação (10):

$$A = 100 \left( 1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (10)$$

Onde o teor de ar incorporado pode ser definido pela densidade da argamassa ( $d$ ) em  $\text{kg/m}^3$  e pela densidade teórica da argamassa ( $d_t$ ) que para argamassa dosadas pode ser encontrada através da seguinte equação (11):

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (11)$$

A densidade teórica da argamassa depende da somatória das massas dos componentes da argamassa ( $m_i$ ) e a massa específica de cada componente ( $\gamma_i$ ).

#### 3.2.7.4 Adesão Inicial

A adesão inicial da argamassa ao substrato é uma característica de suma importância, sem ela a argamassa não executa nenhuma de suas funções. A adesão inicial está diretamente ligada com a trabalhabilidade da argamassa, ou seja, está envolvida a diversas outras propriedades como consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, exsudação e densidade da massa (CARASEK; 2010).

A adesão inicial é a capacidade de união inicial da argamassa em seu estado fresco a um substrato, propriedade relacionada às características reológicas da pasta aglomerante em especial a tensão superficial, quanto maior a redução da tensão superficial maior será a molhagem do substrato e assim maior a adesão. Essa tensão superficial da pasta pode é modificada com sua composição, alguns exemplos de adições que diminuem a tensão superficial e por consequência aumentam a adesão inicial são a cal e o AIA (CARASEK; 2010).

Não há normalização para avaliar a adesão inicial no Brasil, diante disto, a argamassa foi avaliada pelo profissional que executou o emboço da parede (figura 23) destinada ao ensaio de arrancamento.

**Figura 23 – Avaliação de Aderência Inicial**



**Fonte: Autores (2023)**

### 3.2.8 Ensaio Estado Endurecido

#### 3.2.8.1 Retração

O processo de retração é associado diretamente a formação de fissuras afetando na qualidade e durabilidade de um revestimento cimentício. A retração plástica ocorre quando a uma variação de volume, pela perda de umidade ainda no estado plástico, enquanto na retração de secagem isso ocorre já no estado endurecido. Outros fatores podem influenciar e causar esta variação em volume como no caso retração térmica, autógena e química (SILVA, 2011).

A retração e expansão linear de argamassas é determinada segundo os procedimentos da norma ABNT NBR 15261 (2005) “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)”.

Foram moldados 3 corpos de prova prismáticos (25 x 25 x 285 mm) para cada traço estudado. Alguns cuidados foram tomados quanto a moldagem dos corpos de

prova, como não passar desmoldante próximo ao pino de referência (figura 24). Adicionar a argamassa aos moldes em duas camadas de espessuras semelhantes, aplicando 25 golpes em cada e soltando os parafusos laterais que seguram os pinos antes de levar os moldes a estufa.

**Figura 24 - Forma corpos de prova retração**



**Fonte: Autores (2023)**

Após  $72 \pm 6$  horas os corpos de prova foram retirados dos moldes, pesados e medidos com a ajuda de um aparelho comparador de medidas como o da figura 25. Obtendo os valores iniciais de  $L_0$  e  $m_0$ . Este processo foi repetido após 28 dias.

**Figura 25 - Aparelho comparador de comprimento**



**Fonte: Autores (2023)**

O processo de aferição da variação dimensional foi conduzido de maneira a calibrar o equipamento, inicialmente medindo a haste metálica de referência, seguida da medição dos quatro lados de cada corpo de prova. O valor a ser considerado para



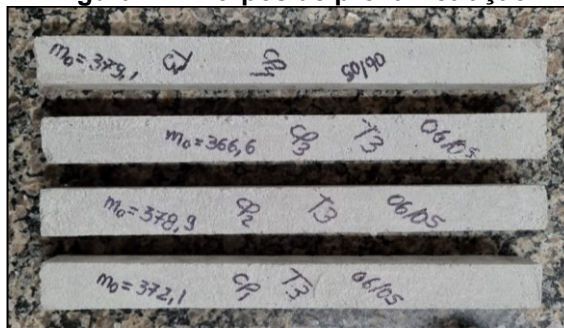
cada período será a menor medida obtida entre os quatro lados (figura 26). Os corpos de prova foram devidamente identificados para manter a consistência na orientação ao realizar o ensaio (figura 27).

**Figura 26 - Uso equipamento de comparação de comprimento.**



Fonte: Autores (2023)

**Figura 27 - Corpos de prova Retração**



Fonte: Autores (2023)

A variação dimensional ( $\varepsilon_i$ ) é calculada por meio da equação (12):

$$\varepsilon_i = \frac{L_i - L_0}{0,25} \quad (12)$$

Onde a variação dimensional ( $\varepsilon_i$ ), retração se negativa e expansão se positiva, é definida pela leitura feita após a desforma da amostra ( $L_0$ ) e a leitura de cada idade estudada ( $L_i$ ).

A variação de massa foi calculada pela equação (13):

$$\Delta m_i = \frac{m_i - m_0}{m_0} * 100 \quad (13)$$

Onde a variação de massa ( $\Delta m_i$ ) é definida pela massa a idade final ( $m_i$ ) e pela massa após a desforma do corpo de prova ( $m_0$ ) em gramas.

### 3.2.8.2 Resistência a Tração na Flexão e Compressão

Para os ensaios de resistência a tração na flexão e compressão, foram adotadas as recomendações da norma ABNT NBR 13279 (2005). Confeccionando 3 corpos de provas para cada traço com os moldes prismáticos metálicos (4 x 4 x 16 cm) assim como a prensa hidráulica (figura 28) foram disponibilizados pelo laboratório de engenharia civil da UTFPR-PB.

**Figura 28 - Prensa Hidráulica**

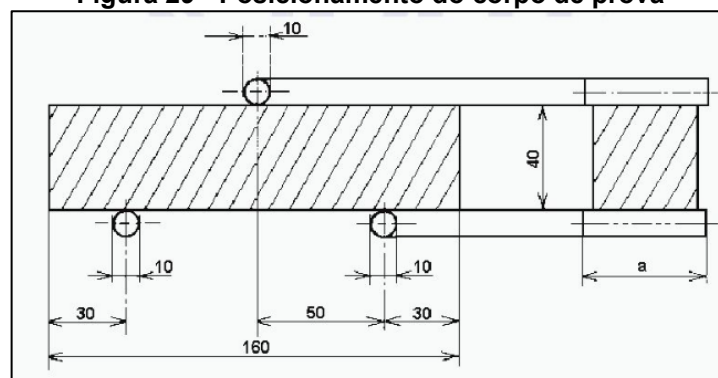


**Fonte: Autores (2023)**

Os corpos de prova foram moldados em duas camadas, usando a mesa de adensamento aplicando 30 quedas para cada camada. Em seguida os corpos de prova foram rasados com a ajuda de uma espátula metálica. Permanecendo nos moldes por 24h, permanecendo em estufa com temperatura ( $23 \pm 2$  °C) e humidade ( $60 \pm 5\%$ ) controladas até a idade de ensaio 28 dias.

Após 28 dias, a partir da confecção dos corpos de prova, foi realizado o ensaio de resistência à tração na flexão. O posicionamento do corpo de prova foi feito conforme a norma, utilizando roletes com comprimento entre 45mm e 50 mm, com diâmetro de  $10,0 \pm 0,5$  mm e distância de  $100,0 \pm 0,5$  mm, como pode ser observado nas figuras 29 e 30:

**Figura 29 - Posicionamento do corpo de prova**



**Fonte: ABNT NBR 13279 (2005)**

**Figura 30 - Ensaio de tração na flexão**



Fonte: Autores (2023)

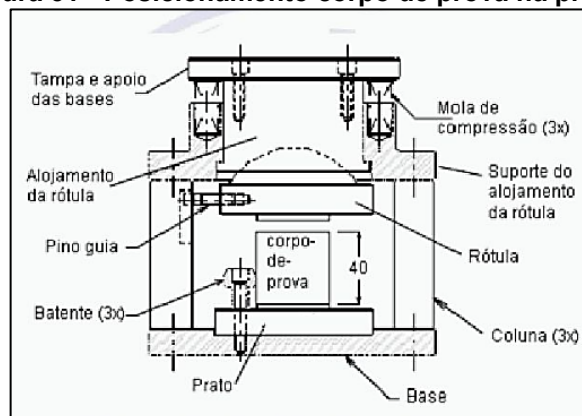
A carga foi aplicada com  $50 \pm 10$  N/s até a ruptura do corpo de prova, após isso foi calculada a resistência à tração na flexão de acordo com a seguinte equação (13):

$$R_t = \frac{1,5 \cdot F_t \cdot L}{40^3} \quad (13)$$

Onde a resistência à tração na flexão ( $R_t$ ) depende da carga aplicada verticalmente no centro do prisma ( $F_t$ ) em Newtons e da distância entre os suportes ( $L$ ) em mm.

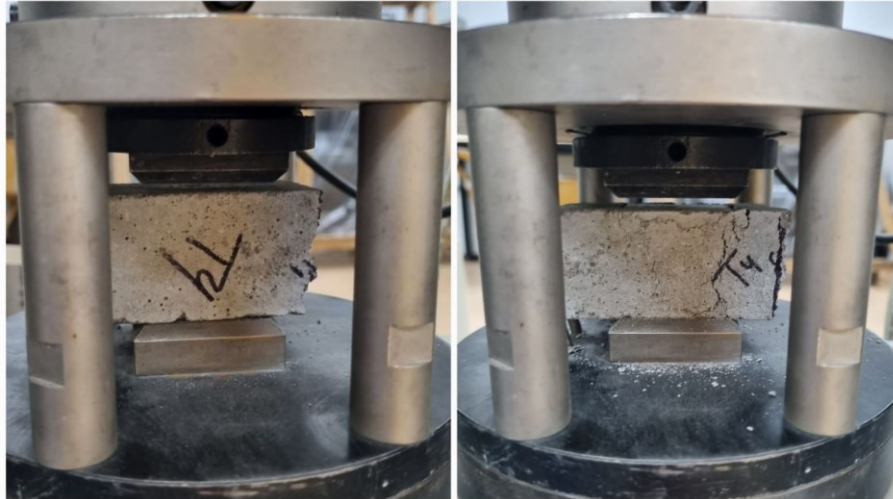
Para o ensaio de resistência à compressão axial, foram reservadas 3 metades dos corpos de prova usados no ensaio de flexão de forma que a parte capeada não faça contato com o apoio e com o dispositivo de carga, como nas figuras 31 e 32:

**Figura 31 - Posicionamento corpo de prova na prensa**



Fonte: ABNT NBR 13279 (2005)

**Figura 32 - Ensaio Compressão**



**Fonte: Autores (2023)**

A carga foi aplicada de 500 +/- 50 N/s até a ruptura do corpo de prova, e a resistência à compressão foi calculada pela seguinte equação (14):

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (14)$$

Onde a resistência à compressão ( $R_c$ ) em Mpa é definido pela carga máxima aplicada ( $F_c$ ) em Newtons e pela área de contato da prensa (1600 mm<sup>2</sup>).

### 3.2.8.3 Resistência de Aderência a Tração

O ensaio em questão foi conduzido de acordo com as recomendações das normas ABNT NBR 13528-1 "Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 1: Requisitos Gerais" (2019) e ABNT NBR 13528-2 "Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 2: Aderência ao substrato" (2019), normas estas que apresentam a metodologia para ensaios no plano vertical.

Os equipamentos utilizados foram: dinamômetro de tração, dispositivo de corte, paquímetro e adesivo epóxi.

A superfície da parede foi limpa, aplicado uma camada de chapisco que com cura de sete dias, antes da aplicação do emboço. Com o intuito de reduzir o tempo de cura do chapisco de 28 para sete dias, optou-se pela utilização do cimento CP-V em

sua composição. A proporção selecionada foi de 1:3 (cimento: areia de britagem), figura 33.

**Figura 33 - Execução Chapisco**



**Fonte: Autores (2023)**

Após a cura, foram aplicadas as mestras, dividindo as seções destinadas a aplicação das composições de argamassas estudadas (figura 34). Para assegurar o controle dos traços usados os materiais empregados foram pesados em laboratório.

**Figura 34 - Execução Mestras**



**Fonte: Autores (2023)**

O emboço foi aplicado pelo mesmo profissional responsável pelo chapisco, que ajustou a quantidade de água conforme necessário para garantir a qualidade do serviço (figura 35). Em decorrência dessas variações, foram moldados três corpos de prova para cada uma das misturas investigadas, visando a compreensão das implicações decorrentes dessa adição à mistura.

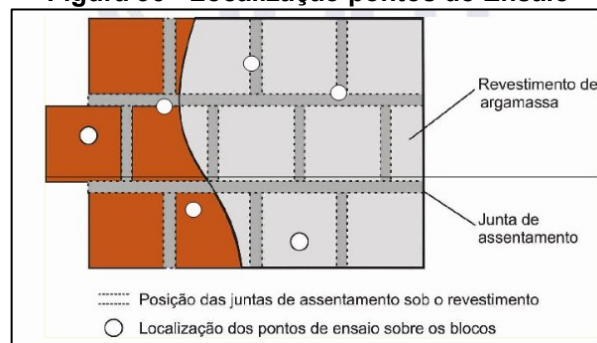
**Figura 35 - Execução Emboço**



**Fonte: Autores (2023)**

Passados 28 dias da confecção do emboço, iniciou-se o processo de confecção dos furos, colagem das pastilhas e consequente arrancamento. Os ensaios foram feitos de forma aleatória, conforme norma, figura 36.

**Figura 36 - Localização pontos de Ensaio**



**Fonte: ABNT NBR 13528 (2019)**

O ensaio foi executado inicialmente com o dinamômetro de tração disponível no Lab. Materiais da UTFPR-PB, que resultou em valores inconsistentes aos esperados sendo necessário usar outro equipamento, que possuía um padrão diferente de encaixe nas pastilhas já fixadas (figura 38), o que exigiu a realização de novos furos no espaço restante da parede de ensaio.

