

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e  
Urbanismo



Dissertação

**Análise da potencialidade do uso de resíduo de  
borracha de pneu, em argamassa de revestimento  
externo, na cidade de Pelotas/RS**

**Mônica Navarini Kurz**

Pelotas, 2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**

**Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**

**Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**

**Dissertação**



**Análise da potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu, em  
argamassa de revestimento externo, na cidade de Pelotas/RS**

**Mônica Navarini Kurz**

**Pelotas, 2017**

**MÔNICA NAVARINI KURZ**

**ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DO USO DE RESÍDUO DE BORRACHA DE  
PNEU, EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO EXTERNO, NA CIDADE DE  
PELOTAS/RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ariela da Silva Torres, Dr<sup>a</sup>.

Coorientador: Prof. Charlei Marcelo Paliga, Dr.

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

K96a Kurz, Mônica Navarini

Análise da potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu, em argamassa de revestimento externo, na cidade de Pelotas/RS / Mônica Navarini Kurz ; Ariela da Silva Torres, orientadora ; Charlei Marcelo Paliga, coorientador. — Pelotas, 2017.

181 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Tecnologia da arquitetura. 2. Resíduo de borracha. 3. Argamassa de revestimento. 4. Manifestações patológicas. 5. Sustentabilidade. I. Torres, Ariela da Silva, orient. II. Paliga, Charlei Marcelo, coorient. III. Título.

CDD : 711.1

**Mônica Navarini Kurz**

**ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DO USO DE RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU, EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO EXTERNO, NA CIDADE DE PELOTAS/RS**

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 26 de junho de 2017.

Banca examinadora:

.....  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ariela da Silva Torres (Orientadora)  
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....  
Prof. Dr. Charlei Marcelo Paliga (Coorientador)  
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Isabel Tourinho Salamoni  
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

.....  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ângela Azevedo de Azevedo  
Doutora em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosilena Martins Peres  
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha filha  
Manuela, que traz mais luz e alegria à  
minha vida e me mostra que posso  
amar infinitamente.

## **Agradecimentos**

Aos queridos professores Ariela Torres (orientadora) e Charlei Paliga (coorientador), pelo conhecimento, dedicação e incentivo no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por toda a amizade e carinho durante esta caminhada!

À CAPES pelo incentivo por meio de bolsa de estudo.

Agradeço ao Laboratório de Materiais e Técnicas Construtivas da Engenharia Civil da UFPel por todo auxílio e disponibilidade durante a fase experimental desta pesquisa.

Ao Laboratório de Engenharia Civil da UCPel pela ajuda e disposição com que me auxiliaram nos ensaios deste trabalho.

Ao curso de Edificações do IFSul Pelotas pelo empréstimo de equipamento para realização de parte experimental desta pesquisa.

À Reformadora de Pneus Minuano, pela doação do resíduo utilizado nesta pesquisa.

Aos colegas mestrandos e bolsistas do grupo NEPAMAT, pelo apoio e colaboração durante este período.

A todos os professores e colegas de curso, que contribuíram com companheirismo e conhecimento.

Ao meu pai, Linomar, e à minha mãe, Cleunice, por todo amor e carinho durante toda minha vida! Agradeço por toda ajuda sempre e por serem incansáveis, me auxiliando em tudo, para que mais esta vitória fosse alcançada. Obrigada por tudo!

À minha irmã Márcia, por toda amizade, carinho e colaboração sempre! Por me ajudar e me suprir nos dias em que me mantive afastada do escritório.

Às colegas e amigas do escritório, pela disponibilidade e ajuda nesta etapa.

Ao meu esposo Cícero, por estar sempre ao meu lado, me auxiliando e incentivando. Por todo carinho, companheirismo e amor sempre. E, principalmente, agradeço por termos realizado o melhor presente das nossas vidas, a nossa filha! Te amo!

*“É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu”*

Ana Vilela

## Resumo

KURZ, Mônica Navarini. **Análise da potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu, em argamassa de revestimento externo, na cidade de Pelotas/RS**. 2017. 181f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Uma preocupação constante da sociedade são os impactos causados pelo homem ao meio ambiente, e por este motivo pesquisadores vêm estudando maneiras de avançar em técnicas de (re)aproveitamento de materiais alternativos, como forma de atenuar os impactos causados pelo descarte dos mesmos. Dentre os resíduos gerados, um que vem crescendo em grande quantidade é o do pneu. Uma maneira de utilizar os resíduos é incorporando-os em argamassas, substituindo um componente não renovável por resíduos, pois este material é muito utilizado na construção civil e está presente em muitos revestimentos de fachadas. Quando a argamassa não possui propriedades adequadas, surgem manifestações patológicas neste revestimento, prejudicando seu desempenho quanto a suas funções. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a potencialidade, a partir de propriedades físicas e mecânicas, do uso de resíduo de borracha de pneu como substituinte parcial do agregado miúdo, em argamassas para revestimento externo. Os experimentos se baseiam em dois traços distintos, um de argamassa de cimento, e outro de cimento e cal. A substituição de areia por resíduo de borracha ocorreu nas proporções de 0%, 2,5%, 5%, 10% e 15%. As propriedades avaliadas na primeira etapa foram resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção por capilaridade, absorção por imersão e índice de vazios. Na segunda etapa da pesquisa foi analisada a resistência à tração na flexão, e através de protótipos de alvenaria, foi feita a avaliação do surgimento de manifestações patológicas, absorção pelo método cachimbo e resistência de aderência à tração. Os resultados da primeira etapa mostraram que as argamassas com resíduo, quando comparadas com a referência, obtiveram decréscimo no desempenho mecânico de todas as famílias e uma melhora nas absorções e índice de vazios de algumas famílias. No monitoramento do surgimento de manifestações patológicas nos protótipos com revestimento argamassado, realizado na segunda etapa da pesquisa, constatou-se que a utilização do resíduo de borracha na argamassa não influenciou no aparecimento ou minimização de tais problemas. Também se constatou que as argamassas com resíduo apresentaram piores desempenhos à tração na flexão, quando comparado às argamassas referência. A absorção pelo método cachimbo se mostrou com comportamento estatisticamente igual na maioria das argamassas. A resistência de aderência à tração de uma argamassa não atingiu o limite exigido pela norma brasileira. Porém, as demais argamassas encontraram-se dentro do exigido, podendo ser utilizadas tanto como revestimento interno quanto como revestimento externo.

**Palavras-chave:** Tecnologia da arquitetura. Resíduo de borracha. Argamassa de revestimento. Manifestações patológicas. Sustentabilidade.

## Abstract

KURZ, Mônica Navarini. **Analysis of the potentiality of the use of rubber tire residue, in external coating mortar, in the city of Pelotas/RS.** 2017. 181f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A constant concern of society is the impacts caused by man to the environment, and for this reason researchers have been studying ways to advance techniques of (re)use of alternative materials as a way to mitigate the impacts caused by the disposal of them. Among the waste generated, one that has been growing in great quantity is that of the tire. One way of using waste is by incorporating it into mortars, replacing a non-renewable component with waste, as this material is widely used in construction and is present in many façade. When the mortar does not have adequate properties, pathological manifestations appear in this coating, impairing its performance in its functions. This research had the objective of evaluating the potentiality, from physical and mechanical properties, of the use of tire rubber residue as partial substitute of the small aggregate, in mortars for external coating. Also, the objective was to evaluate if the use of this residue interferes in the appearance of pathological manifestations, when they are used in the city of Pelotas/RS. The experiments are based on two distinct traits, one of cement mortar, the other of cement and lime. The replacement of sand by rubber residue occurred in proportions of 0%, 2,5%, 5%, 10% and 15%. The properties evaluated in the first step were axial compressive strength, diametral compression tensile strength, capillary absorption, immersion absorption and void index. For the second stage of the research the tensile strength in the flexion was analyzed and, through masonry prototypes, an evaluation was made of the appearance of pathological manifestations, the absorption by the pipe method and the tensile bond strength. The results of the first stage showed that mortars with residual, when compared to the reference, obtained a decrease in the mechanical performance of all the families and an improvement in the absorptions and voids index of some families. In the monitoring of the appearance of pathological manifestations in the prototypes with mortar coating, carried out in the second stage of the research, it was verified that the use of the rubber residue in the mortar did not influence in the appearance or minimization of such problems. It was also found that mortars with residual presented worse performance at flexural traction when compared to reference mortars. The absorption by the pipe method was shown to be statistically the same in most mortars. The tensile bond strength of a mortar did not reach the limit required by the Brazilian standard. However, the other mortars were found to be inside the required one, being able to be used both as internal coating and as external coating.

**Keywords:** Technology architecture. Rubber residue. Coating mortar. Pathological manifestations. Sustainability.

## Lista de Figuras

Figura 1	Esquema de interação entre os três grandes temas.....	20
Figura 2	Estrutura básica de um pneu veicular.....	23
Figura 3	Procedimento de retirada da banda de rodagem.....	24
Figura 4	Acondicionamento do resíduo.....	24
Figura 5	Detalhe da ruptura à flexão, em amostra com 20% de borracha.	35
Figura 6	Camadas do revestimento de argamassa.....	36
Figura 7	Revestimento apresentando fissuração em mapa, típica de argamassas com alta retração.....	42
Figura 8	Fissura horizontal.....	42
Figura 9	Fissura linear entre módulos de dois sobrados.....	43
Figura 10	Descolamento com empolamento.....	44
Figura 11	Descolamento em placas de revestimento argamassado.....	44
Figura 12	Incidência de descolamento com pulverulência.....	45
Figura 13	Eflorescência em laje de cobertura.....	46
Figura 14	Umidade ascensional, manchas de sujeira e vegetação parasitária.....	47
Figura 15	Deterioração do reboco devido à infiltração de água pela janela.	49
Figura 16	Fluxograma do programa experimental.....	51
Figura 17	Agregados peneirados.....	52
Figura 18	Fluxograma das famílias e subfamílias de argamassas.....	53
Figura 19	Resíduo de borracha de pneu.....	56
Figura 20	Argamassadeira de movimento planetário.....	58
Figura 21	Etapas do ensaio de índice de consistência da argamassa.....	59
Figura 22	Corpos de prova cilíndricos.....	60
Figura 23	Corpos de prova nas primeiras 24 horas.....	60
Figura 24	Corpos de prova de argamassa.....	61
Figura 25	Cura por imersão em tanque com água.....	61
Figura 26	Cura ao ar e à temperatura ambiente.....	62
Figura 27	Discos de neoprene.....	64
Figura 28	Ensaio de compressão axial.....	65

Figura 29	Ensaio de tração por compressão diametral.....	66
Figura 30	Ensaio de absorção.....	67
Figura 31	Rompimento diametral após ensaio de absorção.....	67
Figura 32	Ensaio de absorção por imersão.....	68
Figura 33	Execução de protótipos de alvenaria.....	70
Figura 34	Protótipo de alvenaria executado dentro de recipiente com lâmina da água.....	71
Figura 35	Protótipos de alvenaria expostos no ambiente externo.....	72
Figura 36	Corpos de prova prismáticos.....	73
Figura 37	Marcação dos pontos de apoio dos roletes nos corpos de prova prismáticos.....	73
Figura 38	Ensaio de tração na flexão.....	74
Figura 39	Cachimbo fixado à parede.....	76
Figura 40	Esquema dos três pontos definidos para avaliação pelo método cachimbo.....	77
Figura 41	Execução do ensaio de permeabilidade pelo método cachimbo.	78
Figura 42	Pontos para execução do ensaio de aderência à tração.....	79
Figura 43	Corte prévio do corpo de prova se estendendo dentro da superfície do substrato.....	79
Figura 44	Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco.....	80
Figura 45	Execução do ensaio de resistência de aderência à tração.....	80
Figura 46	Resistência à compressão axial aos 28 dias do traço 1:3.....	83
Figura 47	Análise componentes principais para a variável resistência à compressão – traço 1:3.....	85
Figura 48	Resistência à compressão axial aos 28 dias do traço 1:2:9.....	87
Figura 49	Análise componentes principais para a variável resistência à compressão – traço 1:2:9.....	89
Figura 50	Resistência à tração por compressão diametral traço 1:3.....	91
Figura 51	Análise componentes principais para a variável resistência à tração – traço 1:3.....	92
Figura 52	Resistência à tração por compressão diametral traço 1:2:9.....	93

Figura 53	Análise componentes principais para a variável resistência à tração – traço 1:2:9.....	94
Figura 54	Argamassa com substituição nas quatro frações de agregado miúdo.....	96
Figura 55	Resultados ensaio de absorção por capilaridade para traço 1:3..	97
Figura 56	Análise componentes principais para a variável absorção por capilaridade – traço 1:3.....	99
Figura 57	Resultados ensaio de absorção por capilaridade para traço 1:2:9.....	100
Figura 58	Análise componentes principais para a variável absorção por capilaridade – traço 1:2:9.....	102
Figura 59	Traços com melhores desempenhos quanto absorção de água por capilaridade.....	102
Figura 60	Absorção por imersão traço 1:3.....	104
Figura 61	Análise componentes principais para a variável absorção por imersão – traço 1:3.....	106
Figura 62	Absorção por imersão traço 1:2:9.....	106
Figura 63	Análise componentes principais para a variável absorção por imersão – traço 1:2:9.....	108
Figura 64	Resultados ensaio de resistência à tração na flexão.....	110
Figura 65	Evolução da permeabilidade argamassas do traço 1:3, A0 e A2,5-4.....	116
Figura 66	Evolução da permeabilidade argamassas do traço 1:2:9, AC0 e AC10-3.....	117
Figura 67	Permeabilidade das argamassas ao final dos quinze minutos....	118
Figura 68	Resistência de aderência à tração das argamassas.....	121
Figura 69	Ruptura tipo E.....	122
Figura 70	Ruptura tipo F.....	122
Figura 71	Ruptura tipo A com parcela E.....	123
Figura 72	Amostras ensaio de resistência de aderência à tração.....	123

## Lista de Tabelas

Tabela 1	Estudos de argamassas que substituíram agregado por resíduos de borracha.....	29
Tabela 2	Características físico-mecânicas e químicas do cimento.....	54
Tabela 3	Características físicas e químicas da cal.....	54
Tabela 4	Características físicas da areia.....	55
Tabela 5	Características físicas do resíduo.....	57
Tabela 6	Parâmetros de proporcionalidade das argamassas.....	63
Tabela 7	Exigências mecânicas para argamassas.....	65
Tabela 8	Protótipos de alvenaria no dia zero.....	75
Tabela 9	Limites de resistência de aderência à tração (Ra).....	81
Tabela 10	Variável dependente Resistência à compressão axial (MPa) para o traço 1:3.....	85
Tabela 11	Variável dependente Resistência à compressão axial (MPa) para o traço 1:2:9.....	88
Tabela 12	Decréscimo ocorrido entre argamassas compostas e argamassas referências quanto à resistência à compressão axial.....	90
Tabela 13	Variável dependente Resistência à tração por compressão diametral (MPa) para o traço 1:3.....	91
Tabela 14	Variável dependente Resistência à tração por compressão diametral (MPa) para o traço 1:2:9.....	94
Tabela 15	Decréscimo ocorrido entre argamassas compostas e argamassas referências quanto à resistência à tração por compressão diametral.....	95
Tabela 16	Variável dependente Absorção por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) para o traço 1:3.....	99
Tabela 17	Variável dependente Absorção por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) para o traço 1:2:9.....	101
Tabela 18	Variável dependente Absorção por imersão (%) para o traço 1:3	105

Tabela 19	Variável dependente Absorção por imersão (%) para o traço 1:2:9.....	107
Tabela 20	Resumo dos melhores desempenhos do traço 1:3.....	108
Tabela 21	Resumo dos melhores desempenhos do traço 1:2:9.....	109
Tabela 22	Variável dependente Resistência à tração na flexão (MPa).....	112
Tabela 23	Variável dependente Resistência à tração na flexão (MPa) - Teste de Tukey.....	112
Tabela 24	Protótipos de alvenaria com revestimento argamassado com idade de 280 dias.....	113
Tabela 25	Protótipos de alvenaria no dia 217, onde havia ocorrido chuva no dia 216.....	114
Tabela 26	Protótipos de alvenaria com molhagem superficial para visualização de fissuras não visíveis a olho nu.....	115
Tabela 27	Variável dependente Permeabilidade (ml).....	119
Tabela 28	Variável dependente Permeabilidade (ml) - ANOVA.....	119
Tabela 29	Variável dependente Permeabilidade (ml) – Interação entre as faces.....	120
Tabela 30	Variável dependente Permeabilidade - Teste de Tukey.....	120
Tabela 31	Variável dependente resistência de aderência à tração (MPa)....	124
Tabela 32	Variável dependente resistência de aderência à tração (MPa) - ANOVA.....	125
Tabela 33	Variável dependente resistência de aderência à tração (MPa) – Interação entre as faces.....	125
Tabela 34	Variável dependente resistência de aderência à tração (MPa) - Teste de Tukey.....	126

## Sumário

<b>1 Introdução.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 Delimitações da pesquisa.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Estrutura da pesquisa.....</b>	<b>19</b>
<b>2 Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Resíduos na construção civil.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1 Borracha de pneu.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.2 Estudos de materiais com incorporação de resíduos.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2 Estudos desenvolvidos em argamassas com resíduo de borracha.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3 Argamassas de revestimento.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.1 Manifestações patológicas em fachadas argamassadas.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.1.1 Fissuras.....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.1.2 Descolamentos.....</b>	<b>43</b>
<b>2.3.1.3 Degradação do aspecto.....</b>	<b>45</b>
<b>2.3.1.4 Umidade.....</b>	<b>47</b>
<b>3 Materiais e Métodos.....</b>	<b>50</b>
<b>3.1 Programa experimental.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2 Materiais.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.1 Cimento.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.2 Cal.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.3 Água.....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.4 Areia.....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.5 Resíduo de borracha de pneu.....</b>	<b>56</b>
<b>3.3 Confeção dos corpos de prova de argamassa.....</b>	<b>57</b>
<b>3.4 Propriedades Medidas.....</b>	<b>62</b>
<b>3.4.1 Estado endurecido.....</b>	<b>64</b>
<b>3.4.1.1 Resistência à compressão axial.....</b>	<b>64</b>
<b>3.4.1.2 Resistência à tração por compressão diametral.....</b>	<b>65</b>
<b>3.4.1.3 Absorção por capilaridade.....</b>	<b>66</b>

3.4.1.4 Absorção por imersão e índice de vazios.....	67
3.5 Análise dos resultados da primeira etapa.....	68
3.6 Protótipos de alvenaria.....	69
3.6.1 Ensaio na argamassa de revestimento do protótipo.....	72
3.6.1.1 Resistência à tração na flexão.....	72
3.6.1.2 Avaliação do surgimento de manifestações patológicas.....	74
3.6.1.3 Absorção pelo método cachimbo.....	76
3.6.1.4 Resistência de aderência à tração.....	78
3.7 Análise dos resultados da segunda etapa.....	81
4 Resultados e Discussões da Primeira Etapa.....	82
4.1 Resistência à compressão axial.....	82
4.1.1 Argamassa de cimento – Traço 1:3.....	83
4.1.1.1 Análise estatística – Traço 1:3.....	84
4.1.2 Argamassa de cimento e cal – Traço 1:2:9.....	86
4.1.2.1 Análise estatística – Traço 1:2:9.....	87
4.1.3 Conclusões do ensaio de resistência à compressão axial.....	89
4.2 Resistência à tração por compressão diametral.....	90
4.2.1 Argamassa de cimento – Traço 1:3.....	90
4.2.1.1 Análise estatística – Traço 1:3.....	91
4.2.2 Argamassa de cimento e cal – Traço 1:2:9.....	92
4.2.2.1 Análise estatística – Traço 1:2:9.....	93
4.2.3 Conclusões do ensaio de tração por compressão diametral.....	95
4.3 Absorção por capilaridade.....	97
4.3.1 Argamassa de cimento – Traço 1:3.....	97
4.3.1.1 Análise estatística – Traço 1:3.....	98
4.3.2 Argamassa de cimento e cal – Traço 1:2:9.....	100
4.3.2.1 Análise estatística – Traço 1:2:9.....	101
4.3.3 Conclusões do ensaio de absorção por capilaridade.....	102
4.4 Absorção por imersão e índice de vazios.....	103
4.4.1 Argamassa de cimento – Traço 1:3.....	103
4.4.1.1 Análise estatística – Traço 1:3.....	105
4.4.2 Argamassa de cimento e cal – Traço 1:2:9.....	106

4.4.2.1 Análise estatística – Traço 1:2:9.....	107
4.5 Resumo dos resultados da primeira etapa.....	108
5 Resultados e Discussões da Segunda Etapa.....	110
5.1 Resistência à tração na flexão.....	110
5.1.1 Análise estatística – Resistência à tração na flexão.....	111
5.2 Avaliação do surgimento de manifestações patológicas.....	112
5.3 Absorção pelo método cachimbo.....	115
5.3.1 Análise estatística – Absorção pelo método cachimbo.....	118
5.4 Resistência de aderência à tração.....	120
5.4.1 Análise estatística – Resistência de aderência à tração.....	124
6 Conclusões e Considerações Finais.....	127
6.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	130
Referências Bibliográficas.....	132
Apêndices.....	141

## 1 Introdução

A construção civil é parte responsável por uma grande produção de resíduo não renovável. Esse material, muitas vezes, não possui um destino nem uma possível aplicabilidade dentro do segmento, o que alerta para a problemática que se constitui: o (re)aproveitamento. Parte do problema se materializa na preocupação que diversas repartições sociais, tais como: cidadãos, autoridades, organizações etc., podem vir a apresentar quando se vislumbra a degradação ambiental que esse tipo de resíduo causa. A não garantia de sustentabilidade dentro das cidades e os sinais de degradação do meio ambiente demonstram a negligência por parte do segmento da construção civil, no que se refere ao (re)aproveitamento do resíduo. Por isso, a necessidade de agir e de modificar, ou ao menos minimizar, a situação degradante.

Pensando na situação que se instaura, uma possibilidade se apresenta como um campo promissor no desenvolvimento de alternativas viáveis, capazes de diminuir a incidência de dano ambiental, no que se refere ao resíduo borracha de pneu. Tal material apresenta, segundo Lagarinhos e Tenório (2013), um rápido desenvolvimento tecnológico e de produção, devido ao aumento da população e da demanda por novas tecnologias com redução do ciclo de vida dos produtos e bens de consumo; e grande quantidade, devido ao aumento no número de veículos automotivos produzidos. Como consequência disso, ocorre o aumento do volume destinado para aterros e o aumento do consumo de recursos naturais. Este resíduo lançado no meio ambiente, além de agredir, gera a ocupação de grandes vazios urbanos, prejudicando a estrutura das cidades. Devido a este fato, como comenta Marques (2005), vários pesquisadores vêm investigando alternativas de reciclagem deste material, por se tratar de um resíduo de difícil absorção pelo meio ambiente.

A reciclagem de resíduos, além de ser uma das alternativas de variar a oferta de matéria-prima para utilização como materiais de construção, é uma forma de contribuir para a preservação ambiental. Várias vertentes do setor desenvolvem estudos sobre como absorver o resíduo gerado, tanto pelo próprio segmento quanto por outras repartições industriais, com o intuito de transformá-lo em componentes a

serem utilizados nas edificações em geral. Uma potencial possibilidade de (re)utilizar estes resíduos é incorporando-os em argamassas e/ou concretos, substituindo e mesclando, parcial ou totalmente, um componente não (re)aproveitável ou renovável.

Um avanço na compreensão de um tipo de material é com frequência o precursor para o progresso de uma tecnologia. Por este motivo é importante o estudo dos usos e das propriedades dos materiais, para se possuir um melhor entendimento sobre tal componente e assim um melhor aproveitamento tecnológico.

Lagarinhos et al. (2016) pesquisaram os sistemas implementados para a coleta e destinação dos pneus usados no Japão, Estados Unidos, Comunidade Europeia e Brasil. Nesta pesquisa verificaram que, no ano de 2015, o Japão importou pneus triturados, pois ele não produz uma quantidade suficiente de pneus inservíveis para a utilização no processo produtivo. O Japão ainda possui um programa para a retirada destes materiais de locais onde é feito o descarte inadequado. Em relação ao destino dos pneus usados no Japão, 64,30% são utilizados para valorização energética e 35,70% na recuperação de materiais. Os Estados Unidos possuiu uma taxa de reciclagem de pneus de 87,90% no ano de 2015, sendo que 40 estados não permitem a disposição de pneus inservíveis inteiros em aterros e 38 permitem a disposição de pneus cortados e triturados. A reciclagem dos pneus corresponde em 48,13% na valorização energética, 40,71% na recuperação de materiais e 11,15% na disposição em aterros. Os países membros da Comunidade Europeia destinaram 96,07% do total de pneus gerados no ano de 2013, sendo 34,53% na valorização energética, 61,58% na recuperação de materiais e 3,89% destinados para aterros sanitários. Já no Brasil, a porcentagem de cumprimento das metas de destinação final dos pneus, no ano de 2014, foi de 97,60%, sendo 66,90% do total destinado para a valorização energética e 33,10% para a recuperação do material.

Considerando a importância da argamassa para a construção civil, diversos autores realizaram estudos sobre a incorporação de resíduos em argamassas, sempre buscando um material que possua uma boa aplicação com um viés mais sustentável. Conforme Caraseck (2007), quando as argamassas não são bem projetadas, executadas ou possuem materiais inadequados, tendem a surgir manifestações patológicas.

Considerando os aspectos relativos à construção civil no que se refere ao (re)aproveitamento de resíduos (borracha de pneu) na incorporação de novos materiais, na procura de gerar investigações sobre o impacto do uso desse tipo de material no setor da construção, levando em consideração as dimensões tanto sociais quanto ambientais, este processo investigatório tem como foco a busca de alternativas potencializadoras do uso de resíduo de borracha de pneu em argamassas. Para tanto, esta pesquisa foi realizada com resíduo de borracha de pneu incorporada às argamassas com diferentes traços e proporções de incorporação, por meio de moldagens e ensaios em laboratório, na cidade de Pelotas, no Estado do Rio Grande do Sul (RS). Os ensaios têm o propósito de verificar a viabilidade da substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de borracha, pressupondo posteriormente a avaliação e validação do desempenho físico e mecânico das argamassas com este resíduo, percebendo-se na utilização do resíduo de pneu uma alternativa para realizar uma argamassa que possua, além das propriedades físicas e mecânicas exigidas pelas normas, um bom desempenho com um viés mais sustentável.

A partir destes conceitos, esta pesquisa formulou como hipóteses: (1) o uso do resíduo de borracha de pneu, pode ser um substituinte parcial do agregado miúdo na produção de argamassa de revestimento com características mecânicas e físicas adequadas, e (2) o uso do resíduo de borracha em argamassas de revestimento pode interferir no surgimento de manifestações patológicas.

## **1.1 Objetivos**

Esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar a potencialidade, a partir de propriedades físicas e mecânicas, do uso de resíduo de borracha de pneu como substituinte parcial do agregado miúdo, em argamassas para revestimento.

Os objetivos específicos são:

- (1) Verificar a influência do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas da argamassa, a partir da comparação com uma argamassa de referência;
- (2) Comparar comportamentos entre as argamassas de cimento e argamassas de cimento e cal, com e sem resíduo, em corpos de prova e em protótipos de alvenaria;

- (3) Analisar comparativamente diversos teores de incorporação de borracha nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas;
- (4) Avaliar se o uso do resíduo de borracha em argamassas interfere no surgimento de manifestações patológicas em revestimento externo, quando as mesmas são utilizadas na cidade de Pelotas/RS, a partir da comparação com uma argamassa de referência.

## **1.2 Delimitações da pesquisa**

O estudo se delimita ao tipo de resíduo de borracha doado para esta pesquisa e delimita-se à avaliação do surgimento das manifestações patológicas apenas para as condições de exposição dos protótipos utilizados nesta pesquisa, na cidade de Pelotas/RS.

## **1.3 Estrutura da pesquisa**

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos, descritos a seguir.

O primeiro capítulo destina-se à introdução do trabalho, apresentação da justificativa, dos objetivos e delimitações da pesquisa.

O segundo capítulo contém a revisão bibliográfica sobre o assunto, abordando o uso de resíduo de borracha em argamassas, os aspectos relativos a argamassas de revestimento e manifestações patológicas em fachadas argamassadas.

O terceiro capítulo descreve os materiais e métodos utilizados.

No quarto capítulo estão apresentados os resultados obtidos da primeira etapa do programa experimental, análises e discussões.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos da segunda etapa do programa experimental, análises e discussões.

O sexto capítulo contém as conclusões e considerações finais do trabalho, além de sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, estão expostas as referências bibliográficas.

## 2 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica irá abordar os principais assuntos referentes a este estudo, estando dividido em três grandes temas: resíduos na construção civil, argamassas com resíduo de borracha e manifestações patológicas em fachadas argamassadas, conforme Figura 1.

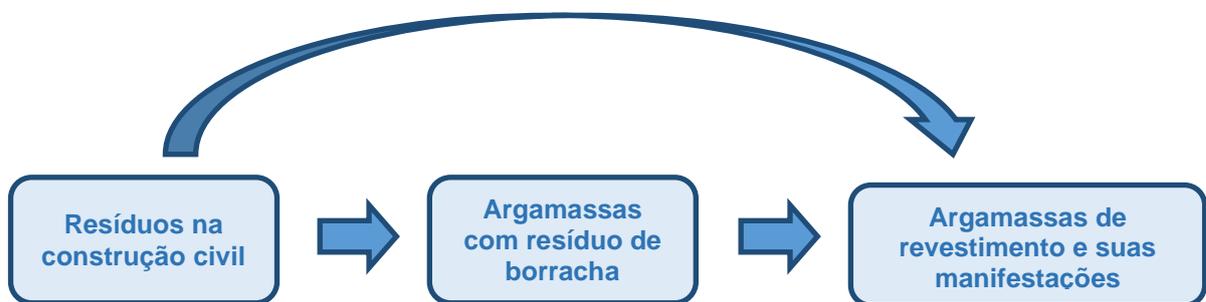


Figura 1 – Esquema de interação entre os três grandes temas.

Fonte: autora.

Dentro do primeiro tema estão relatados os estudos fundamentais de materiais com utilização de resíduos, possuindo um subitem que aborda especificamente o resíduo de borracha de pneu. O segundo tema apresenta os conceitos fundamentais referentes a argamassa de revestimento e argamassa com resíduo de borracha, além de dissertar sobre os principais estudos desenvolvidos em argamassas com resíduo de borracha. A última área relata as principais manifestações patológicas ocorrentes em revestimentos de argamassa.

### 2.1 Resíduos na construção civil

Bezerra (2010) afirma que os impactos causados pelo homem ao meio ambiente são uma preocupação constante, e por este motivo pesquisadores vêm estudando maneiras de proporcionar novos materiais ao mercado. Para tanto, deve-se procurar avançar em técnicas de reaproveitamento de materiais alternativos, como forma de atenuar os impactos ambientais causados pelos mesmos.

Este mesmo autor ainda relata a grande preocupação que envolve o desenvolvimento de novos materiais e a necessidade de investigações quanto à durabilidade, qualidade e viabilidade da utilização dos mesmos, visto que estes são aspectos importantes para produtos da construção civil. Sobre a mesma questão, Souza (2008) aborda que o produto com uso de material reciclado necessita satisfazer às solicitações a que será submetido e as recomendações previstas pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), devendo ser funcional para o usuário e para indústria da construção civil.

Até o momento diversos estudos já foram desenvolvidos com o objetivo de uso de agregados reciclados. Dentre os resíduos já pesquisados pode-se citar: resíduo de construção e demolição (RCD), vidro, fibra de plástico, etileno acetato de vinila (EVA), cinza de casca de arroz (CCA) e borracha de pneu. A seguir serão relatados alguns trabalhos utilizando estes resíduos. Salienta-se que a maior parte dos estudos comprovou a eficácia do uso destes materiais como substituinte parcial ou total de agregados.

### **2.1.1 Borracha de pneu**

No Brasil, a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) atua na defesa dos interesses do setor e do comércio internacional. Uma dessas atuações é na defesa contra atos ilegais no território nacional e a não realização da reciclagem por parte de alguns importadores. Com isso, em 1999 ocorreu o início do Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis. Originária deste programa, em 2007, a ANIP criou a Reciclanip, voltada para a coleta e destinação de pneus inservíveis no país. De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), o rejeito de borracha de pneus é classificado como resíduo não-perigoso da Classe II.

A Reciclanip é considerada uma das principais iniciativas na área de pós-consumo da indústria brasileira, possuindo, até o final de 2015, 1008 pontos de coleta de pneus. Conforme dados de 2015 da Reciclanip, desde 1999, quando começou a coleta pelos fabricantes, 3,11 milhões de toneladas de pneus inservíveis foram coletados e destinados adequadamente, o equivalente a 623 milhões de pneus de passeio. Desde então, os fabricantes de pneus já investiram R\$ 724 milhões no programa até março de 2015.

Conforme dados divulgados pela Reciclanip em 2015, no Brasil, uma das formas mais comuns de reaproveitamento dos pneus inservíveis é como combustível alternativo para as indústrias de cimento. Outros usos dos pneus são na fabricação de solados de sapatos, borrachas de vedação, dutos pluviais, pisos para quadras poliesportivas, pisos industriais, além de tapetes para automóveis. Mais recentemente, também vêm sendo utilizados como componentes para a fabricação de manta asfáltica e asfalto-borracha. Todas estas destinações são aprovadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) como destinações ambientalmente adequadas.

Quando os pneus não são acondicionados em destinos corretos, acabam ficando expostos ao ar livre, propiciando, além de poluição ambiental, proliferação de doenças. Segundo Pedro (2011) os problemas ambientais que ocorrem devido ao depósito de pneus usados estão relacionados com os seguintes fatores: depósito de pneus em leitos de água, podendo provocar o assoreamento de rios e lagos; deposição em aterros sanitários, devido o tempo de decomposição de um pneu ser de centenas de anos; instalação de grandes depósitos, que além de ocupar uma extensa área, se constitui em um perigo para o ambiente, pois os pneus ficam sujeitos à queima acidental ou provocada; e no que diz respeito à saúde pública, pois os pneus descartados em terrenos baldios tendem a reter a água da chuva, criando um ambiente propício à procriação e multiplicação de mosquitos, que são vetores de doenças.

Pedro (2011) ainda afirma que para combater esta situação, vários países têm elaborado legislações com o intuito de submeter os pneus usados a uma gestão correta, procurando encontrar ambientes destinados a uma deposição apropriada deste resíduo. De acordo com o autor, em Portugal, através do Decreto-Lei n.º 111/2001, de 6 Abril, foi estabelecida uma hierarquia na gestão dos pneus usados, tendo sido definida como prioritária a prevenção da sua produção, aliada do aumento da vida útil dos pneus, a promoção da recauchutagem e a implementação e desenvolvimento de sistemas de reciclagem e de outras formas de valorização dos pneus usados.

De acordo com o IBAMA, a coleta e destinação dos pneumáticos inservíveis atende aos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, publicada pela Lei 12.305, de 06 de agosto de 2010. A Lei obriga os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pneus a estruturar e implementar sistemas de

logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.

Segundo Canova (2008), a reutilização de pneus inservíveis tem sido muito viável devido a sua alta durabilidade, por ser um material altamente elástico e ter a função de isolante devido à sua baixa condutividade térmica e sonora.

A Figura 2 mostra os principais componentes de um pneu veicular, salientando a banda de rodagem (parte do pneu que entra em contato com o solo), parte do pneu que no processo de recapagem e recauchutagem deve ser retirada para ser substituída por uma nova.

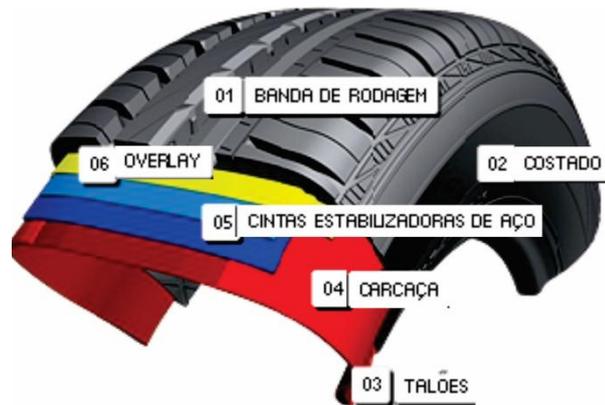


Figura 2 – Estrutura básica de um pneu veicular.

Fonte: <http://www.goodyear.com.br/> acessado em 01/04/2016.

A Figura 3 mostra o procedimento de retirada da banda de rodagem, com resíduo gerado neste processo que pode ser utilizado como agregado miúdo incorporado em materiais da construção civil. A Figura 4 mostra o acondicionamento do resíduo na reformadora visitada.



Figura 3 – Procedimento de retirada da banda de rodagem.

Fonte: <http://www.minuanoreformadoradepneus.com.br/> acessado em 28/03/2016.



Figura 4 – Acondicionamento do resíduo.

Fonte: autora.

Segundo Cheater (1975) *apud* Canova (2008), o pneu pode ser recuperado ou reciclado. A recuperação resulta de um tipo específico de processo técnico, onde por meio de recursos mecânicos e químicos, se converte a borracha em um material leve capaz de ser facilmente incorporado. Consiste na simples trituração dos pneus descartados, os quais são reduzidos a pó fino. A reciclagem segue a recuperação, mas vai além do conceito do reuso dos materiais, não só em sua forma original como também em outras, tais como: gás, óleo, calor ou por separação de vários ingredientes, como o negro de fumo e o óxido de zinco.

Lagarinhos e Tenório (2013) explanam que o que tem contribuído para o aumento de descarte de resíduos são o rápido desenvolvimento tecnológico, aumento da população e demanda por novas tecnologias com redução do ciclo de vida dos produtos. Como consequência deste fator, ocorre o aumento do volume destinado para aterros, consumo de recursos naturais, energia, poluição do ar, das águas superficiais e subterrâneas, aumento dos custos envolvidos no processo de coleta e destinação dos resíduos e esgotamento dos aterros próximo dos pontos de geração de resíduos.

Com isso ocorreu um aumento da conscientização da população, pela preservação do meio ambiente e saúde pública, e tem se definido políticas federais, estaduais e municipais. Além disso, mudança na postura das empresas com relação ao projeto de produtos e a preocupação com relação a sua disposição final.

As tecnologias de destinação ambientalmente adequada praticadas pelas empresas destinadoras que declararam no Relatório de Pneumáticos do IBAMA em 2014 são apresentadas a seguir:

- Coprocessamento: Utilização dos pneus inservíveis em fornos de clínquer como substituto parcial de combustíveis e como fonte de elementos metálicos;
- Laminação: Processo de fabricação de artefatos de borracha;
- Granulação: Processo industrial de fabricação de borracha moída, em diferente granulometria, com separação e aproveitamento do aço;
- Regeneração da Borracha: Processo industrial de desvulcanização da borracha.