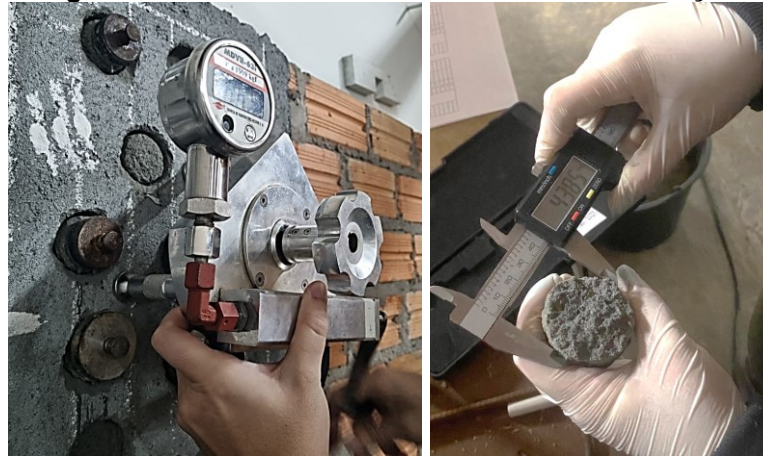
**Figura 37 – Incompatibilidade de encaixe no segundo equipamento.**



**Fonte: Autores (2023)**

A figura 38 mostra a execução do ensaio, no processo de arrancamento e medida do diâmetro de cada amostra.

**Figura 38 - Ensaio da resistência de aderência a tração**



Fonte: Autores (2023)

O cálculo da resistência de aderência a tração de cada corpo de prova foi realizado com a ajuda da seguinte equação (15):

$$Ra = \frac{F}{A} \quad (15)$$

Onde a resistência de aderência a tração ao substrato ( $Ra$ ) em Mpa é obtida através da força de ruptura ( $F$ ) em N e da área do corpo de prova ( $A$ ) em  $\text{mm}^2$ .

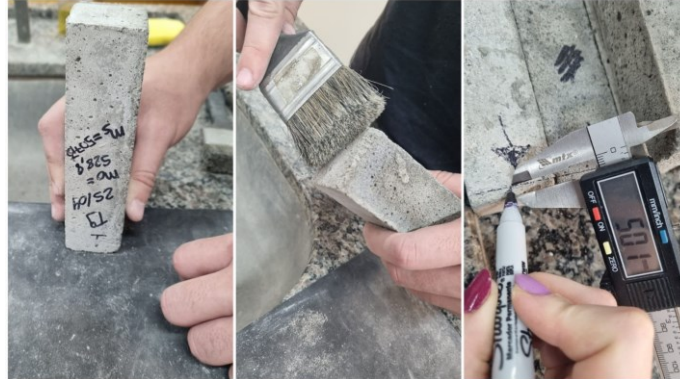
#### 3.2.8.4 Absorção por Capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade é regido pela ABNT NBR 15259 “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade” (2005). Neste ensaio foram utilizados 3 corpos de prova moldados de acordo com a norma ABNT NBR 13279 (2005).

Foram submetidos a ensaios um total de 6 corpos de prova para cada uma das nove misturas investigadas, sendo 3 provenientes da dosagem inicial e 3 produzidos simultaneamente com a argamassa destinada ao ensaio de resistência de aderência à tração. Os corpos de prova foram testados após 28 dias de idade, sendo

que suas superfícies foram preparadas mediante lixamento e limpeza utilizando um pincel, conforme ilustrado na figura 39.

**Figura 39 - Preparo CP para ensaio de absorção d'água por capilaridade**



Fonte: Autores (2023)

Após preparo dos corpos de prova os foi determinada a massa inicial ( $m_0$ ) em gramas. Posicionando então as amostras com sua face quadrada em contato com água, mantendo seu nível constante de 5 mm acima da face submersa (figura 40).

**Figura 40 - Ensaio de absorção de água por capilaridade**



Fonte: Autores (2023)

A partir do contato, foi determinada a massa de cada corpo de prova aos 10 minutos de ensaio ( $m_{10}$ ) e aos 90 minutos de ensaio ( $m_{90}$ ). A absorção de água por capilaridade foi calculada de acordo com a equação (16):

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (16)$$

Onde a absorção da água por capilaridade ( $A_t$ ) para cada tempo em gramas por  $\text{cm}^2$  é determinada com a ajuda da massa do corpo de prova em cada tempo ( $m_t$ ) e a massa inicial ( $m_0$ ). O coeficiente de capilaridade ( $C$ ) é definido pela equação (17):

$$C = (m_{90} - m_{10}) \quad (17)$$



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização dos Materiais

#### 4.1.1 Análise Granulométrica dos Agregados

As tabelas 8 e 9, apresentam os resultados obtidos no ensaio, mostrando as médias das massas retidas em gramas, e as massas de agregado retidas nas peneiras em relação à amostra total do agregado, em gramas e porcentagens.

**Tabela 8 - Granulometria Areia Natural**

Natural	Massa Retida (g)		Massa Retida (%)		Variação (%)	Média (%)	Acumulada (%)
	Amostra1	Amostra2	Amostra1	Amostra2			
4,8 mm	9,500	1,700	0,476	0,085	0,390	0,280	0,280
2,4 mm	17,400	10,300	0,871	0,515	0,355	0,693	0,974
1,2 mm	70,900	60,100	3,549	3,008	0,541	3,278	4,252
0,6 mm	231,300	263,000	11,578	13,163	1,585	12,370	16,622
0,3 mm	968,600	974,300	48,483	48,761	0,278	48,622	65,244
0,15 mm	615,600	628,100	30,814	31,435	0,621	31,124	96,369
FUNDO	13,300	11,200	0,666	0,561	0,105	0,613	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>1997,800</b>	<b>1998,100</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>M. DE FINURA</b>		<b>1,837</b>

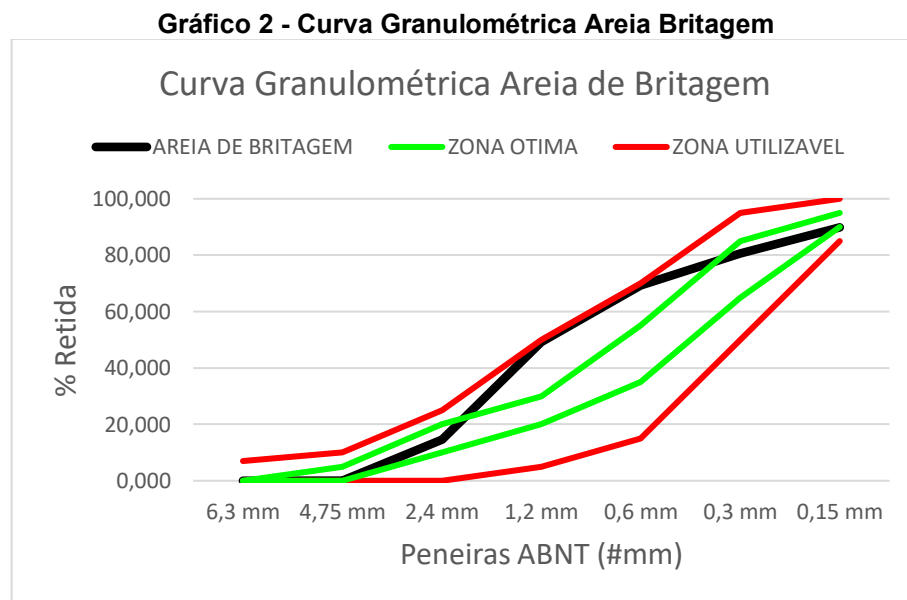
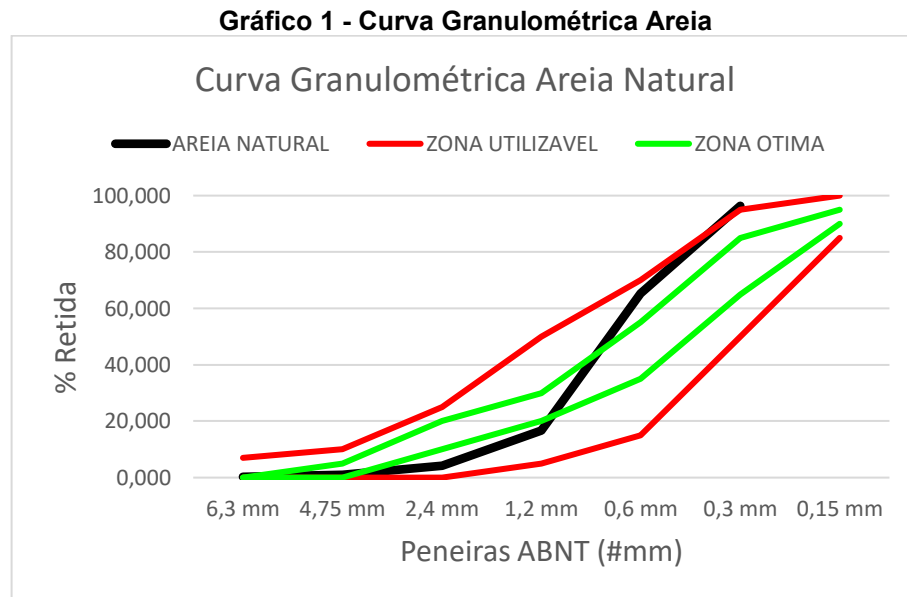
Fonte: Autores (2023)

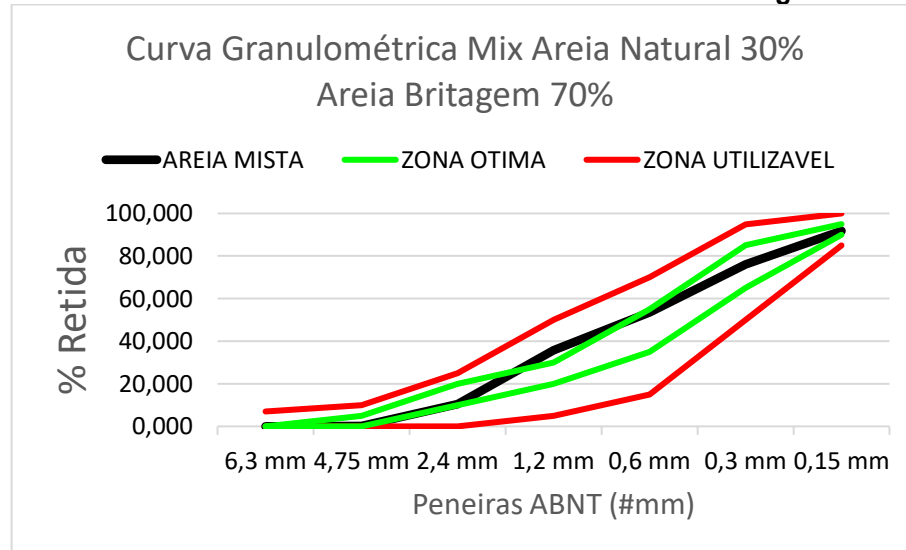
**Tabela 9 - Granulometria Areia de Britagem**

Britagem	Massa Retida (g)		Massa Retida (%)		Variação (%)	Média (%)	Acumulada (%)
	Amostra1	Amostra2	Amostra1	Amostra2			
4,8 mm	2,800	1,500	0,140	0,075	0,065	0,108	0,108
2,4 mm	289,500	291,900	14,514	14,609	0,095	14,562	14,669
1,2 mm	669,900	708,800	33,586	35,474	1,888	34,530	49,199
0,6 mm	436,300	362,600	21,874	18,147	3,727	20,011	69,210
0,3 mm	232,400	225,800	11,651	11,301	0,351	11,476	80,686
0,15 mm	172,300	194,000	8,638	9,709	1,071	9,174	89,859
0,075mm	85,400	87,000	4,282	4,354	0,073	4,318	94,177
FUNDO	107,000	125,900	5,364	6,301	0,937	5,833	100,010
<b>TOTAL</b>	<b>1995,600</b>	<b>1997,500</b>	<b>100,000</b>	<b>99,970</b>	<b>M. DE FINURA</b>		<b>3,979</b>

Fonte: Autores (2023)

Os gráficos 1, 2 e 3 evidenciam que tanto a areia natural quanto a areia de britagem apresentam curvas granulométricas situadas no limite das zonas utilizáveis.



**Gráfico 3 - Curva Granulométrica Areia 30% Areia de Britagem 70%**

Fonte: Autores (2023)

A areia natural exibe uma maior variação entre os tamanhos de grãos, enquanto a areia de britagem possui um elevado módulo de finura, o qual pode ser resultado de mais de um fator.

Uma possível explicação para esses resultados está relacionada à origem das areias. Variações nas características granulométricas são esperadas quando as amostras são coletadas de diferentes locais, o que pode resultar em uma curva granulométrica não ideal. Além disso, a presença de impurezas ou contaminações, como argila, matéria orgânica ou partículas indesejadas, pode desviar a curva granulométrica do limite ótimo.

Importante ressaltar que a mistura das duas areias (gráfico 3) compensa as deficiências presentes em cada uma, resultando em uma curva granulométrica que se aproxima significativamente da curva ideal. Isso indica que o agregado miúdo resultante da combinação das areias possui uma qualidade adequada para a produção de argamassas.

#### 4.1.2 Teor de material pulverulento Agregados

A tabela 10 apresenta os resultados colhidos durante a execução do ensaio de determinação do teor de material pulverulento presente na areia de brita.

**Tabela 10- Identificação Material Pulverulento Agregados**

AREIA	AMOSTRA	Massa antes da lavagem (g)	Massa após lavagem (g)	Teor de material pulverulento (%)
BRITAGAM	1	1000	877,6	12%
	2	1000	833,7	17%
NATURAL	1	1000	974,7	2,5%
	2	1000	961,2	3,88%

Fonte: Autores (2023)

Ao avaliar a presença de material pulverulento na amostra de areia de brita analisada, resultou em um teor médio de 14,5%, e a areia natural uma média de 3,19%. Considerando a mistura 70% areia de britagem e 30% areia natural temos uma média final de 11,11% de material pulverulento. Esta percentagem encontra-se alinhada com os parâmetros apresentados por Santos (2020), sendo adequado ao estudo.

#### 4.1.3 Massa Específica

##### 4.1.3.1 Massa Específica Agregados

Através da aplicação dos métodos experimentais delineados nos capítulos anteriores, foi possível gerar resultados referentes às massas específicas dos agregados. Os resultados obtidos estão condensados na tabela 11:

<b>Tabela 11- Massa Específica Agregados</b>	
<b>Massa Específica Agregados</b>	
Material	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
Areia Natural	2,542
Areia de Britagem	2,857

Fonte: Autores (2023)

##### 4.1.3.2 Massa Específica Aglomerantes

Os métodos experimentais delineados nos capítulos anteriores, possibilitaram gerar os resultados referentes às massas específicas dos aglomerantes. Os resultados obtidos estão disponibilizados na tabela 12:

**Tabela 12- Massa Específica Aglomerantes**

Massa Específica Aglomerantes	
Material	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
Cimento	2,985
Cal	2,857

Fonte: Autores (2023)

#### 4.1.4 Resistência do Cimento

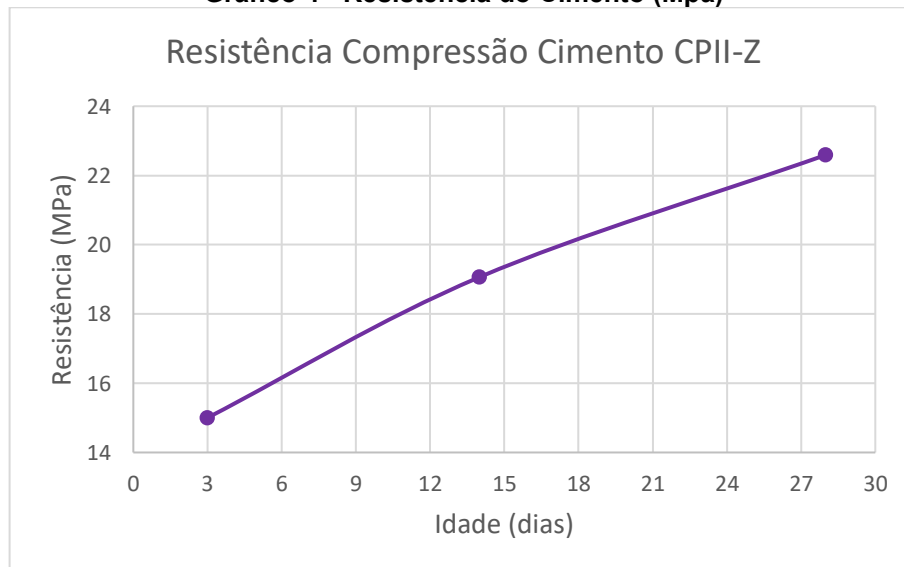
A tabela 13 e gráfico 4 apresenta os resultados dos ensaios de resistência a compressão do cimento CII-Z 32, para as idades de 3, 14 e 28 dias. O apêndice A apresenta os relatórios deste ensaio emitido pela EMIC.

**Tabela 13 - Resultados Resistência a Compressão Cimento CII-Z 32**

Corpo de Prova	Resistência a Compressão (Mpa)		
	Idade		
	3	14	28
Cp1	16,19	19,87	23,57
Cp2	16,05	18,06	19,46
Cp3	15,82	17,23	25,43
Cp4	11,95	21,1	21,91
<b>Média</b>	15,00	19,07	22,59
<b>DPM</b>	2,04	1,75	2,53

\*DPM: Desvio Padrão Médio

Fonte: Autores (2023)

**Gráfico 4 - Resistência do Cimento (Mpa)**

Fonte: Autores (2023)

De acordo com a norma, o cimento CP II 32-Z deveria apresentar, aos 28 dias, uma resistência média igual ou superior a 32 MPa. No entanto, como pode ser

observado no gráfico, a resistência média alcançada foi de aproximadamente 22,59 MPa, um valor significativamente abaixo do esperado.

Essa discrepância pode ser atribuída a fatores como: - qualidade do material, - condições de armazenamento, - precisão na mistura dos componentes, - condições de cura e precisão do instrumento de medição. No estudo, foi constatado que a redução da resistência do cimento influi negativamente as propriedades das argamassas, reduzindo a resistência final (compressão e tração). Isso ocorre devido ao papel da matriz de cimento, responsável por unir os agregados presentes.

## 4.2 Ensaio no Estado Plástico

### 4.2.1 Dosagem e *Flow Table*

Ao dosar a quantidade de água necessária em cada uma das misturas estudadas, com o objetivo de alcançar uma abertura na mesa de adensamento de 260  $\pm 10$  mm, foram aferidos os valores para a relação água-cimento, presentes na tabela 14.

**Tabela 14 - Abertura Flow Table e Relação Água / Cimento**

TRAÇO	(Cimento:Cal:Areia:I.A)	Abertura Flow Table	Relação A/C
1	1:0,2:6:0,2%	262,3	1,448
2	1:0,2:6:0,4%	257,3	1,396
3	1:0,2:6:0,6%	253,7	1,361
4	1:0,4:6:0,2%	254,7	1,656
5	1:0,4:6:0,4%	259,0	1,551
6	1:0,4:6:0,6%	261,7	1,515
7	1:0,6:6:0,2%	264,7	1,619
8	1:0,6:6:0,4%	268,7	1,495
9	1:0,6:6:0,6%	255,3	1,406

**Fonte: Autores (2023)**

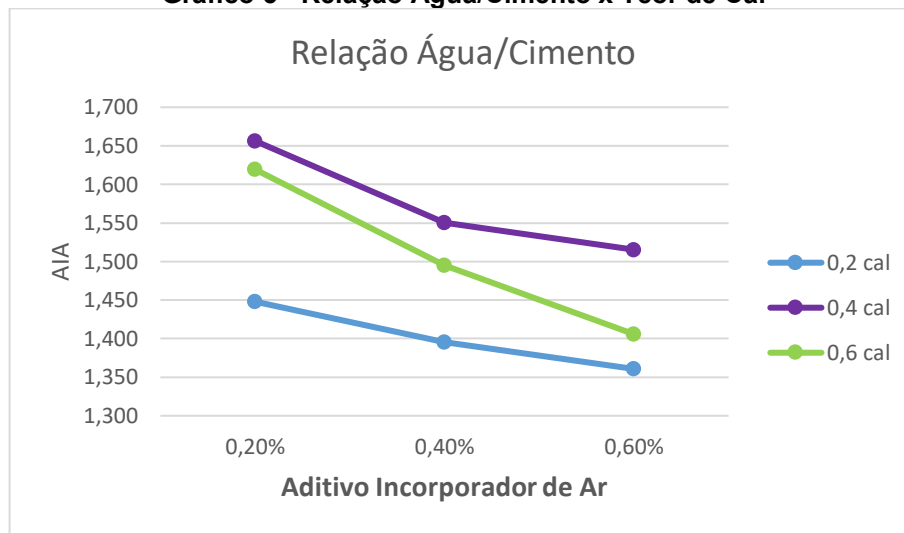
Na tabela 15 usada para construção dos gráficos 5 e 6, está presente a relação do teor de cal e AIA, e a quantidade de água necessária para atingir a trabalhabilidade desejada. Percebe-se que conforme a quantidade de aditivo aumenta, o fator água/cimento diminui, conforme esperado. Para iguais teores de aditivo, conforme a cal aumenta sua concentração na mistura, há uma maior demanda de água, sendo o ponto máximo em 0,4 cal.

Tabela 15 - Cal x AIA x Fator Água/Cimento

Relação Água/Cimento			
Add. Inc. Ar	0,2 cal	0,4 cal	0,6 cal
0,2%	1,448	1,656	1,619
0,4%	1,396	1,551	1,495
0,6%	1,361	1,515	1,406

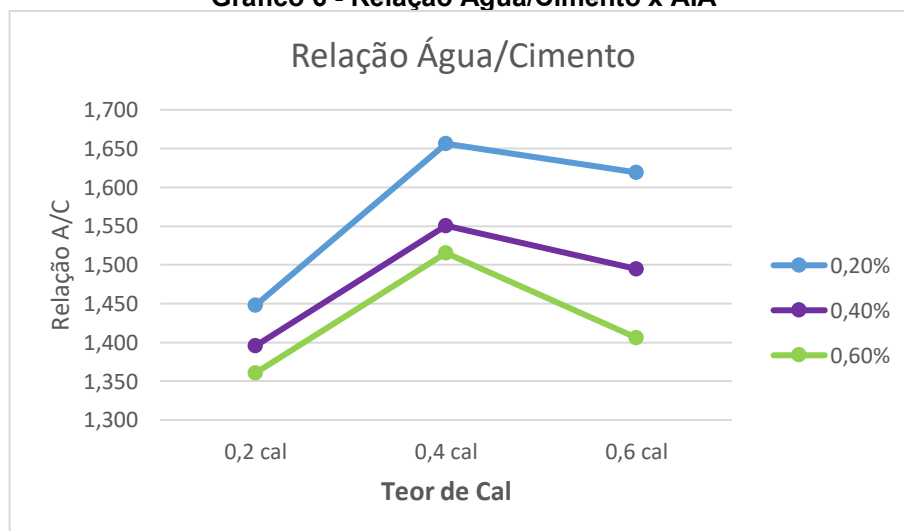
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 5 - Relação Água/Cimento x Teor de Cal



Fonte: Autores (2023)

Gráfico 6 - Relação Água/Cimento x AIA



Fonte: Autores (2023)

#### 4.2.2 Retenção de Água

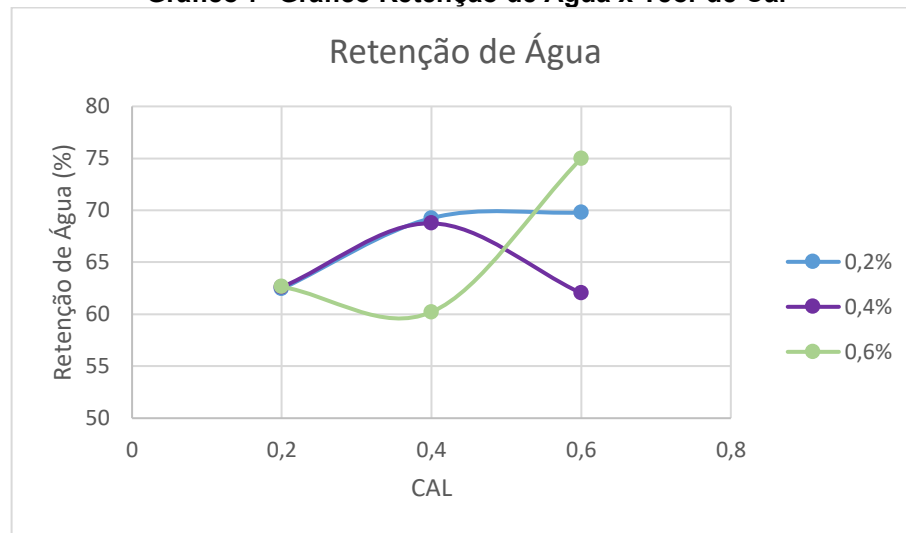
O estudo da retenção de água em argamassas desempenha um papel crucial na avaliação do desempenho desses materiais. A propriedade de retenção de água tem um impacto significativo na trabalhabilidade da argamassa, facilitando sua aplicação e manipulação. Além disso, ela afeta a aderência da argamassa ao substrato e pode influenciar a durabilidade do material, ao resistir a retração plástica e à formação de fissuras.

A capacidade de retenção de água é uma característica fundamental na formulação de argamassas, e a realização do ensaio correspondente, é essencial para garantir um desempenho adequado. A seguir, apresentam-se os gráficos com os resultados desse ensaio.

Na análise o gráfico 7, constatamos que nos traços com 0,2% e 0,4% de AIA, o aumento do teor de cal de 0,2 para 0,4 resultou em aumento inicial na retenção de água. Essa elevação pode ser atribuída à capacidade da cal em reter água, desempenhando um importante papel na hidratação do cimento e formação de cristais de hidróxido de cálcio, fatores que contribuem para a resistência e durabilidade da argamassa. No entanto, observou-se uma redução na retenção de água quando o teor de cal foi aumentado para 0,6. Essa queda indica que houve uma saturação na capacidade de retenção de água proporcionada pela cal, sugerindo que o excesso de cal poderia contribuir para a formação de poros na matriz da argamassa.

Por outro lado, o traço com 0,6% de AIA apresentou um comportamento ligeiramente diferente. Foi observada uma pequena redução na retenção de água quando o teor de cal foi aumentado para 0,4, seguida de um aumento. Isso pode indicar que a presença de uma quantidade maior de AIA influenciou na estrutura da argamassa, resultando na formação de mais poros ou na alteração da distribuição desses poros. Essas alterações estruturais afetaram, a capacidade de retenção de água da argamassa.