### **2.1.2 Estudos de materiais com incorporação de resíduos**

A resolução do CONAMA nº 307 (CONAMA, 2002) define os resíduos da construção civil como materiais provenientes de construções, reparos, reformas e demolições de obras de construção civil.

Conforme Figueiredo et al. (2011), a indústria da construção civil consome entre 15% a 50% de todos os recursos extraídos da natureza, sendo que esta quantidade coloca esse setor como sendo o maior consumidor individual de recursos naturais. Como alguns impactos são visíveis e demonstram um comprometimento da qualidade do ambiente e do cenário local, se revela a importância de se

desenvolverem novas técnicas de reutilização e reciclagem do entulho e de se motivarem os geradores a diminuir esse desperdício.

Com a necessidade de reciclar os entulhos da construção civil, se criou a possibilidade de que parte dos produtos resultantes desse processo viesse a substituir o agregado natural. Conforme Leite (2007), apesar das particularidades dos resíduos da construção e demolição, a grande geração de volume destes materiais vem chamando atenção em muitos países. Uma maneira de reutilizar os entulhos das construções é realizar um processo de reciclagem originando um novo produto, o agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil. Os agregados reciclados têm a finalidade de substituir parcial ou totalmente o agregado natural empregado. Esta transformação ocorre em usinas recicladoras, consistindo basicamente na britagem do entulho da construção, diminuindo o tamanho dos grãos e produzindo o agregado reciclado. Conforme o CONAMA nº 307 (CONAMA, 2002), para poder ser reciclado, o resíduo da construção civil deve ser da classe A, que são resíduos provenientes de construções, demolições, reformas e reparos de edificações, pavimentações e peças pré-moldadas de concreto.

Sobre a utilização de resíduos de construção e demolição como agregados, pode-se citar os estudos de Cabral et al. (2009), Leite et al. (2011), Farias Filho et al. (2011), Paixão (2011), Jochem et al. (2013), Gieseler e Tutikian (2013), entre tantos outros.

Outros resíduos também já foram estudados como substituintes de aglomerantes ou agregados, como por exemplo uso de vidro por Lopéz et al. (2005), fibras de plástico por Oliveira et al. (2005), resíduo de EVA por Santiago et al. (2009) e cinza de casca de arroz (CCA) por Souza (2008) e Bezerra et al. (2011).

Guneyisi et al. (2004) estudaram as propriedades mecânicas de um concreto especial com sílica ativa e adição de resíduos de borracha. Neste estudo utilizaram as fibras de borracha, com comprimento variando entre 10mm e 40mm, substituindo o agregado miúdo em seis porcentagem diferentes (0%, 2,5%, 5%, 10%, 25% e 50%), e em relação a sílica ativa as porcentagens de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. Os resultados mostraram que, para substituição de 50% ocorreu a perda total da trabalhabilidade do concreto, a resistência à compressão também sofreu alterações, ocorrendo uma redução significativa, na ordem de 85%, para 50% de fibra de borracha.

Em sua pesquisa, Shu e Huang (2014) relatam que o uso de resíduo de borracha em mistura asfáltica para pavimentação tem sido provado bem sucedido devido à boa compatibilidade e interação entre as partículas de borracha e o aglutinante de asfalto, levando a várias propriedades melhoradas e desempenho de misturas de asfalto. Em comparação, a sua utilização em concreto de cimento Portland não teve tanto êxito devido a dois fatores, incompatibilidade na propriedade química entre a borracha e a pasta de cimento e a diferença significativa na rigidez resultante em concentrações de tensão.

Martins et al. (2015) verificaram as propriedades de resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e resistência à flexão em concretos com substituição do agregado miúdo por resíduo de borracha nos teores de 0%, 10%, 20% e 30%. Com os ensaios concluíram que o concreto com a adição dos resíduos de borracha pode ser viável, exceto em casos que a estrutura exija altas resistências.

A pesquisa de Su et al. (2015) utilizou o resíduo de borracha incorporado no concreto. Antes de sua utilização, o resíduo foi modificado por imersão na solução saturada de hidróxido de sódio ou agente de acoplamento de silano (SCA). O concreto possuiu 20% de agregado fino natural substituído volumetricamente pelo resíduo de borracha tratada. Os resultados experimentais mostram maiores resistências à compressão e flexão, módulo de Young e resistência à permeabilidade à água das amostras com borracha tratada com SCA do que com a borracha recebida ou tratada com hidróxido de sódio.

Outro estudo em concreto com resíduo de borracha é o de Carneiro et al. (2015), que avaliaram as propriedades do concreto com incorporação de resíduo de borracha de pneus, estudando as porcentagens de substituição de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do volume de areia por agregado miúdo de borracha. Neste trabalho os autores avaliaram as resistências médias à compressão e à tração por compressão diametral, e realizaram ensaios não destrutivos para avaliar o índice esclerométrico e a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, obtendo, com os resultados, que os valores médios dos quatro parâmetros estudados tendem a diminuir com o aumento da quantidade em volume de agregado miúdo de borracha incorporado ao concreto. Sendo a substituição de 10% uma quantidade ideal para execução de concretos com borracha, pois suas propriedades ficaram bem próximas das do concreto convencional.

Muñoz-Sánchez et al. (2016) estudaram o desempenho de materiais cimentícios contendo uma porcentagem de partículas de borracha como substituição de agregados. Para isto a superfície de borracha foi modificada, onde foram aplicados novos tratamentos químicos e simples baseados em soluções de hidróxido de cálcio ou ácido acético. Para caracterizar a superfície da borracha e as modificações químicas, os autores utilizaram a refletância total atenuada por espectroscopia infravermelha transformada por Fourier (FTIR-ATR). As partículas de borracha foram observadas por microscopia óptica com o objetivo de detectar alterações físicas em sua superfície. Em seguida, as partículas de borracha modificadas foram incluídas na composição dos espécimes de argamassa e foram ensaiadas no estado fresco (índice de consistência) e no estado endurecido (porosidade, resistência à flexão e à compressão, capilaridade de absorção de água e velocidade de pulso ultra-sônico). Os autores concluíram que a substituição parcial de agregados naturais por partículas de borracha tratadas quimicamente, melhora as propriedades, em termos de resistência à flexão e à compressão, de argamassas com resíduo de borracha.

Outro estudo contendo resíduo de borracha foi o de Sola et al. (2017), onde os autores utilizaram métodos de gravimetria térmica, análise térmica diferencial, análise de infravermelho de transformada Fourier e absorção capilar, para investigarem as propriedades de um composto de cimento produzido pela introdução de borracha de resíduos de pneus em uma mistura de cimento. Neste estudo verificaram que o composto preenchido com o resíduo de borracha obteve uma capacidade de absorção de água muito inferior a do composto que não foi preenchido com resíduo.

## **2.2 Estudos desenvolvidos em argamassas com resíduo de borracha**

Além das destinações citadas anteriormente, muitos estudos vêm verificando a potencialidade de utilização de resíduos de borracha como agregado em argamassas, sendo estas informações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estudos de argamassas que substituíram agregado por resíduos de borracha.

Autor	Material testado	Ensaio realizado/ Análise realizada	% substituição	Resultados
Meneguini (2003)	Argamassa de cimento e areia	Índice de consistência, absorção de água por capilaridade, compressão axial e diametral, módulo de elasticidade e desgaste por abrasão.	10% em relação à massa de cimento, com dimensão máxima de 1,20mm	Aumento da resistência ao desgaste por abrasão e uma melhora na trabalhabilidade, diminuição da densidade aparente e diminuição da porosidade. A absorção de água por capilaridade, não apresentaram alteração significativa.
Turatsinze et al. (2005)	Argamassa resistente de cimento e areia	Módulo de deformação, resistência à compressão	20% e 30% em relação ao volume de areia, com dimensão máxima de 4,0mm	O módulo de deformação decresceu em 38% e 58%, para as argamassas com inclusão de 20% e 30%, respectivamente. A resistência à compressão, diminuiu na ordem de 50% e 80%, para substituição de 20% e 30%, respectivamente. Os autores ainda acrescentaram 20 kg/m <sup>3</sup> de fibras de aço juntamente com as proporções de partículas de borracha, porém os resultados não mostraram diferenças significativas
Marques et al. (2008)	Argamassa de cimento e areia	Índice de consistência, resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade / verificaram o tratamento da superfície da borracha com solução aquosa saturada de hidróxido de sódio	12% do volume de areia	Redução nos valores das propriedades mecânicas e perda da trabalhabilidade. O tratamento não interfere nas propriedades, não ocorrendo alteração nos resultados quando comparados com os resultados dos corpos de prova que não sofreram tratamento

Ferreira (2009)	Argamassa de cimento e areia	Índice de consistência, absorção de água por capilaridade, resistência à compressão e à tração. Para as propriedades térmicas, o pesquisador aplicou uma pasta térmica em corpos de prova e realizou medições com um aparelho medidor de propriedades térmicas	10%, 20% e 30%, resíduos com dimensões variando entre 0,30mm e 4,80mm. Para as propriedades térmicas utilizou mais duas substituições de areia por resíduo nas proporções de 40% e 67,5%	Redução no índice de consistência, na resistência à compressão e na resistência à tração e um aumento na absorção para argamassa com resíduo. Melhora na resistência à flexão, e uma diminuição na condutividade térmica, sendo satisfatória a argamassa com resíduo quando se deseja um material com baixa condutividade térmica
Turki et al. (2009)	Argamassa de cimento e areia	Investigaram a zona de transição interfacial entre os agregados de borracha e a matriz de cimento, por meio de microscopia eletrônica de varredura, através da análise de sua microestrutura	30% e 50% de substituição do agregado miúdo por agregado de borracha	Na argamassa referência ocorreu aderência completa entre a matriz de cimento e os agregados naturais. Já para argamassa com agregado de borracha existia espaços vazios entre a matriz de cimento e os agregados
Uygunoğlu e Topçu (2010)	Argamassa de cimento e areia	Resistência à compressão e na resistência à tração por flexão, módulo de elasticidade, índice de porosidade, retração.	10%, 20%, 30%, 40% e 50% em relação ao agregado natural. Utilizaram cinco relações água/cimento diferentes (0,40, 0,43, 0,47, e 0,51)	Diminuição na resistência à compressão e na resistência à tração por flexão, conforme ocorreu o aumento da taxa de substituição e também com o aumento da relação água/cimento. Neste último ensaio, constataram que as amostras com resíduo de borracha não colapsaram de repente. Diminuição no módulo de elasticidade, aumento na porosidade das argamassas e aumento da retração com o aumento da quantidade de borracha

Canova et al. (2012)	Argamassas de cimento, areia e cal virgem, sendo uma maturada e a outra passando pelo processo de retirada de água em estufa	Resistências à compressão axial e resistência à tração na flexão, energia de deformação, índice de vazios, absorção de água por capilaridade, retração restringida e resistência de aderência à tração	6%, 8% ,10% e 12% em relação ao volume de agregado	A argamassa seca em estufa com resíduos de borracha mostrou melhor desempenho em relação à argamassa maturada. Ocorrendo redução na absorção de água por capilaridade, na retração restringida, no índice de vazios e mantendo a resistência de aderência à tração
Pedro et al. (2012)	Argamassa de cimento e areia	Índice de consistência massa volúmica, resistência à flexão e à compressão, absorção de água por capilaridade, susceptibilidade à fendilhação, variação dimensional, aderência ao suporte, módulo de elasticidade dinâmico, permeabilidade ao vapor de água, resistência ao choque e compatibilidade com o suporte (envelhecimento)	0%, 5%, 10% e 15% em substituição da areia, com uma curva granulométrica idêntica da mesma. Adição de água a cada tipo de argamassa foi feita de modo que esta apresentasse valores de espalhamento de 175mm ± 10mm, avaliados de acordo com a EN 1015-3 (1999)	Melhora no desempenho a nível de deformabilidade, redução significativa nas resistências, maior capacidade à argamassa em absorver a energia de choque e uma melhora na permeabilidade ao vapor de água e a aderência ao suporte (após envelhecimento)
Massolla et al. (2012)	Argamassas de cimento e areia de britagem	Índice de consistência, densidade de massa no estado fresco e no estado endurecido, coeficiente de capilaridade, módulo	10%, 15% e 20% em relação ao volume original de areia	Diminuição dos valores de densidade, redução de capilaridade, diminuição do módulo de elasticidade, redução da absorção de água e pouca influência

		<p>dinâmico de elasticidade por emissão de ondas ultrassônicas, resistência de aderência das argamassas aplicadas sobre alvenaria de blocos cerâmicos e absorção de água pelo método do cachimbo</p>		<p>sobre a aderência das argamassas sobre o substrato. Sendo assim, os autores consideraram favoráveis o uso de resíduos de borracha em argamassas de revestimento</p>
<p>Sales e Mendes (2013)</p>	<p>Argamassa de cimento e areia</p>	<p>Ensaio de compressão, módulo de elasticidade e tração indireta</p>	<p>5% e 10% da massa de areia, utilizando os resíduos passantes na peneira de abertura de malha de 1,20mm</p>	<p>Redução em todos os desempenhos, sendo favorável em termos de deformação</p>
<p>Cintra et al. (2014)</p>	<p>Argamassas de revestimento contendo cimento, areia e vermiculita expandida</p>	<p>No estado fresco: índice de consistência, retenção de água, tempo final da pega, teor de água, densidade de massa e teor de ar incorporado. Estado endurecido: densidade de massa aparente, resistência à compressão e resistência de aderência sob tração. Para o ensaio de aderência sob tração foram feitas aplicações sobre um substrato de concreto de 250x500x20mm</p>	<p>10% e 33% em relação ao volume dos materiais secos</p>	<p>As argamassas contendo vermiculita expandida e borracha apresentaram propriedades semelhantes no estado fresco, enquanto que no estado endurecido apresentaram melhores resultados de resistência à compressão e aderência, do que aqueles apresentados pelas argamassas referências.</p>

<p>Canova et al. (2015)</p>	<p>Argamassa maturada seca em estufa com areia natural e 8% de pó de borracha e argamassa maturada seca em estufa com finos de pedreira e 8% de pó de borracha</p>	<p>Massa específica, teor de ar, retenção e exsudação de água no estado fresco. Resistência à compressão, módulo de deformação e absorção de água por capilaridade no estado endurecido. E a fissuração foi medida no substrato</p>	<p>8% em relação ao volume de agregado</p>	<p>A argamassa com areia artificial apresentou maiores aumentos na resistência à compressão axial, na taxa de capilaridade e fissuração, maiores reduções no teor de ar e na exsudação. Quanto ao pó de borracha, apresentou maior redução na fissuração e taxa de capilaridade</p>
<p>Guelmine et al. (2016)</p>	<p>Argamassa de cimento e areia</p>	<p>Argamassas submetidas a quatro ciclos sucessivos de aquecimento-arrefecimento a intervalos de temperatura de 150, 200, 300 e 400 ° C. Depois de arrefecer à temperatura ambiente (<math>20 \pm 2</math> ° C), a sensibilidade da amostra é avaliada pela estabilidade das suas propriedades físicas e mecânicas em diferentes exposições térmicas e depois comparada com a mistura de controle (sem borracha)</p>	<p>Substituição com taxas de 3, 6 e 9% em relação a massa de areia</p>	<p>Os resultados mostraram que as argamassas contendo resíduo na proporção maior que 3% é sensível a temperaturas elevadas. Até este limite, podemos utilizar o resíduo de borracha em materiais à base de cimento de forma segura</p>

Boukour e Benmalek (2016)	Argamassa de cimento e areia reforçada	Dez argamassas foram avaliadas quanto ao peso unitário seco, absorção de água por imersão total, resistência à compressão e à flexão, retração e absorção de água por sucção capilar. A trabalhabilidade de todas as misturas foi mantida constante pelo uso de um superplastificante	Substituição do agregado fino por resíduos de borracha de pneus nas proporções de 10%, 20% e 30%; Substituição do agregado fino por resíduos de tijolos como material de enchimento nas proporções de 2,5%, 5%, 7,5% e 10%	Os resultados indicaram que a incorporação combinada de 20% de resíduo de borracha com 5% e 7,5% de resíduo de tijolo conduz a uma diminuição na absorção de água e encolhimento aos 28 dias. Comprovando que é uma alternativa viável a utilização destes dois resíduos em argamassas
Kristiawan e Hapsari (2017)	Argamassa de cimento e areia	Argamassas com resíduo de borracha revestiram, com espessura de 30mm, uma superfície de concreto para serem avaliadas quanto a delaminação por meio de relógios medidores. Corpos-de-prova cilíndricos, de cada material, foram medidos quanto ao encolhimento, resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de fluência	0%, 4%, 8% e 12% de substituição da areia por resíduo de borracha, em relação ao volume de argamassa	Os resultados mostraram que a inclusão de resíduo de borracha diminui o risco de delaminação. Os ensaios concluíram que quanto maior o índice de borracha menor a tendência de delaminação. Além disso, as argamassas com resíduo de borracha possuíram uma redução no módulo de elasticidade, na resistência à compressão e no coeficiente de fluência.

Abd. Aziz et al. (2017)	Argamassa de cimento e areia	Resistência à compressão, densidade, absorção de água, resistência à tração por flexão, foram medidos quanto ao encolhimento e a microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada para examinar a microestrutura das amostras de argamassa	0%, 10%, 20%, 30% e 40% de substituição da areia por resíduo de borracha, em relação ao volume. E 0%, 0,5%, 1% e 1,5% de adição de Fibra de Fruta de Palma de Óleo em relação a massa de cimento	A utilização do resíduo de borracha provocou perdas nas propriedades de resistência. Estas perdas foram reduzidas por tratamento superficial e revestimento das partículas de resíduo de pneus com pó de cimento. Os resultados mostraram que as argamassas com resíduo de pneus tratados apresentam melhores resultados que as realizadas com resíduos não tratados. No entanto, a adição de Fibra de Fruta de Palma de Óleo não gerou nenhum padrão do encolhimento do composto de argamassa, conforme era esperado.
-------------------------	------------------------------	---	--	--

Fonte: autora.

Um fator importante a ser mencionado ao utilizar a borracha é descrito por Ferreira (2009), que relata que os corpos de prova com borracha apresentaram uma resistência maior à ruptura por flexão, devido às fibras de borracha trabalharem evitando o rompimento total, conforme mostra a Figura 5.

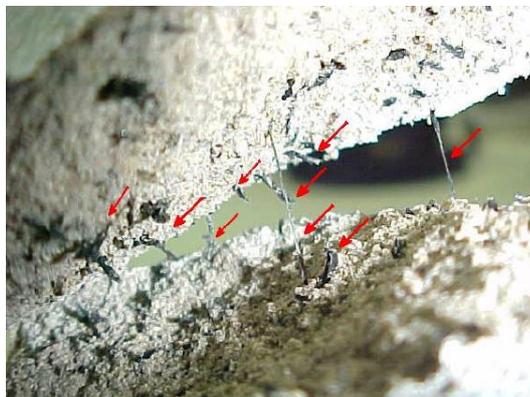


Figura 5 – Detalhe da ruptura à flexão, em amostra com 20% de borracha.

Fonte: Ferreira, 2009.

Outro fator, explanado por Meneguini (2003), é que a diminuição do tamanho das partículas de borracha, leva ao melhor desempenho do comportamento dos materiais.

Como mostrado nas pesquisas, muitos estudos vêm desenvolvendo tecnologias para reutilização de resíduos em materiais para construção civil, sendo muito importante este avanço tanto para o setor de construção, como para o meio ambiente, pois auxilia a retirada dos resíduos da natureza e diminui a extração de materiais naturais para fabricação de produtos utilizados nas construções.

### 2.3 Argamassas de revestimento

De acordo com a NBR 7200 (ABNT, 1998), as argamassas são uma mistura homogênea, constituídas de aglomerante, agregado miúdo e água, podendo conter aditivos ou adições, que possuem capacidade de endurecimento e aderência.

A NBR 13529 (ABNT, 2013) define que o revestimento de argamassa é um revestimento que possui uma ou mais camadas superpostas de argamassa. E estas, dependendo de suas composições e sua aplicação no revestimento, recebem diferentes denominações, conforme demonstrado na Figura 6.

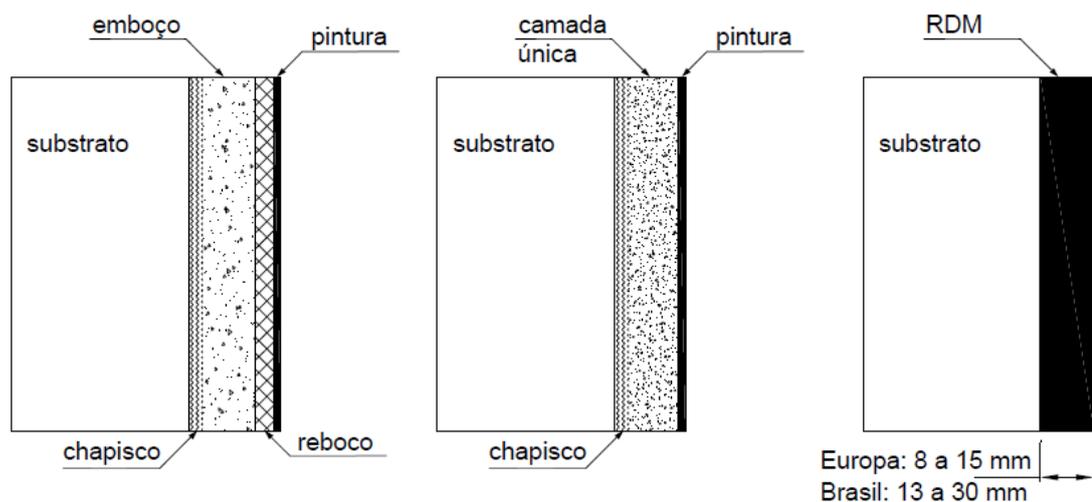


Figura 6: Camadas do revestimento de argamassa.

Fonte: Caraseck, 2007.

Caraseck (2007) define as camadas mostradas na Figura 6 como:

- chapisco: camada de preparo da base, com finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento;
- emboço: camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, permitindo receber outra camada (exemplo: reboco, cerâmica);
- reboco: camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo (exemplo: pintura) ou que se constitua no acabamento final;
- camada única: revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, como, por exemplo, a pintura;
- revestimento decorativo monocamada – RDM: revestimento aplicado em uma única camada, que faz, simultaneamente, a função de regularização e decorativa.

Ainda de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), os termos usuais envolvendo o revestimento executado à base de cimento e cal, ou ambos, quanto ao campo de sua aplicação, são:

- adições: materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração no proporcionamento;
- argamassa de cimento: argamassa preparada com cimento como único aglomerante;
- argamassa de cimento e cal: argamassa preparada com cal e cimento como aglomerantes;
- revestimento: é o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final.

Silva (2008) define as principais funções da argamassa como: unir componentes de alvenaria, regularizar a absorção da base ou melhorar a aderência, corrigir imperfeições da base, cobrir e regularizar a superfície da base, unir componentes do acabamento decorativo e dar acabamento final à superfície. Para o autor, as argamassas ainda possuem outras funções e particularidades como: beleza, dificultar a infiltração de água, impedir a proliferação de ácaros e alojamento de mosquitos, evitar doenças transmitidas por vetores e melhorar as condições respiratórias dos moradores.

De acordo com Caraseck (2007), as argamassas de revestimento são utilizadas para revestir paredes, muros e tetos, os quais, geralmente, recebem acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros.

As principais funções de um revestimento de argamassa de parede são:

- proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso dos revestimentos externos;
- integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico (~30%), isolamento acústico (~50%), estanqueidade à água (~70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais.

Entre as propriedades essenciais ao bom desempenho das argamassas de revestimento, estão: trabalhabilidade, especialmente consistência, plasticidade e adesão inicial; retração; aderência; permeabilidade à água; resistência mecânica, principalmente a superficial; capacidade de absorver deformações.

Com relação a granulometria da areia utilizada nas argamassas, Cincotto et al. (2012) analisaram as composições granulométricas das argamassas e seus efeitos no consumo de água, para conferir uma fluidez constante, e nos volumes de poros e propriedades mecânicas resultantes dessas argamassas. Neste estudo os autores utilizaram peneiras entre 2,00mm e 0,075mm para realizar o peneiramento da areia, doze traços diferentes e quatro relações água/cimento. Concluíram nesta pesquisa que com estas granulometrias todas as argamassas estudadas podem ser aplicadas convencionalmente em obras, sem que, com isso, seja necessário utilizar teores elevados de ligantes.

### 2.3.1 Manifestações patológicas em fachadas argamassadas

Para Souza e Ripper (1998), Patologia é a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis. Segundo Just e Franco (2001), os revestimentos, principalmente das fachadas, são formadores de imagem do imóvel, sugestionando o que se deve encontrar em seu interior. Além disto, as fachadas compõem a paisagem urbana de uma região. De acordo com Chaves (2009), os revestimentos de fachada são elementos funcionais em um edifício, possuindo papel de proteção, acabamento final e complemento das vedações.

A argamassa é um material muito utilizado na construção civil, de acordo com Terra (2001), que estudou as manifestações patológicas em revestimentos de fachadas da cidade de Pelotas/RS, indicando que 90,1% do total das edificações estudadas possuem revestimentos executados em argamassa.

Para Caraseck (2007), as manifestações patológicas surgem quando as argamassas não são bem projetadas, executadas ou possuem materiais inadequados. Nos revestimentos de argamassa, a deterioração prematura decorre de diferentes formas de ataques, sejam eles físicos, mecânicos, biológicos e químicos. Para a mesma autora, estes danos causados pelos diversos fatores aparecem na forma de manifestações patológicas, tais como, desagregação, descolamento, vesículas, fissuração e aumento da porosidade e permeabilidade.

De acordo com Terra (2001), dentre as lesões que aparecem com maior frequência nos revestimentos externos com argamassas, destacam-se: fissuras; descolamentos; degradação do aspecto, devido eflorescência e manchas de sujeira e vegetação parasitária; e umidade.

Em sua pesquisa, Silva (2007) estudou três edifícios distintos e avaliou a influência da temperatura e umidade no surgimento de manifestações patológicas. Verificou que no edifício 1: 71,42% das manifestações patológicas tiveram influência de umidades; 14,29% tiveram influência da temperatura e 14,29% tiveram a influência dos dois fenômenos; no edifício 2: verificou que 40% das manifestações patológicas tiveram influência de umidades; 40% tiveram influência da temperatura e 20% tiveram a influência dos dois fenômenos; e no edifício 3: 40% das manifestações patológicas tiveram influência de umidades e que 60% tiveram influência da temperatura. O autor ainda avaliou a influência que a temperatura e a

umidade geraram nas causas das anomalias observadas nos três estudos de caso conjuntamente, verificando que 52,94% das manifestações patológicas tiveram influência de umidades; 35,29% tiveram influência da temperatura e 11,77% tiveram a influência dos dois fenômenos.

O autor ainda constatou que as causas das anomalias tiveram como influência as variações de umidade e/ou a variação de temperatura, sendo que as umidades ascendentes do solo e de precipitação de chuva contribuíram para o desenvolvimento das corrosões de armaduras em pilares e/ou vigas de sacadas nos três estudos de caso, propiciando, também, o surgimento de agentes biodeterioradores e de sujidades nas fachadas. E as variações de temperatura contribuíram para a formação de fissuras de retração nas alvenarias nos três estudos de caso.

O estudo de Freitas et al. (2014) mapeou as quatro fachadas dos edifícios estudados com uso de termografia, o que os possibilitou verificar que a fachada norte possuiu altos níveis de fissuração e maiores ciclos de temperatura nesta fachada. Fato explicado pela alta insolação recebida pela mesma, tanto no período seco como no chuvoso. Já para fachada sul, verificaram níveis de fissuração mais baixos, assim como os ciclos de temperatura. As fachadas voltadas para leste e oeste, de ambos os edifícios, apresentaram níveis de temperatura superficiais quase sempre semelhantes e maiores índices de fissuração, sendo justificados pelos autores devido estas duas fachadas serem “fachadas cegas”, e possuírem comportamento diferente das demais.

Silva et al. (2016) estudaram as fachadas de uma edificação e constataram a partir de levantamento técnico que as principais manifestações patológicas apresentadas foram fissuras (74%) e umidade (21%), sendo os problemas com sujidades (3%) e descolamento de revestimento (2%) os menos representativos. Concluíram também que a orientação da fachada influencia no tipo de surgimento das manifestações patológicas, pois a fissuração apresentou-se mais frequentemente nas fachadas oeste e norte e os danos relacionados à umidade foi mais presente na fachada sul.

Conforme Alvarenga et al. (2013), as propriedades das argamassas devem ser medidas e criteriosamente analisadas, de modo que a sua caracterização minimize o surgimento de manifestações patológicas e potencialize a sua vida útil. Ainda sobre a importância da caracterização das argamassas, Santos (2008) afirma

que em função das diversas aplicações destas, suas propriedades devem ser investigadas de modo a impedir o surgimento de manifestações patológicas, como por exemplo, as fissuras, que possibilitam a penetração e percolação de água comprometendo a estanqueidade e, conseqüentemente, a vida útil dos elementos construtivos de uma edificação.

### 2.3.1.1 Fissuras

Conforme Cincotto et al. (2002), a fissuração é uma das manifestações patológicas de maior incidência nos revestimentos argamassados.

Para Silva e Campitelli (2008), a ocorrência de fissuras em um revestimento de argamassa provém da elasticidade e resistência à tração inadequadas diante das solicitações, que são resultantes da retração de secagem, retração térmica ou ações externas ao revestimento.

Bauer (1997) afirma que a incidência de fissuras, nas argamassas de revestimento, quando não está ligada a movimentação ou fissuração da base, está condicionada a fatores relativos à execução do revestimento argamassado, solicitações higrotérmicas e principalmente por retração hidráulica da argamassa.

De acordo com Freitas (2012), a variação de temperatura está diretamente relacionada ao surgimento de fissuras no revestimento argamassado, pois as superfícies de vedação das edificações estão sujeitas às variações sazonais de temperatura, promovendo uma variação dimensional dos materiais de construção, fazendo com que ocorram as tensões que provocam as fissuras. Estas tensões que surgem da variação de temperatura são chamadas de movimentações térmicas do revestimento.

Terra (2001) salienta que dentre as fissuras oriundas por retração do revestimento, destacam-se as fissuras do tipo mapeadas e as com orientação predominantemente horizontais. Segundo Cincotto (1988 *apud* SEGAT, 2005), as fissuras mapeadas têm forma variada e distribuem-se por toda a superfície do revestimento, conforme Figura 7.



Figura 7 – Revestimento apresentando fissuração em mapa, típica de argamassas com alta retração.  
Fonte: Caraseck, 2007.

A NBR 13749 (ABNT, 2013) informa que as fissuras mapeadas podem ser observadas em período breve após a aplicação do revestimento, sendo que sua formação pode estar relacionada com a retração da argamassa, por excesso de finos, sejam finos provenientes de aglomerantes ou de agregados, ou por excesso de desempenamento.

Para Terra (2001) as fissuras horizontais (Figura 8) ocorrem, em geral, em correspondência com o traçado das juntas de assentamento da alvenaria e quase sempre acompanhadas de eflorescências. Cincotto (1988 *apud* SEGAT, 2005), explana que as fissuras horizontais são decorrentes da expansão da argamassa de assentamento. Como esta expansão ocorre predominantemente no sentido vertical, as fissuras no revestimento resultam em horizontais.



Figura 8 - Fissura horizontal.  
Fonte: Ferreira, 2010.

Outras fissuras lineares podem ocorrer nos revestimentos de argamassa e, segundo Segat (2005), estas fissuras podem estar relacionadas com encontros entre materiais distintos, como por exemplo, entre a alvenaria e o concreto. A Figura 9 apresenta uma fissura linear.



Figura 9 - Fissura linear entre módulos de dois sobrados.

Fonte: Segat, 2005.

### *2.3.1.2 Descolamentos*

Para Bauer (1997), os descolamentos são a separação de uma ou mais camadas dos revestimentos de argamassa, podendo compreender áreas restritas ou toda extensão da alvenaria. Barros et al. (1997) sugerem que a perda de aderência de um revestimento provém de tensões que aparecem ultrapassando a capacidade de aderência das ligações, gerando um processo onde ocorrem falhas ou ruptura na interface das camadas do revestimento ou entre o revestimento e o substrato.

Os descolamentos podem ser subdivididos em descolamento com empolamento, descolamento em placas e descolamento com pulverulência.

O descolamento do revestimento com formação de convexidades em grandes áreas ou em áreas localizadas do paramento caracteriza o descolamento com empolamento (Figura 10), de acordo com Terra (2001). O autor ainda informa que o descolamento em placas (Figura 11) são quedas de porções ou da quase totalidade do revestimento, não restando vestígios de aderência do revestimento ao substrato.



Figura 10 - Descolamento com empolamento.

Fonte: Ferreira, 2010.



Figura 11 - Descolamento em placas de revestimento argamassado.

Fonte: Terra, 2001.

Conforme Bauer (1997), o descolamento com pulverulência (Figura 12) ocorre na parte inferior das fachadas, podendo ter como causa a camada de revestimento muito espessa, argamassa muito pobre, excesso de finos no agregado e presença de umidade, se constituindo no descolamento de camadas de tinta que arrastam consigo o reboco, desagregando-o com facilidade.



Figura 12 - Incidência de descolamento com pulverulência.

Fonte: Ferreira, 2010.

### *2.3.1.3 Degradação do aspecto*

Terra (2001) afirma que a degradação do aspecto dos revestimentos externos ocorre devido aos efeitos do ambiente que envolvem a edificação, como o fluxo das águas sobre as fachadas e a poluição atmosférica. Para o autor, as principais degradações são eflorescências e manchas de sujeira e vegetação parasitária.

Segundo Caraseck (2007), eflorescências são manchas de sais precipitados na superfície ou em camadas superficiais dos revestimentos que contribuem para a desagregação do revestimento, além de comprometerem o aspecto estético (Figura 13). Ainda de acordo com a autora, as eflorescências são decorrentes de três fatores essenciais e que devem existir concomitantemente: presença de sais solúveis, presença de água e pressão hidrostática para propiciar a migração da solução.



Figura 13 - Eflorescência em laje de cobertura.

Fonte: Ferreira, 2010.

As manchas de sujeira, conforme Terra (2001) aparecem por ação de três fatores principais: poeira, chuva e vento. Bauer (1997) afirma que é muito comum nas médias e grandes cidades o recobrimento dos revestimentos externos de edificações por pó, fuligem e partículas contaminantes, podendo ser uma sujeira sem adesão ou uma verdadeira aglutinação, sendo retirada exclusivamente por meios de limpeza mecânica.

A vegetação parasitária mais recorrente nos estudos de manifestações patológicas é o desenvolvimento de bolor (fungos filamentosos). Conforme Garcez (2009), a anomalia de desenvolvimento de vegetação parasitária/colonização biológica está diretamente relacionada com a acumulação de detritos e condições de umidade favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos biológicos e de vegetação de maior porte. A Figura 14 apresenta fachada com umidade ascensional, manchas de sujeira e vegetação parasitária.



Figura 14 - Umidade ascensional, manchas de sujeira e vegetação parasitária.  
Fonte: Terra, 2001.

#### 2.3.1.4 Umidade

De acordo com Segat (2005), os problemas de umidade que podem incidir nas edificações nem sempre possuem sua forma de manifestação associada a uma única causa, ocorrendo, geralmente, um conjunto de causas.

Conforme Perez (1988 apud PERES, 2004), a natureza/causa da umidade e a forma como esta se manifesta, pode ser descrita em cinco tipos, valendo ressaltar que Ferreira (2010) também fez uma classificação muito semelhante:

- umidade de obra: originada nos trabalhos de construção das edificações, que permanece nos elementos construtivos durante algum tempo após o término da obra, diminuindo gradativamente até desaparecer. Um exemplo é a umidade contida nas argamassas de reboco que, após sua aplicação, transferem o excesso de água às alvenarias, necessitando de um prazo superior do que o da cura do reboco para ausentar-se;
- umidade de absorção e capilaridade: gerada da absorção da água existente no solo pelas fundações das paredes e pavimentos, migrando para as fachadas e pisos. Seele (2000) declara que, em paredes de alvenaria de tijolo, a altura que a umidade ascensional pode alcançar, chega, em média, a 80cm e alcança a altura máxima de 1,50m;
- umidade de infiltração: proveniente da água da chuva que penetra nos prédios através dos elementos constituintes de sua envoltória

exterior. Ioshimoto (1988 apud LANNES, 2011) diz que a umidade causada por infiltração é geralmente a anomalia de maior incidência e Peres (2004) salienta que manifestações patológicas de umidade nas fachadas de edificações podem ser agravadas devido a agentes como as chuvas e os ventos, sendo que alguns problemas podem ser evitados na etapa de projeto, através da previsão de elementos como peitoris, saliências e reentrâncias, que podem prevenir o acúmulo de águas nas superfícies envoltórias da edificação;

- umidade de condensação: procedente do vapor d'água que se condensa nas superfícies frias dos elementos construtivos. Conforme Silva (2007), as fachadas são as mais prejudicadas por este fenômeno, pois geralmente possuem baixas temperaturas na manhã, podendo ocorrer condensação da umidade do ar em sua superfície e em seus poros. Nas fachadas sul, que geralmente não recebem sol, a umidade superficial gerada pela condensação leva mais tempo para secar, expondo a superfície à ação dos agentes biodeterioradores por mais tempo do que nas demais fachadas;
- umidade accidental: Righi (2009) atribui este tipo de umidade às falhas nos sistemas de tubulações, como águas pluviais, esgoto e água potável, e que geram infiltrações. A existência de umidade com esse tipo de origem tem uma importância especial quando se trata de edificações que já possuem um longo tempo de existência, pois pode haver presença de materiais com tempo de vida já excedido, que não costumam ser contempladas em planos de manutenção predial.

Bauer (1997) enumera as manifestações mais comuns referentes aos problemas de umidade em edificações. Entre estas se encontram as manchas de umidade, corrosão, bolor, fungos, algas, eflorescências, descolamentos de revestimentos (Figura 15), friabilidade de argamassas por dissolução de compostos com propriedades cimentíceas, fissuras e mudanças de coloração/tonalidade de revestimentos.



Figura 15 - Deterioração do reboco devido à infiltração de água pela janela.  
Fonte: Ferreira, 2010.

### 3 Materiais e Métodos

Este capítulo irá abordar a metodologia utilizada nesta pesquisa. Os ensaios foram todos baseados nas normas brasileiras, conforme indicado a seguir.