**Gráfico 7- Gráfico Retenção de Água x Teor de Cal**

**Fonte: Autores (2023)**

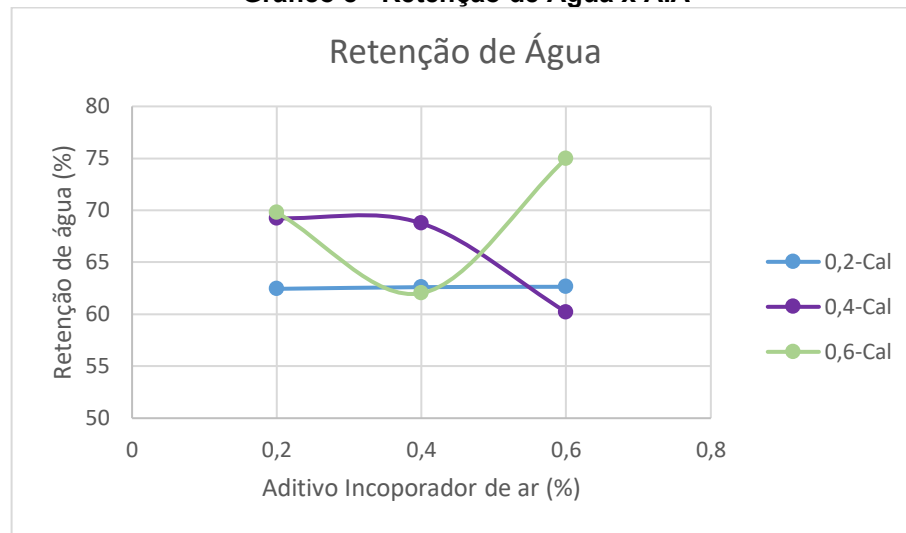
Se a abordagem for a variação do AIA para iguais teores de cal, o gráfico 8, apresenta que para um teor de 0,2 de cal no traço não resultou em alterações significativas nos resultados em relação à variação do aditivo. Da mesma forma, quando o teor de cal no traço foi de 0,4, há uma variação pequena na retenção de água ao aumentar a adição de aditivo de 0,2% para 0,4%. No entanto, com uma adição de 0,6% de aditivo, a retenção de água dessa argamassa diminuiu substancialmente em comparação com os demais dados.

Por outro lado, no caso do traço com 0,6 de teor de cal, observamos inicialmente uma queda na capacidade de retenção de água quando a adição de aditivo variou de 0,2% para 0,4%. Contudo, quando a adição de aditivo aumentou para 0,6% observamos um aumento na capacidade de retenção de água.

Estas observações sugerem que a proporção de cal e o percentual do AIA interagem de uma maneira complexa para influenciar a retenção de água na argamassa. Especificamente, parece que um teor mais alto de AIA pode levar a uma diminuição na retenção de água quando o teor de cal é mais baixo, mas pode ter o efeito oposto quando o teor de cal é mais alto.

Em resumo, as alterações no teor de cal e no AIA parecem ter um efeito complexo na retenção de água das argamassas, possivelmente devido à interação desses componentes com a matriz da argamassa e a distribuição de porosidade.

Esses resultados destacam a importância do balanceamento correto desses componentes para alcançar as propriedades desejadas na argamassa.

**Gráfico 8 - Retenção de Água x AIA**

Fonte: Autores (2023)

Após a análise dos dados referentes à retenção de água, que foram apresentados nas tabelas e gráficos anteriores, procedemos à classificação do material de acordo com os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 13281-1 (2023). Essa norma estabelece diretrizes para a categorização de argamassas utilizadas em revestimentos e assentamentos, com base em suas propriedades físicas.

O anexo I mostra as classes estabelecidas pela norma para a retenção de água (U). Na tabela 16, é possível observar a classificação das argamassas estudadas:

<b>Tabela 16 - Classificação ABNT NBR 13281 – Retenção de água</b>		
<b>TRAÇO</b>	<b>(Cimento:Cal:Areia:I.A)</b>	<b>Classificação ABNT NBR 13281- 1(2023)</b>
1	1:0,2:6:0,2%	U0
2	1:0,2:6:0,4%	U0
3	1:0,2:6:0,6%	U0
4	1:0,4:6:0,2%	U0
5	1:0,4:6:0,4%	U0
6	1:0,4:6:0,6%	U0
7	1:0,6:6:0,2%	U0
8	1:0,6:6:0,4%	U0
9	1:0,6:6:0,6%	U1

Fonte: Autores (2023)

#### 4.2.3 Densidade de Massa e Teor de Ar incorporado

Os resultados dos ensaios realizados para determinar a massa específica, teor de ar incorporado e densidade de massa dos traços são apresentados na tabela 17.

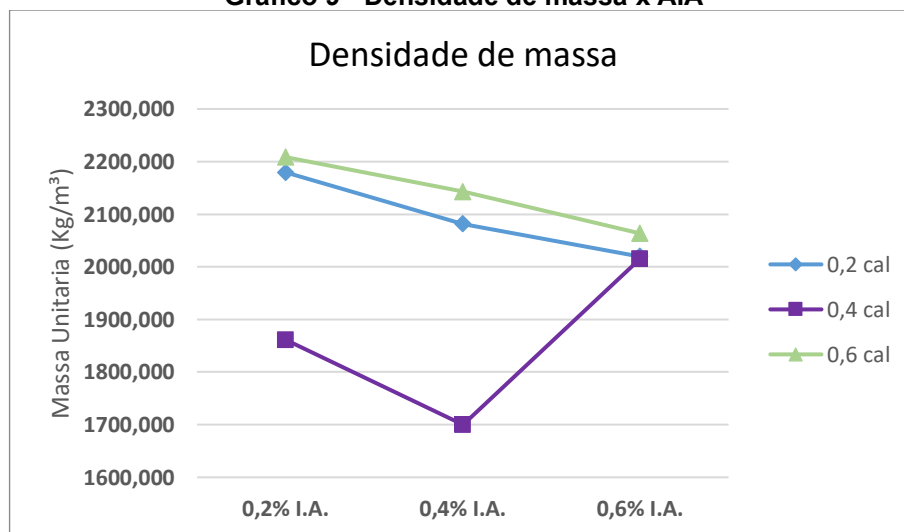
No gráfico 9, é apresentado o comportamento dos dados obtidos no ensaio de massa unitária para cada traço, seguindo as diretrizes da norma ABNT NBR 13278:

**Tabela 17 - Cálculo Densidade Massa**

TRAÇO	(Cimento:Cal:Areia:I.A)	Massa argamassa + Recipiente (kg)	Massa Recipiente (kg)	Volume Recipiente (m <sup>3</sup> )	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )
1	1:0,2:6:0,2%	1,9003	1,0503	0,00039	2179,49
2	1:0,2:6:0,4%	1,8621			2081,54
3	1:0,2:6:0,6%	1,8379			2019,49
4	1:0,4:6:0,2%	1,7762			1861,28
<b>5</b>	<b>1:0,4:6:0,4%</b>	<b>1,7133</b>			<b>1700,00</b>
6	1:0,4:6:0,6%	1,8362			2015,13
7	1:0,6:6:0,2%	1,9116			2208,46
8	1:0,6:6:0,4%	1,8861			2143,08
9	1:0,6:6:0,6%	1,8551			2063,59

Fonte: Autores (2023)

**Gráfico 9 - Densidade de massa x AIA**



Fonte: Autores (2023)

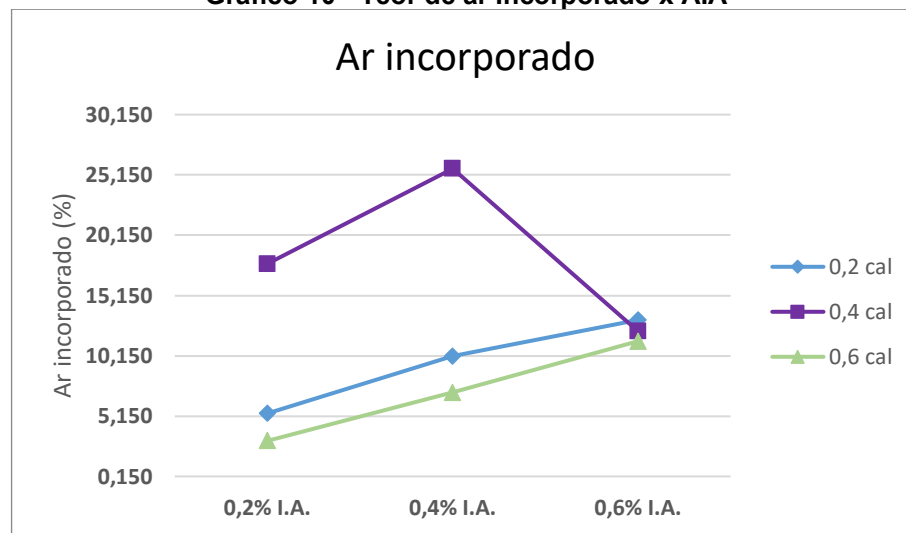
O mesmo, é apresentado na tabela 18 e no gráfico 10 para o teor de ar incorporado para cada traço:

**Tabela 18 - Teor de Ar Incorporado**

TRAÇO	(Cimento:Cal:Areia:I.A)	Massa unitária (kg/m³)	Densidade Teórica (kg/m³)	Teor de ar incorporado (%)
1	1:0,2:6:0,2%	2179,49	2303,308	5,376
2	1:0,2:6:0,4%	2081,54	2315,921	10,120
3	1:0,2:6:0,6%	2019,49	2324,466	13,120
4	1:0,4:6:0,2%	1861,28	2263,290	17,762
<b>5</b>	<b>1:0,4:6:0,4%</b>	<b>1700,00</b>	<b>2286,954</b>	<b>25,665</b>
6	1:0,4:6:0,6%	2015,13	2295,041	12,196
7	1:0,6:6:0,2%	2208,46	2279,136	3,101
8	1:0,6:6:0,4%	2143,08	2307,239	7,115
9	1:0,6:6:0,6%	2063,59	2328,081	11,361

Fonte: Autores (2023)

**Gráfico 10 - Teor de ar Incorporado x AIA**



Fonte: Autores (2023)

Comparando os gráficos, observa-se que o aumento do teor de AIA nas misturas resultou em um incremento na quantidade de ar incorporado nos traços. Isso é evidenciado pela análise do gráfico de densidade de massa, uma vez que o aumento do teor de ar incorporado logicamente reduz a densidade da argamassa traço 5 (negrito tabela 17). No entanto, foi observado um comportamento não esperado nos traços representados na curva roxa (teor de 0,4 cal), nos quais o teor de ar incorporado foi significativamente maior em comparação com as demais amostras.

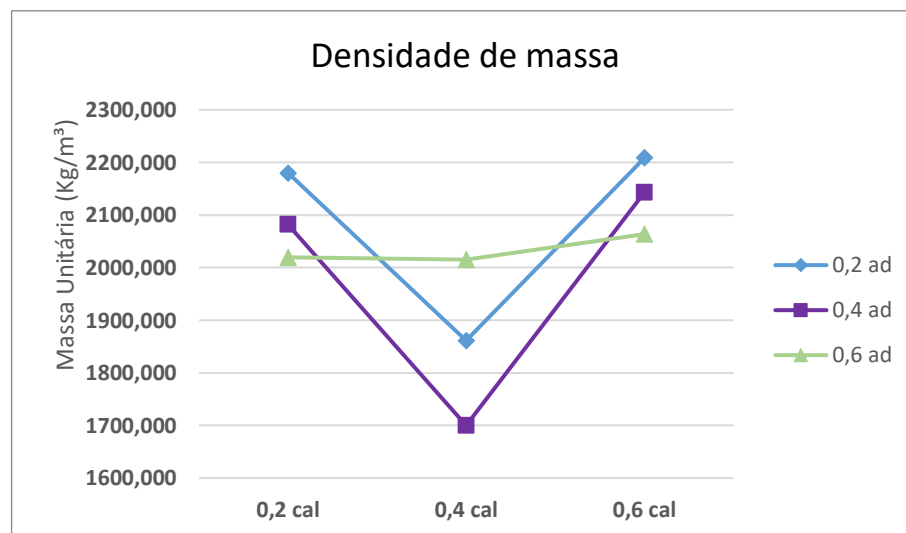
O valor de máximo para o teor de ar incorporado ocorreu no traço 5 (negrito na tabela 18), que se aproxima da recomendação do fabricante do aditivo (0,3%).

Na análise de massa unitária, gráfico 11, a variação da cal pela densidade apresenta uma tendência que mostra o aumento da densidade da massa com o incremento do teor de cal na argamassa.

De acordo com Recena (2008), a presença de componentes mais finos, como a cal, em uma mistura resulta no aumento da quantidade de água utilizada. Isso ocorre devido à ampliação da superfície específica proporcionada pela cal, que preencher os vazios entre os grânulos de maior tamanho (cimento e areia), aumentando assim a compactação da argamassa. Esse fenômeno justifica o crescimento da densidade da argamassa ao adicionar uma maior quantidade de cal na mistura.

O gráfico 11 nos apresenta, nos traços contendo teor de cal de 0,4 há valores mínimos de densidade nos percentuais 0,2% e 04% de aditivo, e no percentual de 0,6% de aditivo a variação dos teores de cal não afetou de forma significativa a densidade da mistura. Está constatação ratifica os achados para teor de ar incorporado, já discutidos.

**Gráfico 11 - Massa Unitária /Densidade de massa x teor de cal**



**Fonte: Autores (2023)**

A incorporação excessiva de ar pode inicialmente reduzir a densidade da massa, uma vez que o ar possui uma densidade muito menor em comparação com os outros componentes da argamassa.

Após a análise dos dados referentes à densidade de massa das argamassas, que foram apresentados nas tabelas e gráficos anteriores, procedemos à classificação do material de acordo com os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 13281-1

(2023). Essa norma estabelece diretrizes para a categorização de argamassas utilizadas em revestimentos e assentamentos, com base em suas propriedades físicas.

O anexo I mostra as classes estabelecidas pela norma para Densidade de massa no estado Fresco (DF). Na tabela 19, é possível observar a classificação das argamassas de acordo com suas densidades de massa:

**Tabela 19 - Classificação ABNT NBR 13281 - Densidade de massa**

<b>TRAÇO</b>	<b>(Cimento:Cal:Areia:I.A)</b>	<b>Classificação ABNT NBR 13281- 1(2023)</b>
1	1:0,2:6:0,2%	DF4
2	1:0,2:6:0,4%	DF4
3	1:0,2:6:0,6%	DF4
4	1:0,4:6:0,2%	DF3
5	1:0,4:6:0,4%	DF2
6	1:0,4:6:0,6%	DF4
7	1:0,6:6:0,2%	DF4
8	1:0,6:6:0,4%	DF4
9	1:0,6:6:0,6%	DF4

**Fonte: Autores (2023)**

#### 4.2.4 Adesão Inicial

Com a parede revestida de forma uniforme com chapisco, e isenta de sujidades e partículas soltas, foram aplicadas nas áreas delimitadas os 9 traços de argamassa, seguindo o mapeamento planejado.

Os traços de argamassa apresentaram uma adesão satisfatória imediatamente após a aplicação, sem apresentar indícios de desprendimento ou falhas na aderência.

O Comportamento indica que as propriedades reológicas das pastas aglomerantes, e a redução da tensão superficial foi melhorada com a inclusão de cal e AIA, agindo estes como vetores de adesão inicial. O profissional que realizou a aplicação da argamassa confirmou a percepção de boa adesão inicial, o que reforça a validade dos resultados obtidos no ensaio.

### 4.3 Ensaios estado endurecido

#### 4.3.1 Retração

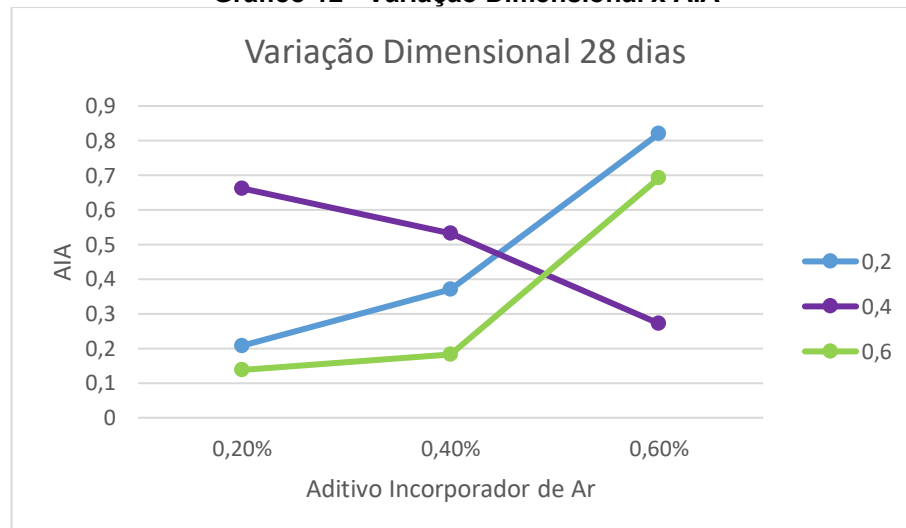
A tabela 20 e o gráfico 12 nos mostram os resultados obtidos para a análise da variação dimensional das argamassas de acordo com a variação de AIA e teor de cal nas misturas.

**Tabela 20 - Variação dimensional 28 dias**

Retração 28 dias			
cal	AIA		
	0,20%	0,40%	0,60%
0,2	0,208	0,37	0,82
0,4	0,662	0,532	0,272
0,6	0,138	0,182	0,692

Fonte: Autores (2023)

**Gráfico 12 - Variação Dimensional x AIA**



Fonte: Autores (2023)

Analisando o gráfico, percebe-se que nos traços com 0,2 e 0,6 de cal a retração aumentou com o aumento do AIA. Nos traços com teor de cal 0,4 houve uma redução da retração com o aumento do aditivo.

De acordo com Kazmierczak et al (2015) argamassas com areia de britagem apresentam maior retração à medida que aumenta o teor de finos e o ar incorporado. Isso é confirmado ao compararmos os resultados encontrados para o teor de ar incorporado (gráfico 10) que apresentou um comportamento semelhante.

Os resultados da variação dimensional (VD) permitem classificar a argamassa em uma categoria específica (tabela 21), de acordo com as diretrizes estabelecidas pela norma de desempenho ABNT NBR 13281-1 (2023) (Anexo I).

**Tabela 21 - Classificação ABNT NBR 13281 - Retração**

<b>TRAÇO</b>	<b>(Cimento:Cal:Areia:I.A)</b>	<b>Classificação ABNT NBR 13281- 1(2023)</b>
1	1:0,2:6:0,2%	VD4
2	1:0,2:6:0,4%	VD4
3	1:0,2:6:0,6%	VD4
4	1:0,4:6:0,2%	VD4
5	1:0,4:6:0,4%	VD4
6	1:0,4:6:0,6%	VD4
7	1:0,6:6:0,2%	VD3
8	1:0,6:6:0,4%	VD4
9	1:0,6:6:0,6%	VD4

**Fonte: Autores (2023)**

#### 4.3.2 Resistência Tração na Flexão e Compressão

A tabela 22 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e compressão média para cada traço, juntamente com os respectivos desvios padrão encontrados entre os corpos de prova. Os apêndices B e C contêm os relatórios dos ensaios deste trabalho emitidos pela EMIC.

**Tabela 22 - Resistências Médias Compressão e à Tração na Flexão**

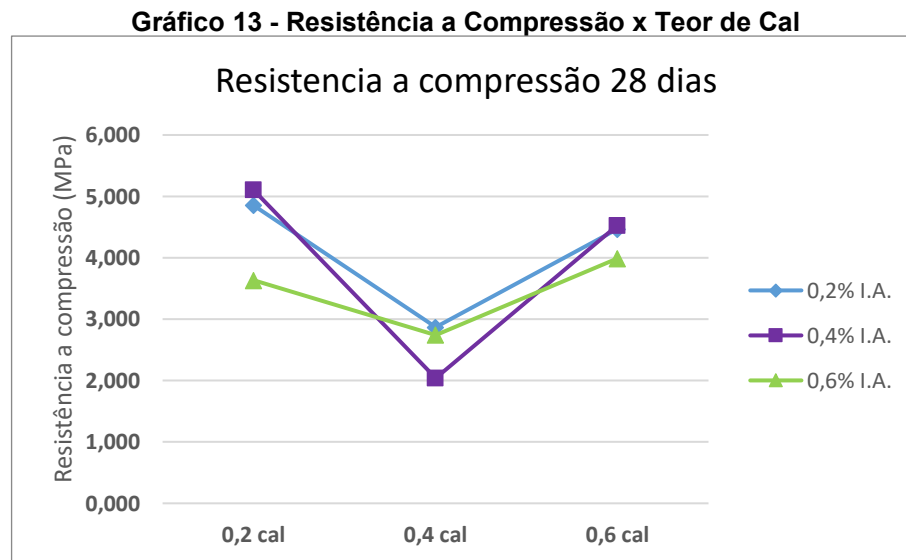
<b>TRAÇO</b>	<b>(Cimento:Cal:Areia:I.A)</b>	<b>Flexão 28 dias (Mpa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Compressão 28 dias (Mpa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
1	1:0,2:6:0,2%	1,747	0,058	4,853	0,164
2	1:0,2:6:0,4%	1,817	0,058	5,103	0,262
3	1:0,2:6:0,6%	1,420	0,067	3,633	0,164
4	1:0,4:6:0,2%	0,960	0,047	2,870	0,033
5	1:0,4:6:0,4%	0,837	0,024	2,040	0,093
6	1:0,4:6:0,6%	1,230	0,073	2,740	0,087
7	1:0,6:6:0,2%	1,700	0,027	4,467	0,151
8	1:0,6:6:0,4%	1,623	0,022	4,527	0,136
9	1:0,6:6:0,6%	1,740	0,120	3,990	0,460

**Fonte: Autores (2023)**

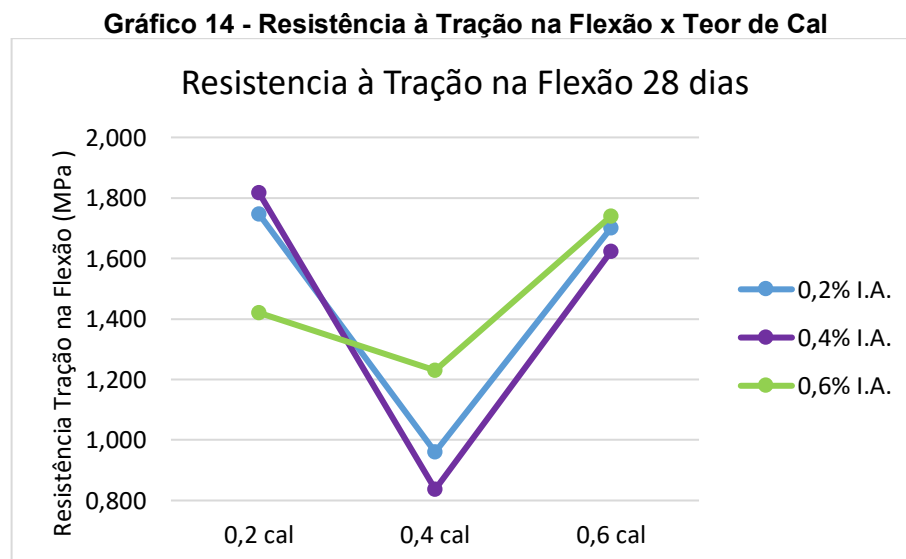


As resistências médias encontradas nos ensaios respeitam o desvio padrão máximo estabelecido pela norma, que é de 0,3 MPa para tração na flexão e 0,5 MPa para compressão. Isso valida o ensaio realizado, indicando que os resultados estão dentro dos limites aceitáveis de variação definidos pela norma.

Os gráficos 13 (tração na flexão) e 14 (compressão), mostram os resultados de acordo com a variação do teor de cal e AIA de cada traço.



Fonte: Autores (2023)



Fonte: Autores (2023)

Observa-se que as misturas compostas por 0,4 cal apresentam um declínio na resistência à tração na flexão e compressão. Esses resultados estão relacionados ao teor de ar incorporado nessas misturas, que reduz a resistência mecânica das argamassas.

Os resultados de resistência à compressão e tração na flexão permitem classificar a argamassa em uma categoria específica, de acordo com as diretrizes estabelecidas pela norma de desempenho ABNT NBR 13281-1 (2023). Essa classificação fornece uma indicação clara das possíveis aplicações da argamassa, assegurando a sua adequação e segurança para o uso pretendido na construção civil.

O anexo I mostra as classes estabelecidas pela norma para a Resistência a Tração na Flexão (R). A tabela 22 mostra a classificação das argamassas para compressão e tração na flexão:

**Tabela 23 - Classificação ABNT NBR 13281 - 1(2023) Tração na Flexão**

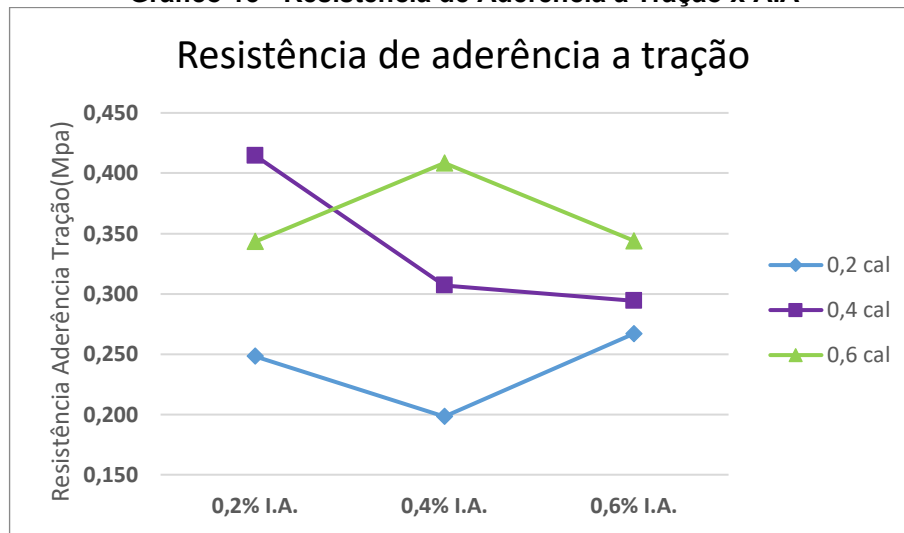
<b>TRAÇO</b>	<b>(Cimento:Cal:Areia:I.A)</b>	<b>Classificação ABNT NBR 13281- 1(2023)</b>
1	1:0,2:6:0,2%	R3
2	1:0,2:6:0,4%	R3
3	1:0,2:6:0,6%	R2
4	1:0,4:6:0,2%	R2
5	1:0,4:6:0,4%	R2
6	1:0,4:6:0,6%	R2
7	1:0,6:6:0,2%	R3
8	1:0,6:6:0,4%	R3
9	1:0,6:6:0,6%	R3

**Fonte: Autores (2023)**

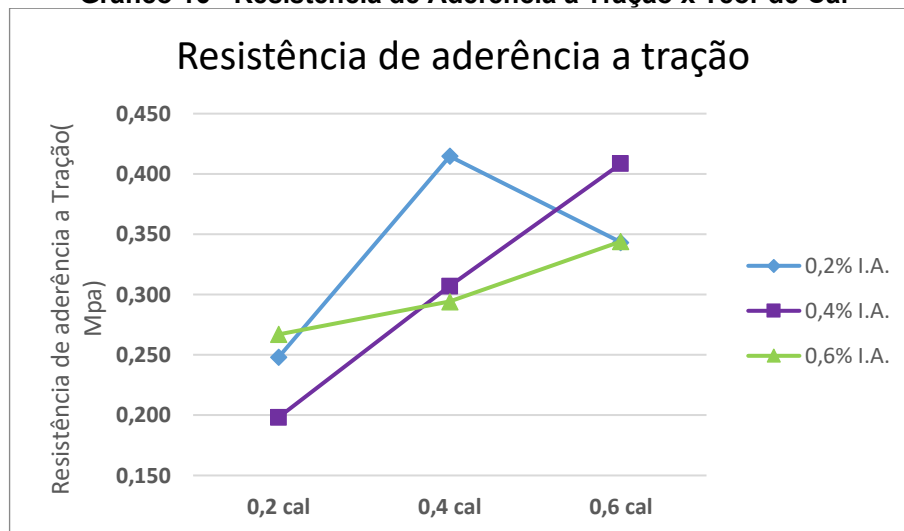
#### 4.3.3 Resistência de Aderência a Tração

Os ensaios de aderência à tração desempenham um papel fundamental na avaliação da argamassa, com o objetivo de assegurar a formação de uma estrutura sólida e durável. Portanto, os dados resultantes desses ensaios possuem um impacto significativo na análise do desempenho das argamassas empregadas em nosso estudo.