#### 3.1 Programa experimental

O programa experimental se baseia em dois traços referência. O traço de cimento e agregado miúdo utilizado, apresentado em volume, foi o de 1:3 (cimento: agregado miúdo), baseado na NBR 7215 (ABNT, 1996). O traço que possui cal, apresentado em volume, é o 1:2:9 (cimento: cal: agregado miúdo), fundamentado na NBR 7200 (ABNT, 1992). Apesar desta norma já ter sido revisada (NBR 7200, ABNT 1998), na nova versão não possui indicação de traço de argamassa com cal, por este fato, optou-se por utilizar o traço exposto na penúltima revisão, a versão de 1992.

Em relação às proporções de substituição de areia por resíduo de borracha de pneu, os ensaios foram realizados em argamassa referência e em argamassas com resíduos nas proporções de 2,5%, 5%, 10% e 15% de substituição em peso da areia por borracha, visando verificar a influência do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas das mesmas. Estas proporções foram definidas de acordo com o trabalho de Sales e Mendes (2013), que utilizaram proporções de 5% e 10%, porém optou-se por realizar duas proporções além, uma com maior porcentagem de substituição e outra com menor porcentagem, para conseguir atingir um conhecimento maior sobre o comportamento do material.

Nestas proporções, a borracha substituirá o agregado miúdo, mantendo a relação dos traços referências de 1:3 (cimento e agregado - areia + borracha) e 1:2:9 (cimento, cal e agregado - areia + borracha).

O programa experimental foi dividido em três partes: caracterização dos materiais, ensaios em corpos de prova cilíndricos e ensaios em protótipos de alvenaria, conforme mostrado na Figura 16.

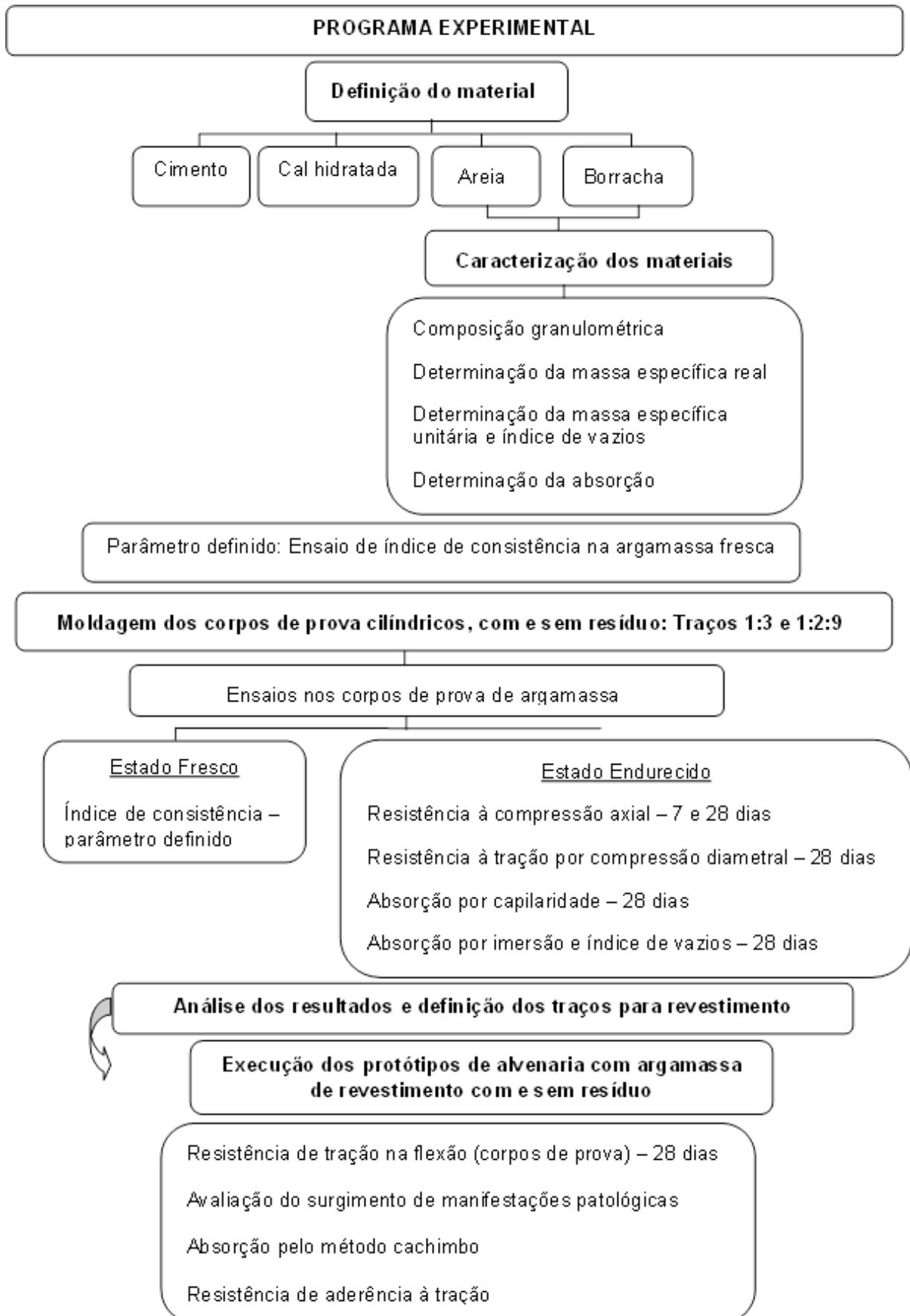


Figura 16 – Fluxograma do programa experimental.

Fonte: autora.

Para confecção das argamassas, os agregados, areia e borracha, foram divididos em quatro frações passantes nas peneiras granulométricas: 2,00; 1,18; 0,600; 0,300mm. As peneiras escolhidas foram baseadas em Cincotto et al. (2012) e o peneiramento do resíduo de borracha foi escolhido fundamentado em Meneguini (2003). A Figura 17 mostra as quatro frações de areia e de borracha.



Figura 17 – Agregados peneirados; (a) Frações da areia; (b) Frações do resíduo de borracha.

Fonte: autora.

Para verificar a influência das diferentes frações da granulometria nas argamassas, as famílias de substituição de 2,5%, 5%, 10% e 15% foram subdivididas em quatro subfamílias: subfamília 4 (substitui a proporção nas quatro frações de areia por borracha); 3 (substituição nas três frações mais finas); 2 (substituição nas duas frações mais finas); 1 (substituição somente na fração mais fina), conforme apresentado na Figura 18.

Foram adotadas siglas para facilitar a visualização das famílias e subfamílias. Sendo que as famílias do traço 1:3 são: A0 (argamassa referência, sem utilização de resíduo), A2,5 (com 2,5% de substituição), A5 (com 5% de substituição), A10 (com 10% de substituição), e A15 (com 15% de substituição). Para as subfamílias, que são as derivadas de cada família, foram utilizadas as siglas (onde X corresponde a família): AX-4 (substituição nas quatro frações granulométricas), AX-3 (substituição nas três frações granulométricas mais finas), AX-2 (substituição nas duas frações granulométricas mais finas), e AX-1 (substituição apenas na fração granulométrica mais fina).

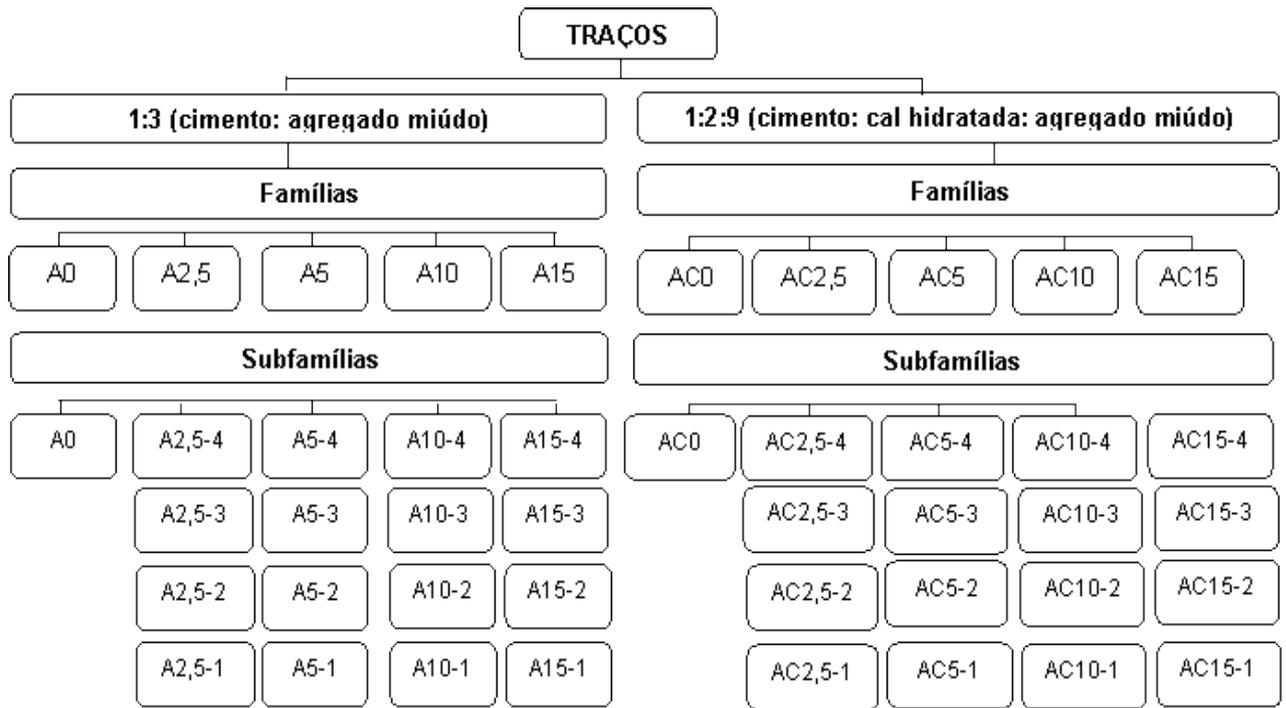


Figura 18 – Fluxograma das famílias e subfamílias de argamassas.

Fonte: autora.

## 3.2 Materiais

Neste item serão descritos os materiais utilizados para confecção das argamassas e suas caracterizações.

### 3.2.1 Cimento

Para desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado o cimento Portland CP IV-32. Este cimento foi escolhido por ser um dos tipos mais empregados em obras de construção civil da região.

As características do cimento foram disponibilizadas pelo fabricante, e estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características físico-mecânicas e químicas do cimento.

<b>Características</b>	<b>Tipo de ensaio</b>		<b>Resultados</b>
Físicas e Mecânicas	Finura (%)	# 200	0,15
	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)		4779
	Tempo de Pega (min)	Início de Pega	333
		Fim de Pega	428
	Resistência à compressão (MPa)	3 dias	20,40
		7 dias	25,50
		28 dias	39,67
Químicas	Resíduo Insolúvel (%)		36,44
	Perda ao Fogo (%)		2,81
	MgO (%)		4,65

Fonte: Fabricante, 2016.

### 3.2.2 Cal

A cal utilizada no trabalho foi a cal hidratada, escolhida por ser um tipo utilizado na construção civil e não necessitar de hidratação prévia. A caracterização da cal foi obtida com o fabricante, sendo considerados os ensaios de caracterização realizados pelo fornecedor, e apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Características físicas e químicas da cal.

<b>Resultado da análise</b>	
<b>Química</b>	<b>Análise (%)</b>
Óxidos Totais	58,64
CaO – Óxido de Cálcio	28,34
MgO – Óxido de Magnésio	21,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – Óxido de Ferro	0,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – Óxido de Alumínio	1,05
R I – Resíduos Insolúveis	33,81
P F – Perda ao Fogo	15,24
Umidade	0,00
Densidade	0,867 g/cm <sup>3</sup>
<b>Física</b>	<b>Análise (%)</b>
Passante Peneira 30 mesh (0,59mm)	100,00
Passante Peneira 200 mesh (0,074mm)	85,97

Fonte: Fabricante, 2016.

### 3.2.3 Água

Foi utilizada água potável, proveniente da rede de distribuição municipal, fornecida pela concessionária local (SANEP - Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas).

### 3.2.4 Areia

A pesquisa trabalhou com areia quartzosa lavada, de granulometria média. O agregado foi caracterizado por meio de ensaios em laboratório, de acordo com as normas vigentes da ABNT. Antes de sua utilização, o material ficou acondicionado em sacos devidamente fechados no interior do laboratório. As características da areia estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características físicas da areia.

<b>Características físicas do agregado miúdo</b>		
<b>Tipo de ensaio</b>	<b>Resultados</b>	
Composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003)	Peneiras	Retido acumulado (%)
	4,75	1,005
	2,36	5,030
	1,18	14,645
	0,600	22,510
	0,300	33,975
	0,150	93,590
	Fundo	99,415
	Ø máx (mm)	2,36
	Módulo de Finura	2,70
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,63	
Massa unitária solta (g/cm <sup>3</sup> ) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,46	
Índice de volume de vazios (%) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	44,49	
Absorção (%) NBR NM 30 (ABNT, 2001)	6,88	

Fonte: autora.

### 3.2.5 Resíduo de borracha de pneu

O resíduo de borracha de pneu foi adquirido junto a uma reformadora de pneus localizada na cidade de Pelotas/RS. O resíduo provém da banda de rodagem, por meio da recapagem dos pneus, portanto possui tanto o pó do resíduo, como partículas maiores em formato alongado (Figura 19).



Figura 19 – Resíduo de borracha de pneu.

Fonte: autora.

Conforme Santos (2005), com a inexistência de normas para caracterização do resíduo de borracha, o mesmo deve ser caracterizado por meio de determinações básicas utilizadas para agregado miúdo, como granulometria, massa unitária e massa específica. Para o resíduo de borracha não foi realizado ensaio de determinação de absorção devido este material não absorver quantidade de água suficiente para execução do ensaio.

Antes de sua utilização, o material ficou acondicionado em sacos devidamente fechados no interior do laboratório. As características do resíduo estão mostradas na Tabela 5.

Tabela 5 – Características físicas do resíduo.

<b>Características físicas do agregado miúdo</b>		
<b>Tipo de ensaio</b>	<b>Resultados</b>	
Composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003),	Peneiras	Retido acumulado (%)
	9,5	1,41
	6,3	6,64
	4,75	14,89
	2,36	39,99
	1,18	74,49
	0,600	90,41
	0,300	95,46
	0,150	99,26
	Fundo	100,01
	Ø máx (mm)	9,5
	Módulo de Finura	4,22
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) NBR NM 52 (ABNT, 2009),	1,20	
Massa unitária solta (g/cm <sup>3</sup> ) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	0,34	
Índice de volume de vazios (%) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	71,67	

Fonte: autora.

### 3.3 Confeção dos corpos de prova de argamassa

Para confecção das argamassas, os agregados (areia e borracha) foram peneirados previamente e a areia foi mantida em estufa por 24 horas, sendo retirada no dia do preparo da argamassa. Os processos de confecção das argamassas ocorreram de acordo com a norma NBR 13276 (ABNT, 2005), sendo preparos distintos para argamassa só de cimento e a argamassa de cimento e cal.

Para a mistura das argamassas foi utilizada uma argamassadeira de movimento planetário, modelo I-3010, com capacidade de 5 litros e duas velocidades, sendo a velocidade baixa de 140rpm e a alta de 284 rpm. (Figura 20).



Figura 20 – Argamassadeira de movimento planetário.

Fonte: autora.

Com intuito de manter a trabalhabilidade dos diferentes traços de argamassa, ao invés de se fixar uma relação água/cimento fixou-se um intervalo de índice de consistência. Portanto, a quantidade de água que foi acrescentada à mistura foi determinada a partir do índice de consistência adotado para argamassa, que é o intervalo de  $(255 \pm 10)$ mm, conforme referenciado por Canova et al. (2007).

Portanto, as argamassas foram ensaiadas no estado plástico em relação ao índice de consistência, seguindo as diretrizes da norma NBR 13276 (ABNT, 2005), sendo realizado na mesa de fluidez. Este ensaio consiste em colocar uma porção de argamassa dentro de um cone centralizado em uma mesa em 3 camadas, sendo a 1ª camada adensada com 15 golpes, a 2ª camada com 10 golpes e a 3ª camada com 5 golpes. Depois o cone é retirado e são dados 30 golpes de queda da mesa em 30 segundos. Em seguida realizada a medida do espalhamento da argamassa sobre a mesa em duas direções perpendiculares, por meio de um paquímetro, conforme mostra a Figura 21. Com a média destas medidas foi determinado o índice de consistência da argamassa.

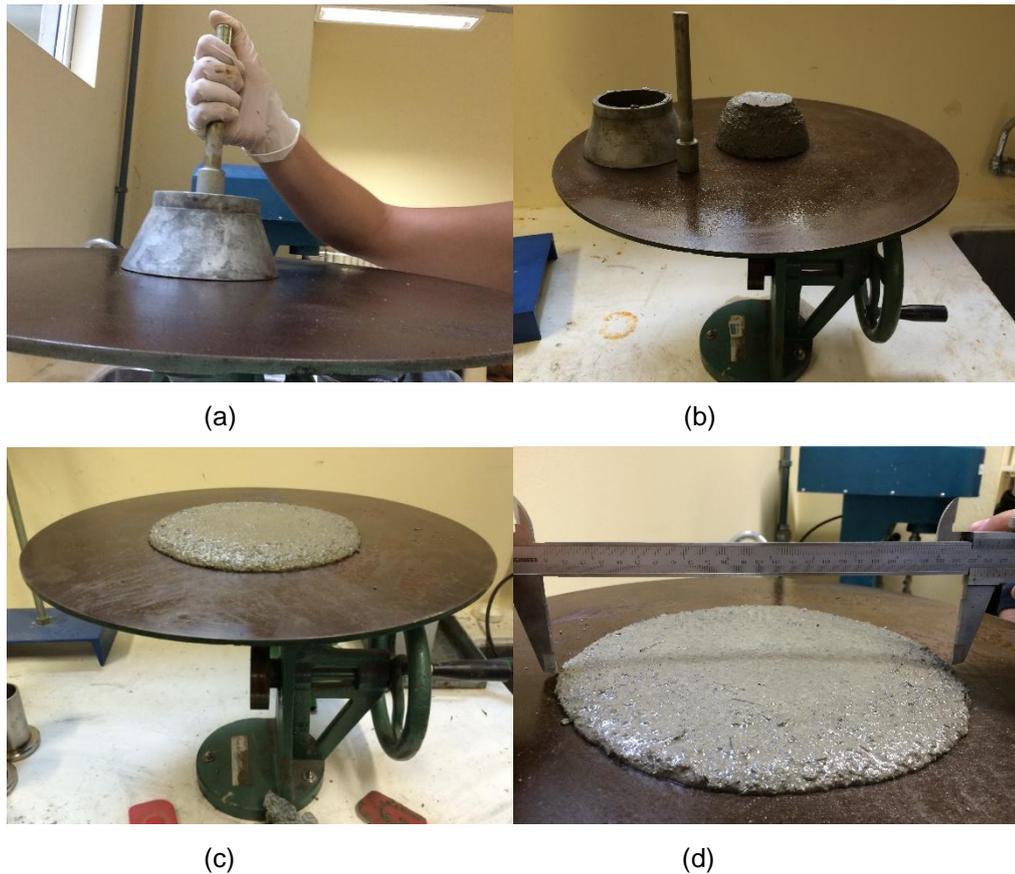


Figura 21 – Etapas do ensaio de índice de consistência da argamassa; (a) Realização das camadas no cone; (b) Argamassa após retirada do cone; (c) Argamassa após queda da mesa; (d) Medida do espalhamento.

Fonte: autora.

Após o ensaio de consistência, foi realizada a moldagem dos corpos de prova seguindo a norma NBR 7215 (ABNT, 1996), foram moldados 15 exemplares cilíndricos, de 50x100mm (Figura 22), para cada subfamília de argamassa. A totalidade de 15 moldes fez-se necessária, porque, para cada idade (7 e 28 dias), de cada ensaio, eram utilizados três corpos de prova.



Figura 22 – Corpos de prova cilíndricos.  
Fonte: autora.

Conforme recomenda a norma NBR 7215 (ABNT, 1996), os corpos de prova foram mantidos dentro dos moldes por 24 horas e cobertos com uma placa de vidro (Figura 23). Após foram desmoldados (Figura 24) e foi iniciado o período de cura.



Figura 23 – Corpos de prova nas primeiras 24 horas.  
Fonte: a autora.



(a)



(b)

Figura 24 – Corpos de prova de argamassa; (a) Argamassa traço 1:2:9; (b) Argamassa traço 1:3.  
Fonte: autora.

A argamassa de cimento foi curada por imersão, em tanque com água à temperatura ambiente, conforme Figura 25. Os mesmos permaneceram 24 horas fora da água, em temperatura ambiente, antes da realização do ensaio. Já a argamassa de cimento e cal foi curada ao ar e à temperatura ambiente (Figura 26), baseado em Canova (2008). A diferença na cura das argamassas se deve ao fato do cimento ser um material que reage quando em contato com a água e a cal ser um aglomerante aéreo, ou seja, que reage em contato com o ar.



Figura 25 – Cura por imersão em tanque com água.  
Fonte: a autora.



Figura 26 – Cura ao ar e à temperatura ambiente.

Fonte: a autora.

### 3.4 Propriedades Medidas

A avaliação do material foi realizada nas argamassas em estado fresco e endurecido, sendo o estado fresco logo após a mistura dos materiais e o estado endurecido quando já ocorreram as reações químicas de hidratação do cimento.

Conforme já citado, o estado fresco foi adotado como um parâmetro para determinação da relação água/cimento, sendo que o índice de consistência estabelecido foi de  $(255 \pm 10)$ mm, especificado no estudo de Canova et al. (2007). O mesmo foi determinado na mesa de fluidez e os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros de proporcionalidade das argamassas.

Família	Subfamília	A/C	Consistência (mm)	Família	Subfamília	A/C	Consistência (mm)
<b>A0</b>	A0	0,58	247	<b>AC0</b>	AC0	0,61	255
<b>A2,5</b>	A2,5-4	0,67	252	<b>AC2,5</b>	AC2,5-4	0,74	252
	A2,5-3	0,67	245		AC2,5-3	0,74	245
	A2,5-2	0,67	250		AC2,5-2	0,77	245
	A2,5-1	0,71	254		AC2,5-1	0,80	250
<b>A5</b>	A5-4	0,74	260	<b>AC5</b>	AC5-4	0,74	260
	A5-3	0,74	247		AC5-3	0,77	248
	A5-2	0,74	264		AC5-2	0,80	246
	A5-1	0,74	246		AC5-1	0,83	246
<b>A10</b>	A10-4	0,77	262	<b>AC10</b>	AC10-4	0,77	245
	A10-3	0,77	251		AC10-3	0,77	245
	A10-2	0,77	244		AC10-2	0,83	247
	A10-1	0,77	245		AC10-1	0,87	245
<b>A15</b>	A15-4	0,80	248	<b>AC15</b>	AC15-4	0,90	245
	A15-3	0,83	245		AC15-3	0,96	246
	A15-2	0,90	246		AC15-2	1,03	246
	A15-1	0,90	244		AC15-1	1,03	245

Fonte: autora.

Em seu estudo, Ferreira (2009) observou que com a adição de resíduo de borracha ocorreu uma diminuição no índice de consistência. Fato este, que pode ser observado na tabela 6, onde se constata que com o aumento da substituição de areia por borracha ocorreu um aumento na relação água/cimento para se manter a trabalhabilidade dentro do intervalo proposto. Observa-se, também, que a argamassa com substituição de 15% de areia por resíduo, foi a que necessitou de maior quantidade de água para atingir o índice de consistência dentro do parâmetro estabelecido.

Outro fator observado é que a relação a/c aumenta para as subfamílias com menores frações de substituição. Ao analisar uma família, nota-se que a que possui maior relação a/c é a com substituição de apenas uma fração, e a com menor relação é a com substituição das 4 frações. Para as argamassas referências a quantidade de água utilizada foi a especificada pelas normas correspondentes.

Verificando o comportamento da argamassa sem cal com a argamassa que possui cal, constata-se que o traço com cal necessita de maior quantidade de água para manter a mesma trabalhabilidade da argamassa.

Com os valores obtidos, verifica-se que, para este estudo, o resíduo de borracha atua como um material que aumenta a exigência de água para a mistura, a fim de manter a trabalhabilidade da argamassa.

### 3.4.1 Estado endurecido

Após o endurecimento das argamassas, nesta primeira etapa, elas foram ensaiadas em relação aos seguintes parâmetros: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção por capilaridade, absorção por imersão e índice de vazios.

#### 3.4.1.1 Resistência à compressão axial

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 7215 (ABNT, 1996), sendo executado em duas idades da argamassa, aos 7 e 28 dias. Para cada idade foram rompidos três corpos de prova de cada traço. Para execução deste ensaio foram utilizados discos de neoprene (Figura 27) para conferir a regularização da superfície no momento do ensaio (Figura 28). O uso de neoprene para regularizar a superfície do corpo de prova é normatizado e substitui o uso de enxofre para se obter a regularização.



Figura 27 – Discos de neoprene.

Fonte: autora.

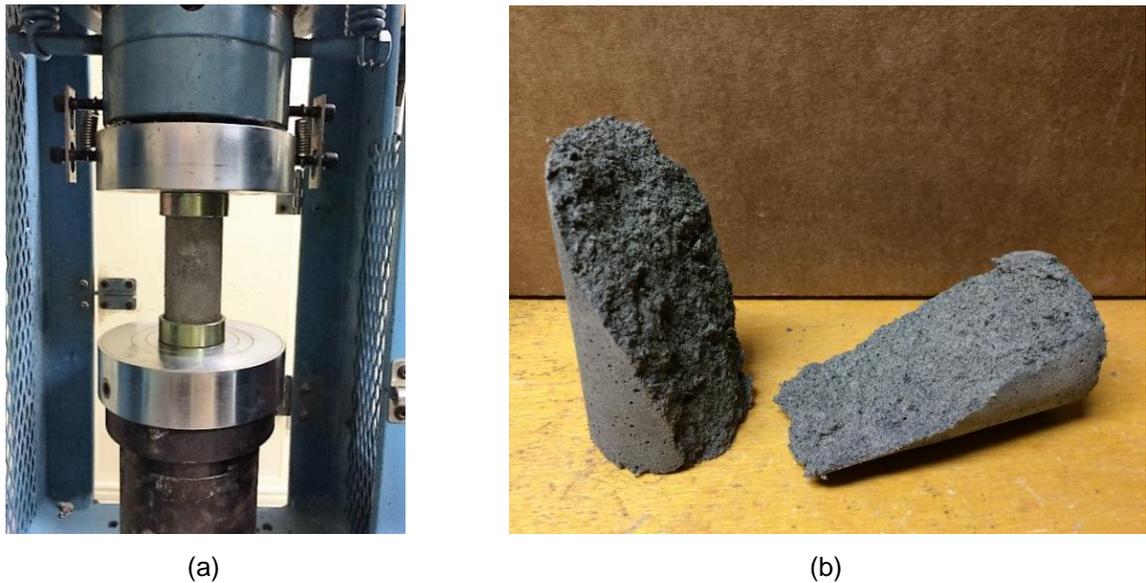


Figura 28 – Ensaio de compressão axial; (a) Realização do ensaio; (b) Corpo de prova após ruptura.  
Fonte: autora.

Os valores de resistência à compressão axial das argamassas foram classificados conforme a norma NBR 13281 (ABNT, 2001), que define valores mínimos de resistência e as classifica em três identificações de acordo com a resistência obtida, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Exigências mecânicas para argamassas.

Característica	Classe	Limites
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$
	III	$> 8,0$

Fonte: Adaptado da NBR 13281, ABNT 2001.

#### 3.4.1.2 Resistência à tração por compressão diametral

A norma NBR 7222 (ABNT, 2011) rege as diretrizes deste ensaio, que consiste em aplicar uma carga na direção transversal do corpo de prova (geratriz), distribuindo a carga por meio de uma tira de madeira. Conforme a norma, estas tiras devem ser tiras de chapa dura de fibra de madeira ou aglomerado, isentas de defeitos, com comprimento igual ou maior ao da geratriz do corpo de prova e seção transversal com as dimensões definidas na norma.

Para caracterização desta propriedade foram rompidos três corpos de prova de cada traço na idade de 28 dias. Conforme indica a norma, as tiras de madeira foram colocadas entre o prato da máquina e o corpo de prova. A Figura 29 mostra a execução deste ensaio, onde se visualiza as tiras de madeira em cima e embaixo do corpo de prova, o início do rompimento ainda na prensa e o corpo de prova após a ruptura.

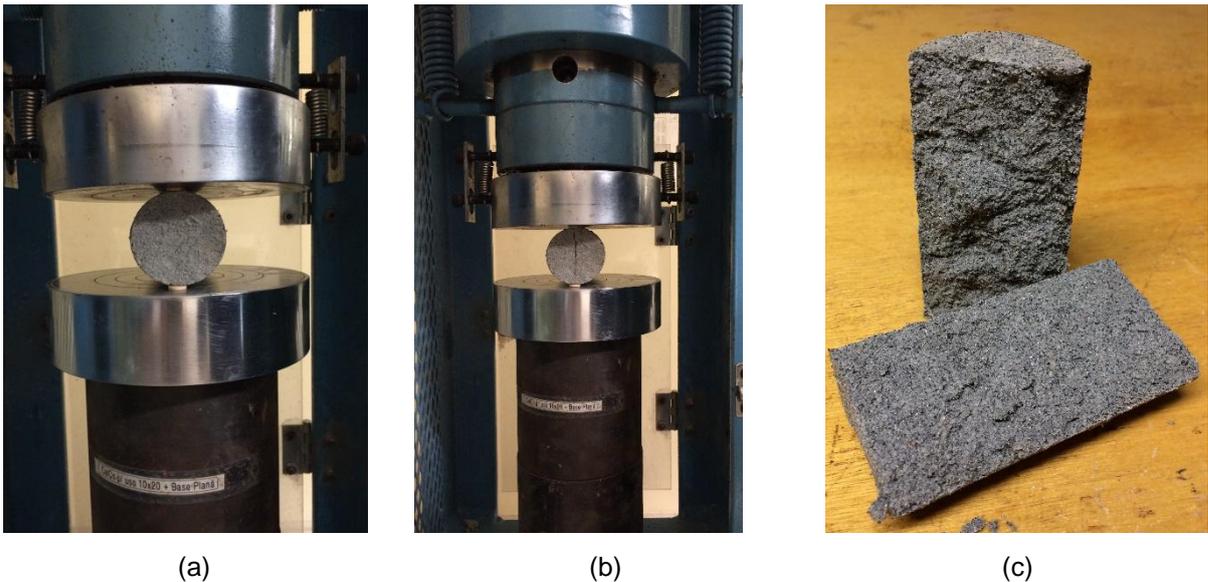


Figura 29 – Ensaio de tração por compressão diametral; (a) Realização do ensaio; (b) Ruptura diametral do corpo de prova; (c) Corpo de prova após ruptura.

Fonte: autora.

#### 3.4.1.3 Absorção por capilaridade

A absorção de água por capilaridade foi realizada de acordo com a norma NBR 9779 (ABNT, 2013) em três corpos de prova de cada traço na idade de 28 dias. Conforme indica a norma, os corpos de prova foram secos em estufa até constância de massa, sendo determinada a sua massa seca e, após, os corpos de prova foram posicionados sobre suportes com água em nível constante.

Utilizou-se de grelha metálica para permitir que a água atingisse a face inferior dos moldes, e a água foi mantida em nível constante a  $(5 \pm 1)$ mm acima da face inferior dos corpos de prova, conforme mostrado na Figura 30. Durante o ensaio foi determinada a massa saturada dos corpos de prova com idades de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água.

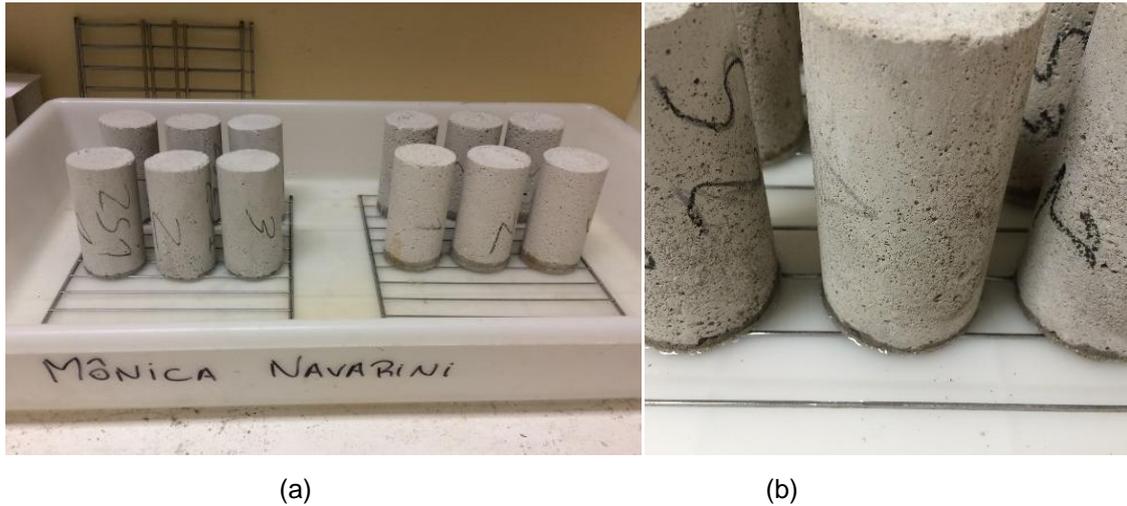


Figura 30 – Ensaio de absorção; (a) Corpos de prova durante ensaio; (b) Detalhe da grelha metálica e nível da água.

Fonte: autora.

De acordo com o indicado na norma, após o período de medições de absorção, fez-se o rompimento diametral, para observações na parte interna do corpo-de-prova (Figura 31).



Figura 31 – Rompimento diametral após ensaio de absorção; (a) Visão de topo do corpo de prova rompido; (b) Detalhe da marca da água absorvida no ensaio.

Fonte: autora.

#### 3.4.1.4 Absorção por imersão e índice de vazios

O experimento baseou-se no procedimento da NBR 9778 (ABNT, 2009), em três corpos de prova de cada traço na idade de 28 dias. De acordo com a norma os corpos de prova foram secos em estufa até constância de massa, sendo

determinada a sua massa seca e, após, os corpos de prova foram totalmente imersos em recipiente com água, por onde se mantiveram por 72h. Completado o período de saturação em água, as amostras foram levadas ao fogo e mantidas por 5h após o início da ebulição. Terminada a fervura, foi determinada a massa na condição imersa (utilização de balança hidrostática) de cada corpo de prova e a massa saturada. A Figura 32 demonstra as etapas deste ensaio. Por meio deste ensaio foi determinada a absorção, o índice de vazios e as massas específicas seca, saturada e real das amostras.

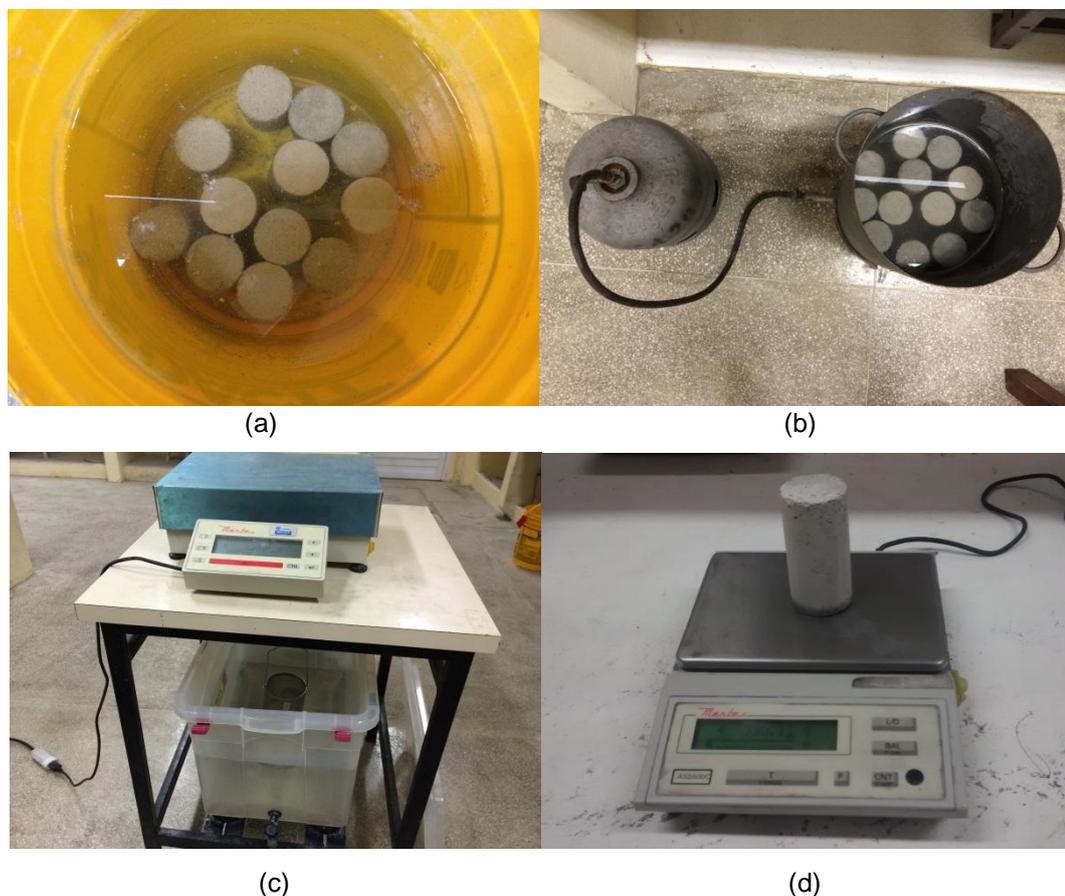


Figura 32 – Ensaio de absorção por imersão; (a) Imersão dos corpos de prova; (b) Processo de ferver os corpos de prova; (c) Massa na condição imersa; (d) Massa na condição saturada.

Fonte: autora.

### 3.5 Análise dos resultados da primeira etapa

Para análise dos resultados obtidos nos ensaios do estado endurecido, foi realizada uma análise estatística, onde inicialmente foi feita uma análise exploratória dos dados para o conhecimento de algumas de suas propriedades e até mesmo

conferir o quanto as suposições do modelo teórico utilizado se verificavam. Após, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) com teste F para as argamassas com adição de borracha, com intuito de identificar qual seria a melhor combinação.