Os gráficos 15 e 16, apresentam o comportamento dos resultados do ensaio de aderência à tração:

**Gráfico 15 - Resistência de Aderência a Tração x AIA**

Fonte: Autores (2023)

**Gráfico 16 - Resistência de Aderência a Tração x Teor de Cal**

Fonte: Autores (2023)

O aumento da resistência à aderência das argamassas, verificado com o aumento da quantidade de cal. A inclusão de cal hidratada na mistura de argamassa contribui para melhorar a trabalhabilidade e plasticidade dela, melhorando a aplicação da argamassa, promovendo uma aderência eficiente entre a argamassa e a superfície de aplicação, resultando, conseqüentemente, em uma maior resistência à aderência.

Adicionalmente, a cal contribui para o aumento da formação de cristais de hidróxido de cálcio durante o processo de cura, que atuam na resistência à aderência. Esses cristais, conhecidos como agulhas de hidróxido de cálcio, tendem a preencher os espaços vazios na matriz da argamassa, reforçando a ligação entre seus componentes no processo de carbonatação. Ao aumentar a quantidade de cal na

mistura, ocorre a formação desses cristais, que se entrelaçam e formam um compósito mais resistente e coeso, resultando em um aumento da resistência à aderência.

Os resultados explicam a influência das variáveis de execução no ensaio de resistência de aderência a tração, uma vez que não há uma relação direta entre as variações de execução e AIA e cal, que se apresente de forma clara nas plotagens gráficas do ensaio.

Após a análise dos dados obtidos nos ensaios de resistência de aderência a tração das argamassas, apresentado nas tabelas e gráficos anteriores, foram classificados dos traços de acordo com os parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR 13281-1(2023).

O anexo I mostra as classes estabelecidas pela norma para a Resistência a Aderência a Tração (RA). Na tabela 24, é possível observar a classificação das argamassas de acordo com a sua resistência de aderência a tração.

**Tabela 24 - Classificação ABNT/NBR 13281-1/23- Resist. Aderência a Tração**

<b>TRAÇO</b>	<b>(Cimento:Cal:Areia:I.A)</b>	<b>Classificação ABNT NBR 13281- 1(2023)</b>
1	1:0,2:6:0,2%	RA1
2	1:0,2:6:0,4%	RA1
3	1:0,2:6:0,6%	RA1
4	1:0,4:6:0,2%	RA2
5	1:0,4:6:0,4%	RA2
6	1:0,4:6:0,6%	RA1
7	1:0,6:6:0,2%	RA2
8	1:0,6:6:0,4%	RA2
9	1:0,6:6:0,6%	RA2

**Fonte: Autores (2023)**

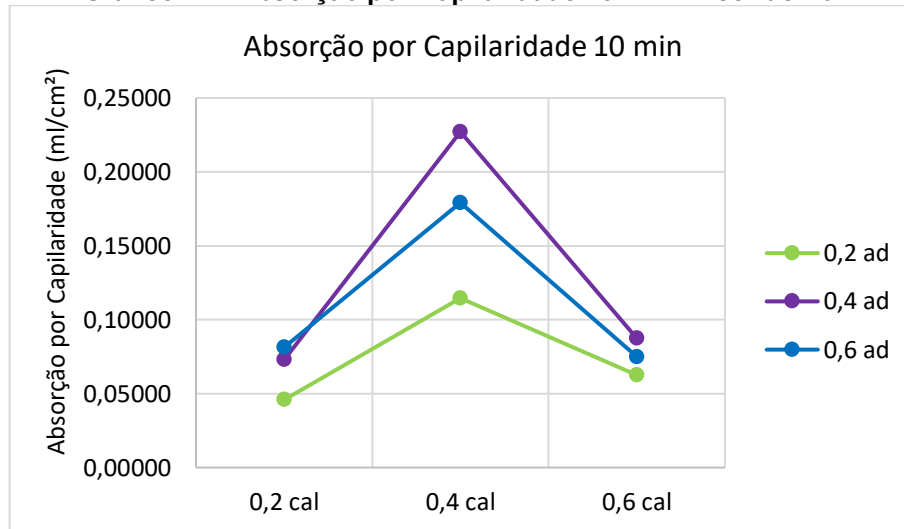
Onde RA1 são as argamassas destinadas a revestimentos internos e RA2 são as argamassas destinadas a revestimentos externos.

#### 4.3.4 Absorção por capilaridade

Os resultados dos ensaios de absorção por capilaridade realizados nos corpos de prova produzidos em laboratório são apresentados nos gráficos 17, 18, 19

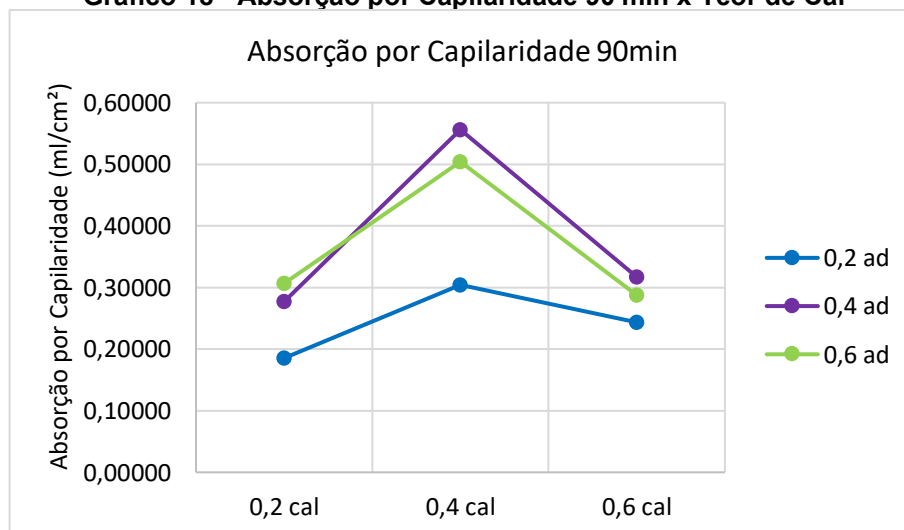
e 20, gerados após a alteração da relação entre as variáveis de cal e AIA, com o objetivo de analisar de forma mais precisa os efeitos desses dois componentes na argamassa.

**Gráfico 17 - Absorção por Capilaridade 10 min x Teor de Cal**

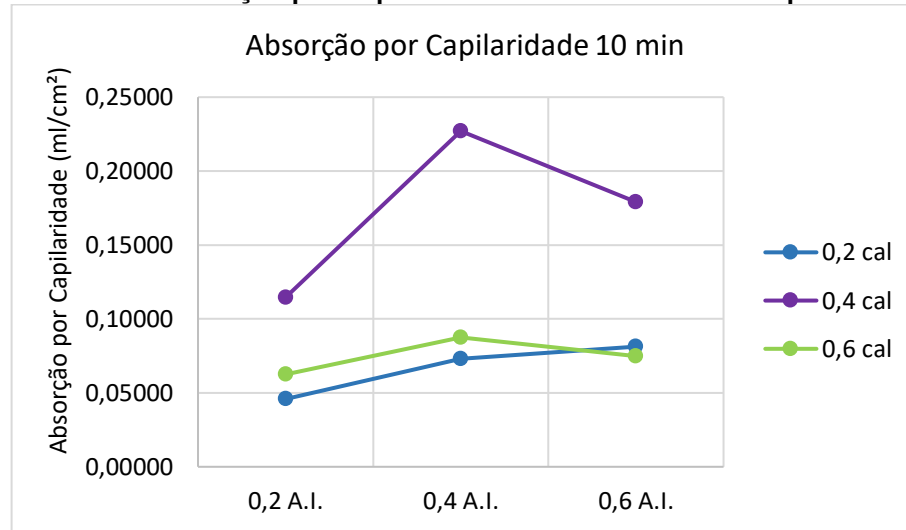


Fonte: Autores (2023)

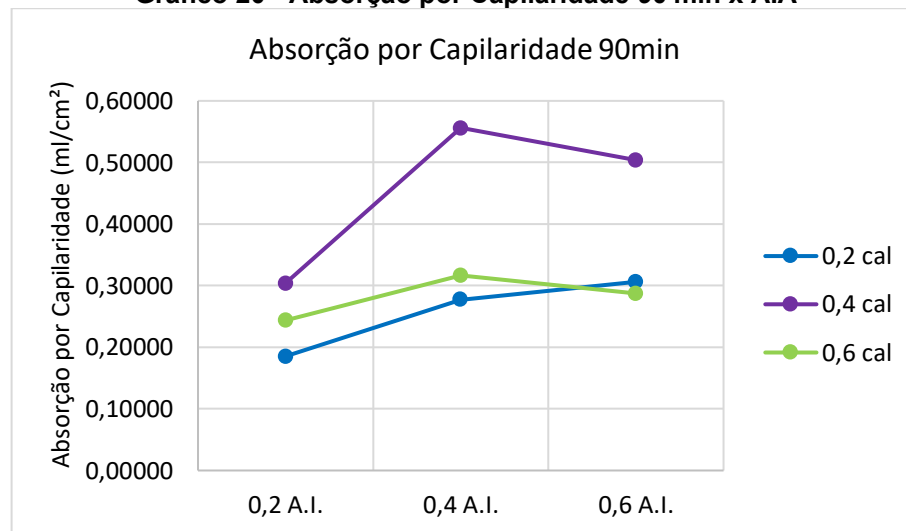
**Gráfico 18 - Absorção por Capilaridade 90 min x Teor de Cal**



Fonte: Autores (2023)

**Gráfico 19 - Absorção por Capilaridade 10 min x Aditivo Incorporador Ar**

Fonte: Autores (2023)

**Gráfico 20 - Absorção por Capilaridade 90 min x AIA**

Fonte: Autores (2023)

A partir dos gráficos, é possível observar o crescimento na capacidade de absorção da argamassa ao aumentar a porcentagem de AIA, passando de 0,2% para 0,4%. O resultado pode ser atribuído à presença de bolhas de ar, aumenta o espaço poroso disponível para a retenção de água, conforme mencionado por Alves (2002).

No entanto, a partir de 0,4% de AIA, parece haver pouco ou nenhum efeito adicional na absorção de água. Isso pode ser devido a um limite na capacidade de absorção de água da argamassa, onde o AIA já atingiu sua eficácia máxima. Essa conclusão é consistente com a indicação do fabricante, uma vez que uma concentração de 0,6% de aditivo incorporador dobra o limite recomendado pelo fabricante do aditivo.

Ao analisar os resultados em relação à variação do teor de cal, observa-se um aumento na capacidade de absorção de água ao aumentar a quantidade de cal de 0,2 para 0,4. No entanto, ocorre uma grande queda nessa capacidade ao passar de 0,4 para 0,6 de cal.

Após a análise dos dados obtidos nos ensaios de absorção d'água por capilaridade das argamassas, apresentado nas tabelas e gráficos anteriores, foram classificados dos traços de acordo com os parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR 13281-1(2023).

O anexo I mostra as classes estabelecidas pela norma para o Coeficiente de Capilaridade (W). Na tabela 25, é possível observar a classificação das argamassas de acordo com sua capacidade em reter água.

**Tabela 25 - Classificação ABNT/NBR 13281-1/23- Coeficiente de Capilaridade**

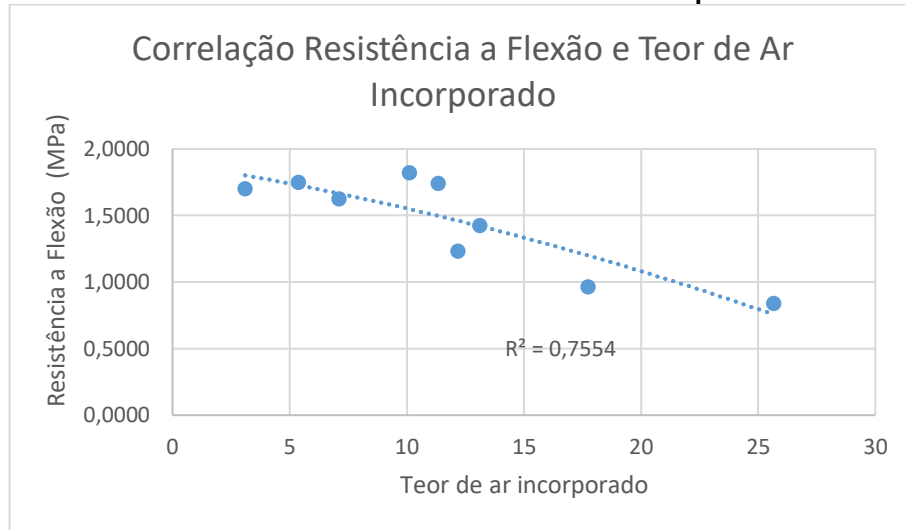
<b>TRAÇO</b>	<b>(Cimento:Cal:Areia:I.A)</b>	<b>Coeficiente de Capilaridade (kg/m<sup>2</sup> *h<sup>1/2</sup>)</b>	<b>Classificação ABNT NBR 13281- 1(2023)</b>
1	1:0,2:6:0,2%	1,731	W6
2	1:0,2:6:0,4%	2,532	W5
3	1:0,2:6:0,6%	2,790	W4
4	1:0,4:6:0,2%	2,351	W6
5	1:0,4:6:0,4%	4,082	W5
6	1:0,4:6:0,6%	4,030	W4
7	1:0,6:6:0,2%	3,371	W5
8	1:0,6:6:0,4%	2,842	W5
9	1:0,6:6:0,6%	2,635	W5