Segundo Torres (2011), a principal aplicação da ANOVA é a comparação de médias entre e dentro dos diferentes grupos, detectando a influência de cada variável independente. Ainda de acordo com a autora, nas Engenharias utiliza-se  $\alpha = 5\%$ , ou seja, ao calcular um valor crítico de um parâmetro (por exemplo, a média) de modo que a probabilidade de que ela exceda este valor, dada a verdade da hipótese nula, ser 5%. Se o valor estatístico calculado exceder o valor crítico, então é significativo “ao nível de 5%”.

O coeficiente de determinação  $r^2$  determinado na análise estatística indica a porcentagem que o modelo explica da variabilidade dos valores observados para as variáveis dependentes.

A análise estatística utilizou como variáveis independentes as famílias (2,5%, 5%, 10% e 15%) e as subfamílias (1, 2, 3 e 4), e como variáveis dependentes: resistência à compressão axial; resistência à tração por compressão diametral; absorção por capilaridade; e absorção por imersão. Esta análise foi realizada separadamente para argamassa de traço 1:3 e para argamassa de traço 1:2:9.

Após realizar os tratamentos por meio do teste F (ANOVA), efetuou-se um teste de Student para comparar a combinação encontrada com a argamassa referência. Após estas análises utilizou-se o programa Primer para realizar a Análise de Componentes Principais e obter um resultado de argamassa com melhor desempenho para cada traço.

Com base no resultado da análise estatística, determinaram-se quais argamassas obtiveram o melhor desempenho físico e mecânico e foram escolhidos os traços para a próxima etapa da pesquisa.

### **3.6 Protótipos de alvenaria**

Nesta etapa foram confeccionados modelos de alvenaria com tijolos cerâmicos maciços medindo (5,3x9x19)cm, sendo a dimensão final do protótipo de 70x74,5cm. Este bloco foi escolhido por ser um dos tipos comumente utilizado na construção civil, e com intuito de acelerar o processo de absorção por capilaridade e

consequentemente o surgimento de manifestações patológicas, pois o tijolo maciço absorve mais água quando comparado com o tijolo furado.

Os tijolos foram assentados e chapiscados com argamassa no traço 1:3 de cimento e areia (em volume), já no local que os protótipos ficariam expostos, conforme utilizado por Canova (2008). O chapisco foi executado um dia após a parede estar assentada. Com três dias do chapisco pronto os protótipos receberam um revestimento de camada única com 1,5cm de espessura, sendo realizado o taliscamento dos painéis para obedecer esta espessura. O reboco foi realizado manualmente sendo sarrafeado e desempenado, para se obter uma superfície lisa. Este revestimento foi realizado com os traços definidos na etapa anterior, onde por meio de análise estatística se constatou a subfamília com melhor comportamento de cada traço. Além das argamassas com resíduo, determinadas na análise estatística, foram utilizadas as duas argamassa referências. A Figura 33 mostra as etapas de execução dos protótipos. Para não ocorrer infiltração de água pelo topo e pelas laterais dos protótipos, todas as faces foram chapiscadas e rebocadas.

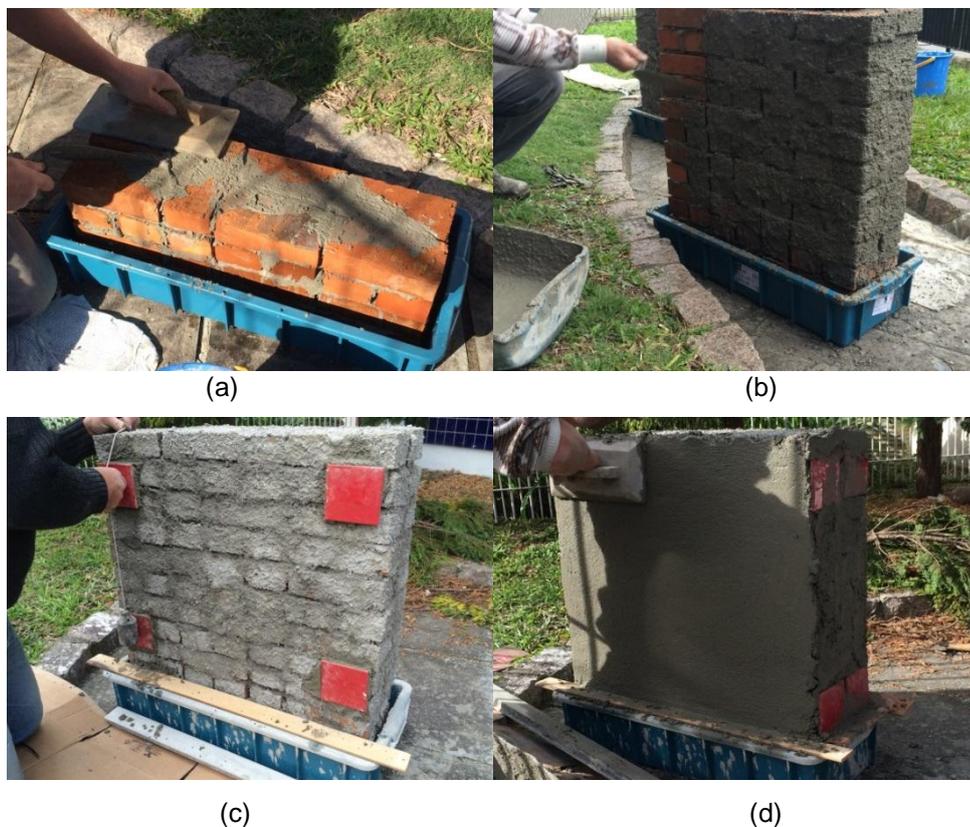


Figura 33 – Execução de protótipos de alvenaria; (a) Levantamento de tijolos; (b) Execução de chapisco; (c) Taliscamento; (d) Revestimento de camada única.

Fonte: autora.

Os protótipos foram expostos fora do ambiente de laboratório, simulando a real condição deles quando expostos ao ambiente externo. Com intuito de verificar o surgimento de manifestações patológicas, possuindo uma face exposta ao sul e a outra face exposta ao norte. As posições solares de leste e oeste foram observadas nas faces laterais dos protótipos.

Outro fator utilizado para verificação do aparecimento de manifestações patológicas foi colocar os modelos em um recipiente com uma lâmina de água, simulando a absorção por capilaridade. Para não ocorrer absorção direta pelo revestimento, a lâmina de água só entrou em contato direto com o tijolo sem revestimento, não encostando no revestimento de argamassa, conforme apresenta a Figura 34. Portanto a dimensão final da parte rebocada foi de 70x63cm.



Figura 34 – Protótipo de alvenaria executado dentro de recipiente com lâmina da água; (a) Vista mostrando reboco acima do nível do recipiente com água; (b) Detalhe da água encostando somente nos tijolos.

Fonte: autora.

Os protótipos prontos podem ser observados na Figura 35, onde se pode observar que todos os protótipos estão nas mesmas condições de insolação, de posição de ventos e de chuvas, com intuito de gerar as mesmas condições para análise de todos.



Figura 35 – Protótipos de alvenaria expostos no ambiente externo.  
Fonte: autora.

### 3.6.1 Ensaios na argamassa de revestimento do protótipo

Para caracterização da argamassa de revestimento utilizada nos protótipos foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão (corpos de prova), avaliação do surgimento de manifestações patológicas, absorção pelo método cachimbo e ensaio de aderência à tração.

#### 3.6.1.1 Resistência à tração na flexão

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005), na idade de 28 dias, sendo rompidos três corpos de prova de cada traço. Para este ensaio foram moldados corpos de prova prismáticos com dimensão de 40x40x160mm (Figura 36).



Figura 36 – Corpos de prova prismáticos.

Fonte: autora.

Para que o carregamento no corpo de prova ocorresse de maneira especificada na norma, os corpos de prova foram marcados (Figura 37) nos locais onde os roletes da prensa deveriam estar posicionados para execução do ensaio, conforme apresenta a Figura 38.



Figura 37 – Marcação dos pontos de apoio dos roletes nos corpos de prova prismáticos.

Fonte: autora.

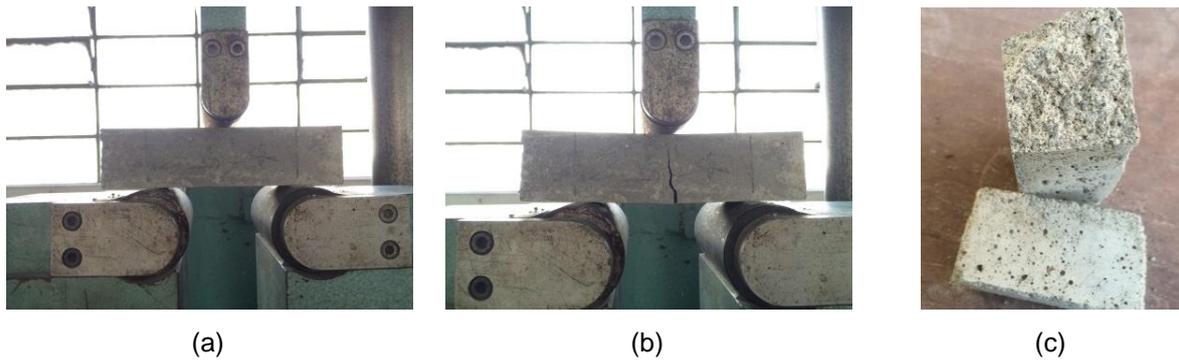


Figura 38 – Ensaio de tração na flexão; (a) Realização do ensaio; (b) Ruptura do corpo de prova; (c) Corpo de prova após ruptura.

Fonte: autora.

### 3.6.1.2 Avaliação do surgimento de manifestações patológicas

A avaliação do surgimento de manifestações patológicas foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Lichtenstein (1986), onde o autor propõe um método formado por três etapas: levantamento de subsídios, diagnóstico da situação e definição de conduta. Nesta pesquisa a verificação do surgimento da manifestação patológica ocorreu por meio de observação visual e registros fotográficos.

Para monitoramento do comportamento dos revestimentos, os protótipos foram fotografados sempre na mesma posição e no mesmo horário, para se manter um padrão de análise.

O monitoramento dos protótipos foi iniciado na sexta-feira, dia 22/07/2016, às 17h30, no momento em que foi adicionada a lâmina de água na base destes. Os primeiros sete dias foram fotografados diariamente, após, foram monitorados uma vez na semana, sempre no dia que completava uma semana a mais de análise, ou seja, na sexta-feira. A data do último dia de monitoramento foi 12/05/2017, totalizando 280 dias de monitoramento, onde sofreram ações climáticas das quatro estações do ano (inverno, primavera, verão e outono).

Os registros fotográficos foram realizados sempre às 17h30, sendo que no período do horário de verão (16/10/2016 à 19/02/2017) os registros ocorreram às 18h30, com intuito de se manter o mesmo horário do sol. O horário das 17h30 foi determinado devido neste momento todos os protótipos estarem na sombra, e com isto a visualização das manifestações patológicas não seriam diferenciadas em dias nublados dos dias ensolarados.

A distância determinada para os registros fotográficos foi de 80cm de distância do protótipo e a 50cm de distância do piso, devido esta altura abranger todo o protótipo dentro da lente da câmera fotográfica. Não foi utilizado uso de *flash* nos registros fotográficos.

A Tabela 8 apresenta os protótipos de alvenaria, revestidos com as argamassas que apresentaram melhores desempenhos nos ensaios do estado endurecido e as argamassas referências, no dia que foi adicionado água na base dos protótipos, que é considerado o dia zero do monitoramento.

Tabela 8 – Protótipos de alvenaria no dia zero.

Fachada	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
Norte				
Sul				
Leste				
Oeste				
Topo				

Fonte: autora.

### 3.6.1.3 Absorção pelo método cachimbo

O “Método do Cachimbo” proposto pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC) e pela Réunion Internationale des Laboratoires d’Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions (RILEM) é um procedimento para a verificação da permeabilidade à água dos revestimentos de parede. Este ensaio ainda não é normatizado no Brasil e, de acordo com Almeida Dias e Caraseck (2003) a análise de seus resultados ainda é realizada comparando-se as médias das leituras com outros resultados, geralmente obtidos através de experimentos em laboratório.

O cachimbo é um tubo de vidro em forma de “L”, graduado em décimos de milímetro que possui uma borda plana e circular no fundo, a qual é fixada à superfície do revestimento e preenchido com água até o nível de referência (Figura 39). A água colocada nesse tubo exerce uma pressão inicial sobre uma pequena área da amostra da parede ( $5,31\text{cm}^2$ ). A diminuição na altura da água ao longo do tempo é usada como indicação da vulnerabilidade do material à penetração da água.



Figura 39 – Cachimbo fixado à parede.

Fonte: autora.

O ensaio do método cachimbo foi realizado após finalizar o monitoramento das manifestações patológicas nos protótipos, nos dias 17/05/2017 e 22/05/2017, com idade de 285 dias e 290 dias, sendo que todas as medições foram realizadas

em horários que as paredes estavam sem a presença de insolação. Para cada face norte e sul de cada protótipo foram feitas três avaliações em três pontos definidos (Figura 40). No momento do ensaio os protótipos estavam em condições iguais de umidade, devido a ocorrência de período chuvoso anterior a realização do ensaio.

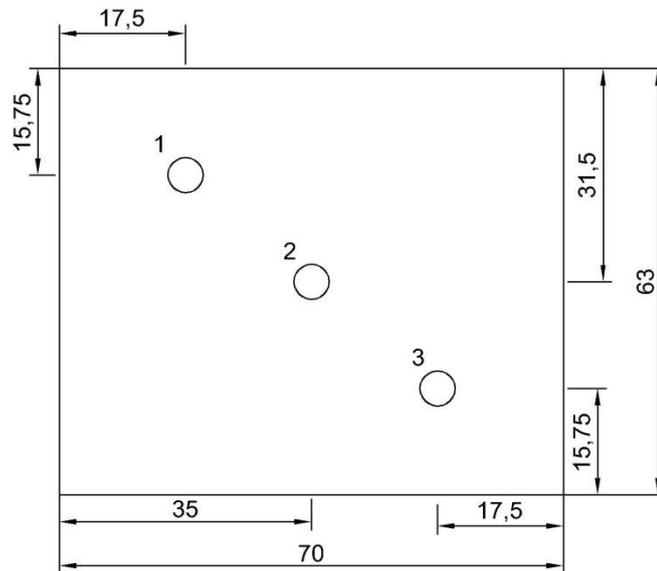


Figura 40 – Esquema dos três pontos definidos para avaliação pelo método cachimbo.  
Fonte: autora.

A marcação destes pontos de avaliação levou em consideração o trabalho de Almeida Dias e Caraseck (2003), que concluíram que o local da realização do ensaio, se o revestimento está aplicado sobre juntas de assentamento ou sobre blocos, não influencia nos resultados de permeabilidade pelo método do cachimbo. Portanto os pontos foram escolhidos de maneira a ficarem simetricamente dispostos na parede, com intuito de verificar se a posição do ensaio resulta em diversidade de valores da permeabilidade.

O CSTC prevê leituras do nível de água aos 5, 10 e 15 minutos, porém nesta pesquisa foram realizadas medidas a cada minuto ao longo de 15 minutos, conforme proposto por Selmo (1989), com intuito de aumentar a precisão da curva. A Figura 41 mostra a execução do ensaio nos protótipos.



Figura 41 – Execução do ensaio de permeabilidade pelo método cachimbo.

Fonte: autora.

#### *3.6.1.4 Resistência de aderência à tração*

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 13528 (ABNT, 2010). Foi executado após o ensaio de permeabilidade pelo método cachimbo, na idade de 300 dias e 301 dias, empregando-se corpos-de-prova com diâmetro igual a 50mm, dinamômetro de tração e cola à base de resina epóxi.

O ensaio foi realizado em 7 pontos para cada protótipo, nas faces voltadas para o norte e para o sul, sendo 4 pontos em uma face e três em outra. O intuito de executar sete pontos de análise foi para, se necessário, poder descartar um ponto e se manter uma média de seis pontos por tipo de argamassa. O local dos pontos está mostrado na Figura 42. A escolha dos pontos foi para se manter a mesma proporção do ensaio de permeabilidade, porém devido a alguns erros no momento do corte com serra copo, em algumas faces o posicionamento dos pontos se alterou, mas manteve-se a quantidade de sete pontos por protótipo.



Figura 42 – Pontos para execução do ensaio de aderência à tração; (a) Face com três pontos de ensaio; (b) Face com quatro pontos de ensaio.

Fonte: autora.

Para execução do ensaio foi realizado o corte prévio do corpo de prova com serra copo, até atingir a superfície do substrato, estendendo de 1mm a 5mm dentro do substrato (Figura 43).



Figura 43 – Corte prévio do corpo de prova se estendendo dentro da superfície do substrato.

Fonte: autora.

Com o corte prévio foram coladas as pastilhas e esperado o período de 24 horas para secagem total da cola, antes da execução do ensaio. No momento do ensaio foi anotada a carga de ruptura, dada pelo equipamento de maneira digital em kgf, e a forma de ruptura no ensaio, sendo que esta pode ocorrer de maneiras diversas de acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2010), mostrado na Figura 44. Após a ruptura foi determinado com auxílio do paquímetro o diâmetro do corpo de prova para cálculo da área do mesmo. A Figura 45 mostra a execução do ensaio.

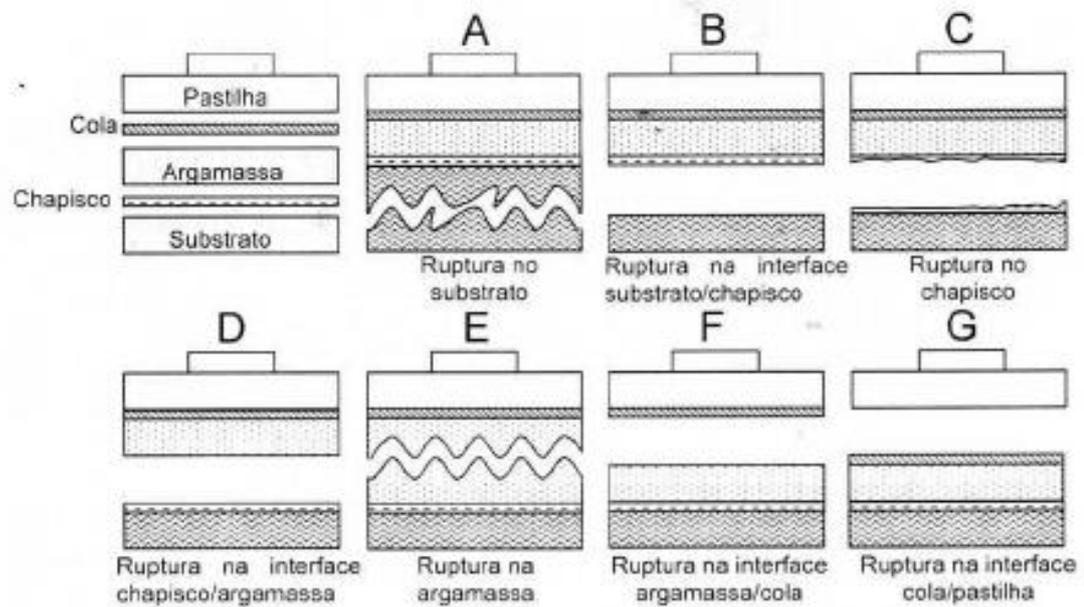


Figura 44 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco.

Fonte: NBR 13528, ABNT 2010.



Figura 45 – Execução do ensaio de resistência de aderência à tração.

Fonte: autora.

Os valores de resistência de aderência à tração das argamassas foram classificados conforme a norma NBR 13749 (ABNT, 2013), que define valores mínimos de resistência de aderência à tração, apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra).

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

Fonte: NBR 13749, ABNT 2013.

### 3.7 Análise dos resultados da segunda etapa

A análise dos resultados obtidos na avaliação do surgimento de manifestações patológicas foi visual, para os demais ensaios dos protótipos a análise dos resultados foi realizada por meio de análise estatística, seguindo os parâmetros estabelecidos na análise estatística da primeira etapa.

Para esta segunda etapa da análise estatística, foram definidas como variáveis independentes as famílias de argamassas (A0, A2,5-4, AC0 e AC10-3) e como variáveis dependentes: resistência à tração na flexão, absorção pelo método cachimbo e resistência de aderência à tração, sendo que a resistência à tração foi analisada de forma isolada, pois os parâmetros de faces não entraram nesta variável, devido este ensaio ter sido realizado em corpos de prova e portanto não possuiu verificação conforme face exposta.

## **4 Resultados e Discussões da Primeira Etapa**

Este capítulo contém os resultados obtidos e discussões da primeira etapa deste estudo, através dos ensaios realizados em corpos de prova de argamassa com substituição parcial de areia por resíduo de borracha. Os resultados foram subdivididos por tipo de ensaio e por tipo de argamassa.

O estado endurecido da argamassa ocorre com o tempo, quando o material adquire rigidez e não possui mais propriedades plásticas. As propriedades no estado endurecido foram estudadas por meio de ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção por capilaridade e absorção por imersão e índice de vazios. Os resultados mostrados a seguir referem-se à média dos valores obtidos para três corpos de prova e os mesmos sempre são comparados com as argamassas de referência (sem adição de borracha). Os resultados de todos os ensaios estão nos apêndices.

Os resultados da análise estatística estão apresentados juntamente com os resultados dos ensaios. Para a análise estatística utilizou-se uma análise de variância (ANOVA) de duas vias, considerando como variáveis independentes as famílias (Referência, 2,5%, 5%, 10% e 15%) e as subfamílias (1, 2, 3 e 4), e como variáveis dependentes: resistência à compressão axial; resistência à tração por compressão diametral; absorção por capilaridade e absorção por imersão. Esta análise foi realizada separadamente para argamassa de traço 1:3 e para argamassa de traço 1:2:9.

### **4.1 Resistência à compressão axial**

A resistência à compressão axial é expressa em MPa, e os resultados mostrados a seguir estão separados por famílias e por tipo de argamassa. Os resultados de todos os ensaios estão mostrados no Apêndice A.

#### 4.1.1 Argamassa de cimento – Traço 1:3

A Figura 46 mostra os resultados obtidos aos 28 dias para argamassa 1:3 (cimento:areia).

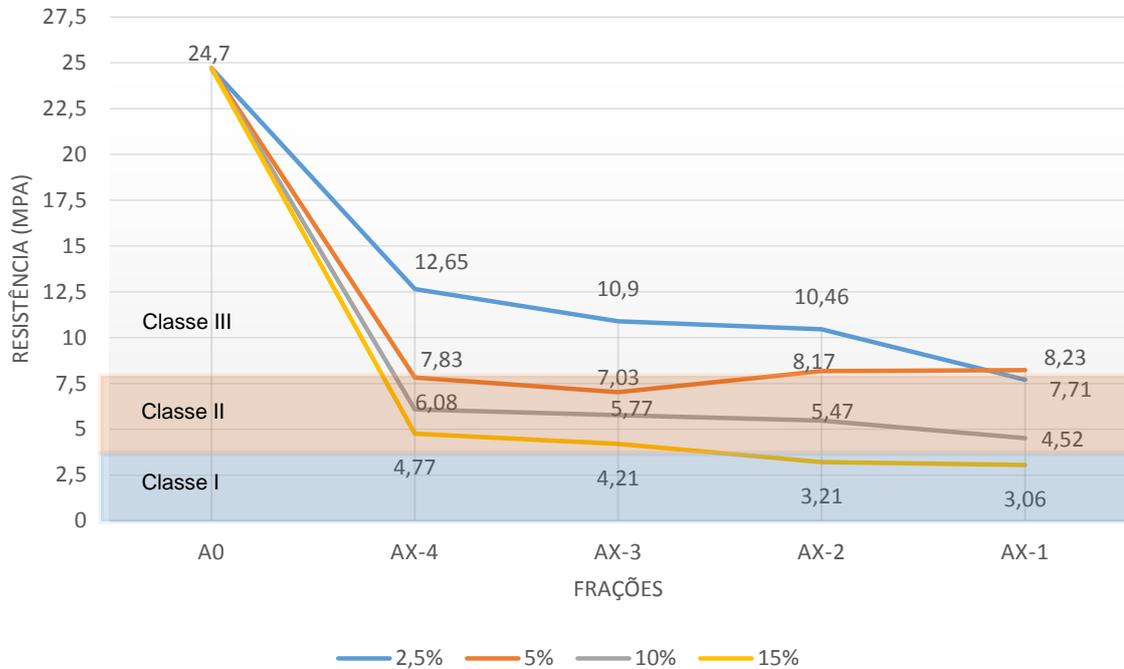


Figura 46 – Resistência à compressão axial aos 28 dias do traço 1:3.

Analisando-se a Figura 46, percebe-se que todas as argamassas com resíduo apresentaram resistências inferiores à argamassa referência (A0). Para as argamassas com substituição, o decréscimo na resistência à compressão axial se mostra sempre mais elevado conforme o aumento na porcentagem de substituição do resíduo, apresentando comportamento diferente apenas na substituição de uma fração, onde a substituição de 5% apresenta um valor de 6,74% superior ao da família de 2,5%. Este decréscimo de resistência já era esperado, baseado na bibliografia, conforme encontrado por autores, como: Turatsinze et al. (2005), Uygunoğlu e Topçu (2010), Canova et al. (2015), Kristiawan e Hapsari (2017), Abd. Aziz et al. (2017). Visto que o resíduo, elemento de menor resistência, passou a substituir a areia, que é a responsável, também, pelo desempenho mecânico das argamassas. Portanto, quanto maior for a retirada de areia, maior será a perda da resistência à compressão axial. Ademais, os resultados indicam como tendência que a substituição nas quatro frações conduz a melhores desempenhos mecânicos. Uma explicação possivelmente aceita, é que na substituição das quatro frações existem

elementos de resíduo de maiores dimensões quando comparadas às substituições de somente uma fração. Neste caso, somente uma fração substituída, o tamanho das partículas de resíduo torna-se bastante reduzido, o que pode ter ocasionado menores resistências.

As faixas mostradas na Figura 46 classificam as argamassas conforme a NBR 13281 (ABNT, 2001), podendo-se observar que todas as argamassas estudadas se encontram dentro de uma das classes definidas, possuindo quatro argamassas na classe I, sete presentes na classe II e seis argamassas classificadas na classe III.

Mesmo a norma realizando a classificação das argamassas, esta não especifica qual deve ser o uso de acordo com a classe obtida. Silva (2006) salienta que apesar da NBR 13281 (ABNT, 2001) exigir que seja indicado o tipo de argamassa e a classe em que ela se enquadra a norma não define o requisito e a classe que deve ser exigida para cada utilização. Sobre esta questão, Coutinho et al. (2013) também destacam que a norma não fornece parâmetros de análise para saber se as argamassas estão adequadas às suas funções, salientando que isto dificulta os julgamentos quanto à adequação das argamassas aos usos que se propõem desempenhar.

#### *4.1.1.1 Análise estatística – Traço 1:3*

A Tabela 10 mostra os resultados da análise estatística, onde a ANOVA demonstrou que ocorreu efeito das variáveis “família” e “subfamília” na resistência à compressão axial dos elementos para o traço de argamassa 1:3, e interação entre estas variáveis independentes ( $p < 0,001$  para todas as análises, com nível de significância de 0,05). A análise pareada demonstrou que houve diferença significativa entre as médias das resistências para as famílias e subfamílias, ou seja, a hipótese de médias iguais para as resistências das argamassas pode ser rejeitada. Conforme mostra o  $r^2$ , o modelo explica 93,2% da variabilidade dos valores de resistência à compressão axial.

Tabela 10 – Variável dependente Resistência à compressão axial (MPa) para o traço 1:3.

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	349,220 <sup>a</sup>	15	23,281	44,078	<b>0,000</b>
Resíduo	2270,675	1	2270,675	4299,012	<b>0,000</b>
Família	298,671	3	99,557	188,489	<b>0,000</b>
Subfamília	23,019	3	7,673	14,527	<b>0,000</b>
Família*Subfamília	27,530	9	3,059	5,791	<b>0,000</b>
Erro	16,902	32	0,528		
Total	2636,797	48			
Total corrigido	366,122	47			

a. ANOVA de duas vias:  $r^2 = 0,932$

Após estas análises, o programa Primer, por meio da Análise de Componentes Principais, indicou um resultado de argamassa com melhor desempenho em relação a resistência à compressão axial do traço 1:3, sendo esta a A2,5-4, conforme pode ser visto na Figura 47. Salienta-se que as famílias 1, 2, 3 e 4 que aparecem no gráfico são as 2,5%, 5%, 10% e 15%, respectivamente.

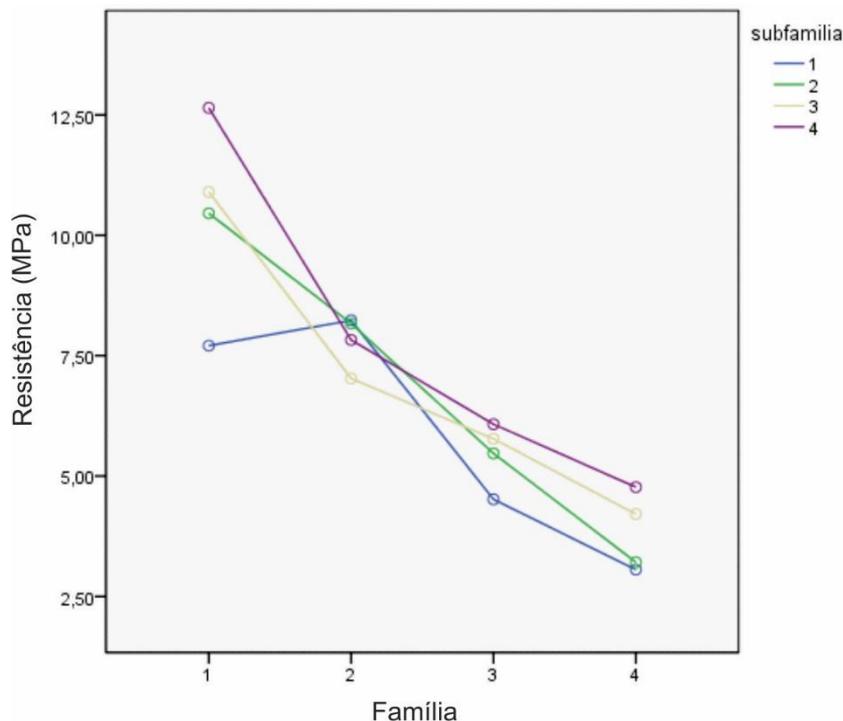


Figura 47 – Análise componentes principais para a variável resistência à compressão – traço 1:3.

#### 4.1.2 Argamassa de cimento e cal – Traço 1:2:9

A Figura 48 mostra os resultados obtidos para resistência à compressão axial aos 28 dias de idade. Analisando, nota-se que, de acordo com NBR 13281 (ABNT, 2001), todas as argamassas de cimento e cal estudadas foram classificadas na classe I, que possuem resistência aos 28 dias entre 0,1 e 4,0MPa.

Verifica-se que o aumento na porcentagem de incorporação de resíduo de borracha resultou em uma diminuição na resistência à compressão axial, devido ao fato da borracha ser um material com menor resistência do que a areia, tanto nas argamassas de cimento, como nas que possuem cimento e cal.

Segundo Turki et al. (2009), esta redução nas resistências mecânicas pode ser explicada por análise através de microscopia eletrônica de varredura, pois na argamassa com substituição parcial de borracha, existem espaços vazios entre os agregados de borracha e a matriz de cimento. Já na mistura de referência existe uma aderência completa entre a matriz de cimento e os agregados convencionais.

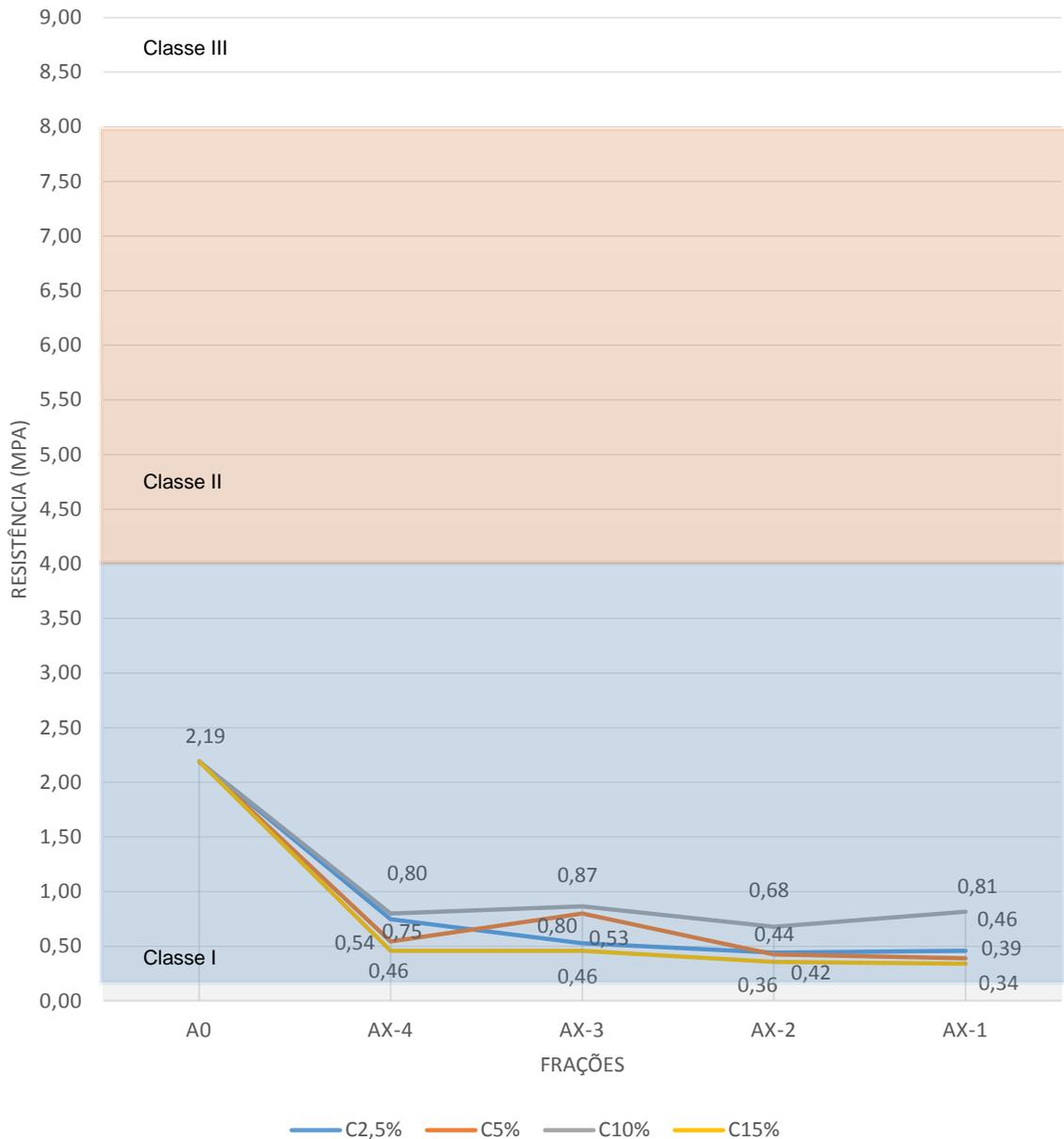


Figura 48 – Resistência à compressão axial aos 28 dias do traço 1:2:9.

Avaliando os dados, verifica-se que dentre as famílias com resíduo de borracha, a que obteve o melhor desempenho foi a com 10% de substituição. Assim como na argamassa de cimento, todas as argamassas com resíduo de borracha obtiveram valores inferiores à referência.

#### 4.1.2.1 Análise estatística – Traço 1:2:9

A Tabela 11 mostra os resultados da análise estatística, onde a ANOVA demonstrou que ocorreu efeito das variáveis “família” e “subfamília” na resistência à

compressão axial do traço de argamassa 1:2:9, e interação entre estas variáveis independentes ( $p < 0,001$  para todas as análises, com nível de significância de 0,05). Conforme mostra o  $r^2$ , o modelo explica 85,5% da variabilidade dos valores de resistência à compressão axial.

Tabela 11 – Variável dependente Resistência à compressão axial (MPa) para o traço 1:2:9.

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	1,476 <sup>a</sup>	15	0,098	19,415	<b>0,000</b>
Resíduo	15,550	1	15,550	3067,745	<b>0,000</b>
Família	0,915	3	0,305	60,196	<b>0,000</b>
Subfamília	0,312	3	0,104	20,519	<b>0,000</b>
Família*Subfamília	0,249	9	0,028	5,454	<b>0,000</b>
Erro	0,162	32	0,005		
Total	17,188	48			
Total corrigido	1,638	47			

b. ANOVA de duas vias:  $r^2 = 0,855$

Após estas análises, o programa Primer, por meio da Análise de Componentes Principais, indicou um resultado de argamassa com melhor desempenho em relação a resistência à compressão axial do traço 1:2:9, sendo que, neste caso, são a AC10-3 e a AC10-4, conforme pode ser visto na Figura 49. Salienta-se que as famílias 1, 2, 3 e 4 que aparecem no gráfico são as 2,5%, 5%, 10% e 15%, respectivamente.

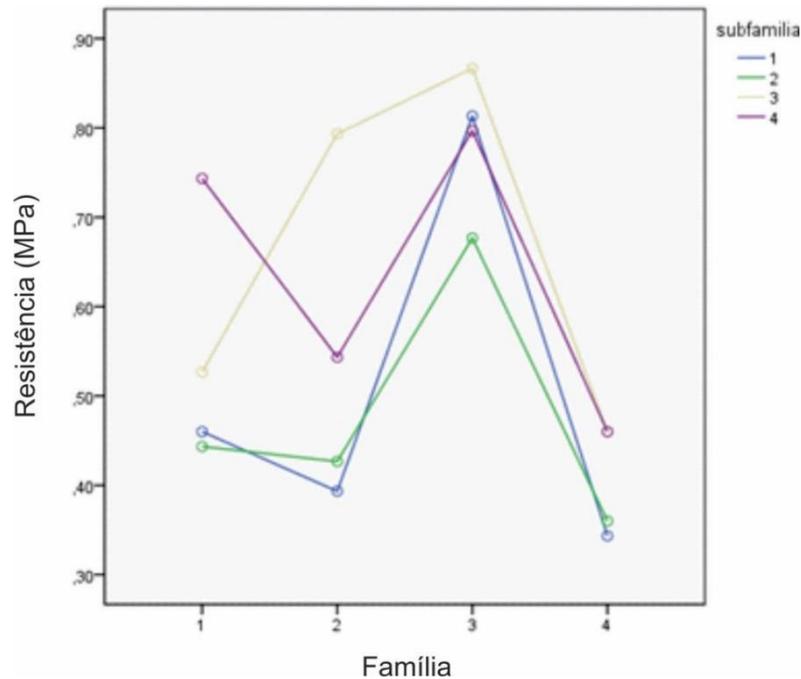


Figura 49 – Análise componentes principais para a variável resistência à compressão – traço 1:2:9.