**Fonte: Autores (2023)**

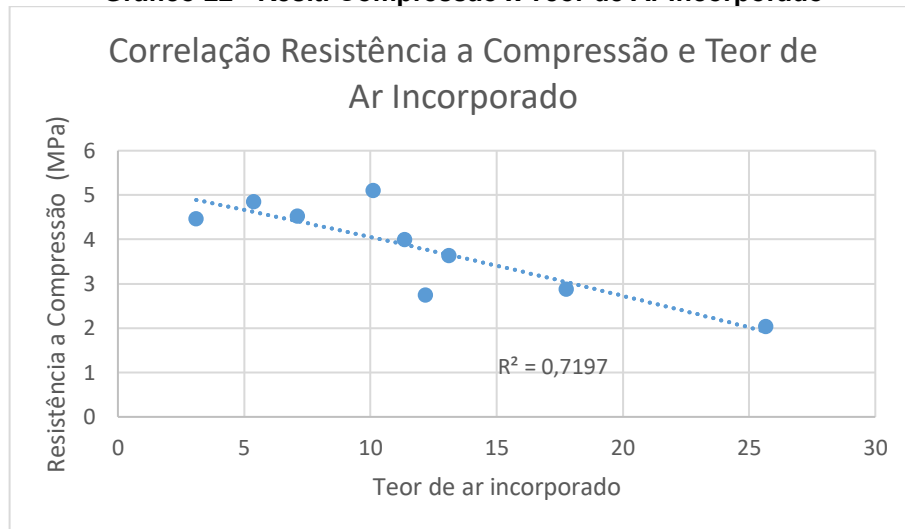
## **4.4 Análises**

### **4.4.1 Teor de Ar Incorporado e Resistência à Tração na Flexão e Compressão**

A correlação entre o teor de ar incorporado e as resistências à tração na flexão e compressão pode ser analisada nos gráficos 21 e 22:

**Gráfico 21 - Resit. Flexão x Teor de Ar Incorporado**

Fonte: Autores (2023)

**Gráfico 22 - Resit. Compressão x Teor de Ar Incorporado**

Fonte: Autores (2023)

Os gráficos mostram que à medida que o teor de ar incorporado aumenta a uma redução nas resistências a compressão e a tração na flexão das argamassas estudadas. Resultados semelhantes aos obtidos por de Sousa, Morais e Amancio (2019) ao estudar a variação do AIA em argamassas de revestimento, percebeu que o aumento do teor de aditivo provoca um aumento no teor de ar incorporado e consequentemente uma queda na resistência mecânica.



## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi conduzida uma análise sistemática da produção e propriedades de argamassas mistas destinadas ao emboço externo, procurando atender os requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 13281(2023). Para isso, foi empregado uma mistura composta por 70% de areia de britagem e 30% de areia natural, com variação dos teores de cal e de AIA em cada traço para entender as implicações nas propriedades das argamassas tanto no estado fresco quanto endurecido.

Os objetivos propostos foram abordados, resultando em um estudo bibliográfico que abordou argamassas e traços de argamassas de emboço para revestimento externo.

A caracterização dos materiais apresentou a baixa resistência à compressão do cimento CII-Z-32, a mistura 70/30 da areia resultou em uma boa alternativa nos ensaios de granulometria com enquadramento na curva ótima de granulometria segundo a norma ABNT NBR 7211 (2022). A especificação da cal hidratada CH-III e do aditivo REBOFORT - aditivo incorporador de ar para argamassas e concreto micro celular, atendendo as normas ABNT NBR 11768.

Quanto a dosagem do fator água/cimento para os traços com diferentes teores de cal (0,2; 0,4 e 0,6) e de aditivo incorporador de ar (0,2%; 0,4% e 0,6%), atendendo *flow table* de  $260^{\pm 10}$  mm, ABNT NBR 13726 (1995), os resultados indicaram a influência do AIA sobre as propriedades da argamassa, conforme a quantidade de AIA é aumentado, as argamassas requeriam uma quantidade menor de água para alcançar o espalhamento ideal, diminuindo o fator água/cimento diminui. Para iguais teores de aditivo, conforme a cal tem sua concentração aumentada, há maior demanda de água, com ponto máximo em teores de 0,4 para a cal.

Outra consequência do aumento do teor de AIA nas misturas foi o incremento na quantidade de ar incorporado nos traços, evidenciado pela análise do gráfico de densidade de massa, com ponto máximo em teores de 0,4 para a cal.

Já na questão da cal, a relação entre a sua proporção e o desempenho da argamassa mostrou-se menos linear. Observou-se um incremento no desempenho com a adição inicial de cal, no entanto, acréscimos subsequentes resultaram em uma queda leve.

Essas descobertas sugerem uma interação entre a cal e o AIA, que pode afetar tanto a capacidade de retenção de água como as propriedades mecânicas da argamassa.

Além disso, um aumento no teor do aditivo resultou em um maior índice de ar incorporado nas argamassas, o que conseqüentemente levou a uma diminuição nas suas resistências à compressão e à flexão.

Nos ensaios, cinco das nove composições testadas satisfizeram os requisitos para serem utilizadas como argamassas de revestimento externo, e quatro para revestimento interno, o que é um resultado expressivo. A tabela 25 mostra um resumo dos traços e seu desempenho na norma ABNT NBR 13281 (2023).

**Tabela 26 - Tabela Resumo - Classificação ABNT NBR 13281 (2023)**

<b>TRAÇO</b>	<b>(Cimento:Cal:Areia:I.A)</b>	<b>Classificação ABNT NBR 13281- 1(2023)</b>	<b>Uso Interno vs. Externo</b>
1	1:0,2:6:0,2%	RA1	INTERNO
2	1:0,2:6:0,4%	RA1	INTERNO
3	1:0,2:6:0,6%	RA1	INTERNO
4	1:0,4:6:0,2%	RA2	EXTERNO
5	1:0,4:6:0,4%	RA2	EXTERNO
6	1:0,4:6:0,6%	RA1	INTERNO
7	1:0,6:6:0,2%	RA2	EXTERNO
8	1:0,6:6:0,4%	RA2	EXTERNO
9	1:0,6:6:0,6%	RA2	EXTERNO

**Fonte: Autores (2023)**

Vale ressaltar que essas conclusões apresentam avanços no entendimento das propriedades das argamassas mistas para emboço externo, em particular, com relação à influência da cal e do AIA. Ainda que os resultados sejam promissores, ressaltam a necessidade de futuras pesquisas para confirmar e expandir esses achados, contribuindo com a melhoria contínua da produção e aplicação de argamassas no setor da construção civil.

Com base nos resultados deste estudo, surgem as seguintes oportunidades de trabalhos futuros:

- Experimentar diferentes proporções de areia natural e britagem: Isso ajudaria a entender melhor como a granulometria e a origem desses agregados impactam nas propriedades da argamassa.

- Investigar as propriedades de isolamento térmico das argamassas produzidas: Isto pode possibilitar o desenvolvimento de argamassas de revestimento com funções duplas, ou seja, estruturais e de isolamento.
- Analisar o desempenho das argamassas em diferentes condições climáticas: Este estudo poderia proporcionar um melhor entendimento de como esses materiais se comportam em uma variedade de situações práticas.
- Examinar as variações nos teores de AIA e de cal em função dos resultados obtidos: Compreender a relação entre esses componentes e as propriedades das argamassas pode auxiliar na produção de argamassas com características específicas.

## REFERÊNCIAS

ADAM, Jean Pierre- **La construction romaine, matériaux et techniques**, 2ª edição, Grand Manual Picard, Paris, 1989

ALVES, Nielsen José Dias. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. 2002.4

ALVES, Nielsen José Dias. Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento. 2002. xxiv, 175 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos**. Rio de Janeiro, 2003 d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528 – 1. Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração: requisitos gerais**. Rio de Janeiro 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528 – 2. Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas-determinação da resistência de aderência à tração: aderência ao substrato**. Rio de Janeiro 2019.

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16973 Agregados: Determinação do material fino que passa pela peneira de 75µm por lavagem**. Rio de Janeiro, 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – especificação**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento-especificação**. Rio de Janeiro, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7219: Agregados: Determinação do teor de materiais pulverulentos**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado Miúdo - Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**. Rio de Janeiro 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15261: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL (ABPC). **Site**. Disponível em: < <https://abcp.org.br/> > Acesso em: 15 out. 2022.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Fundamentos do concreto armado. **Bauru: Unesp**, 2019.

BAUER, L.A. F. **Materiais de Construção 1**. São Paulo : Editora Afiliada, 5ª ed. 1997.

BOGUE, R. H. Chemistry of Portland Cement 1995. **New York: Reinhold**.

CABRAL, Keillon Oliveira et al. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido**. 2007.

CARASEK, Helena et al. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 21, p. 714-732, 2016.

CARDOSO, F. A. **Método de Formulação de Argamassas de Revestimento Baseado em Distribuição Granulométrica e Comportamento Reológico**. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CINCOTTO, Maria Alba; QUARCIONI, V. A.; JOHN, VMJF. Cal na construção civil. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ipsilon, 2007.

DA SILVA, A. C. **IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA EXTRAÇÃO DE AREIA NO RIO PARAÍBA, NO TRECHO DA CIDADE DE PILAR-PB**. Paraíba. 2017.

DA SILVA, Narciso Gonçalves; CAMPITELI, Vicente Coney. **Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas**. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído; ENTAC: Florianópolis, Brasil, 2006.

DE ALMEIDA, Salvador Luiz M.; DA SILVEIRA SILVA, Valesca. **Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados**. 2005.

DE ALMEIDA, Salvador Luiz M.; DA SILVEIRA SILVA, Valesca. **Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados**. 2005.

DE OLIVEIRA HADDAD, Lucimar Dias et al. **Estudo da influência da forma e da granulometria dos agregados nas propriedades das argamassas de revestimento**. 2015.

DE SOUSA, José Getulio Gomes; BRAUER, Elton. **Aplicação da Técnica de Perda de Água sob Sucção como Ferramenta na Caracterização das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco**. In: 2º CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO. 2007.

DOS SANTOS, Leandro Damião et al. **Estudo da influência do material pulverulento nas propriedades físicas e mecânicas na argamassa estabilizada**. 2020.

DUBAJ, E. Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre. **lume.ufrgs.br**, 2000.

GIL, Antonio Carlos et al. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GUIMARÃES, J. E. P.; GOMES, R. D.; SEABRA, M. A. **Guia das Argamassas nas Construções**. 8ª. ed. [s.l.] Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 2004.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. **Isaia, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, v. 2, p. 905-944, 2010.

JOHN, Vanderley M.; PUNHAGUI, Katia R. Garcia; CINCOTTO, Maria Alba. Produção de cal. **Economia De Baixo Carbono: Avaliação De Impactos De Restrições E Perspectivas Tecnológicas Ribeirão Preto-SP**, 2014.

KAZMIERCZAK, C. DE S.; ROSA, M.; ARNOLD, D. C. M. **Influência da adição de filer de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento**. Ambiente Construído, v. 16, p. 7–19, 2016.

LARA, D., NASCIMENTO, O., MACEDO, A., GALLO, G., PEREIRA, L POTY, E. Dosagem das argamassas. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiania, Anais gonia, ANTAC, A995. P. 63-72. 1995.

LARA, Luiz Alcides Mesquita. Materiais de construção. **Ouro Preto: IFMG**, 2013.

LUIZ FELIPE QUARESMA (Brasil). J. Mendo. **Relatório Técnico**: Brasília, 2009.

LUZ, Adão Benvindo da; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de; BRAGA, Paulo Fernando Almeida. **Cominuição: Britagem e moagem**.2018.

MARGALHA, Maria Goreti. Argamassas. **Departamento de Engenharia Rural/ERU-Publicações de Carácter Pedagógico**, [s. l.], 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/4969>. Acesso em: 17 out. 2022.

MARGALHA, Maria Goreti. **O uso da Cal em Argamassas no Altejo**. 1997. 255p. Resumo expandido de Dissertação de Mestrado – Universidade de Évora, Évora Portugal, 1997. Disponível em: <https://dspace.euvora.pt/rdpc/handle/10174/4969>. Acesso em: 19 out. 2022

MELO, Karoline A. et al. **A influência do teor de cal hidratada nas propriedades de argamassas de cimento, cal e areia**. In: **Congresso Português de Argamassa e ETICS**. 2007. p. 12.

MENOSSE, R. T et al. PÓ DE PEDRA: UMA ALTERNATIVA OU UM COMPLEMENTO AO USO DA AREIA NA ELABORAÇÃO DE MISTURAS DE CONCRETO? **Holos Environment**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 209–222, 2010. DOI: 10.14295/holos.v10i2.4727. Disponível em: <https://cea-unesp.org.br/holos/article/view/4727>. Acesso em: 31 out. 2022.

MINERAL, Sumário. Desenvolvido pela Agência Nacional de Mineração. Brasília, v. 37, p. 211, 2017. Disponível em: < [https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumariomineral\\_2017](https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumariomineral_2017)> .Acesso em: 15 nov. 2022.

MONTANARI, N. GONÇALVES; GONÇALVES, Erika Peterson. EP Estudo do agregado miúdo: caracterização e efeitos da granulometria na produção do concreto. **XX ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XVI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO E VI ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA**, 2016.

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. 4 ed. London: London Pearson Education Limited, 2011.

NOBRE FILHO, Pedro Aguiar et al. **Impactos ambientais da extração de areia no canal ativo do Rio Canindé, Paramoti, Ceará**. 2011.

PARANHOS, A., VECHIA, D., BELTRAME, M. **Capilaridade: um fenômeno de superfície com aplicações cotidianas**. Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, 2007.



POLITO, Giuliano. **Avaliação da introdução de cal hidratada nas argamassas aplicadas sobre blocos cerâmicos e sua influência no desempenho e morfologia**. 2008.

RAMACHANDRAN, Vangipuram Seshachar. **Concrete admixtures handbook: properties, science and technology**. William Andrew, 1996.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical Admixtures for Concrete**, 3rd edn. **Rixom, R**, 1999.