#### 4.1.3 Conclusões do ensaio de resistência à compressão axial

A Tabela 12 mostra a porcentagem de decréscimo ocorrida entre as resistências das argamassas compostas com resíduo e da argamassa referência, aos 28 dias. Percebe-se que o maior decréscimo, para as argamassas de cimento, foi de 87,61% na subfamília A15-1, e a que possuiu o menor decréscimo foi a A2,5-4 com 48,79%. Também é possível analisar que a subfamília com maior decréscimo foi a AC15-1, assim como ocorreu no traço 1:3, com uma porcentagem de 84,47%. Para a argamassa de cimento e cal, a subfamília que obteve o menor decréscimo foi a AC10-3, com 60,27%. Ademais, assim como a maior perda de resistência entre todas as argamassas, comparando-se com a referência, a menor perda na capacidade resistente se deu em argamassas compostas por cimento e areia. Também é importante salientar, como já era esperado, que o comportamento mecânico das argamassas de cimento foi superior ao das argamassas de cimento e cal.

Tabela 12 - Decréscimo ocorrido entre argamassas compostas e argamassas referências quanto à resistência à compressão axial.

Família	% de decréscimo comparado a argamassa referência (AC0 e A0)			
	4 Frações de Substituição	3 Frações de Substituição	2 Frações de Substituição	1 Fração de Substituição
<b>AC2,5</b>	65,75	75,80	79,91	79,00
<b>AC5</b>	75,34	63,47	80,82	82,19
<b>AC10</b>	63,47	60,27	68,95	63,01
<b>AC15</b>	79,00	79,00	83,56	84,47
<b>A2,5</b>	48,79	55,87	57,65	68,79
<b>A5</b>	68,30	71,54	66,92	66,68
<b>A10</b>	75,38	76,64	77,85	81,70
<b>A15</b>	80,69	82,96	87,00	87,61

De acordo com a análise estatística, a subfamília com melhor desempenho para resistência à compressão axial do traço 1:3 é a A2,5-4 e para o traço 1:2:9 os melhores comportamentos são das subfamílias AC10-3 e AC10-4.

## 4.2 Resistência à tração por compressão diametral

A resistência à tração por compressão diametral é expressa em MPa, e os resultados mostrados a seguir estão separados por famílias e por tipo de argamassa. Os resultados de todos os ensaios estão mostrados no Apêndice B.

### 4.2.1 Argamassa de cimento – Traço 1:3

A Figura 50 mostra as resistências obtidas na resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias. Os resultados demonstram que para as argamassas com substituição, o decréscimo na resistência à tração por compressão diametral se mostra sempre mais elevado conforme o aumento na porcentagem de substituição do resíduo. Porém, entre as frações substituídas não há uma continuidade no comportamento, elas variam entre as famílias, possuindo famílias (A2,5 e A15) onde o melhor comportamento está na subfamília com quatro frações substituídas. Na família A5 a maior resistência é da subfamília com duas frações substituídas e na substituição de 10% o melhor resultado está na subfamília A10-3.

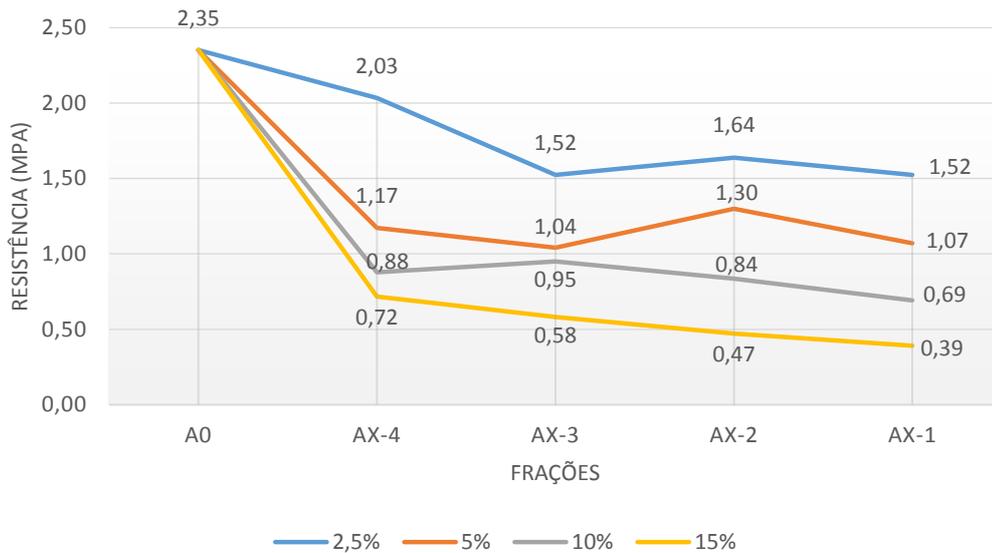


Figura 50 – Resistência à tração por compressão diametral traço 1:3.

#### 4.2.1.1 Análise estatística – Traço 1:3

A Tabela 13 mostra que ocorreu efeito das variáveis “família” ( $p < 0,001$ ) e “subfamília” ( $p < 0,05$ ) na resistência à tração por compressão diametral. Por outro lado, na interação entre estas variáveis independentes não se obteve efeito significativo, indicado por  $p > 0,05$ . Conforme mostra o  $r^2$ , o modelo explica 86,4% da variabilidade dos valores de resistência à tração por compressão diametral. Os desempenhos mecânicos encontrados, corroborados pela análise estatística, já eram esperados conforme explicações anteriormente dadas.

Tabela 13 – Variável dependente Resistência à tração por compressão diametral (MPa) para o traço 1:3.

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	9,487 <sup>a</sup>	15	,632	20,964	<b>0,000</b>
Resíduo	52,941	1	52,941	1754,829	<b>0,000</b>
Família	8,542	3	2,847	94,386	<b>0,000</b>
Subfamília	0,490	3	0,163	5,411	<b>0,004</b>
Família*Subfamília	0,455	9	0,051	1,674	<b>0,136</b>
Erro	0,965	32	0,030		
Total	63,393	48			
Total corrigido	10,452	47			

a.ANOVA de duas vias:  $r^2 = 0,864$

Após estas análises, o programa Primer, por meio da Análise de Componentes Principais, indicou um resultado de argamassa com melhor desempenho em relação a resistência à tração por compressão diametral do traço 1:3. Foram consideradas as famílias A2,5-2, A2,5-3 e A2,5-4 com melhores desempenhos, conforme pode ser visto na Figura 51. Salienta-se que as famílias 1, 2, 3 e 4 que aparecem no gráfico são as 2,5%, 5%, 10% e 15%, respectivamente

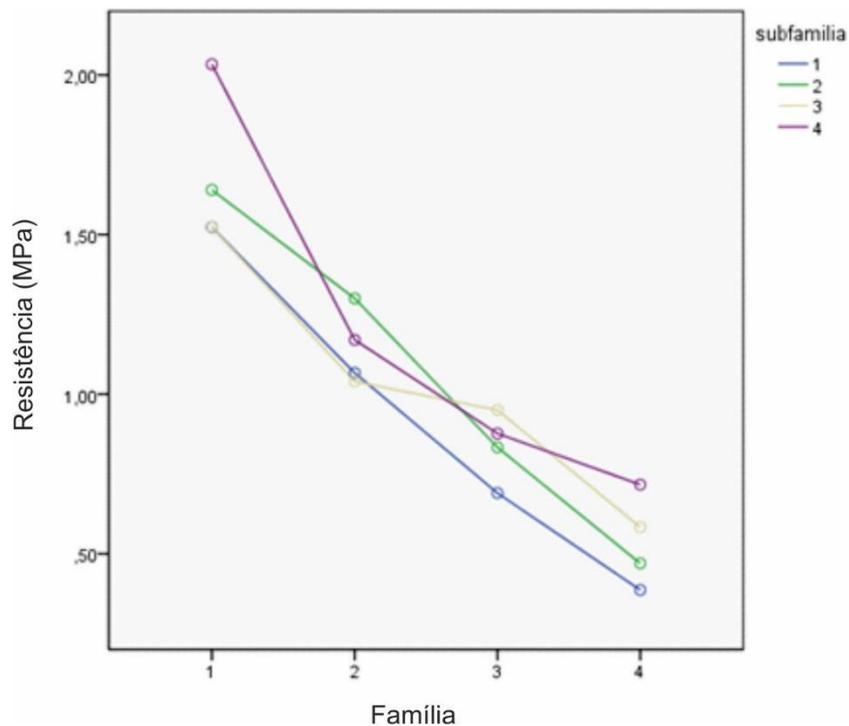


Figura 51 – Análise componentes principais para a variável resistência à tração – traço 1:3.

#### 4.2.2 Argamassa de cimento e cal – Traço 1:2:9

As resistências à tração por compressão diametral, aos 28 dias, estão mostradas na Figura 52. Analisando os resultados, percebe-se que a argamassa com melhor comportamento em todas as frações de substituição foi da família AC10. Na substituição das quatro frações, a menor resistência foi da família AC15. Nos resultados das subfamílias com três frações e com uma fração substituída, as famílias AC2,5 e AC15 obtiveram as mesmas resistências, e na substituição de duas frações duas famílias (AC2,5 e AC5) também atingiram o mesmo resultado.

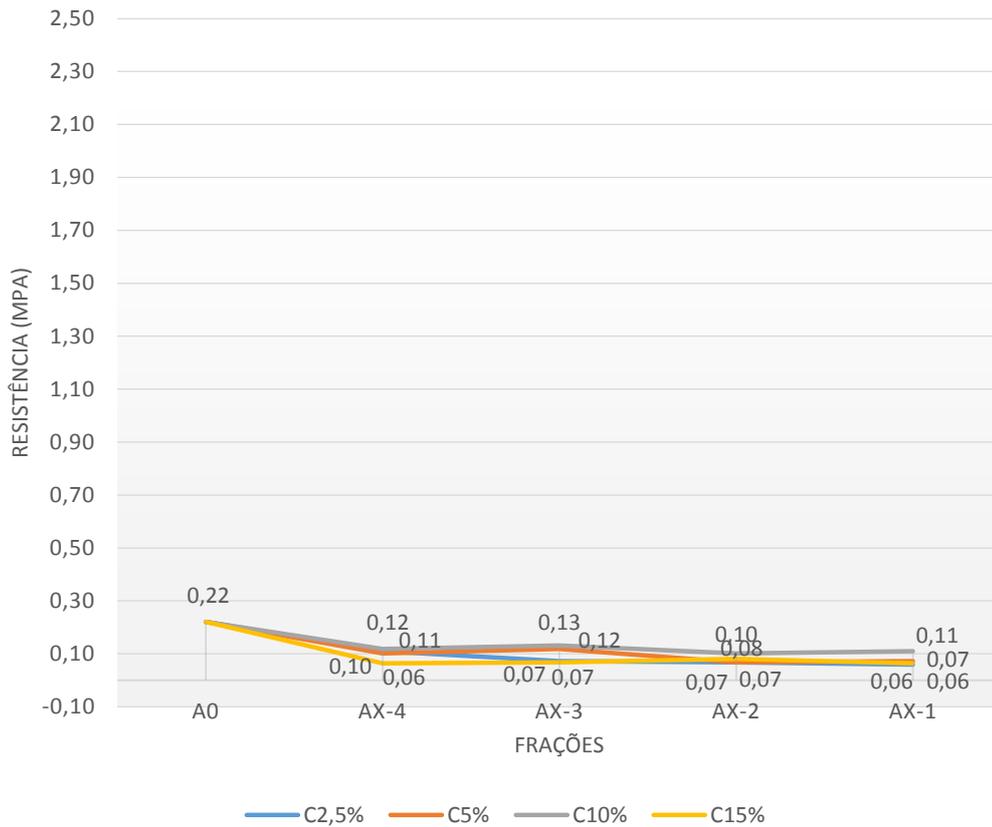


Figura 52 – Resistência à tração por compressão diametral traço 1:2:9.

#### 4.2.2.1 Análise estatística – Traço 1:2:9

A Tabela 14 mostra que ocorreu efeito das variáveis “família” e “subfamília” na resistência à tração por compressão diametral. Entretanto, na interação entre estas variáveis independentes não foi observado efeito significativo, indicado por  $p > 0,05$ . Conforme mostra o  $r^2$ , o modelo explica 58,4% da variabilidade dos valores de resistência à tração por compressão diametral.

Tabela 14 – Variável dependente Resistência à tração por compressão diametral (MPa) para o traço 1:2:9.

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	0,027 <sup>a</sup>	15	0,002	5,392	<b>0,000</b>
Resíduo	0,364	1	0,364	1098,893	<b>0,000</b>
Família	0,015	3	0,005	15,237	<b>0,000</b>
Subfamília	0,005	3	0,002	5,308	<b>0,004</b>
Família*Subfamília	0,006	9	0,001	2,138	<b>0,055</b>
Erro	0,011	32	0,000		
Total	0,401	48			
Total corrigido	0,037	47			

c. ANOVA de duas vias:  $r^2 = 0,584$

Após estas análises, o programa Primer, por meio da Análise de Componentes Principais, indicou um resultado de argamassa com melhor desempenho em relação a resistência à tração por compressão diametral do traço 1:2:9. Foram consideradas as famílias AC10-2, AC10-3 e AC10-4 com melhores desempenhos, conforme pode ser visto na Figura 53. Salienta-se que as famílias 1, 2, 3 e 4 que aparecem no gráfico são as 2,5%, 5%, 10% e 15%, respectivamente

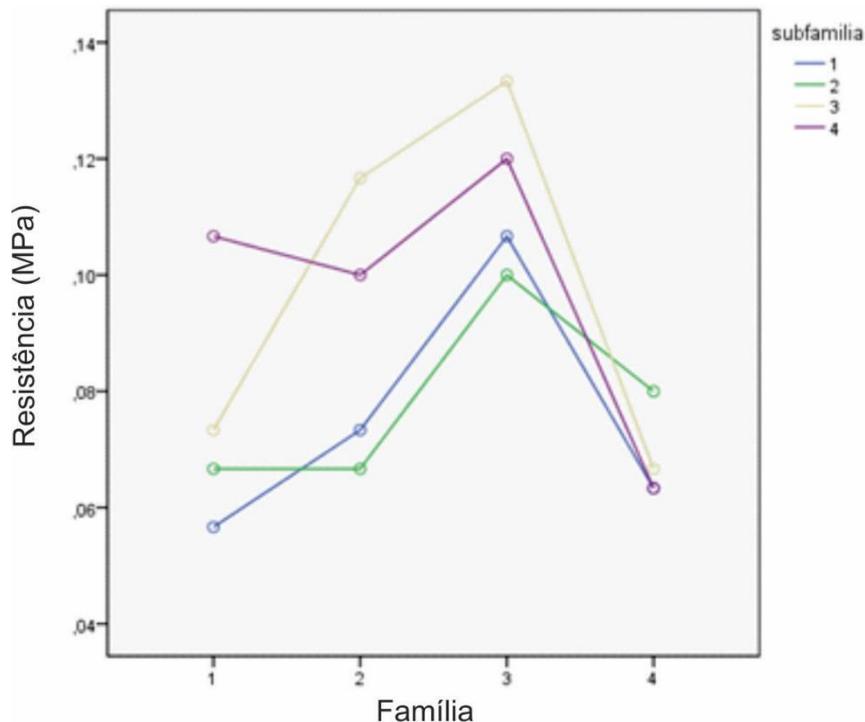


Figura 53 – Análise componentes principais para a variável resistência à tração – traço 1:2:9.

#### 4.2.3 Conclusões do ensaio de tração por compressão diametral

A Tabela 15 mostra a porcentagem de decréscimo ocorrida entre as resistências das argamassas com cal compostas com resíduo e da argamassa referência. Percebe-se que três subfamílias obtiveram o maior decréscimo, sendo a AC2,5-1, AC15-4 e AC15-1 com um valor de 72,73%. A subfamília com menor porcentagem de decréscimo foi a AC10-3 com 40,91%. Ao comparar a porcentagem de decréscimo de resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral, percebe-se que à compressão axial possui uma redução mais elevada do que à tração por compressão diametral, assim como ocorreu nas argamassas só de cimento, visto que, ao compararmos os valores da argamassa AC15-1, onde ocorreu a maior diminuição de resistência em ambos os ensaios, esta possui um decréscimo de 84,47% na compressão axial e 72,73% na tração por compressão diametral. Neste último caso, as argamassas AC15-4 e AC2,5-1 também obtiveram esta porcentagem de diminuição. Assim como nas argamassas de cimento, provavelmente este fato pode ser explicado devido à capacidade elástica do resíduo de borracha, fazendo com que ocorra menor interferência no desempenho da tração por compressão diametral. Outro fator a ser observado é que em ambos ensaios de resistência, à compressão axial e à tração por compressão diametral, a subfamília com melhor desempenho foi a AC10-3.

Tabela 15 - Decréscimo ocorrido entre argamassas compostas e argamassas referências quanto à resistência à tração por compressão diametral.

Família	% de decréscimo comparado a argamassa referência (AC0)			
	4 Frações de Substituição	3 Frações de Substituição	2 Frações de Substituição	1 Fração de Substituição
<b>AC2,5</b>	50,00	68,18	68,18	72,73
<b>AC5</b>	54,55	45,45	68,18	68,18
<b>AC10</b>	45,45	40,91	54,55	50,00
<b>AC15</b>	72,73	68,18	63,64	72,73
<b>A2,5</b>	13,62	35,32	30,21	35,32
<b>A5</b>	50,21	55,74	44,68	54,47
<b>A10</b>	62,55	59,57	64,26	70,64
<b>A15</b>	69,36	75,32	80,00	83,40

A Tabela 15 mostra, também, a porcentagem de decréscimo ocorrida entre as resistências das argamassas compostas com resíduo e da argamassa referência (1:3), aos 28 dias. Analisando os dados se verifica que a subfamília com maior decréscimo foi a A15-1 com uma porcentagem de 83,40%, sendo que o menor decréscimo foi da subfamília A2,5-4 com um valor de 13,62%. Ao comparar a porcentagem de decréscimo de resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral, percebe-se que à compressão axial possui uma redução um pouco superior do que à tração por compressão diametral, pois ao compararmos os valores da argamassa A15-1, onde ocorreu a maior diminuição de resistência em ambos os ensaios, esta possui um decréscimo de 87,61% na compressão axial e 83,40% na tração por compressão diametral.

Outro fator a ser observado é que em ambos ensaios de resistência, à compressão axial e à tração por compressão diametral, a subfamília com melhor desempenho foi a A2,5-4, podendo-se sugerir que o melhor desempenho mecânico das argamassas de cimento estudadas se dá com 2,5% de substituição de areia por resíduo nas quatro frações do agregado miúdo. O fato de o melhor desempenho mecânico ser por meio de uma família com as quatro frações substituídas, pode ser explicado pela substituição possuir maior quantidade de resíduo no formato alongado, conforme mostrado na Figura 54, acarretando em uma maior ligação entre os componentes, pois as fibras alongadas dificultam a abertura do elemento.



Figura 54 – Argamassa com substituição nas quatro frações de agregado miúdo.

Fonte: autora.

De acordo com a análise estatística, as subfamílias com melhores desempenhos para resistência à tração por compressão diametral do traço 1:3 são A2,5-2, A2,5-3 e A2,5-4, e para o traço 1:2:9 os melhores comportamentos são das subfamílias AC10-2, AC10-3 e AC10-4.

### 4.3 Absorção por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é expressa em g/cm<sup>2</sup>, e os resultados mostrados a seguir estão separados por famílias e por tipo de argamassa. Todos os valores de absorção estão mostrados no Apêndice C.

#### 4.3.1 Argamassa de cimento – Traço 1:3

A Figura 55 apresenta a absorção de água por capilaridade para as famílias de argamassa de cimento, na idade de 72 horas.

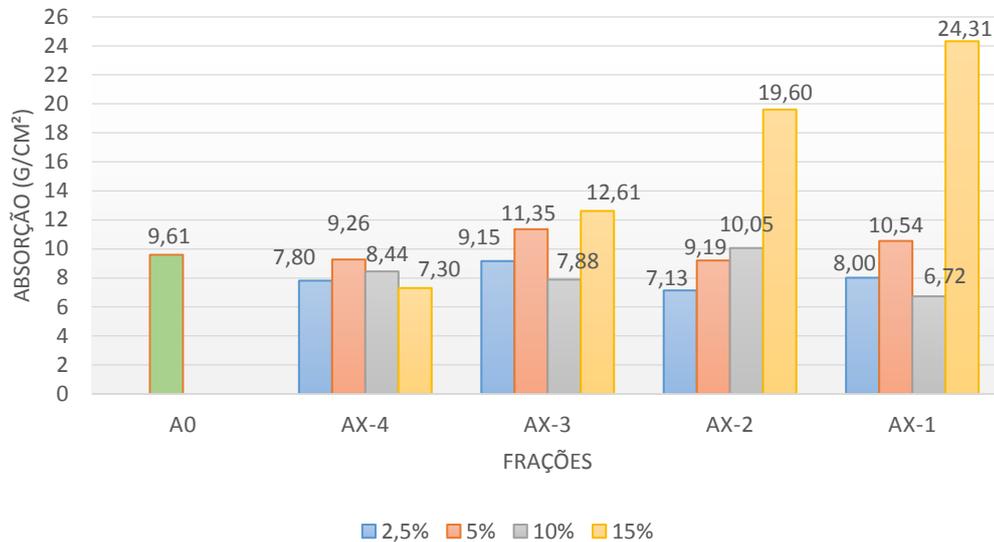


Figura 55 – Resultados ensaio de absorção por capilaridade para traço 1:3.

Verifica-se no gráfico, que o melhor (menor absorção) e o pior desempenho (maior absorção) estão em subfamílias com apenas uma fração de substituição, sendo a menor absorção da argamassa A10-1 e a maior da A15-1. Das dezesseis subfamílias com resíduo ensaiadas, apenas seis obtiveram absorção superior a argamassa referência. Ressalta-se que para as subfamílias com quatro frações

substituídas, todos os traços obtiveram melhor comportamento que a argamassa sem resíduo. Além disso, observa-se uma menor variabilidade dos valores, o que pode ser considerado como um ponto positivo quando da substituição das quatro frações.

Observa-se que, para família com 2,5% de substituição, a absorção das argamassas com resíduo é menor do que a observada para argamassa referência, se tornando uma vantagem para utilização de resíduos em argamassas de revestimento. Sendo que a subfamília com melhor desempenho (menor absorção) é a A2,5-2.

Com os resultados obtidos para a família de 5%, percebe-se que em duas frações de substituição, a com quatro e com duas frações, a absorção se mantém inferior a argamassa sem adição de resíduo, e nas outras duas substituições, com uma e com três frações, se obteve valores superiores de absorção de água. Sendo que a subfamília com melhor desempenho é a A5-2, apresentando o menor valor de absorção de água por capilaridade.

A família com 10% de substituição alcançou absorção inferior a argamassa referência em três substituições (quatro, três e uma fração), e apenas na substituição com duas frações que o valor é superior ao da argamassa sem resíduo. Sendo que a subfamília com melhor desempenho é a A10-1, apresentando o menor valor de absorção de água por capilaridade.

Verificando os resultados da família com 15% de substituição, observa-se que apenas a subfamília com quatro frações de substituição apresenta valor de absorção inferior ao da argamassa referência. Estando as outras três subfamílias com valores superiores.

#### *4.3.1.1 Análise estatística – Traço 1:3*

Para a variável dependente absorção por capilaridade, assim como na resistência à compressão axial, os resultados estatísticos evidenciaram a influência das variáveis “família” e “subfamília” ( $p < 0,001$  para todas as análises, com nível de significância de 0,05) neste comportamento, com um valor de variabilidade dos valores de  $r^2 = 95,4\%$ . Os resultados desta análise estão mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 – Variável dependente Absorção por capilaridade (g/cm<sup>2</sup>) para o traço 1:3.

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	1032,709 <sup>a</sup>	15	68,847	65,704	<b>0,000</b>
Resíduo	5376,757	1	5376,757	5131,289	<b>0,000</b>
Família	491,623	3	163,874	156,393	<b>0,000</b>
Subfamília	118,828	3	39,609	37,801	<b>0,000</b>
Família*Subfamília	422,257	9	46,917	44,776	<b>0,000</b>
Erro	33,531	32	1,048		
Total	6442,996	48			
Total corrigido	1066,239	47			

a.ANOVA de duas vias:  $r^2 = 0,954$

Após estas análises, o programa Primer, por meio da Análise de Componentes Principais, indicou como resultado de argamassa com melhor desempenho em relação a absorção por capilaridade do traço 1:3 a subfamília A2,5-4, conforme pode ser visto na Figura 56. Salienta-se que as famílias 1, 2, 3 e 4 que aparecem no gráfico são as 2,5%, 5%, 10% e 15%, respectivamente

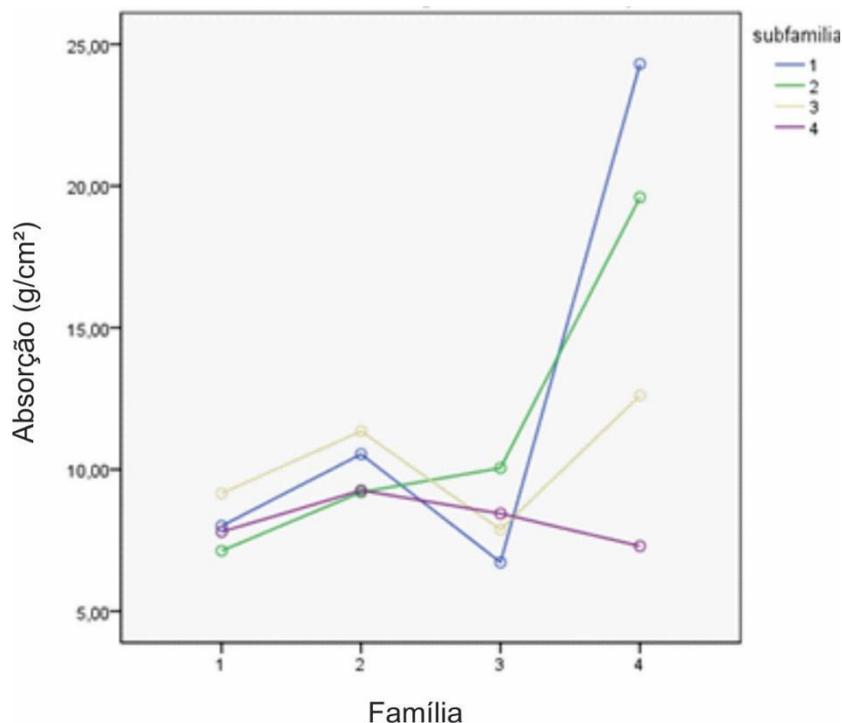


Figura 56 – Análise componentes principais para a variável absorção por capilaridade – traço 1:3.

### 4.3.2 Argamassa de cimento e cal – Traço 1:2:9

A Figura 57 apresenta a absorção de água por capilaridade na idade de 72 horas, para as famílias de argamassa de cimento e cal.

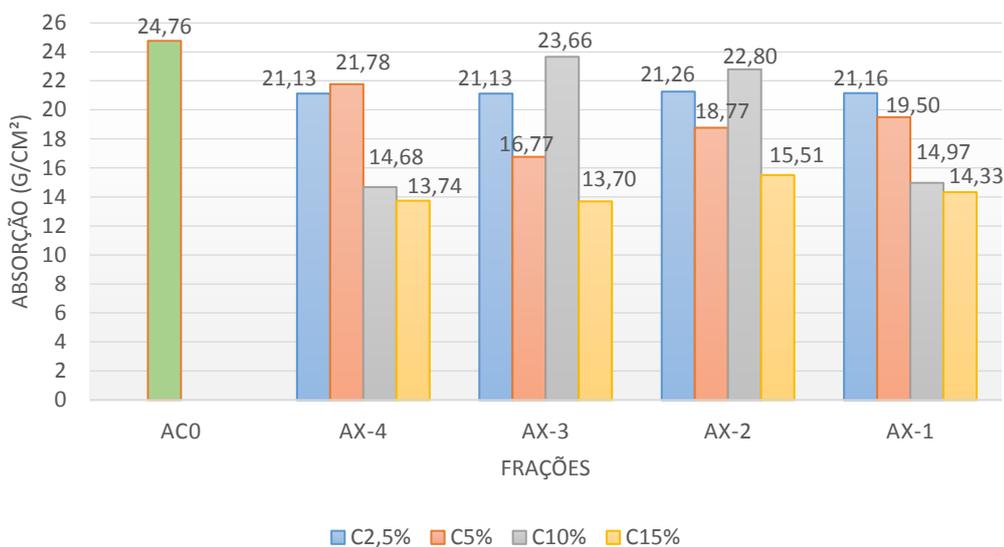


Figura 57 – Resultados ensaio de absorção por capilaridade para traço 1:2:9.

Verifica-se no gráfico, que o melhor (menor absorção) e o pior desempenho (maior absorção) estão em subfamílias com três frações de substituição, sendo a menor absorção da argamassa AC15-3 e a maior absorção da AC10-3. Todas as argamassas com resíduo obtiveram absorção inferior a argamassa referência, se tornando uma vantagem a utilização de resíduos em argamassas de revestimento.

Analisando a família com 2,5% de substituição de resíduo, percebe-se que todas argamassas resultaram em uma absorção muito próxima entre elas, sendo iguais para as substituições de duas e uma fração e iguais entre as subfamílias com quatro e três frações substituídas, onde estas últimas apresentaram o melhor desempenho com uma absorção inferior as demais.

Para família com 5% de substituição, a argamassa com menor absorção foi a AC5-3. Na substituição de 10% de areia por resíduo, a subfamília com melhor desempenho é a AC10-4, e para família com 15% a menor absorção foi da argamassa AC15-3.

#### 4.3.2.1 Análise estatística – Traço 1:2:9

Para a variável dependente absorção por capilaridade, assim como na resistência à compressão axial, ocorreu efeito das variáveis “família” e “subfamília” ( $p < 0,05$  para todas as análises, com nível de significância de 0,05), com um valor de variabilidade dos valores de  $r^2 = 82,1\%$ , mostrado na Tabela 17. Novamente, o teste de Student comprovou os resultados, e por meio do programa Primer obteve-se como subfamílias com melhor comportamento na absorção por capilaridade do traço 1:2:9 a AC15-1, AC15-3 e a AC15-4 (Figura 58). Salienta-se que as famílias 1, 2, 3 e 4 que aparecem no gráfico são as 2,5%, 5%, 10% e 15%, respectivamente

Tabela 17 – Variável dependente Absorção por capilaridade ( $\text{g/cm}^2$ ) para o traço 1:2:9.

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	562,221 <sup>a</sup>	15	37,481	15,339	<b>0,000</b>
Resíduo	16307,601	1	16307,601	6673,586	<b>0,000</b>
Família	304,089	3	101,363	41,481	<b>0,000</b>
Subfamília	32,671	3	10,890	4,457	<b>0,010</b>
Família*Subfamília	225,461	9	25,051	10,252	<b>0,000</b>
Erro	78,195	32	2,444		
Total	16948,018	48			
Total corrigido	640,416	47			

a.ANOVA de duas vias:  $r^2 = 0,821$

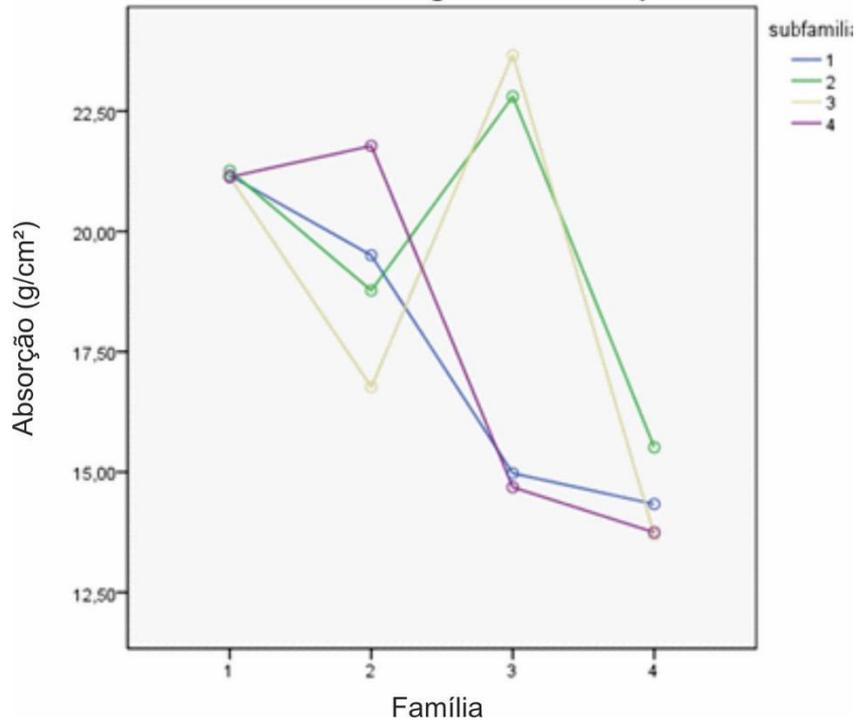


Figura 58 – Análise componentes principais para a variável absorção por capilaridade – traço 1:2:9.

#### 4.3.3 Conclusões do ensaio de absorção por capilaridade

A Figura 59 apresenta os traços com melhores desempenhos e as argamassas referências, tanto para a argamassa de cimento, como para argamassa de cimento e cal.

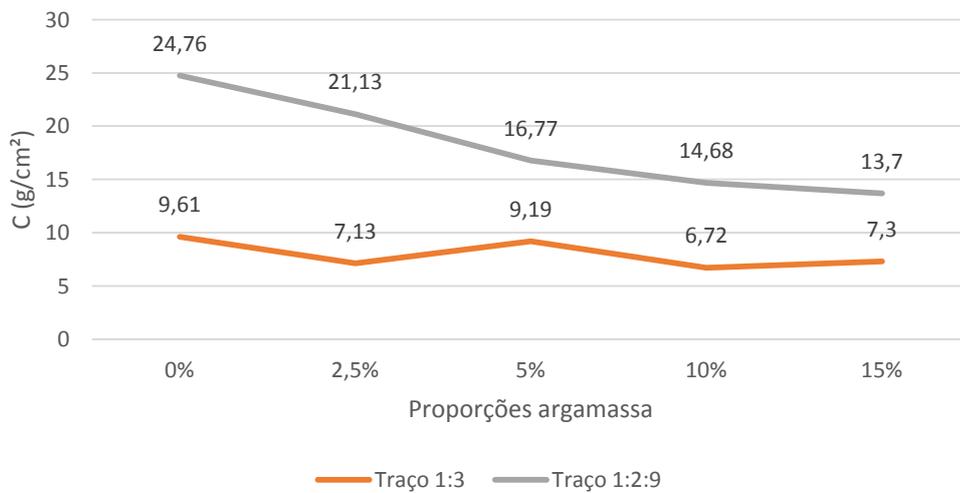


Figura 59 – Traços com melhores desempenhos quanto absorção de água por capilaridade.

Observando a Figura 59, percebe-se que as argamassas com cimento e cal absorvem mais água por capilaridade do que as argamassas só de cimento. Tal comportamento pode ser explicado pela maior capacidade de retenção de água deste tipo de argamassa, pois estas argamassas são hidrófugas, ou seja, possuem maior capacidade de absorver água, mas retém menos água no seu interior após a expulsão da mesma. Pode-se verificar também, que nas argamassas que possuem cal, a absorção diminui conforme aumenta a porcentagem de resíduo de borracha presente no traço, entendendo-se ser devido à menor capacidade da borracha em absorver água. Já para as argamassas de cimento, este comportamento não é constante, sendo que a menor absorção é da família com 10% de substituição, seguida da família A2,5. Entretanto, observa-se uma menor variabilidade destes valores.

Conforme a análise estatística, a subfamília com melhor desempenho para absorção por capilaridade do traço 1:3 é a A2,5-4 e para o traço 1:2:9 os melhores comportamentos são das subfamílias AC15-1, AC15-3 e AC15-4.

#### **4.4 Absorção por imersão e índice de vazios**

Os resultados deste ensaio estão mostrados em gráficos e tabelas a seguir, separados por tipo de argamassa e famílias. Os testes foram realizados nos corpos de prova com 28 dias de idade. Os resultados de todos os ensaios estão mostrados no Apêndice D.

##### *4.4.1 Argamassa de cimento – Traço 1:3*

A Figura 60 apresenta a absorção obtida na argamassa referência e nas argamassas com resíduo.

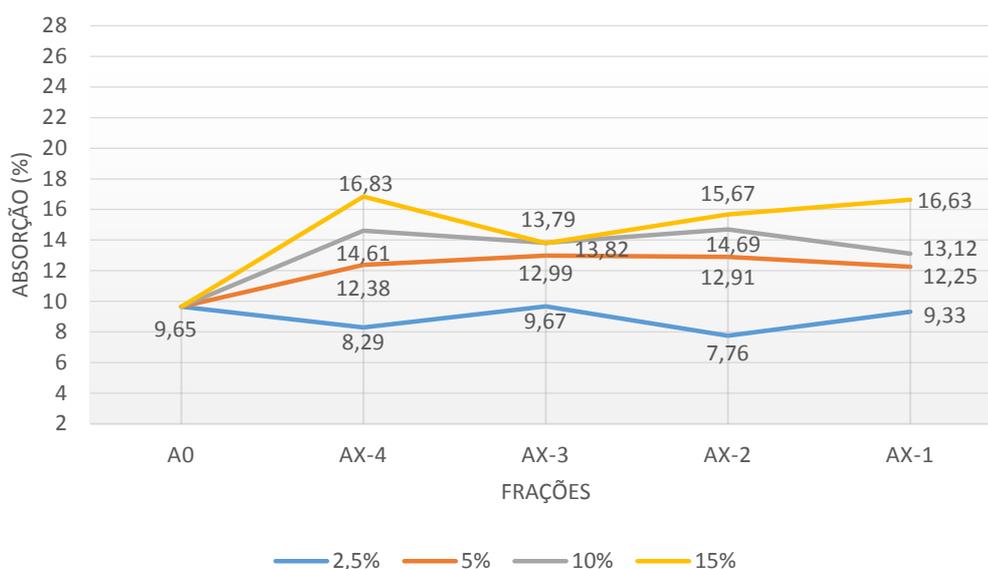


Figura 60 – Absorção por imersão traço 1:3.

Conforme a Figura 60, a única família que obteve absorção inferior a argamassa referência foi a com 2,5% de substituição. As demais famílias obtiveram resultados superiores a argamassa referência, sendo que este acréscimo de absorção foi aumentando com o acréscimo de substituição de areia por resíduo de borracha, onde a família A15 apresentou os resultados com maior absorção. Analisando o melhor desempenho em relação a absorção por imersão, observa-se que o melhor desempenho foi da subfamília A2,5-2 com uma absorção 19,59% menor quando comparada a argamassa referência.

Os valores de índice de vazios demonstraram que a família A2,5 apresentou o melhor desempenho, possuindo o menor índice de vazios para todas as frações de substituição. Tal fato ajuda a explicar os menores valores de absorção por imersão destas argamassas. Ademais, demonstram que o aumento na absorção com o aumento da quantidade de resíduos é devido ao aumento na porosidade das argamassas. Os valores de índice de vazios estão apresentados no Apêndice D.

Em relação às massas específicas, constatou-se que todas argamassas com resíduos apresentaram massa específica inferior a argamassa referência, os valores estão mostrados no Apêndice D. Este fato pode ser explicado devido a borracha possuir uma massa específica inferior à da areia, conforme mostrado nas caracterizações dos materiais. Portanto, por meio do uso de resíduo de borracha na argamassa consegue-se obter um material mais leve, caracterizado de acordo com

sua massa específica em argamassa normal para uso convencional, conforme indicado por Caraseck (2007).

#### 4.4.1.1 Análise estatística – Traço 1:3

A análise estatística mostrou, para a variável dependente absorção por imersão, que ocorreu efeito da variável “família” e na interação entre as variáveis “família” e “subfamília”. Os resultados desta análise estão apresentados na Tabela 18. Entretanto, para a variável “subfamília” não se obteve efeito significativo da mesma sobre os valores médios de absorção, indicado por  $p > 0,05$ . Conforme mostra o  $r^2$ , o modelo explica 95,6% da variabilidade dos valores de absorção por imersão.

Tabela 18 – Variável dependente Absorção por imersão (%) para o traço 1:3.

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	348,942 <sup>a</sup>	15	23,263	69,083	<b>0,000</b>
Resíduo	7861,248	1	7861,248	23345,331	<b>0,000</b>
Família	318,326	3	106,109	315,108	<b>0,000</b>
Subfamília	1,322	3	0,441	1,308	<b>0,289</b>
Família*Subfamília	29,294	9	3,255	9,666	<b>0,000</b>
Erro	10,776	32	0,337		
Total	8220,966	48			
Total corrigido	359,718	47			

a.ANOVA de duas vias:  $r^2 = 0,956$

Após estas análises, o programa Primer, por meio da Análise de Componentes Principais, indicou um resultado de argamassa com melhor desempenho em relação a absorção por imersão do traço 1:3. Para esta variável todas as subfamílias com 2,5% de substituição obtiveram os melhores comportamentos, conforme pode ser visto na Figura 61. Salienta-se que as famílias 1, 2, 3 e 4 que aparecem no gráfico são as 2,5%, 5%, 10% e 15%, respectivamente.

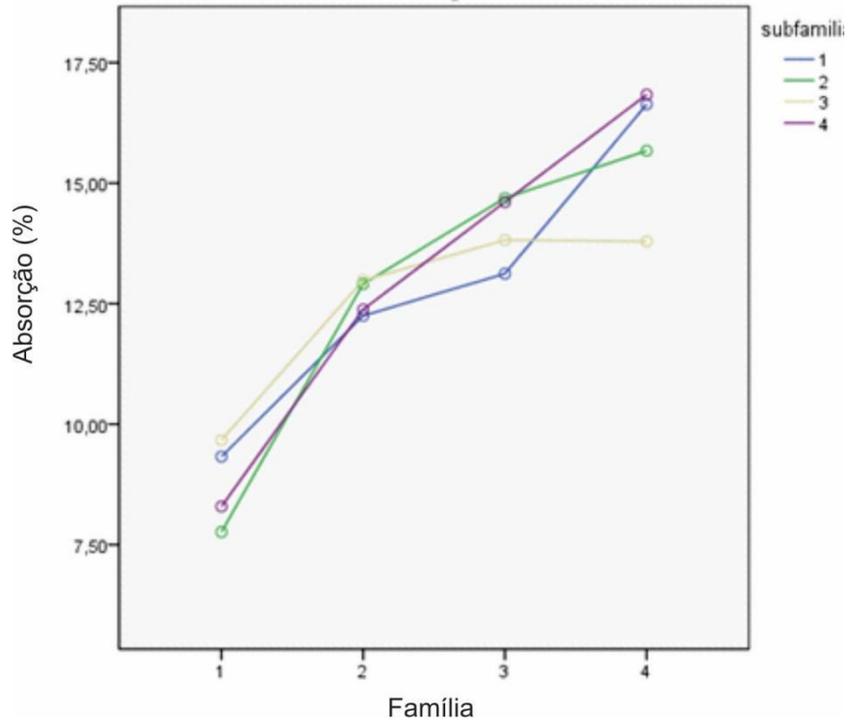


Figura 61 – Análise componentes principais para a variável absorção por imersão – traço 1:3.

#### 4.4.2 Argamassa de cimento e cal – Traço 1:2:9

A Figura 62 apresenta a absorção obtida na argamassa referência e nas argamassas compostas com resíduo.

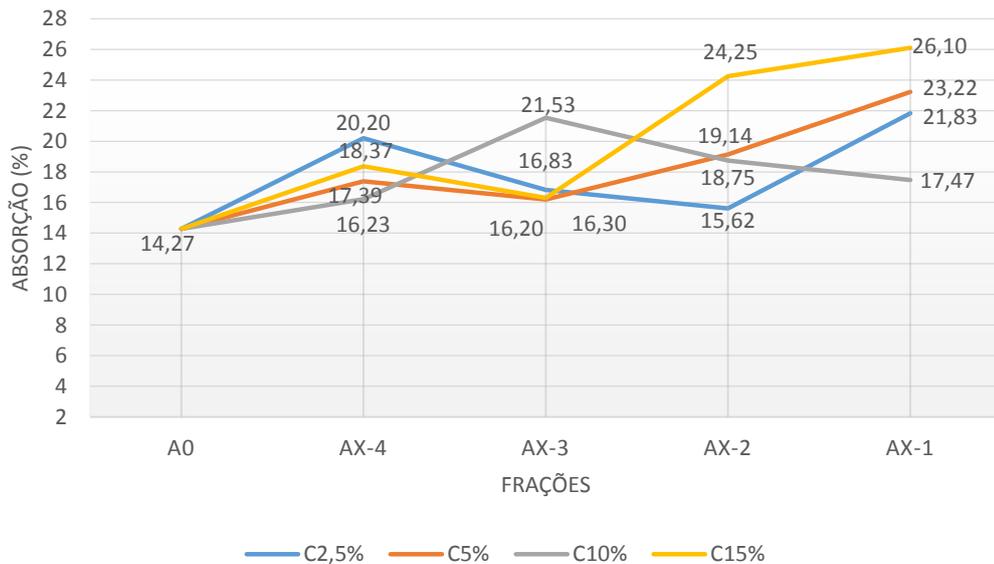


Figura 62 – Absorção por imersão traço 1:2:9.

Analisando a Figura 62, todas as argamassas contendo resíduo de borracha obtiveram absorção superior a argamassa referência, sendo que não houve uma continuidade no acréscimo de absorção, conforme ocorreu o aumento de substituição de areia por resíduo de borracha. O traço com incorporação de resíduo que obteve melhor desempenho foi o AC2,5-2.

Os valores de índice de vazios estão apresentados no Apêndice D, sendo que, assim como na absorção, não ocorreu uma continuidade no acréscimo de índice de vazios com o acréscimo de incorporação de resíduo, sendo que o traço com menor índice de vazios foi o AC15-3 e com maior índice de vazios foi o AC15-1.

Os valores de massas específicas mostraram que todas as argamassas com resíduos apresentaram massa específica inferior a argamassa referência, sendo que os valores estão mostrados no Apêndice D. Este fato pode ser explicado devido à borracha possuir uma massa específica inferior à da areia, conforme mostrado nas caracterizações dos materiais.

#### 4.4.2.1 Análise estatística – Traço 1:2:9

A variável dependente absorção por imersão foi analisada estatisticamente, onde os resultados apresentados na Tabela 19 mostram que ocorreu efeito das variáveis “família” e “subfamília”, e que ocorreu interação significativa entre estas variáveis independentes ( $p < 0,05$  para todas as análises, com nível de significância de 0,05). Conforme mostra o  $r^2$ , o modelo explica 72,9% da variabilidade dos valores de absorção.

Tabela 19 – Variável dependente Absorção por imersão (%) para o traço 1:2:9.

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	462,725 <sup>a</sup>	15	30,848	9,434	<b>0,000</b>
Resíduo	17948,681	1	17948,681	5488,862	<b>0,000</b>
Família	60,261	3	20,087	6,143	<b>0,002</b>
Subfamília	147,043	3	49,014	14,989	<b>0,000</b>
Família*Subfamília	255,421	9	28,380	8,679	<b>0,000</b>
Erro	104,641	32	3,270		
Total	18516,046	48			
Total corrigido	567,366	47			

a.ANOVA de duas vias:  $r^2 = 0,729$

Após estas análises, o programa Primer, por meio da Análise de Componentes Principais, verificou os melhores desempenhos nas famílias com 2,5%, 5% e 10% de substituição, associadas às subfamílias 2, 3 e 4, em relação a absorção por imersão do traço 1:2:9 (Figura 63). Salienta-se que a as famílias 1, 2, 3 e 4 que aparecem no gráfico são as 2,5%, 5%, 10% e 15%, respectivamente.

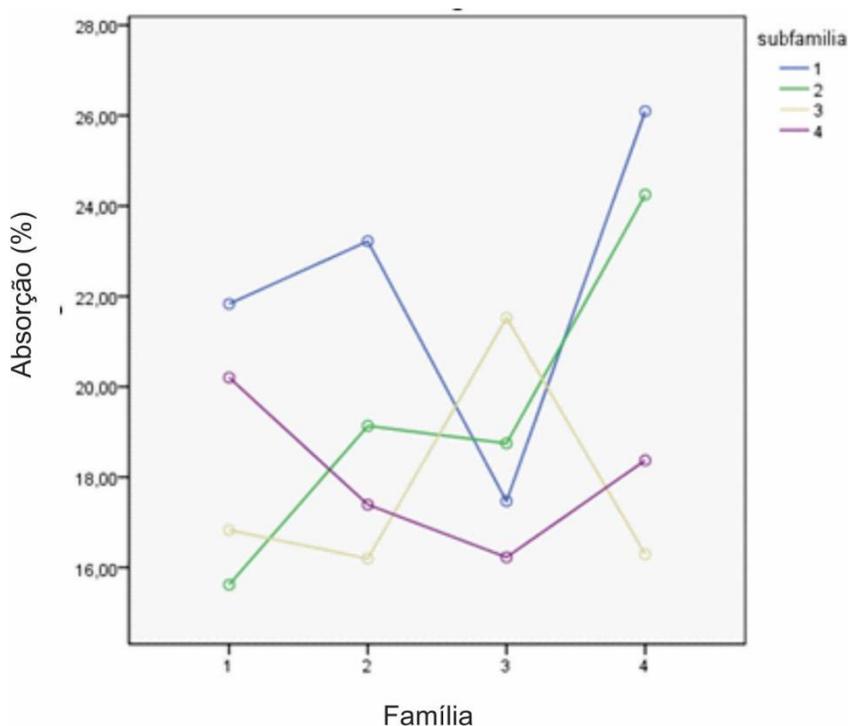


Figura 63 – Análise componentes principais para a variável absorção por imersão – traço 1:2:9.

#### 4.5 Resumo dos resultados da primeira etapa

A Tabela 20 mostra um resumo das subfamílias com melhores desempenhos, de acordo com a análise estatística para o traço 1:3. Assim, indica-se que a argamassa que possui um padrão de melhor comportamento é a subfamília A2,5-4.

Tabela 20 – Resumo dos melhores desempenhos do traço 1:3.

Propriedade	Família	Subfamília
Compressão axial	2,5	4
Tração por compressão diametral	2,5	2, 3 ou 4
Absorção por capilaridade	2,5	4
Absorção por imersão	2,5	1, 2, 3 ou 4

Para o traço 1:2:9, a Tabela 21 apresenta um resumo das subfamílias com melhores desempenhos, de acordo com a análise estatística. Indica-se, por estas análises, que a argamassa que possui um padrão de melhor comportamento é a subfamília AC10-3.

Tabela 21 - Resumo dos melhores desempenhos do traço 1:2:9.

<b>Propriedade</b>	<b>Família</b>	<b>Subfamília</b>
Compressão axial	10	3 ou 4
Tração por compressão diametral	10	2, 3 ou 4
Absorção por capilaridade	15	1, 3 ou 4
Absorção por imersão	2,5, 5 ou 10	1, 2 ou 3

## 5 Resultados e Discussões da Segunda Etapa

Este capítulo contém os resultados e discussões da segunda etapa deste estudo, através dos ensaios em corpos de prova de argamassa e nos protótipos com revestimento argamassado. Os resultados foram subdivididos por tipo de ensaio.

Os ensaios executados foram: resistência à tração na flexão (corpo de prova) e nos protótipos: avaliação do surgimento de manifestações patológicas, absorção pelo método cachimbo e ensaio de aderência à tração.

A análise estatística desta segunda etapa utilizou uma análise de variância (ANOVA), considerando como variáveis independentes as argamassas (A0, A2,5-4, AC0 e AC10-3) e as faces das posições solares (norte e sul), e como variáveis dependentes a resistência à tração na flexão, permeabilidade e resistência de aderência à tração.

### 5.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão estão mostrados na Figura 64, sendo que está apresentada a média da resistência de três corpos-de-prova. Todos os resultados estão no Apêndice E.

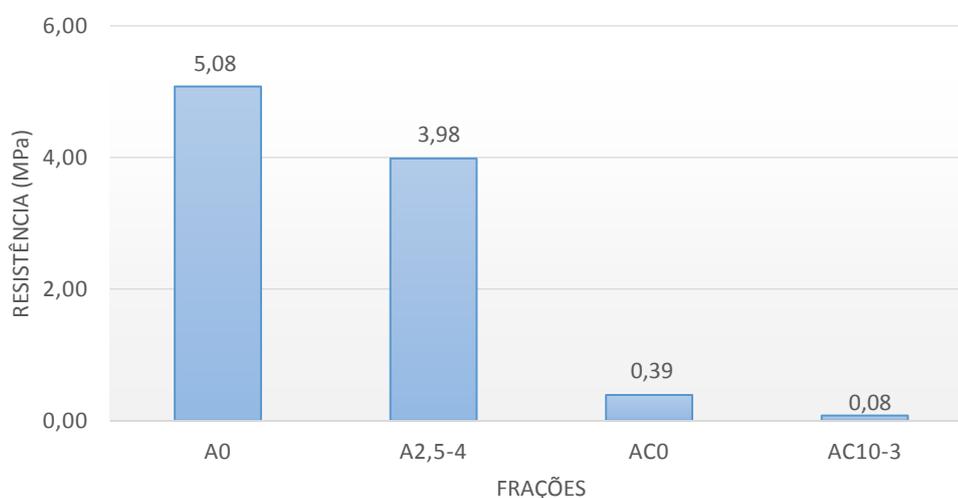


Figura 64 – Resultados ensaio de resistência à tração na flexão.

Observa-se na Figura 64, que as argamassas referências apresentaram valores de resistências superiores às argamassas com utilização de resíduo de borracha referentes ao mesmo traço. Sendo que o traço 1:3 apresentou resultados de resistência à tração na flexão maiores que o traço 1:2:9. Esse comportamento pode ser relacionado aos resultados obtidos na resistência à compressão da etapa anterior, mostrando coerência entre os mesmos, que demonstraram que as argamassas de cimento possuíram desempenho superior às argamassas de cimento e cal.

A relação de porcentagem de decréscimo ocorrida entre as argamassas do traço 1:3, A0 e a A2,5-4, foi de 21,65%, e o decréscimo entre o traço 1:2:9, AC0 e AC10-3, foi uma taxa de 79,49%.

Se comparados os valores obtidos pelas duas argamassas referências, A0 e AC0, observa-se que a argamassa do traço 1:2:9 (AC0) possuiu um decréscimo de 92,32% em relação a A0. Da mesma maneira, comparando-se as duas argamassas que possuem utilização de resíduo de borracha, A2,5-4 e AC10-3, ocorreu um decréscimo de 97,99% da argamassa do traço 1:2:9 (AC10-3) em relação a do traço 1:3 (A2,5-4).

Esta diminuição de resistência à tração na flexão seguiu o encontrado pelos seguintes autores: Ferreira (2009), Uygunoğlu e Topçu (2010), Canova et al. (2012), Pedro et al. (2012), Boukour e Benmalek (2016), Abd. Aziz et al. (2017). Ademais, as pesquisas também demonstraram queda nos valores de resistência das argamassas com utilização de resíduo de borracha de pneu.

### *5.1.1 Análise estatística – Resistência à tração na flexão*

Para a variável dependente resistência à tração na flexão foi realizada uma ANOVA de uma via, pois foi considerado apenas o tipo de argamassa como variável independente, já que neste ensaio os elementos não foram expostos às condições solares, apenas o desempenho mecânico foi analisado.

A análise demonstrou que houve um efeito significativo dos diferentes traços de argamassa nos valores médios da resistência à tração na flexão, e interação no grupo ( $p < 0,001$  para todas as análises, com nível de significância de 0,05). Os resultados da análise ANOVA estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Variável dependente Resistência à tração na flexão (MPa).

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Entre grupos	57,378	3	19,126	178,972	<b>0,000</b>
Dentro dos grupos	0,855	8	0,107		
Total	58,233	11			

Após realizar os tratamentos por meio do teste F (ANOVA de uma via), efetuou-se um teste de comparações múltiplas, o teste de Tukey. Observou-se que não há diferença significativa nas médias de resistências da argamassa AC0 com a argamassa AC10-3, ou seja, estatisticamente, para avaliação de resistência à tração, não há diferença entre argamassas ao fazer-se a substituição de parte do agregado para um traço com cal. Ademais, a hipótese de resistências médias iguais para os outros tipos de argamassas pôde ser rejeitada. Os resultados estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Variável dependente Resistência à tração na flexão (MPa) - Teste de Tukey.

Argamassa	Argamassa	Diferença de média	Desvio padrão	Sig.
A0	A2,5-4	1,09667*	0,26692	<b>0,014</b>
	AC0	4,69000*	0,26692	<b>0,000</b>
	AC10-3	5,00333*	0,26692	<b>0,000</b>
A2,5-4	A0	-1,09667*	0,26692	<b>0,014</b>
	AC0	3,59333*	0,26692	<b>0,000</b>
	AC10-3	3,90667*	0,26692	<b>0,000</b>
AC0	A0	-4,69000*	0,26692	<b>0,000</b>
	A2,5-4	-3,59333*	0,26692	<b>0,000</b>
	AC10-3	0,31333	0,26692	<b>0,658</b>
AC10-3	A0	-5,00333*	0,26692	<b>0,000</b>
	A2,5-4	-3,90667*	0,26692	<b>0,000</b>
	AC0	-0,31333	0,26692	<b>0,658</b>

## 5.2 Avaliação do surgimento de manifestações patológicas

Por meio do monitoramento visual e fotográfico, com 280 dias de exposição, as argamassas com resíduo de borracha não apresentaram diferença de comportamento para as argamassas de referência, ou seja, não influenciaram no comportamento do revestimento argamassado, conforme mostra a Tabela 24. Todas

as fotos, de todos os protótipos e de todas as faces, estão apresentadas no Apêndice F.

Tabela 24 – Protótipos de alvenaria com revestimento argamassado com idade de 280 dias.

Fachada	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
Norte				
Sul				

Com estes resultados, de acordo com esta exposição solar e com este tempo de monitoramento, os quatro tipos de reboco se comportam de maneira satisfatória, sendo que a utilização de resíduo de borracha no revestimento argamassado não alterou seu desempenho. Vale ressaltar que este resultado sugere que o uso do resíduo da borracha em argamassa, além de retirar o produto do meio ambiente, não acelera o aparecimento de manifestações patológicas em revestimentos argamassados, para a cidade de Pelotas/RS.

Um fator que pôde ser observado foi que as argamassas de cimento e cal se mantiveram úmidas por mais tempo quando expostas à água, quando comparadas com as argamassas só de cimento. A Tabela 25 mostra a diferença de comportamento entre os rebocos após um dia de chuva.

Tabela 25 – Protótipos de alvenaria no dia 217, onde havia ocorrido chuva no dia 216.

Fachada	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
Norte				
Sul				

Na Tabela 25 percebe-se que as argamassas de cimento (A0 e A2,5-4) já estavam visualmente secas no dia posterior a chuva, enquanto que as argamassas de cimento e cal (AC0 e AC10-3) continuavam úmidas. Após um determinado período, ocorreu a completa evaporação da água infiltrada da chuva e os mesmos voltaram a ficar secos e sem nenhuma mudança visual. A diferença ocorreu entre os tipos de argamassas, porém entre as argamassas do mesmo traço não se observou diferenças visuais. Tanto a argamassa sem resíduo como a argamassa que possui substituição parcial de areia por resíduo de borracha de pneu se comportaram de maneira visualmente iguais.

Com intuito da observação de fissuras não visíveis a olho nu, se borrifou água nas duas faces de todos os protótipos, na intenção da água “marcar” possíveis fissuras existentes, porém que ainda não fossem visíveis a olho nu. A Tabela 26 apresenta estes resultados.

Tabela 26 – Protótipos de alvenaria com molhagem superficial para visualização de fissuras não visíveis a olho nu.

Fachada	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
Norte				
Sul				

Analisando-se a Tabela 26, pode-se averiguar que visualmente as argamassas com cimento e cal (AC0 e AC10-3) apresentam maior número de fissuras mapeadas que as argamassas só de cimento (A0 e A2,5-4). Percebe-se, ainda, que entre as duas argamassas do traço 1:2:9 a argamassa com utilização de resíduo de borracha (AC10-3) apresentou fissuras mais próximas e em menor quantidade, sendo uma vantagem no uso da borracha. Entre as argamassas do traço 1:3, para o lado norte a argamassa referência (A0) obteve, visualmente, menor quantidade de fissuras que a A2,5-4. Porém, para a posição solar sul, a argamassa que contém resíduo de borracha (A2,5-4) apresentou menos fissuras que a A0.

### 5.3 Absorção pelo método cachimbo

Os resultados obtidos no ensaio de absorção pelo método cachimbo estão mostrados em gráficos separados por protótipo, sendo que é apresentada a média da absorção dos três pontos ensaiados. Os valores de medição de todos os pontos estão mostrados no Apêndice G.

A Figura 65 apresenta a evolução da permeabilidade do revestimento das argamassas do traço 1:3, famílias A0 e A2,5-4, obtidas com o ensaio do método cachimbo.

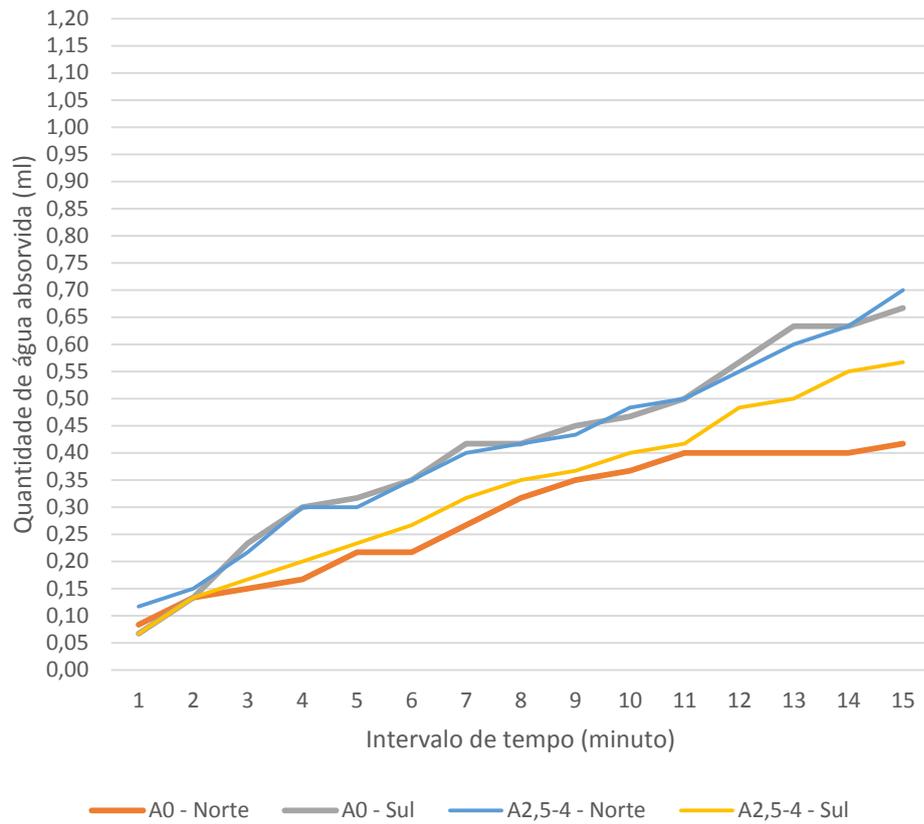


Figura 65 – Evolução da permeabilidade argamassas do traço 1:3, A0 e A2,5-4.

Fazendo-se uma análise do resultado da argamassa A0, percebe-se que na face sul ocorreu maior absorção de água em relação à face norte, em uma taxa de 37,31% ao final dos quinze minutos. Já para argamassa A2,5-4 a face que mais absorveu água foi o lado Norte, em uma porcentagem de 18,57% ao final dos quinze minutos. Ao comparar-se as duas argamassas do traço 1:3, A0 e A2,5-4, percebe-se que a argamassa com utilização de resíduo absorveu mais água que a argamassa referência. Ao observar-se as faces que mais absorveram água, verifica-se que a A,2,5-4 absorveu 4,29% a mais que a A0.

A Figura 66 apresenta a evolução da permeabilidade do revestimento das argamassas do traço 1:2:9, famílias AC0 e AC10-3, obtidas com o ensaio do método cachimbo.

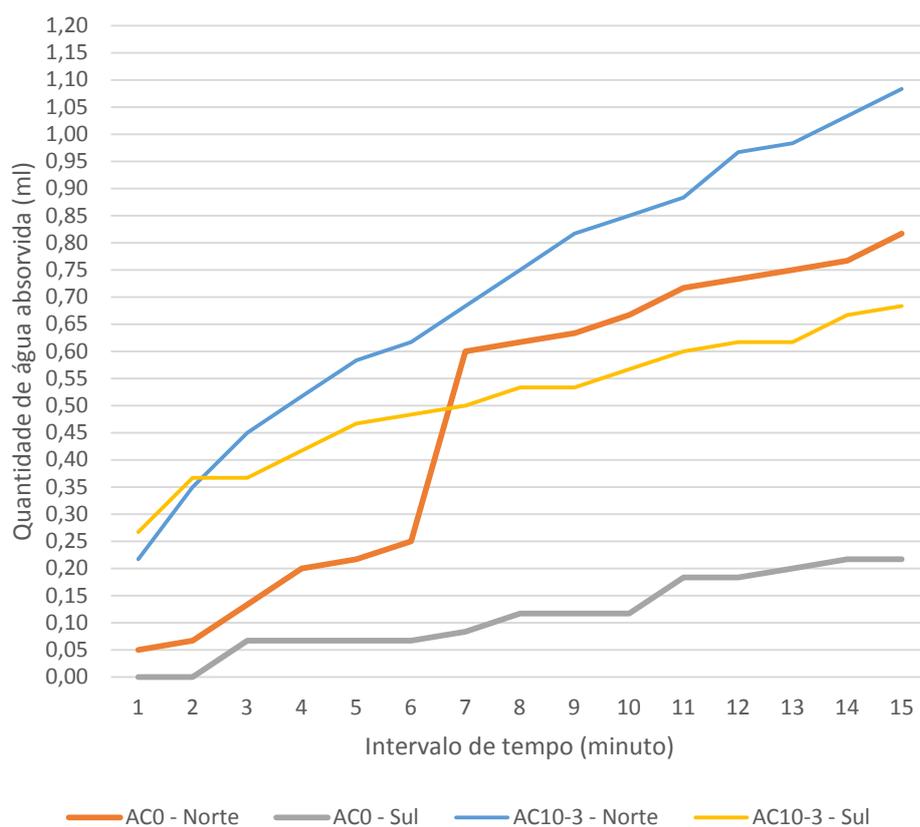


Figura 66 – Evolução da permeabilidade argamassas do traço 1:2:9, AC0 e AC10-3.

Para a argamassa AC0, se verifica que a face que mais absorveu água foi o norte, com uma taxa de 73,17% ao final dos quinze minutos. Verificando a argamassa AC10-3 se pode constatar que a face que mais absorveu água foi o norte, em uma porcentagem de 37,04% ao final dos quinze minutos. Comparando-se as argamassas, pode-se averiguar que a argamassa com utilização de resíduo de borracha absorveu mais água que a argamassa referência. Analisando a face norte, posicionamento solar que mais absorveu água de ambas as argamassas, observa-se que a AC10-3 absorveu 24,07% a mais que a AC0.

A Figura 67 apresenta a absorção de cada argamassa ao final dos quinze minutos de monitoramento. Analisando-se a figura, percebe-se que as argamassas com cimento e cal (traço 1:2:9) absorveram maior quantidade de água do que as argamassas só de cimento (traço 1:3), com exceção da face sul da argamassa AC0, que foi o local com menor absorção de água.

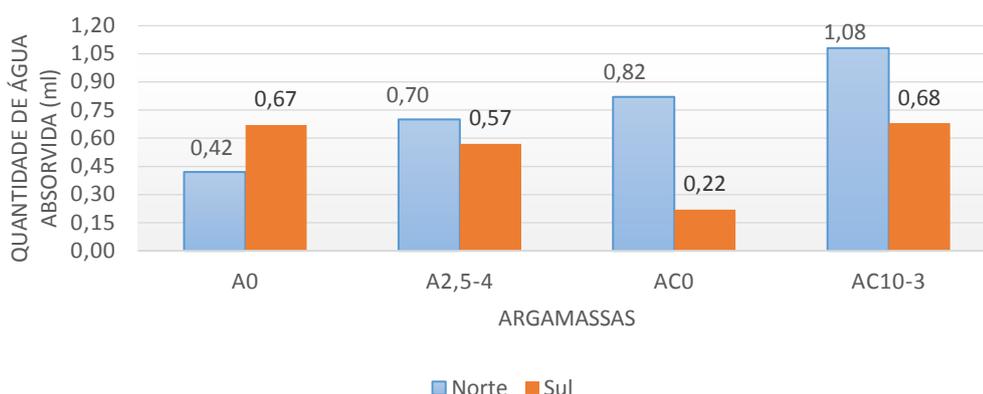


Figura 67 – Permeabilidade das argamassas ao final dos quinze minutos.

Ao compararmos os resultados obtidos neste ensaio com o trabalho de Massolla et al. (2012), onde os autores utilizaram argamassa com traço 1:7 e substituição nas proporções de 10%, 15% e 20%, observa-se que as argamassas com resíduo estudadas neste trabalho apresentaram absorções inferiores às apresentadas pelos autores, que obtiveram absorções no entorno de 2,5ml para as três argamassas com resíduo.

Vale, neste momento, a discussão do motivo que leva a esta diferença de resultados. Considerando que a face norte recebe uma maior insolação, a mesma está submetida um processo mais intenso de molhagem/secagem causado pelas intempéries quando comparada com a face sul, que, por ter menor incidência solar, possui um material úmido por mais tempo. Desta maneira, é possível concluir que, sendo Pelotas/RS uma cidade que possui uma alta umidade relativa, a face sul possui um material que é mais úmido, conseqüentemente, absorvendo menor quantidade de água durante o ensaio, por saturar em menor tempo em relação à face norte.

### 5.3.1 Análise estatística – Absorção pelo método cachimbo

Para variável dependente permeabilidade, a ANOVA de uma via demonstrou que houve efeito significativo das variáveis “argamassas” e “faces” na permeabilidade e na interação entre estas variáveis independentes, ou seja, todas as argamassas são diferentes e as posições a que elas foram expostas também promovem resultados diferentes ( $p < 0,05$  para todas as análises, com nível de significância de 0,05). Os resultados da análise ANOVA estão apresentados na

Tabela 27. O  $r^2$  indica que o modelo explica 48,4% da variabilidade dos valores de permeabilidade, o que demonstra que o experimento possui uma grande variabilidade nos resultados, como já foi visualizado anteriormente na análise de média simples.

Tabela 27 – Variável dependente Permeabilidade (ml).

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	1,405 <sup>a</sup>	7	0,201	4,082	<b>0,009</b>
Resíduo	270,346	1	270,346	5498,561	<b>0,000</b>
Argamassa*Face	0,608	3	0,203	4,121	<b>0,024</b>
Argamassa	0,504	3	0,168	3,420	<b>0,043</b>
Face	0,293	1	0,293	5,951	<b>0,027</b>
Erro	0,787	16	0,049		
Total	272,538	24			
Total corrigido	2,192	23			

a.ANOVA de duas vias:  $r^2 = 0,484$

Por meio do teste de variância ANOVA percebeu-se que existe diferença significativa somente entre as argamassas A0 e AC10-3 e entre as argamassas AC0 e AC10-3. Para as demais argamassas não ocorreu uma diferença significativa. Os resultados estão apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Variável dependente Permeabilidade (ml) - ANOVA.

Argamassa	Argamassa	Diferença de média	Desvio padrão	Sig.
A0	A2,5-4	0,092	0,128	<b>0,484</b>
	AC0	-0,025	0,128	<b>0,848</b>
	AC10-3	0,342 <sup>*</sup>	0,128	<b>0,017</b>
A2,5-4	A0	-0,092	0,128	<b>0,484</b>
	AC0	-0,117	0,128	<b>0,376</b>
	AC10-3	0,250	0,128	<b>0,069</b>
AC0	A0	0,025	0,128	<b>0,848</b>
	A2,5-4	0,117	0,128	<b>0,376</b>
	AC10-3	0,367 <sup>*</sup>	0,128	<b>0,011</b>
AC10-3	A0	-0,342 <sup>*</sup>	0,128	<b>0,017</b>
	A2,5-4	-0,250	0,128	<b>0,069</b>
	AC0	-0,367 <sup>*</sup>	0,128	<b>0,011</b>

A ANOVA demonstrou que há diferença significativa entre as faces norte e sul (Tabela 29), mostrando que a orientação solar influenciou a permeabilidade. O que já era esperado, visto que são faces que recebem insolações diferentes e assim possuem umidades distintas.

Tabela 29 – Variável dependente Permeabilidade (ml) – Interação entre as faces.

Face	Face	Diferença de média	Desvio padrão	Sig.
Norte	Sul	-0,221 <sup>*</sup>	0,091	<b>0,027</b>
Sul	Norte	0,221 <sup>*</sup>	0,091	<b>0,027</b>

Ao realizar-se o teste de comparações múltiplas – Teste de Tukey – (Tabela 30) conclui-se o mesmo que no teste ANOVA, onde somente na interação entre as argamassas AC0 e AC10-3 há diferença significativa. Entre as demais argamassas não ocorreu uma diferença significativa, sendo considerados materiais iguais estatisticamente.

Tabela 30 – Variável dependente Permeabilidade - Teste de Tukey.

Argamassa	Argamassa	Diferença de média	Desvio padrão	Sig.
A0	A2,5-4	0,0917	0,12802	<b>0,889</b>
	AC0	-0,0250	0,12802	<b>0,997</b>
	AC10-3	0,3417	0,12802	<b>0,072</b>
A2,5-4	A0	-0,0917	0,12802	<b>0,889</b>
	AC0	-0,1167	0,12802	<b>0,799</b>
	AC10-3	0,2500	0,12802	<b>0,246</b>
AC0	A0	0,0250	0,12802	<b>0,997</b>
	A2,5-4	0,1167	0,12802	<b>0,799</b>
	AC10-3	0,3667 <sup>*</sup>	0,12802	<b>0,050</b>
AC10-3	A0	-0,3417	0,12802	<b>0,072</b>
	A2,5-4	-0,2500	0,12802	<b>0,246</b>
	AC0	-0,3667 <sup>*</sup>	0,12802	<b>0,050</b>

#### 5.4 Resistência de aderência à tração

Os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração estão na Figura 68, sendo que é apresentada a média dos valores obtidos para as amostras ensaiadas. Os valores de todos os rompimentos estão mostrados no Apêndice H.

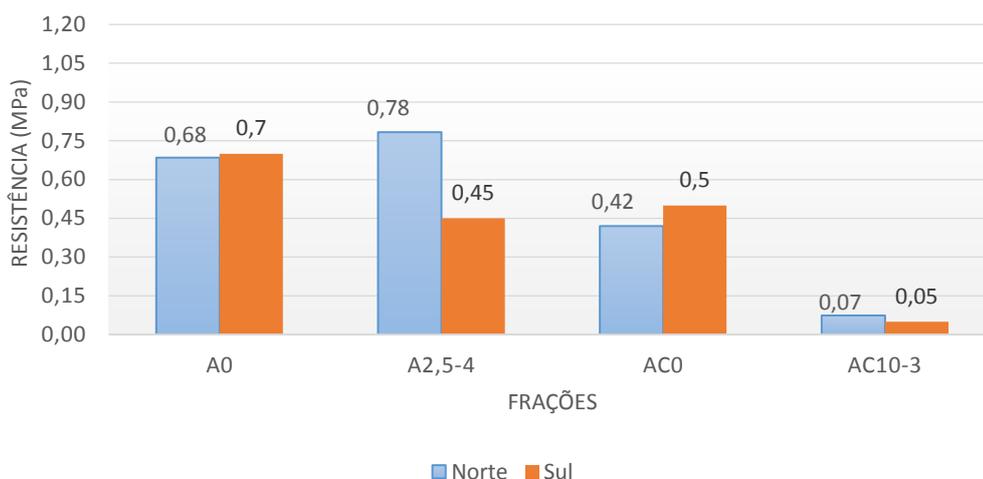


Figura 68 – Resistência de aderência à tração das argamassas.

Ao fazer-se uma análise dos valores, percebe-se que a maior resistência foi na argamassa A2,5-4 na face voltada para o norte, argamassa do traço 1:3 com utilização de resíduo de borracha de pneu. Também, observa-se que a menor resistência foi no traço 1:2:9, na argamassa que contém resíduo de borracha, a AC10-3.

Entende-se a resistência ser superior no traço 1:3, face norte, entre a argamassa referência e a com resíduo, pelo efeito de teia que o próprio resíduo produz, aumentando, dessa maneira, a aderência da matriz cimentícia. Porém, existe um limite deste efeito do resíduo, que pode ser comprovado nos resultados do traço AC10-3, com 10% de substituição em 3 partes, transformando as características da matriz cimentícia pelo elevado consumo de resíduo.