ROMANO, R. C. O. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil**. São Paulo, 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2013

ROMANO, R. C. O.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 289-308, abr./jun. 2018.

SANTANA, Bruna Vieira; ALEIXO, Isabella Venâncio. **Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas para revestimento com diferentes impermeabilizantes**. 2017. 62 f. Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica (Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS) – Brasília, Distrito Federal, 201

SANTOS, W. J. DOS et al. Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 271–288, dez. 2019.

SANTOS, W. J. DOS et al. Proposta de método de dosagem para argamassas de revestimento com areia artificial de britagem. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 1, p. 225–243, mar. 2018.

SANTOS, White José dos. Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento. 2014. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014.

SELMO, S. M. S. Dosagem de Argamassa de Cimento Portland e Cal Para Revestimento Externo de Fachadas dos Edifícios. São Paulo, 1989. 227 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, PR, Brasil, 2006

SILVA, N.G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2011.

SILVA, Narciso G.; BUEST, Guilherme; CAMPITELI, Vicente C. **Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, Florianópolis, 2005.

SOUSA, L. H. O. de; MORAIS, D. M. de; AMANCIO, F. A. EFEITO DO ADITIVO INCORPORADOR DE AR NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO. **Revista CIATEC-UPF**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 36-44, 2019. DOI: 10.5335/ciatec.v11i2.8363. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/view/8363>. Acesso em: 20 jun. 2023.

TRENTIN, P. O. et al. Avaliação Da Influência Da Utilização De Diferentes Teores De Cal E Aditivo Incorporador De Ar Em Argamassas Produzidas Com 70% De Areia De Britagem. **Revista De Engenharia E Tecnologia**, v. 12, n. 3, 26 out. 2020.

VITRUVIUS. **Vitruvius: The ten books on architecture**. Tradução: Morris Hicky Morgan. London: Cambrige: Harvard University Press, 1914. p. 65–70

## ANEXO I - TABELAS ABNT NBR 13281 (2023)

Tabela 1 – Requisitos classificatórios e informativos

Argamassa para revestimento de paredes e tetos ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET			
Requisitos classificatórios		Requisitos informativos	
		Estado fresco	Retenção de água (4.1.1)
			Densidade de massa no estado fresco (4.1.2)
			Teor de ar incorporado (4.1.2)
			Tempo de uso (4.1.3)
Estado endurecido	Resistência potencial de aderência à tração ao substrato (4.2.1.1)	Estado endurecido	Densidade de massa no estado endurecido (4.2.2.1)
	Resistência potencial à tração superficial (4.2.1.2)		Resistência à tração na flexão (4.2.2.2)
	Módulo de elasticidade dinâmico (4.2.1.3)		Coefficiente de absorção de água por capilaridade (4.2.2.3)
	Variação dimensional (retração ou expansão linear) (4.2.1.4)		Fator de resistência à difusão de vapor de água (4.2.2.4)

Tabela 2 – Retenção de água

Classe	Retenção de água (U) %	Método de ensaio
U0	$U < 70$	ABNT NBR 13277
U1	$70 \leq U < 80$	
U2	$80 \leq U \leq 90$	
U3	$U > 90$	

Tabela 3 – Densidade de massa no estado fresco

Classe	Densidade de massa no estado fresco (DF) kg/m <sup>3</sup>	Método de ensaio
DF0	$DF < 1\ 400$	ABNT NBR 13278
DF1	$1\ 400 \leq DF < 1\ 600$	
DF2	$1\ 600 \leq DF < 1\ 800$	
DF3	$1\ 800 \leq DF < 2\ 000$	
DF4	$DF \geq 2\ 000$	

Tabela 4 – Resistência potencial de aderência à tração ao substrato

Argamassa	Classe	Resistência potencial de aderência à tração ao substrato ( $R_i$ ) MPa	Método de ensaio
ARV-I, ARV-II e ARV-III para produção de revestimento interno destinado à aplicação de pintura e/ou textura <sup>a</sup>	RA1	$R_i \geq 0,20$	ABNT NBR 15258
ARV-I, ARV-II e ARV-III para produção de revestimento interno destinado à aplicação de peças cerâmicas (ver ABNT NBR 13754) <sup>a</sup> ou de revestimento externo	RA2	$R_i \geq 0,30$	
AET	RA3	Critérios estabelecidos na ABNT NBR 16648	

<sup>a</sup> Para a aplicação de outro tipo de acabamento com características similares, consultar o fabricante da argamassa ou o projetista.

Tabela 5 – Resistência potencial à tração superficial

Argamassa	Classe	Resistência potencial à tração superficial ( $R_i$ ) MPa	Método de ensaio
ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET para produção de revestimento interno destinado à aplicação de pintura e/ou textura <sup>a</sup>	RS1	$R_i \geq 0,20$	ABNT NBR 15258
ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET para produção de revestimento interno destinado à aplicação de peças cerâmicas (ver ABNT NBR 13754) ou de revestimento externo destinado à aplicação de pintura e/ou textura <sup>a</sup>	RS2	$R_i \geq 0,30$	
ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET para produção de revestimento externo destinado à aplicação de placas cerâmicas (ver ABNT NBR 13755) <sup>a</sup>	RS3	$R_i \geq 0,50$	

<sup>a</sup> Para a aplicação de outro tipo de acabamento com características similares, consultar o fabricante da argamassa ou o projetista.

Tabela 6 – Módulo de elasticidade dinâmico

Classe	Módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ) MPa	Método de ensaio
E1	$12\ 000 < E_d \leq 14\ 000$	ABNT NBR 15630
E2	$9\ 500 < E_d \leq 12\ 000$	
E3	$7\ 000 < E_d \leq 9\ 500$	
E4	$E_d \leq 7\ 000$	

Valores de módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ) maiores que 14 000 MPa não são aceitos para argamassas inorgânicas para revestimento (fora de norma).

Tabela 7 – Variação dimensional (retração ou expansão linear)

Classe	Variação dimensional ( $\varepsilon_i$ ) mm/m	Método de ensaio
VD1	$-1,10 > \varepsilon_i \geq -1,20$ (retração entre 1,11 e 1,20)	ABNT NBR 15261
VD2	$-0,90 > \varepsilon_i \geq -1,10$ (retração entre 0,91 e 1,10)	
VD3	$-0,70 > \varepsilon_i \geq -0,90$ (retração entre 0,71 e 0,90)	
VD4	$0,0 \geq \varepsilon_i \geq -0,70$ (retração entre 0 e 0,70)	
VD5	$\varepsilon_i > 0,00$ (expansão)	

Tabela 8 – Critérios para os requisitos de módulo de elasticidade dinâmico e de variação dimensional

Requisito	Classe	Critério por tipo de argamassa			
		ARV-I	ARV-II	ARV-III	AET
Módulo de elasticidade dinâmico MPa	E	E1 a E4	E2 a E4	E3 a E4	E4
Variação dimensional mm/m	VD	VD1 a VD4	VD2 a VD4	VD3 a VD4	VD4

Tabela 9 – Densidade de massa no estado endurecido

Classe	Densidade de massa no estado endurecido (DE) kg/m <sup>3</sup>	Método de ensaio
DE0	$DE < 1\ 200$	ABNT NBR 13280
DE1	$1\ 200 \leq DE < 1\ 400$	
DE2	$1\ 400 \leq DE < 1\ 600$	
DE3	$1\ 600 \leq DE < 1\ 800$	
DE4	$DE \geq 1\ 800$	

Tabela 10 – Resistência à tração na flexão

Classe	Resistência à tração na flexão ( $R_f$ ) MPa	Método de ensaio
R1	$R_f < 0,5$	ABNT NBR 13279
R2	$0,5 \leq R_f < 1,5$	
R3	$1,5 \leq R_f < 3,0$	
R4	$R_f > 3,0$	

Tabela 11 – Coeficiente de absorção de água por capilaridade

Classe	Coeficiente de absorção de água por capilaridade ( $W_h$ ) <sup>a</sup> kg/(m <sup>2</sup> .h <sup>0,5</sup> )	Método de ensaio
W1	$W_h \geq 8,5$	EN ISO 15148 e Anexo A
W2	$7,0 \leq W_h < 8,5$	
W3	$5,5 \leq W_h < 7,0$	
W4	$4,0 \leq W_h < 5,5$	
W5	$2,5 \leq W_h < 4,0$	
W6	$1,0 \leq W_h < 2,5$	
W7	$W_h < 1,0$	

<sup>a</sup> O coeficiente de absorção de água ( $W$ ) é determinado para um tempo específico de ensaio, em horas (h), conforme estabelecido na EN ISO 15148.

Tabela 12 – Fator de resistência à difusão de vapor de água ( $\mu$ )

Classe	Fator de resistência à difusão $\mu$	Método de ensaio
DV0	$\mu > 30$	EN ISO 12572 e Anexo B
DV1	$20 < \mu \leq 30$	
DV2	$\mu \leq 20$	

## ANEXO II - TABELAS CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático		
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 – 100	0 – 5				
	CP I-S			90 – 94	0	0	6 – 10		
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E			51 – 94	6 – 34	0	0 – 15		
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II-Z			71 – 94	0	6 – 14	0 – 15		
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F			75 – 89	0	0	11 – 25		
Cimento Portland de alto forno	CP III			25 – 65	35 – 75	0	0 – 10		
Cimento Portland pozolânico	CP IV			45 – 85	0	15 – 50	0 – 10		
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V <sup>a</sup>			ARI	90 – 100	0	0	0 – 10	
Cimento Portland branco	Estrutural			25, 32 ou 40		75 – 100	–	–	0 – 25
	Não estrutural			–	–	50 – 74	–	–	26 – 50

<sup>a</sup> No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos.

Sigla <sup>a</sup>	Resíduo insolúvel (RI)	Perda ao fogo (PF)	Óxido de magnésio (MgO)	Trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )
CP I	≤ 5,0	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,5
CP I-S	≤ 3,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,5
CP II-E	≤ 5,0	≤ 8,5	–	≤ 4,5
CP II-F	≤ 7,5	≤ 12,5	–	≤ 4,5
CP II-Z	≤ 18,5	≤ 8,5	–	≤ 4,5
CP III	≤ 5,0	≤ 6,5	–	≤ 4,5
CP IV	–	≤ 6,5	–	≤ 4,5
CP V <sup>b</sup>	≤ 3,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,5
CPB Estrutural	≤ 3,5	≤ 12,0	≤ 6,5	≤ 4,5
CPB Não estrutural	≤ 7,0	≤ 27,0	≤ 10,0	≤ 4,5

<sup>a</sup> Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.

<sup>b</sup> No caso de cimentos resistentes a sulfatos derivados do cimento tipo CPV, não há limitação para RI e MgO.

Sigla <sup>a</sup>	Classe	Finura	Tempo de início de pega	Expansibilidade a quente	Resistência à compressão				Índice de brancura
		Resíduo na peneira 75 $\mu\text{m}$			MPa				
		%	min	mm	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	-
CP I	25	$\leq 12,0$	$\geq 60$	$\leq 5$	-	$\geq 8,0$	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	-
CP I-S	32	$\leq 12,0$	$\geq 60$	$\leq 5$	-	$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 32,0$	
CP II-E									
CP II-F									
CP II-Z	40	$\leq 10,0$	$\geq 60$	$\leq 5$	-	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	$\geq 40,0$	
CP III	25	$\leq 8,0$	$\geq 60$	$\leq 5$	-	$\geq 8,0$	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	-
CP IV	32	$\leq 8,0$	$\geq 60$	$\leq 5$	-	$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 32,0$	-
	40	$\leq 8,0$	$\geq 60$	$\leq 5$	-	$\geq 12,0$	$\geq 23,0$	$\geq 40,0$	-
CP V	ARI	$\leq 6,0$	$\geq 60$	$\leq 5$	$\geq 14,0$	$\geq 24,0$	$\geq 34,0$	-	-
CPB Estrutural	25	$\leq 12^b$	$\geq 60$	$\leq 5$		$\geq 8,0$	$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	$\geq 78$
	32	$\leq 12^b$	$\geq 60$	$\leq 5$		$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 32,0$	
	40	$\leq 12^b$	$\geq 60$	$\leq 5$		$\geq 15,0$	$\geq 25,0$	$\geq 40,0$	
CPB Não estrutural	-	$\leq 12,0^b$	$\geq 60$	$\leq 5$	-	$\geq 5,0$	$\geq 7,0$	$\geq 10,0$	$\geq 82$

<sup>a</sup> Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.

<sup>b</sup> Resíduo na peneira 45  $\mu\text{m}$ .

Sigla <sup>a</sup>	Classe	Enxofre na forma de sulfeto	Tempo de fim de pega	Expansibilidade a frio	Resistência à compressão aos 91 dias	Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )
		%	min	mm	MPa	%
CP I	25, 32 ou 40	-	$\leq 600$	$\leq 5$	-	$\leq 3,0$
CP I-S						$\leq 5,5$
CP II-E	$\leq 7,5$					
CP II-F	$\leq 11,5$					
CP II-Z	$\leq 7,5$					
CP III	25	$\leq 1,0$	$\leq 720$		$\geq 32,0$	$\leq 5,5$
	32				$\geq 40,0$	
	40				$\geq 48,0$	
CP IV	25	-			$\geq 32,0$	$\leq 5,5$
	32				$\geq 40,0$	
	40			$\geq 48,0$		
CP V	ARI	-	$\leq 600$	-	$\leq 5,5$	
CPB Estrutural	25, 32 ou 40	-	$\leq 600$	$\leq 5$	-	$\leq 12,0$
CPB Não estrutural	-	-			-	$\leq 27,0$

<sup>a</sup> Estes requisitos podem ser aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla original seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.

Propriedade	Unidade	Valores máximos
		41 h
Calor de hidratação <sup>a</sup>	Joules por grama (J.g <sup>-1</sup> )	$\leq 270$

<sup>a</sup> Ver Anexo A.