Ao se averiguar os limites de resistência de aderência à tração da NBR 13749 (ABNT, 2013), constata-se que somente a argamassa AC10-3 não se enquadra dentro dos limites especificados. As demais argamassas analisadas, A0, A2,5-4 e AC0 podem ser utilizadas tanto como revestimento interno quanto como revestimento externo, pois apresentaram resistência superior ao mínimo (resistência  $\geq 0,20\text{MPa}$ ) requisitado pela norma.

O tipo de ruptura das argamassas foi classificado conforme o exposto pela norma NBR 13749 (ABNT, 2013). As rupturas ocorridas em todas as amostras estão apresentadas no Apêndice H. Observou-se, neste estudo, que o tipo de ruptura mais ocorrente foi o tipo E, ou seja, quando ocorre ruptura na argamassa, estando presente em 66,67% das amostras. A Figura 69 mostra a ruptura do tipo E. A

segunda maior proeminência de ruptura foi do tipo F, quando a ruptura ocorre na interface argamassa/cola (Figura 70), com 25,93%. Ademais, 7,40% das rupturas foram classificadas como mistas do tipo A - ruptura no substrato -, com parte de ruptura tipo E, na argamassa (Figura 71).



Figura 69 – Ruptura tipo E; (a) Amostra com ruptura tipo E; (b) Local onde ocorreu a ruptura tipo E.

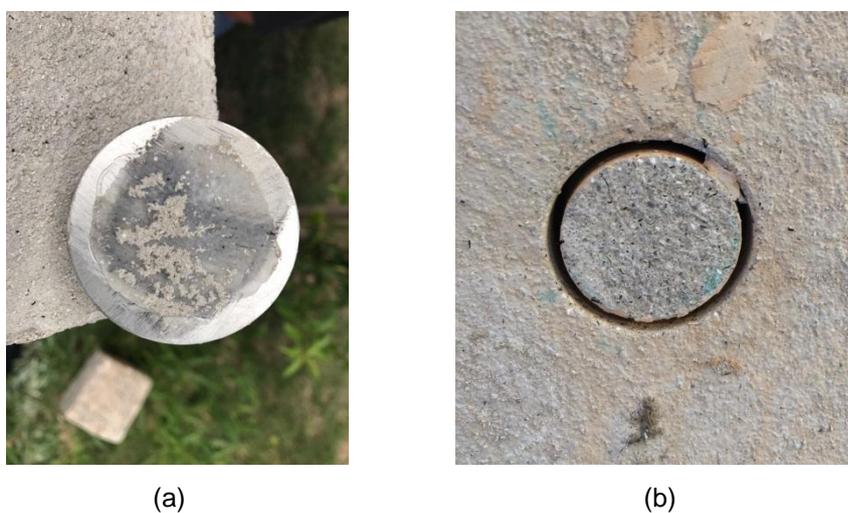


Figura 70 – Ruptura tipo F; (a) Amostra com ruptura tipo F; (b) Local onde ocorreu a ruptura tipo F.

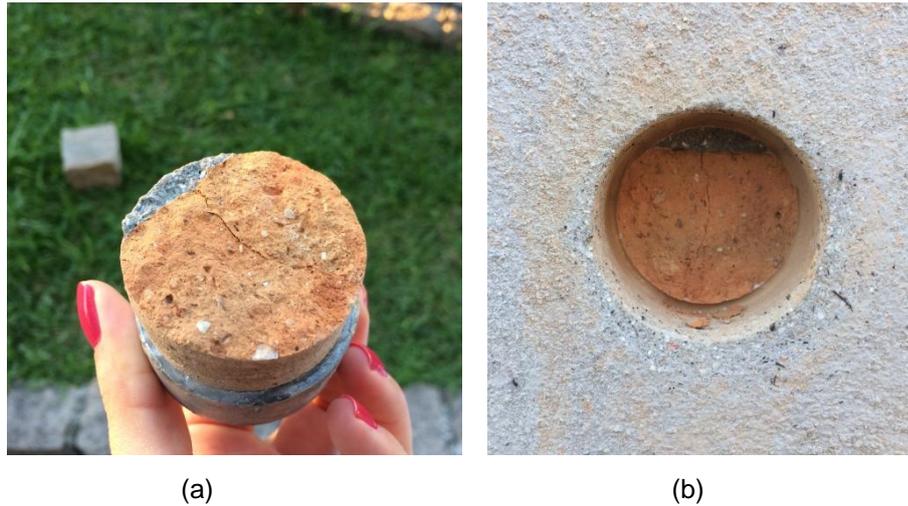


Figura 71 – Ruptura tipo A com parcela E; (a) Amostra com ruptura tipo A e parcela E; (b) Local onde ocorreu a ruptura tipo A com parcela E.

Uma visão geral de todas as rupturas está na Figura 72, que mostra todas as porções extraídas dos protótipos.

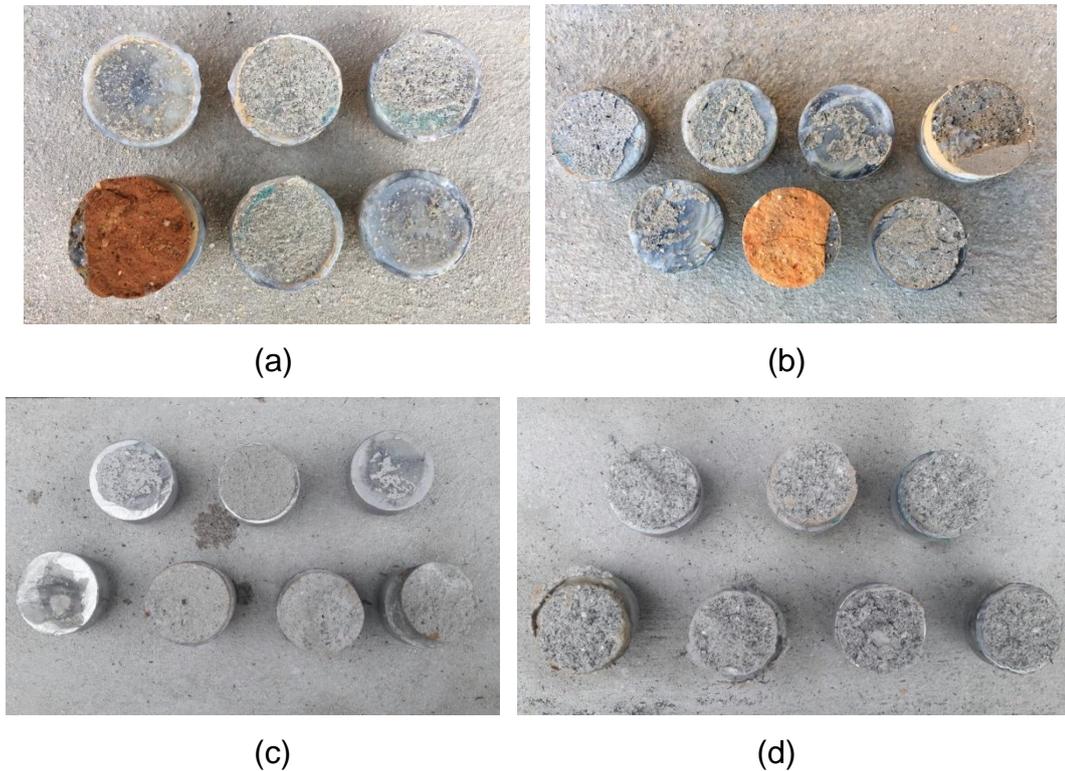


Figura 72 – Amostras ensaio de resistência de aderência à tração; (a) Amostras protótipo argamassa A0; (b) Amostras protótipo argamassa A2,5-4; (c) Amostras protótipo argamassa AC0; (d) Amostras protótipo argamassa AC10-3.

#### 5.4.1 Análise estatística – Resistência de aderência à tração

Para variável dependente resistência de aderência à tração, a ANOVA de uma via demonstrou que houve diferença significativa de resistência média de aderência quando relacionado ao tipo de argamassa, indicado por  $p < 0,05$ . Por outro lado, não houve efeito significativo da posição solar no que diz respeito a resistência de aderência à tração ( $p > 0,05$ ). Ademais, constatou-se também, que não há interação entre as variáveis independentes, pois  $p > 0,05$ . Os resultados da análise ANOVA estão apresentados na Tabela 31. O  $r^2$  indica que o modelo explica 44,9% da variabilidade dos valores de resistência de aderência à tração.

Tabela 31 – Variável dependente resistência de aderência à tração (MPa).

Fonte	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F calculado	p
Modelo corrigido	1,606 <sup>a</sup>	7	0,229	3,682	<b>0,015</b>
Resíduo	5,359	1	5,359	85,996	<b>0,000</b>
Argamassa*Face	0,088	3	0,029	0,469	<b>0,708</b>
Argamassa	1,485	3	0,495	7,945	<b>0,002</b>
Face	0,033	1	0,033	0,532	<b>0,476</b>
Erro	0,997	16	0,062		
Total	7,962	24			
Total corrigido	2,603	23			

a.ANOVA de duas vias:  $r^2 = 0,449$

Por meio do teste de variância ANOVA percebeu-se que existe uma diferença significativa somente entre as argamassas A0 e AC10-3, entre as argamassas A2,5-4 e AC10-3 e entre as argamassas AC0 e AC10-3. Para as demais argamassas não ocorreu uma diferença significativa. Os resultados estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – Variável dependente resistência de aderência à tração (MPa) - ANOVA.

<b>Argamassa</b>	<b>Argamassa</b>	<b>Diferença de média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Sig.</b>
A0	A2,5-4	0,048	0,144	<b>0,742</b>
	AC0	0,200	0,144	<b>0,184</b>
	AC10-3	0,631 <sup>*</sup>	0,144	<b>0,000</b>
A2,5-4	A0	-0,048	0,144	<b>0,742</b>
	AC0	0,152	0,144	<b>0,308</b>
	AC10-3	0,583 <sup>*</sup>	0,144	<b>0,001</b>
AC0	A0	-0,200	0,144	<b>0,184</b>
	A2,5-4	-0,152	0,144	<b>0,308</b>
	AC10-3	0,431 <sup>*</sup>	0,144	<b>0,009</b>
AC10-3	A0	-0,631 <sup>*</sup>	0,144	<b>0,000</b>
	A2,5-4	-0,583 <sup>*</sup>	0,144	<b>0,001</b>
	AC0	-0,431 <sup>*</sup>	0,144	<b>0,009</b>

A ANOVA demonstrou que não houve diferença significativa entre os resultados observados, entre as faces norte e sul, para a resistência de aderência à tração, indicado por  $p > 0,05$  (Tabela 33). Este resultado difere substancialmente do teste realizado para análise das faces em relação à permeabilidade, onde se constatou que as mesmas produziram diferentes resultados comprovados estatisticamente. Sintetizando, as diferentes faces interferem quanto à capacidade de absorção do material, ou seja, tornando-o mais suscetível a umidade (material ser colocado em fachadas norte ou sul), mas sem interferência no seu desempenho mecânico.

Tabela 33 – Variável dependente resistência de aderência à tração (MPa) – Interação entre as faces.

<b>Face</b>	<b>Face</b>	<b>Diferença de média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Sig.</b>
Norte	Sul	0,074	0,102	<b>0,476</b>
Sul	Norte	-0,074	0,102	<b>0,476</b>

A Tabela 34 demonstra, por meio do teste Tukey, que as interações entre as argamassas A0 e A2,5-4, as argamassas A0 e AC0, e as argamassas A2,5-4 e AC0 não foram significativas, o que confirma o resultado obtido por meio do teste de ANOVA. Entre as demais argamassas ocorreu uma diferença significativa.

Tabela 34 – Variável dependente resistência de aderência à tração (MPa) - Teste de Tukey.

<b>Argamassa</b>	<b>Argamassa</b>	<b>Diferença de média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Sig.</b>
A0	A2,5-4	0,0483	0,14412	<b>0,987</b>
	AC0	0,2001	0,14412	<b>0,524</b>
	AC10-3	0,6314*	0,14412	<b>0,002</b>
A2,5-4	A0	-0,0483	0,14412	<b>0,987</b>
	AC0	0,1518	0,14412	<b>0,722</b>
	AC10-3	0,5831*	0,14412	<b>0,005</b>
AC0	A0	-0,2001	0,14412	<b>0,524</b>
	A2,5-4	-0,1518	0,14412	<b>0,722</b>
	AC10-3	0,4313*	0,14412	<b>0,039</b>
AC10-3	A0	-0,6314*	0,14412	<b>0,002</b>
	A2,5-4	-0,5831*	0,14412	<b>0,005</b>
	AC0	-0,4313*	0,14412	<b>0,039</b>

## 6 Conclusões e Considerações Finais

A partir do estudo feito sobre o uso de resíduo de borracha de pneu em argamassas de revestimento, algumas considerações sobre o desempenho deste material podem ser apontadas, conforme segue.

Inicialmente, ao se observar os valores do parâmetro de proporcionalidade obtidos para as subfamílias, constatou-se que com o aumento da substituição de areia por borracha ocorreu um aumento na relação água/cimento para se manter a trabalhabilidade dentro do intervalo proposto. Outro fator observado é que a relação água/cimento aumenta para as subfamílias com menores frações de substituição. Ao analisar uma família, nota-se que a que possui maior relação água/cimento é a com substituição de apenas uma fração, e a com menor relação é a com substituição das 4 frações. Comparando-se o comportamento das argamassas do traço 1:3 com as argamassas do traço 1:2:9, verificou-se se que o traço com cal necessita de maior quantidade de água para manter a mesma trabalhabilidade da argamassa. Portanto, para este estudo, o resíduo de borracha atuou como um material que aumenta a exigência de água para a mistura, a fim de manter a trabalhabilidade da argamassa.

Fazendo-se uma análise dos resultados obtidos na primeira etapa do trabalho, verifica-se que a utilização de resíduo de borracha provocou decréscimo nos valores de resistência das argamassas, tanto para o traço 1:3 como para o traço 1:2:9. No entanto, mesmo possuindo uma queda nos valores obtidos na resistência à compressão axial, todas as argamassas foram classificadas dentro das classes propostas pela norma brasileira regulamentadora, mostrando que para este parâmetro todas subfamílias se encontram aptas a serem utilizadas.

Os resultados obtidos para a resistência à tração por compressão diametral também demonstraram decréscimo de desempenho nas argamassas compostas com resíduo, sendo que todas as argamassas do traço 1:3 alcançaram valores de resistência superiores quando comparadas com as capacidades resistentes do traço 1:2:9. O mesmo comportamento pôde ser observado nos valores de resistência à compressão axial.

Em relação ao ensaio de absorção por capilaridade, para o traço 1:3, apenas 37,5% das argamassas com resíduo de borracha de pneu obtiveram desempenho inferior ao da argamassa referência, sendo que o restante, 62,5%, alcançaram melhor comportamento que a argamassa sem resíduo. Pode-se ressaltar que para as subfamílias com quatro frações substituídas, todos os traços alcançaram melhor desempenho quando comparado com a argamassa referência. Para o traço 1:2:9, todas argamassas com resíduo obtiveram absorção inferior à argamassa referência, ou seja, um melhor desempenho, indicando uma possível vantagem da utilização deste resíduo em argamassas de revestimento.

Averiguando os resultados do ensaio de absorção por imersão, no traço 1:3 somente a família com menor porcentagem de utilização de resíduo possuiu um melhor comportamento que a argamassa referência, tanto para absorção por imersão quanto para o índice de vazios. Para o traço 1:2:9 todas as argamassas contendo resíduo de borracha obtiveram absorção superior à argamassa referência, sendo que não houve uma continuidade no acréscimo de absorção, conforme ocorreu o aumento de substituição de areia por resíduo de borracha. No que diz respeito ao índice de vazios, 31,25% das argamassas compostas apresentaram valores inferiores ao da argamassa sem resíduo.

Com uso da análise estatística constatou-se que as melhores subfamílias de cada traço foram a A2,5-4, argamassa com 2,5% de substituição nas quatro frações granulométricas do resíduo, do traço 1:3 e a AC10-3, argamassa com 10% de substituição nas três menores frações granulométricas do resíduo, do traço 1:2:9.

Verificando os resultados obtidos na segunda etapa do trabalho, observou-se que a utilização de resíduo de borracha provocou decréscimo nos valores de resistência à tração na flexão das argamassas, sendo que ambas as argamassas do traço 1:3 resultaram em valores superiores aos obtidos pelas argamassas do traço 1:2:9.

O monitoramento do comportamento ao longo do tempo de exposição às condições ambientais dos protótipos revestidos com as argamassas de melhores desempenhos observados na primeira etapa desta pesquisa constatou que a utilização de resíduo de borracha nos revestimentos argamassados não influenciou no aparecimento ou minimização de manifestações patológicas encontradas no revestimento, pois nos quatro protótipos estudados, para este período de exposição e nestas condições, não surgiram danos nos revestimentos. Ressalta-se que este

resultado sugere que o uso do resíduo da borracha em argamassa, além de retirar o produto do meio ambiente, não acelera o aparecimento de manifestações patológicas em revestimentos argamassados, para a cidade de Pelotas/RS.

O que se pôde observar foi que as argamassas de cimento e cal se mantiveram úmidas por mais tempo quando expostas a água, quando comparadas às argamassas só de cimento. Porém, após um período de seca ocorria a completa evaporação da água infiltrada proveniente da chuva e os revestimentos voltavam a ficar secos e sem nenhuma mudança visual. A diferença ocorreu entre os tipos de argamassas, porém entre as argamassas do mesmo traço não se observou diferenças visuais. Tanto a argamassa sem resíduo quanto a argamassa que possui substituição de areia por resíduo de borracha de pneu se comportaram de maneira visualmente iguais.

A absorção medida por meio do ensaio do método cachimbo mostrou, por meio da análise estatística, que não ocorreu diferença significativa entre os valores de todas as argamassas, com exceção da interação entre a AC0 e AC10-3. Em ambos os traços, a maior absorção ocorreu na face norte dos protótipos de alvenaria revestida com argamassa com resíduo, e a face sul dos mesmos obteve o segundo melhor comportamento. De acordo com a análise estatística ocorreu a influência da face na permeabilidade, conforme era esperado, visto que são faces recebem insolações diferentes e assim possuem umidades distintas.

Os resultados de resistência de aderência à tração mostraram que o melhor desempenho obtido foi na argamassa A2,5-4 na face voltada para o norte, argamassa do traço 1:3 com utilização de resíduo de borracha de pneu. A menor resistência, por sua vez, foi verificada para o traço 1:2:9, na argamassa que contém resíduo de borracha, a AC10-3. Em relação aos limites de resistência apresentados na norma brasileira vigente, percebe-se que apenas a argamassa AC10-3, argamassa do traço 1:2:9 com utilização de resíduo de borracha, não se enquadrou dentro dos limites especificados. As demais argamassas encontraram-se dentro do exigido, podendo ser utilizadas tanto como revestimento interno quanto como revestimento externo, pois apresentaram resistência superior ao mínimo requisitado pela norma. De acordo com a análise estatística não ocorreu a influência da face na resistência de aderência à tração.

Ao se fazer uma síntese dos resultados obtidos nos ensaios, conclui-se que a orientação solar da face influencia na capacidade de absorção do revestimento

argamassado, porém não influencia na capacidade mecânica. Em relação à argamassa do traço 1:2:9 com utilização de resíduo de borracha, AC10-3, esta não deve ser utilizada como revestimento argamassado, pois não atendeu às exigências da norma brasileira quanto à resistência de aderência à tração. Para argamassa do traço 1:3 com utilização de resíduo de borracha na porcentagem de 2,5% nas quatro frações de granulometria do resíduo (A2,5-4), mesmo a análise estatística mostrando diferença significativa em alguns parâmetros, para absorção por capilaridade e resistência de aderência à tração a A2,5-4 é considerada com comportamento estatisticamente igual as argamassas referências. Portanto esta argamassa pode ser utilizada de maneira satisfatória em revestimentos argamassados, pois além de cumprir com as exigências estudadas das normas brasileiras, é uma alternativa viável de minimizar a quantidade de resíduo de borracha de pneu exposto ao meio ambiental.

### **6.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Levando-se em consideração que todo método de pesquisa, o qual envolve um processo de estudo específico, pode possibilitar abrir novos espaços para outros entendimentos analíticos, pode propor-se algumas sugestões para dar continuidade no estudo sobre o uso de resíduo de borracha de pneu em argamassas de revestimento.

- Efetuar outros teores de substituição de areia por resíduo de borracha de pneu, com intuito de verificar diferentes desempenhos da argamassa composta;
- Utilizar um aditivo plastificante nas argamassas com uso de resíduo, para se manter a trabalhabilidade sem o aumento da relação a/c, identificando mudanças no seu desempenho;
- Executar protótipos com argamassas compostas diferentes, com finalidade de observar mudanças de comportamento do revestimento argamassado;
- Permitir que os protótipos se mantenham em ambiente fechado e em ambiente externo, analisando possíveis mudanças de desempenho entre eles, verificando a influência dos fatores externos no revestimento de argamassa;

- Manter os protótipos com revestimento argamassado expostos por um período maior, com intenção de constatar surgimento de manifestações patológicas no revestimento;
- Avaliar se as argamassas com resíduos promovem uma alteração em função de características térmicas e acústicas;
- Analisar a exposição de protótipos com revestimento argamassado em outras condições climáticas e outros zoneamentos;
- Realizar uma análise de comparação de custos entre argamassa referência e argamassa com utilização de resíduo de borracha.

## Referências Bibliográficas

ABD. AZIZ, F. N. A.; SANI, M. B.; NOOR AZLINE, M. N.; JAAFAR, M. S. A Comparative Study of the Behaviour of Treated and Untreated Tyre Crumb Mortar with Oil Palm Fruit Fibre Addition. **Pertanika Journal of Science & Technology**, vol. 25, p. 101-120, 2017.

ALMEIDA DIAS, L.; CARASEK, H. Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo. **V SBTA**, Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, São Paulo, 2003.

ALVARENGA, R. de. C. S. S.; SANTOS, W. J. dos; BRANCO, L. A. M. N.; MENDES, V. R. V. Avaliação de ensaios em argamassas para uso em pisos e revestimentos – Análise comparativa entre as normas. **Construindo**, vol. 5, n. 1, Belo Horizonte, Jan/Jun. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. NBR NM 30. Rio de Janeiro, 2001. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**. NBR NM 52. Rio de Janeiro, 2009. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. NBR 9778. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade**. NBR 9779. Rio de Janeiro, 2013. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. NBR 13279. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. NBR 13276. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. NBR 13281. Rio de Janeiro, 2001. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da resistência à compressão**. NBR 7215. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. NBR 7222. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento**. NBR 7200. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento**. NBR 7200. Rio de Janeiro, 1998. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos – Classificação**. NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração**. NBR 13528. Rio de Janeiro, 2010. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação**. NBR 13749. Rio de Janeiro, 2013. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia**. NBR 13529. Rio de Janeiro, 2013. 13 p.

**ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - ANIP**. Disponível em: <http://www.anip.com.br/>. Acesso em: 15 mar. 2016.

BARROS, M. B.; TANIGUTI, E. K.; RUIZ, L. B.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos verticais**. EPSUSP/PCC, São Paulo, 1997.

BAUER, R.J.F. Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2, **Anais CETA/ANTAC**, p. 321-333, Salvador, 1997.

BEZERRA, I. M. T.; SOUZA, J.; CARVALHO, J. B. Q.; NEVES, G. A. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. **Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental**, vol.15, n.6, Campina Grande, p.639–645, 2011.

BEZERRA, I. M. T. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

BOUKOUR, S.; BENMALEK, M. L. Performance evaluation of a resinous cement mortar modified with crushed clay brick and tire rubber aggregate. **Construction and Building Materials**, vol. 120, p. 473-481, set. 2016.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, R. S. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, vol. 55, n. 336, São Paulo, out./dez. 2009.

CANOVA, J. A. **Influência da adição de pó de borracha em argamassa de revestimento**. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; ANGELIS NETO, G. de. A utilização de resíduos de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. **Acta Scientiarum Technology**, vol. 29, n. 2, p. 141-149, Maringá, 2007.

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; ANGELIS NETO, G. de; GLEIZE, P. J. P. Comparative analysis of the properties of composite mortar with addition of rubber powder from worn tires. **Ambiente Construído**, vol. 12, n. 1, p. 257-267, Porto Alegre, jan./mar., 2012.

CANOVA, J. A.; ANGELIS NETO, G. de; BERGAMASCO, R. Dry ripened mortar with quarry waste and rubber powder from unserviceable tires. **Acta Scientiarum Technology**, vol. 37, n. 1, p. 25-31, Maringá, 2015.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: Instituto Brasileiro do Concreto. Livro Materiais de Construção Civil, 2007.

CARASEK, H. **Patologia das argamassas de revestimento**. In: Isaia, G.C. (Org.). Materiais de Construção e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, IBRACON, v. 1, p. 1-11, São Paulo, 2007.

CARNEIRO, L. A. V.; GUIMARÃES, A. C. R.; SILVA, B. de A.; SANTANA, C. S. A. Avaliação das Propriedades de Concreto Convencional com Agregados Miúdos de Borracha de Pneus Inservíveis Triturados. **57º Congresso Brasileiro do Concreto**, IBRACON, Bonito, 2015.

CHAVES, A. M. V. A. **Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachadas**. Dissertação da Escola de Engenharia, Universidade de Minho, Guimarães, 2009.

CINCOTTO, M. A.; ÂNGULO, S. C.; CARNEIRO, A. M. P. Composições granulométricas de argamassas e seus efeitos no estado fresco e endurecido. **4º Congresso Português de Argamassas e Etics**, Coimbra, 2012.

CINCOTTO, M. A.; BASTOS, P. K. X.; DÉTRICHÉ, C. H.; BALAYSSAC, J. P. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 2, p. 57-70, Porto Alegre, 2002.

CINTRA, C. L. D., PAIVA, A. E. M., BALDO, J. P. Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes. **Cerâmica**, vol. 60, n.353, São Paulo, jan./mar. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**, 05 de julho de 2002, Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acessado em: 29 abr. 2009.

COUTINHO, S. M.; PRETTI, S. M.; TRISTÃO, F. A. Argamassa preparada em obra x argamassa industrializada para assentamento de blocos de vedação: Análise do uso em Vitória-ES. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.21, p.41-48, Maio de 2013.

FARIAS FILHO, J.; MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; SANTANA, L. N. L.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Estudo da durabilidade de argamassas alternativas contendo resíduos. **Cerâmica**, vol.57, n.344, p. 395-403, São Paulo, 2011.

FERREIRA, C. R. G. **Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de argamassa e resíduo de borracha**. Dissertação ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

FERREIRA, B. B. D. **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FIGUEIREDO, S. S.; SILVA, C. G.; NEVES, G. A. Durabilidade de tijolos solo-cal incorporados com resíduos de demolição da construção civil. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 64(3), 2011, p. 273-279.

FREITAS, J. G. **A influência das condições climáticas na durabilidade dos revestimentos de fachada: estudo de caso na cidade de Goiânia-GO**. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

FREITAS, J. G.; CARASECK, H.; CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 57-73, Porto Alegre, jan./mar. 2014.

GARCEZ, N. F. S. **Sistema de inspeção e diagnóstico de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas**. Dissertação do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

GIESELER, S. E.; TUTIKIAN, B. F. Estudo de grautes produzidos com agregado reciclado de resíduo de bloco cerâmico incorporando teores de cal hidratada. **Ambiente Construído**, vol.13, n.3, Porto Alegre, jul./set. 2013.

GUELMINEA, L.; HADJABB, H.; BENAZZOUKC, A. Effect of elevated temperatures on physical and mechanical properties of recycled rubber mortar. **Construction and Building Materials**, vol. 126, p. 77-85, nov. 2016.

GÜNEYISI, E.; GESÖGLU, M.; ÖZTURAN, TURAN. Properties of rubberized concretes containing silica fume. **Cement and Concrete Research**, 34, p. 2309 – 2317, 2004.

Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. **Relatório de Pneumáticos. Dados apresentados no Relatório de Pneumáticos – Resolução CONAMA nº 416/09 do Cadastro Técnico Federal**. IBAMA, Brasília, 2015.

JOCHEM, L. F.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Estudo comparativo entre argamassas de revestimento com agregado reciclado de RCD e com agregado de britagem. **Encontro Latino-americano de Edificações e Comunidades Sustentáveis**, Curitiba, 2013.

JUST, A.; FRANCO, L.S. **Descolamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. Boletim Técnico – Escola Politécnica de São Paulo, p. 29, São Paulo, 2001.

KRISTIAWAN, S. A.; HAPSARI, A. N. D. Delamination Tendency of Repair Mortar Incorporating Crumb Rubber. **Procedia Engineering**, vol. 171, p. 734-743, 2017.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Logística reversa dos pneus usados no Brasil. **Polímeros**, vol. 23, n. 1, p. 49-58, São Carlos, 2013.

LAGARINHOS, C. A. F.; ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. Reciclagem de pneus usados no Brasil: revisão das tecnologias usadas. **22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Natal, 2016.

LANNES, L. D. **Reincidência de danos em prédio histórico preservado**. 277f. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

LEITE, F. da C. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Dissertação da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LEITE, F. da C.; MOTTA, R. dos S.; VASCONCELOS, K. L.; BERNUCCI, L. Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. **Construction and Building Materials**, 25, p. 2972–2979, 2011.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções**. Boletim Técnico 06/86, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia e Construção Civil, São Paulo, 1986.

LOPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P. de; BARBOSA NETO, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. **Cerâmica**, vol. 51, n. 320, São Paulo, out./nov. 2005.

MARQUES, A. C. **Estudo da influência da adição de borracha vulcanizada em concreto à temperatura ambiente e elevada temperatura**. Dissertação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MARQUES, A. C., AKASAKI, J. L., TRIGO, A. P. M., MARQUES, M. L. Influence of the surface treatment of tire rubber residues added in mortars. **Revista IBRACON Estruturas e Materiais**, vol. 1, n.2, p. 113-120, São Paulo, Jun. de 2008.

MARTINS, M. E.; EVANGELISTA, R.; ARAÚJO, J. Concreto com adição de resíduo de borracha. **57º Congresso Brasileiro do Concreto**, IBRACON, Bonito, 2015.

MASSOLLA, D. A. O., TORTURELI DE SÁ, M. R., VALLE, R. M. do, BASTOS, P. K. X. Estudo do uso de resíduo de borracha proveniente da recauchutagem de pneus em argamassas de revestimento. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, XIV ENTAC, Juiz de Fora, 2012.

MENEGUINI, E. C. A. **Comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha**. Dissertação do Curso de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

**MINUANO REFORMADOREA DE PNEUS**. Disponível em: <http://www.minuanoreformadoradepneus.com.br/>. Acesso em: 28 mar. 2016.

MUÑOZ-SÁNCHEZ, B.; ARÉVALO-CABALLERO, M. J.; PACHECO-MENOR, M. C. Influence of acetic acid and calcium hydroxide treatments of rubber waste on the properties of rubberized mortars. **Materials and Structures**, 50-75, feb. 2017.

OLIVEIRA, L. A. P.; ALVES, P. C. P.; DIAS, S. M. M. Desempenho de argamassas de revestimentos com incorporação de fibras de plásticos reciclados. **1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção**, Lisboa, 2005.

PAIXÃO, C. A. B. **Utilização de refugos de revestimentos cerâmicos (porcelanato e azulejo) em substituição à areia em argamassas cimentícias**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PEDRO, D. A. G. **Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus**. Dissertação do Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

PEDRO, D. A. G.; VEIGA, M. do R.; BRITO, J. de. Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus. **4º Congresso Português de Argamassas e Etics**, Coimbra, 2012.

PERES, R. M. **Manifestações patológicas em edificações**. Pelotas: Editora da Universidade Federal de Pelotas, 87p, 2004.

**PNEUS GOODYEAR**. Disponível em: <http://www.goodyear.com.br/pneus-passeio/conservando-pneu/lendo-pneu/partes-pneu/>. Acesso em: 01 abr. 2016.

**RECICLANIP**. Disponível em: <http://www.reciclanip.org.br/v3/quem-somos-linha-do-tempo>. Acesso em: 15 mar. 2016.

RIGHI, G. Vi. **Estudo dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções – análise de caso**. 94f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SALES, A. T. C.; MENDES, J. S. S. Argamassas com agregado miúdo de resíduos de recauchutagem de pneus. In: **Simpósio Internacional Em Inovação Tecnológica**, 4, Anais SIMTEC, Vol. 1/n. 1/ p. 10-25, Aracaju, 2013.

SANTIAGO, E. Q. R.; LIMA, P. R. L.; LEITE, M. B.; TOLEDO FILHO, R. D. Mechanical behavior of recycled lightweight concrete using EVA waste and CDW under moderate temperature. **Revista IBRACON Estruturas e Materiais**, vol.2, n.3, São Paulo, set. 2009.

SANTOS, A. C. dos. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

SANTOS, M. L. L. de O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SEELE, J. **Restauro de edificações históricas**. Tópicos em Engenharia. Porto Alegre: NORIE/CPGEC/UFRGS, 2000.

SEGAT, G. T. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)**. Trabalho de conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre, 2005.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de cimento Portland e cal para revestimentos externos de fachadas e edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil), Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 1989.

SILVA, V. M. B.; ROCHA, L. A. L.; TORRES, A. S.; PALIGA, C. M. Levantamento de Manifestações Patológicas em Fachadas de Habitações de Interesse Social na Cidade de Pelotas/RS: Residencial Solar das Palmeiras. **Revista de Arquitetura IMED**, 5(2), 85-103, jul./dez. 2016.

SHU, X.; HUANG, B. Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview. **Construction and Building Materials**, vol. 67, p. 217-224, set. 2014.

SILVA, A. F. da. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados - Estudo de caso em edifícios em Florianópolis**. 189f. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, A. S. R. da. **Argamassas: Conceitos, tipos e funções**. Comunidade da construção. Salvador, 2008. Acessado em: 18/11/2015 <https://pt.scribd.com/doc/24767831/11/ARGAMASSAS-Classificacao#logout>

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia. **Ambiente Construído**, vol. 8, n. 4, p. 21-35, Porto Alegre, 2008.

SOLA, O. C.; OZYAZGAN, C.; SAYIN, B. Analysis of Cement-Based Pastes Mixed with Waste Tire Rubber. **Mechanics of Composite Materials**, vol. 53, p. 123-130, mar. 2017.

SOUZA, J. de. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz**. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

SOUZA, V. C. de, RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Ed. PINI, São Paulo, 1998.

SU, H.; YANG, J.; GHATAORA, G. S.; DIRAR, S. Surface modified used rubber tyre aggregates: effect on recycled concrete performance. **Magazine of Concrete Research**, vol. 67, p. 680-691, jun. 2015.

TERRA, R. C. **Levantamento de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas das edificações da cidade de Pelotas**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

TORRES, A.S. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil, 2011.

TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU J. L. Mechanical characterisation of cementbased mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres. **Building and Environment**, p. 221-226, fev. 2005.

TURKI, M.; BRETAGNE, E.; ROUIS, M.J.; QUÉNEUDEC, M. Microstructure, physical and mechanical properties of mortar–rubber aggregates mixtures. **Construction and Building Materials**, 23(7), p. 2715-2722, 2009.

UYGUNOĞLU, T.; TOPÇU, I.B. The role of scrap rubber particles on the drying shrinkage and mechanical properties of self-consolidating mortars. **Construction and Building Materials** 24(7), p. 1141-1150, 2010.

## **Apêndices**

### APÊNDICE A - Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial

Subfamília	Rompimento 7 dias – Compressão Axial								
	Carga (kN)			Tensão (MPa)				Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3	Média		
A0	30,7	31,0		15,64	15,79		15,71	0,11	0,69
A2,5-4	15,9	14,9		8,10	7,59		7,84	0,36	4,59
A2,5-3	9,4	9,6	9,4	4,79	4,89	4,79	4,82	0,06	1,22
A2,5-2	12,4	12,5	10,5	6,32	6,37	5,35	6,01	0,57	9,55
A2,5-1	7,0	7,4	9,1	3,57	3,77	4,63	3,99	0,57	14,23
A5-4	8,4	8,2	10,2	4,28	4,18	5,19	4,55	0,56	12,33
A5-3	6,9	6,2	5,9	3,51	3,16	3,00	3,23	0,26	8,10
A5-2	9,7	10,4	11,1	4,94	5,30	5,65	5,30	0,36	6,73
A5-1	10,5	9,9	9,4	5,35	5,04	4,79	5,06	0,28	5,54
A10-4	9,8	9,7	9,1	4,99	4,94	4,63	4,86	0,19	3,97
A10-3	8,3	9,0	7,3	4,23	4,58	3,72	4,18	0,44	10,42
A10-2	5,5	6,7	7,2	2,80	3,41	3,67	3,29	0,44	13,51
A10-1	5,1	6,2	7,1	2,60	3,16	3,62	3,12	0,51	16,33
A15-4	6,1	6,3	6,7	3,11	3,21	3,41	3,24	0,16	4,80
A15-3	5,7	5,4	4,9	2,90	2,75	2,50	2,72	0,21	7,58
A15-2	4,9	3,5	4,3	2,50	1,78	2,19	2,16	0,36	16,59
A15-1	3,7	3,4	3,3	1,88	1,73	1,68	1,77	0,11	6,00
AC0	1,7	1,8	2,4	0,87	0,92	1,22	1,00	0,19	19,25
AC2,5-4	1,2	1,1	1,1	0,61	0,56	0,56	0,58	0,03	5,09
AC2,5-3	1,3	1,2	1,0	0,66	0,61	0,51	0,59	0,08	13,09
AC2,5-2	1,2	1,3	1,3	0,61	0,66	0,66	0,65	0,03	4,56
AC2,5-1	1,6	0,9	0,8	0,81	0,46	0,41	0,56	0,22	39,63
AC5-4	0,8	0,6	0,6	0,41	0,31	0,31	0,34	0,06	17,32
AC5-3	1,1	1,2	0,8	0,56	0,61	0,41	0,53	0,11	20,15
AC5-2	0,9	0,7	0,7	0,46	0,36	0,36	0,39	0,06	15,06
AC5-1	0,7	0,5	0,6	0,36	0,25	0,31	0,31	0,05	16,67
AC10-4	1,1	1,0	0,9	0,56	0,51	0,46	0,51	0,05	10,00
AC10-3	0,9	0,7	0,7	0,46	0,36	0,36	0,39	0,06	15,06
AC10-2	0,9	1,2	0,9	0,46	0,61	0,46	0,51	0,09	17,32
AC10-1	1,2	0,8	0,8	0,61	0,41	0,41	0,48	0,12	24,74
AC15-4	0,7	0,7	0,5	0,36	0,36	0,25	0,32	0,06	18,23
AC15-3	0,7	0,6	0,5	0,36	0,31	0,25	0,31	0,05	16,67
AC15-2	1,3	0,4	0,9	0,66	0,20	0,46	0,44	0,23	52,03
AC15-1	1,3	0,4	0,7	0,66	0,20	0,36	0,41	0,23	57,28

Subfamília	Rompimento 28 dias – Compressão Axial								
	Carga (kN)			Tensão (MPa)				Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3	Média		
A0	46,6	49,2	49,7	23,73	25,06	25,31	<b>24,70</b>	<b>0,85</b>	<b>3,43</b>
A2,5-4	26,0	24,8	23,7	13,24	12,63	12,07	<b>12,65</b>	<b>0,59</b>	<b>4,63</b>
A2,5-3	19,0	19,2	26,0	9,68	9,78	13,24	<b>10,90</b>	<b>2,03</b>	<b>18,62</b>
A2,5-2	18,6	20,7	22,3	9,47	10,54	11,36	<b>10,46</b>	<b>0,95</b>	<b>9,04</b>
A2,5-1	14,4	15,9	15,1	7,33	8,10	7,69	<b>7,71</b>	<b>0,38</b>	<b>4,96</b>
A5-4	15,1	15,6	15,4	7,69	7,95	7,84	<b>7,83</b>	<b>0,13</b>	<b>1,64</b>
A5-3	14,5	14,4	12,5	7,38	7,33	6,37	<b>7,03</b>	<b>0,57</b>	<b>8,17</b>
A5-2	14,9	17,8	15,4	7,59	9,07	7,84	<b>8,17</b>	<b>0,79</b>	<b>9,67</b>
A5-1	16,6	15,7	16,2	8,45	8,00	8,25	<b>8,23</b>	<b>0,23</b>	<b>2,79</b>
A10-4	10,8	12,8	12,2	5,50	6,52	6,21	<b>6,08</b>	<b>0,52</b>	<b>8,60</b>
A10-3	8,9	12,7	12,4	4,53	6,47	6,32	<b>5,77</b>	<b>1,08</b>	<b>18,64</b>
A10-2	10,4	10,5	11,3	5,30	5,35	5,76	<b>5,47</b>	<b>0,25</b>	<b>4,60</b>
A10-1	9,3	8,8	8,5	4,74	4,48	4,33	<b>4,52</b>	<b>0,21</b>	<b>4,56</b>
A15-4	8,7	10,0	9,4	4,43	5,09	4,79	<b>4,77</b>	<b>0,33</b>	<b>6,95</b>
A15-3	8,4	7,5	8,9	4,28	3,82	4,53	<b>4,21</b>	<b>0,36</b>	<b>8,58</b>
A15-2	6,3	6,0	6,6	3,21	3,06	3,36	<b>3,21</b>	<b>0,15</b>	<b>4,76</b>
A15-1	6,5	5,2	6,3	3,31	2,65	3,21	<b>3,06</b>	<b>0,36</b>	<b>11,67</b>
AC0	4,0	4,6	4,3	2,04	2,34	2,19	<b>2,19</b>	<b>0,15</b>	<b>6,98</b>
AC2,5-4	1,5	1,4	1,5	0,76	0,71	0,76	<b>0,75</b>	<b>0,03</b>	<b>3,94</b>
AC2,5-3	1,1	1,1	0,9	0,56	0,56	0,46	<b>0,53</b>	<b>0,06</b>	<b>11,17</b>
AC2,5-2	0,7	0,9	1,0	0,36	0,46	0,51	<b>0,44</b>	<b>0,08</b>	<b>17,63</b>
AC2,5-1	1,1	0,8	0,8	0,56	0,41	0,41	<b>0,46</b>	<b>0,09</b>	<b>19,25</b>
AC5-4	1,1	1,0	1,1	0,56	0,51	0,56	<b>0,54</b>	<b>0,03</b>	<b>5,41</b>
AC5-3	1,5	1,6	1,6	0,76	0,81	0,81	<b>0,80</b>	<b>0,03</b>	<b>3,69</b>
AC5-2	0,9	0,9	0,7	0,46	0,46	0,36	<b>0,42</b>	<b>0,06</b>	<b>13,86</b>
AC5-1	0,8	0,7	0,8	0,41	0,36	0,41	<b>0,39</b>	<b>0,03</b>	<b>7,53</b>
AC10-4	1,8	1,6	1,3	0,92	0,81	0,66	<b>0,80</b>	<b>0,13</b>	<b>16,06</b>
AC10-3	1,5	1,9	1,7	0,76	0,97	0,87	<b>0,87</b>	<b>0,10</b>	<b>11,76</b>
AC10-2	1,2	1,5	1,3	0,61	0,76	0,66	<b>0,68</b>	<b>0,08</b>	<b>11,46</b>
AC10-1	1,7	1,6	1,5	0,87	0,81	0,76	<b>0,81</b>	<b>0,05</b>	<b>6,25</b>
AC15-4	1,2	0,7	0,8	0,61	0,36	0,41	<b>0,46</b>	<b>0,13</b>	<b>29,40</b>
AC15-3	0,9	0,9	0,9	0,46	0,46	0,46	<b>0,46</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
AC15-2	0,7	0,7	0,7	0,36	0,36	0,36	<b>0,36</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
AC15-1	0,8	0,6	0,6	0,41	0,31	0,31	<b>0,34</b>	<b>0,06</b>	<b>17,32</b>

## APÊNDICE B - Resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral

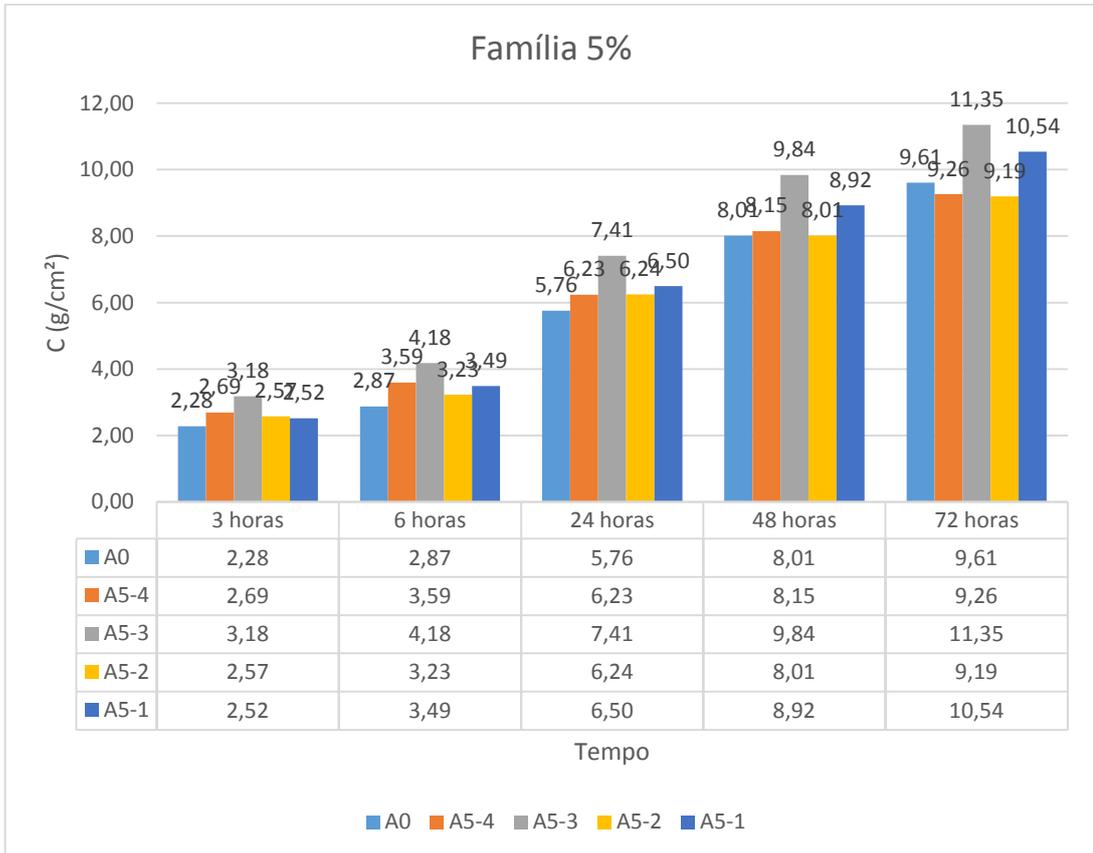
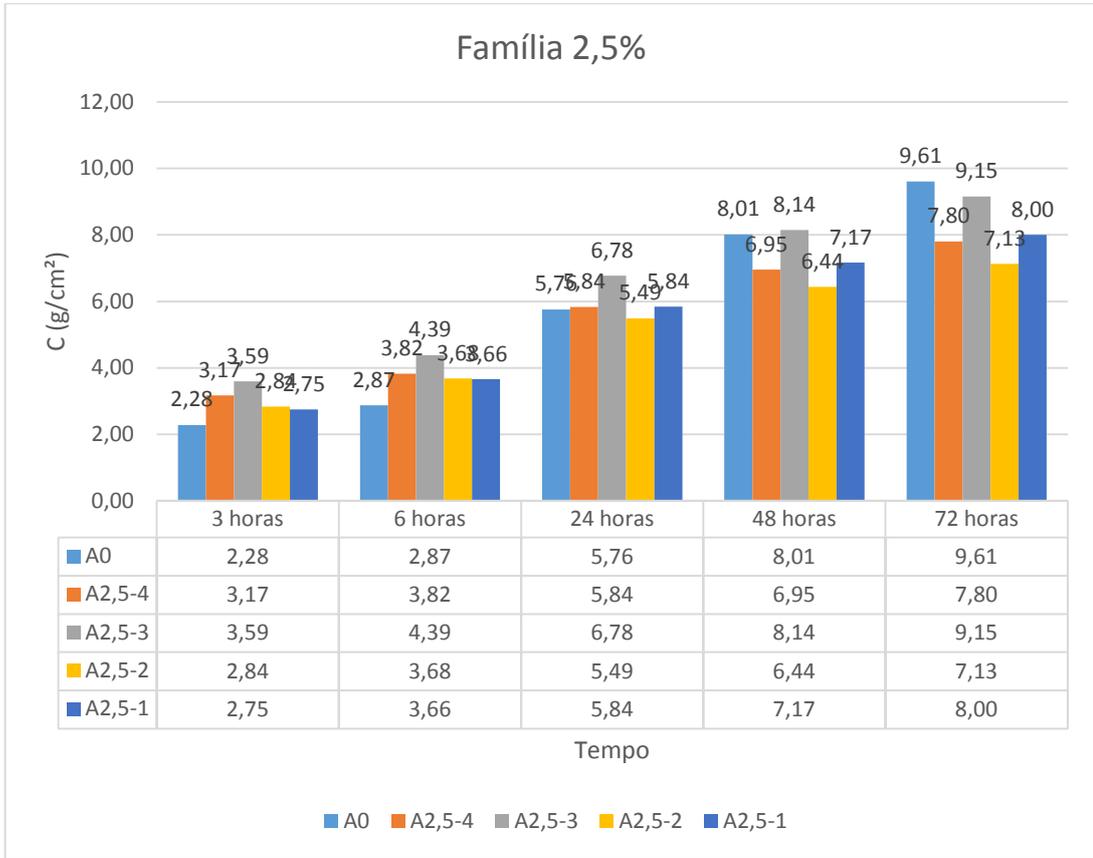
Subfamília	Rompimento 28 dias – Tração por Compressão Diametral								
	Carga (kN)			Tensão (MPa)				Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3	Média		
A0	18,4	16,9	20,1	2,34	2,15	2,56	<b>2,35</b>	<b>0,20</b>	<b>8,67</b>
A2,5-4	12,7	18,3	16,9	1,62	2,33	2,15	<b>2,03</b>	<b>0,37</b>	<b>18,25</b>
A2,5-3	13,1	10,3	12,5	1,67	1,31	1,59	<b>1,52</b>	<b>0,19</b>	<b>12,32</b>
A2,5-2	11,3	12,3	15,0	1,44	1,57	1,91	<b>1,64</b>	<b>0,24</b>	<b>14,88</b>
A2,5-1	9,9	12,4	13,6	1,26	1,58	1,73	<b>1,52</b>	<b>0,24</b>	<b>15,77</b>
A5-4	9,3	9,3	9,0	1,18	1,18	1,15	<b>1,17</b>	<b>0,02</b>	<b>1,88</b>
A5-3	8,1	8,8	7,6	1,03	1,12	0,97	<b>1,04</b>	<b>0,08</b>	<b>7,38</b>
A5-2	11,0	10,9	8,7	1,40	1,39	1,11	<b>1,30</b>	<b>0,17</b>	<b>12,75</b>
A5-1	9,3	8,5	7,4	1,18	1,08	0,94	<b>1,07</b>	<b>0,12</b>	<b>11,36</b>
A10-4	4,3	7,5	8,9	0,55	0,95	1,13	<b>0,88</b>	<b>0,30</b>	<b>34,17</b>
A10-3	7,2	8,1	7,1	0,92	1,03	0,90	<b>0,95</b>	<b>0,07</b>	<b>7,38</b>
A10-2	7,0	5,6	7,1	0,89	0,71	0,90	<b>0,84</b>	<b>0,11</b>	<b>12,77</b>
A10-1	4,8	4,9	6,6	0,61	0,62	0,84	<b>0,69</b>	<b>0,13</b>	<b>18,62</b>
A15-4	4,5	5,8	6,6	0,57	0,74	0,84	<b>0,72</b>	<b>0,13</b>	<b>18,81</b>
A15-3	4,7	4,0	5,0	0,60	0,51	0,64	<b>0,58</b>	<b>0,07</b>	<b>11,24</b>
A15-2	3,6	3,7	3,8	0,46	0,47	0,48	<b>0,47</b>	<b>0,01</b>	<b>2,70</b>
A15-1	3,1	2,7	3,4	0,39	0,34	0,43	<b>0,39</b>	<b>0,04</b>	<b>11,45</b>
AC-0	1,9	1,3	2,0	0,24	0,17	0,25	<b>0,22</b>	<b>0,05</b>	<b>21,84</b>
AC2,5-4	0,9	0,8	0,9	0,11	0,10	0,11	<b>0,11</b>	<b>0,01</b>	<b>6,66</b>
AC2,5-3	0,6	0,5	0,6	0,08	0,06	0,08	<b>0,07</b>	<b>0,01</b>	<b>10,19</b>
AC2,5-2	0,7	0,4	0,5	0,09	0,05	0,06	<b>0,07</b>	<b>0,02</b>	<b>28,64</b>
AC2,5-1	0,5	0,5	0,4	0,06	0,06	0,05	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>	<b>12,37</b>
AC5-4	0,8	0,7	0,9	0,10	0,09	0,11	<b>0,10</b>	<b>0,01</b>	<b>12,50</b>
AC5-3	1,0	0,9	0,9	0,13	0,11	0,11	<b>0,12</b>	<b>0,01</b>	<b>6,19</b>
AC5-2	0,5	0,4	0,7	0,06	0,05	0,09	<b>0,07</b>	<b>0,02</b>	<b>28,64</b>
A2,5-1	0,7	0,6	0,4	0,09	0,08	0,05	<b>0,07</b>	<b>0,02</b>	<b>26,96</b>
AC10-4	1,0	1,1	0,7	0,13	0,14	0,09	<b>0,12</b>	<b>0,03</b>	<b>22,30</b>
AC10-3	1,0	1,1	1,0	0,13	0,14	0,13	<b>0,13</b>	<b>0,01</b>	<b>5,59</b>
AC10-2	0,8	0,8	0,8	0,10	0,10	0,10	<b>0,10</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
AC10-1	0,8	0,9	0,9	0,10	0,11	0,11	<b>0,11</b>	<b>0,01</b>	<b>6,66</b>
AC15-4	0,5	0,4	0,6	0,06	0,05	0,08	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>	<b>20,00</b>
AC15-3	0,7	0,5	0,4	0,09	0,06	0,05	<b>0,07</b>	<b>0,02</b>	<b>28,64</b>
AC15-2	1,0	0,5	0,4	0,13	0,06	0,05	<b>0,08</b>	<b>0,04</b>	<b>50,76</b>
AC15-1	0,4	0,5	0,6	0,05	0,06	0,08	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>	<b>20,00</b>

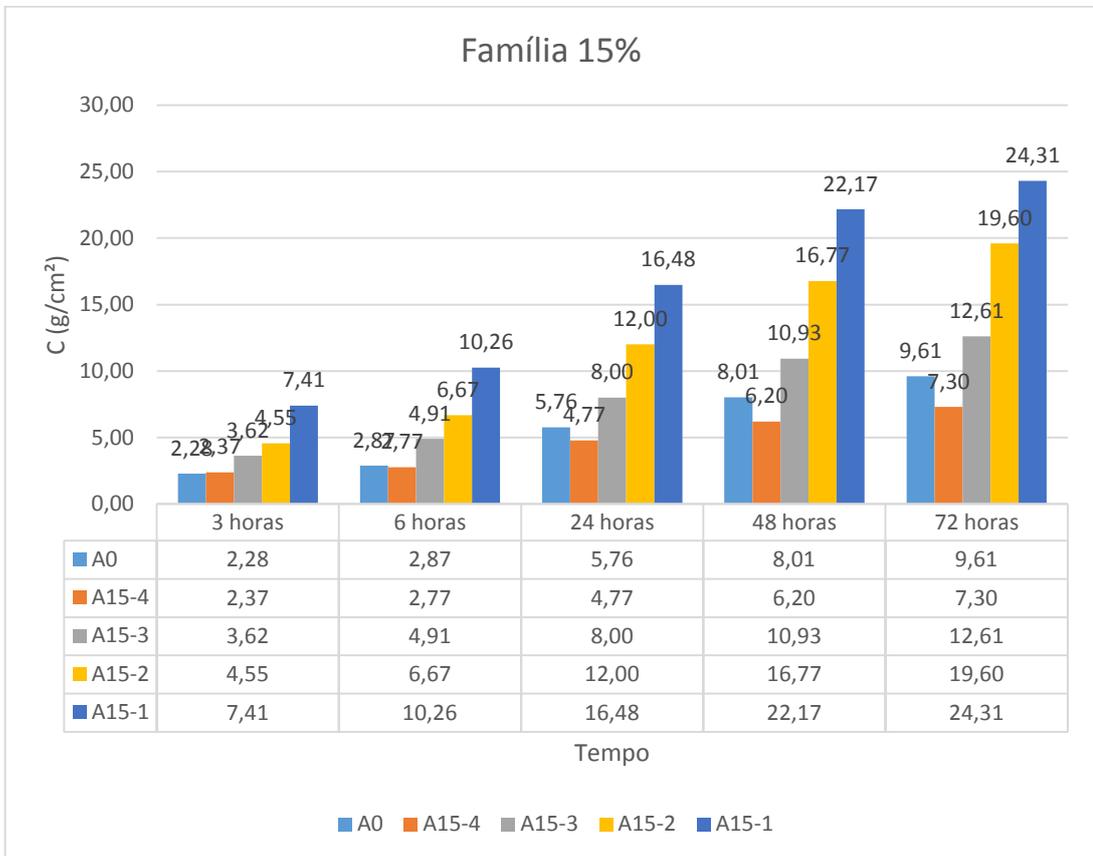
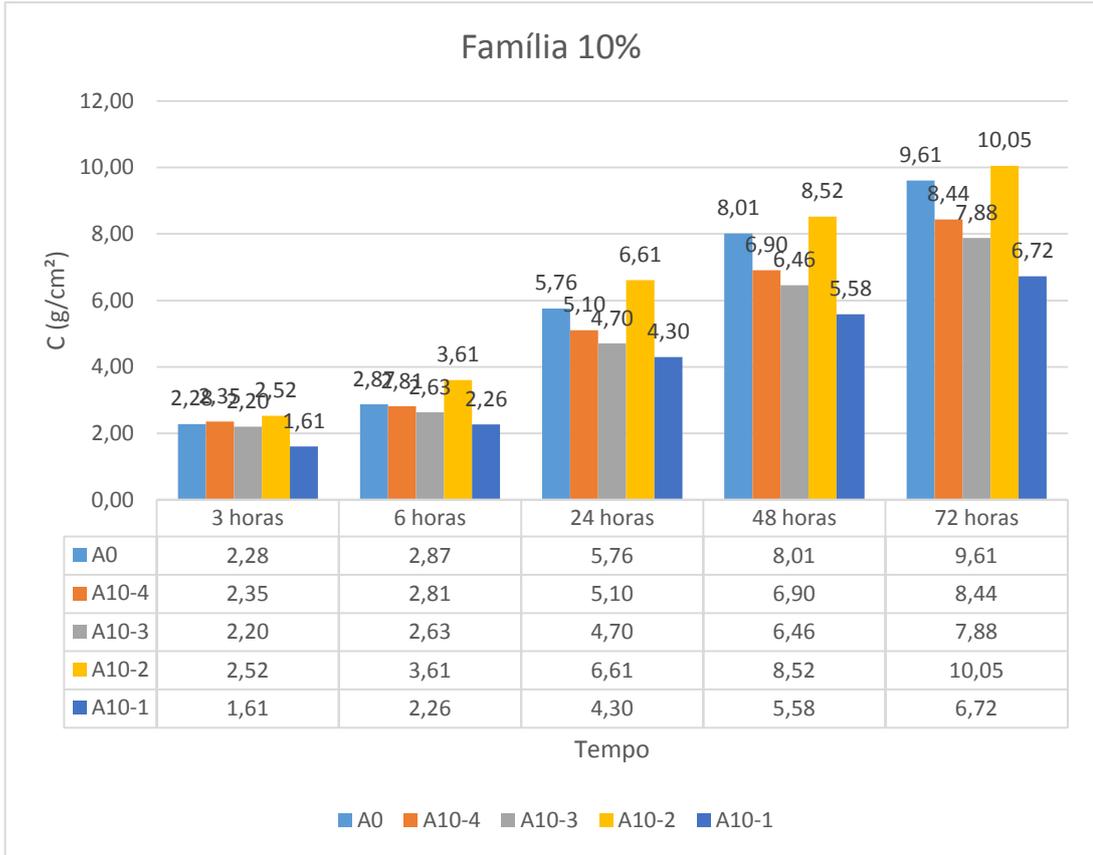
### APÊNDICE C - Resultados dos ensaios de absorção por capilaridade

Subfamília	Absorção por Capilaridade - 28 dias											
	3 horas				6 horas				24 horas			
	C (g/cm <sup>2</sup> )				C (g/cm <sup>2</sup> )				C (g/cm <sup>2</sup> )			
	CP1	CP2	CP3	Média	CP1	CP2	CP3	Média	CP1	CP2	CP3	Média
A0	1,51	3,17	2,15	<b>2,28</b>	1,98	3,89	2,75	<b>2,87</b>	4,39	7,18	5,71	<b>5,76</b>
A2,5-4	3,06	3,38	3,08	<b>3,17</b>	3,60	4,04	3,83	<b>3,82</b>	5,57	6,22	5,71	<b>5,84</b>
A2,5-3	3,24	3,63	3,89	<b>3,59</b>	3,95	4,50	4,71	<b>4,39</b>	6,24	6,70	7,39	<b>6,78</b>
A2,5-2	2,73	3,01	2,77	<b>2,84</b>	3,49	3,97	3,59	<b>3,68</b>	5,14	6,01	5,32	<b>5,49</b>
A2,5-1	2,36	3,02	2,86	<b>2,75</b>	3,03	4,00	3,95	<b>3,66</b>	4,75	6,29	6,47	<b>5,84</b>
A5-4	2,98	2,89	2,20	<b>2,69</b>	3,96	3,81	3,00	<b>3,59</b>	6,98	6,37	5,35	<b>6,23</b>
A5-3	2,94	3,24	3,36	<b>3,18</b>	3,94	4,28	4,32	<b>4,18</b>	7,15	7,66	7,41	<b>7,41</b>
A5-2	2,60	2,68	2,44	<b>2,57</b>	3,25	3,42	3,00	<b>3,23</b>	6,27	6,77	5,68	<b>6,24</b>
A5-1	2,46	2,75	2,35	<b>2,52</b>	3,73	3,51	3,22	<b>3,49</b>	7,32	6,33	5,84	<b>6,50</b>
A10-4	2,81	1,81	2,44	<b>2,35</b>	3,30	2,18	2,95	<b>2,81</b>	5,84	4,24	5,22	<b>5,10</b>
A10-3	2,21	2,44	1,95	<b>2,20</b>	2,62	2,93	2,35	<b>2,63</b>	4,77	5,08	4,26	<b>4,70</b>
A10-2	2,33	2,85	2,40	<b>2,52</b>	3,20	3,92	3,70	<b>3,61</b>	5,94	7,21	6,70	<b>6,61</b>
A10-1	1,45	1,62	1,74	<b>1,61</b>	2,06	2,31	2,42	<b>2,26</b>	3,88	4,42	4,59	<b>4,30</b>
A15-4	2,49	2,24	2,37	<b>2,37</b>	2,92	2,65	2,74	<b>2,77</b>	5,11	4,58	4,63	<b>4,77</b>
A15-3	4,00	3,78	3,08	<b>3,62</b>	5,51	5,05	4,17	<b>4,91</b>	8,89	8,24	6,89	<b>8,00</b>
A15-2	4,22	3,99	5,44	<b>4,55</b>	6,39	5,82	7,81	<b>6,67</b>	11,94	10,44	13,63	<b>12,00</b>
A15-1	7,17	6,97	8,08	<b>7,41</b>	10,36	9,78	10,63	<b>10,26</b>	16,36	16,58	16,51	<b>16,48</b>
AC0	12,22	9,93	11,54	<b>11,23</b>	15,59	12,84	15,66	<b>14,70</b>	24,66	20,53	24,15	<b>23,11</b>
AC2,5-4	20,22	20,39	19,93	<b>20,18</b>	20,61	20,81	20,67	<b>20,70</b>	20,84	21,06	21,00	<b>20,97</b>
AC2,5-3	20,39	20,45	20,56	<b>20,47</b>	20,65	20,79	20,81	<b>20,75</b>	20,90	20,95	21,05	<b>20,97</b>
AC2,5-2	20,34	20,31	19,93	<b>20,19</b>	20,63	20,73	20,23	<b>20,53</b>	21,19	21,29	20,78	<b>21,09</b>
AC2,5-1	20,79	21,05	20,14	<b>20,66</b>	20,94	21,23	20,23	<b>20,80</b>	21,15	21,42	20,53	<b>21,03</b>
AC5-4	12,56	9,89	16,51	<b>12,98</b>	17,36	13,72	21,20	<b>17,43</b>	21,71	19,83	22,00	<b>21,18</b>
AC5-3	5,65	3,82	4,65	<b>4,71</b>	7,41	4,86	5,94	<b>6,07</b>	15,07	9,27	12,28	<b>12,21</b>
AC5-2	16,52	16,22	14,81	<b>15,85</b>	18,26	17,66	17,34	<b>17,75</b>	18,91	18,31	18,38	<b>18,53</b>
AC5-1	18,30	18,45	17,58	<b>18,11</b>	19,07	19,26	18,66	<b>18,99</b>	19,41	19,56	19,02	<b>19,33</b>
AC10-4	5,26	5,82	5,64	<b>5,57</b>	6,91	7,96	7,45	<b>7,44</b>	10,87	12,80	12,40	<b>12,02</b>
AC10-3	7,79	9,04	11,54	<b>9,46</b>	9,76	11,38	13,98	<b>11,71</b>	18,49	21,27	22,85	<b>20,87</b>
AC10-2	7,89	8,87	8,04	<b>8,27</b>	10,22	11,32	10,27	<b>10,61</b>	20,51	21,93	20,34	<b>20,93</b>
AC10-1	2,97	4,21	3,85	<b>3,68</b>	3,51	5,88	5,13	<b>4,84</b>	6,64	13,35	11,67	<b>10,55</b>
AC15-4	4,79	7,27	7,28	<b>6,44</b>	6,30	9,44	9,50	<b>8,41</b>	10,88	13,49	13,81	<b>12,73</b>
AC15-3	6,13	7,29	6,01	<b>6,48</b>	7,94	9,60	7,95	<b>8,49</b>	12,14	13,70	12,21	<b>12,68</b>
AC15-2	10,54	9,77	9,28	<b>9,86</b>	12,86	12,17	11,33	<b>12,12</b>	15,70	15,01	14,38	<b>15,03</b>
AC15-1	9,80	9,16	7,31	<b>8,76</b>	12,14	11,19	9,22	<b>10,85</b>	14,77	13,90	13,18	<b>13,95</b>

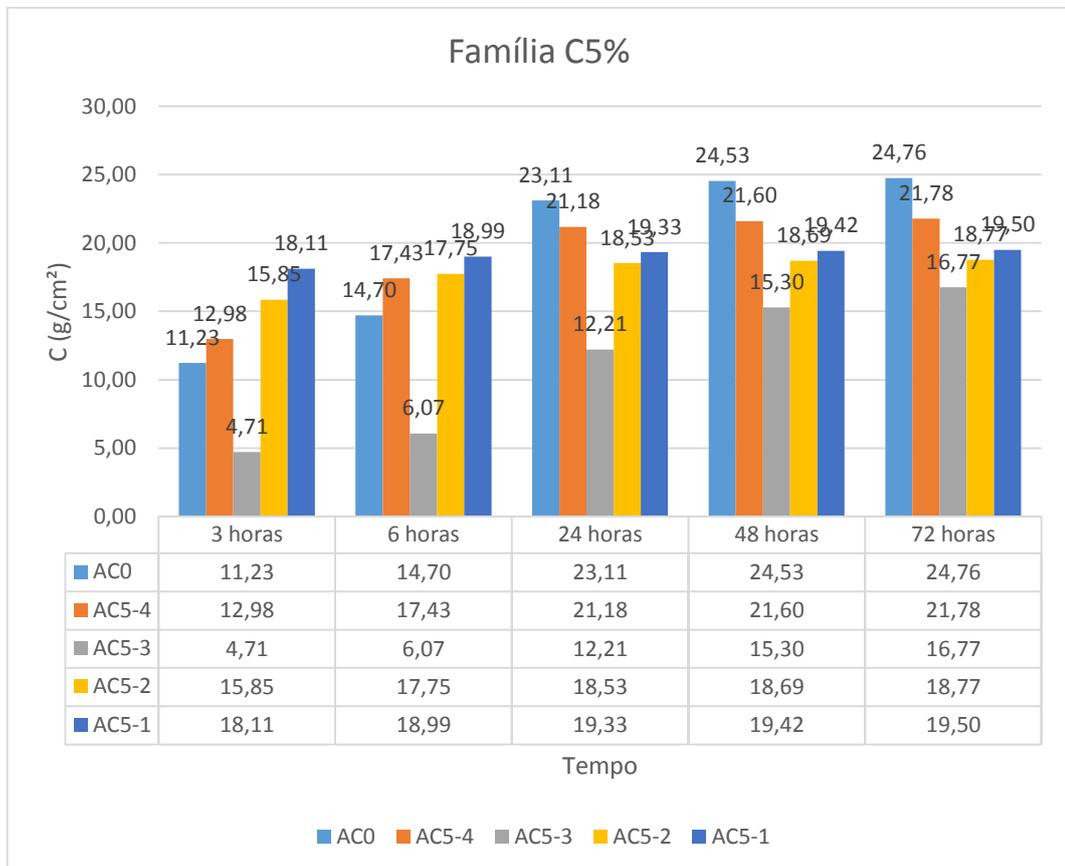
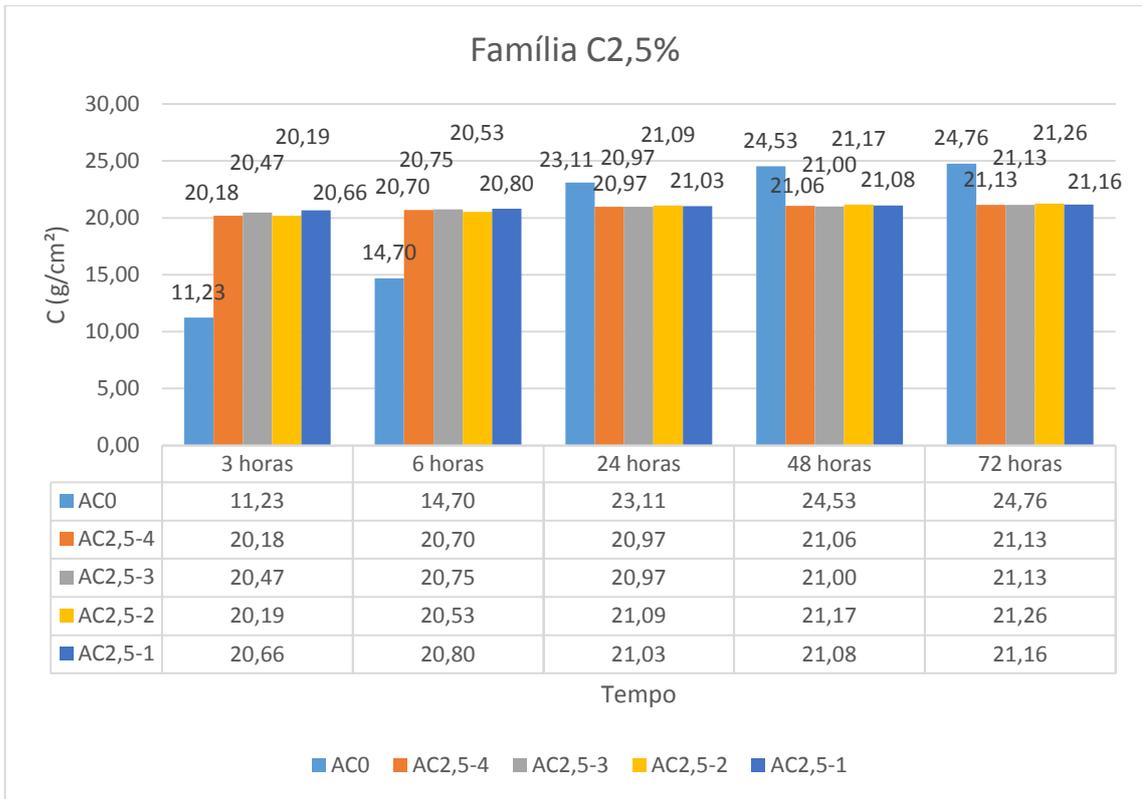
Subfamília	Absorção por Capilaridade - 28 dias							
	48 horas				72 horas			
	C (g/cm <sup>2</sup> )				C (g/cm <sup>2</sup> )			
	CP1	CP2	CP3	Média	CP1	CP2	CP3	Média
A0	6,74	9,32	7,98	<b>8,01</b>	8,73	10,66	9,42	<b>9,61</b>
A2,5-4	6,54	7,49	6,83	<b>6,95</b>	7,29	8,39	7,72	<b>7,80</b>
A2,5-3	7,42	8,05	8,97	<b>8,14</b>	8,29	9,05	10,12	<b>9,15</b>
A2,5-2	5,95	7,08	6,27	<b>6,44</b>	6,70	7,82	6,87	<b>7,13</b>
A2,5-1	5,66	7,62	8,23	<b>7,17</b>	6,43	8,48	9,11	<b>8,00</b>
A5-4	9,14	8,23	7,09	<b>8,15</b>	10,40	9,28	8,10	<b>9,26</b>
A5-3	9,60	10,12	9,80	<b>9,84</b>	11,17	11,64	11,24	<b>11,35</b>
A5-2	7,93	8,81	7,28	<b>8,01</b>	9,01	10,22	8,36	<b>9,19</b>
A5-1	9,90	8,62	8,25	<b>8,92</b>	11,59	10,17	9,86	<b>10,54</b>
A10-4	7,81	6,14	6,77	<b>6,90</b>	9,22	8,15	7,96	<b>8,44</b>
A10-3	6,56	6,82	5,99	<b>6,46</b>	8,04	8,00	7,59	<b>7,88</b>
A10-2	7,66	9,12	8,78	<b>8,52</b>	9,09	10,67	10,39	<b>10,05</b>
A10-1	5,11	5,59	6,04	<b>5,58</b>	6,20	6,63	7,34	<b>6,72</b>
A15-4	6,67	5,85	6,07	<b>6,20</b>	7,78	6,96	7,15	<b>7,30</b>
A15-3	11,93	11,26	9,61	<b>10,93</b>	13,73	12,95	11,14	<b>12,61</b>
A15-2	16,79	14,57	18,96	<b>16,77</b>	19,59	17,07	22,14	<b>19,60</b>
A15-1	21,80	22,68	22,01	<b>22,17</b>	24,01	24,84	24,07	<b>24,31</b>
AC0	25,26	23,90	24,43	<b>24,53</b>	25,43	24,27	24,56	<b>24,76</b>
AC2,5-4	20,91	21,18	21,11	<b>21,06</b>	21,00	21,19	21,20	<b>21,13</b>
AC2,5-3	20,91	21,01	21,08	<b>21,00</b>	21,01	21,11	21,26	<b>21,13</b>
AC2,5-2	21,22	21,39	20,89	<b>21,17</b>	21,32	21,45	21,02	<b>21,26</b>
AC2,5-1	21,17	21,45	20,61	<b>21,08</b>	21,24	21,51	20,73	<b>21,16</b>
AC5-4	22,03	20,51	22,27	<b>21,60</b>	22,27	20,72	22,34	<b>21,78</b>
AC5-3	18,30	11,75	15,84	<b>15,30</b>	19,15	13,48	17,67	<b>16,77</b>
AC5-2	19,01	18,45	18,62	<b>18,69</b>	19,12	18,53	18,67	<b>18,77</b>
AC5-1	19,44	19,66	19,14	<b>19,42</b>	19,54	19,74	19,23	<b>19,50</b>
AC10-4	12,50	14,81	14,08	<b>13,80</b>	13,35	15,70	15,00	<b>14,68</b>
AC10-3	21,97	23,48	24,07	<b>23,17</b>	22,60	23,95	24,44	<b>23,66</b>
AC10-2	21,95	23,25	22,18	<b>22,46</b>	22,27	23,60	22,54	<b>22,80</b>
AC10-1	8,54	17,16	15,28	<b>13,66</b>	9,48	18,57	16,87	<b>14,97</b>
AC15-4	12,02	14,06	14,30	<b>13,46</b>	12,39	14,34	14,51	<b>13,74</b>
AC15-3	12,95	14,32	12,85	<b>13,37</b>	13,31	14,65	13,13	<b>13,70</b>
AC15-2	15,93	15,36	14,65	<b>15,31</b>	16,19	15,47	14,88	<b>15,51</b>
AC15-1	15,02	14,11	13,50	<b>14,21</b>	15,10	14,18	13,72	<b>14,33</b>

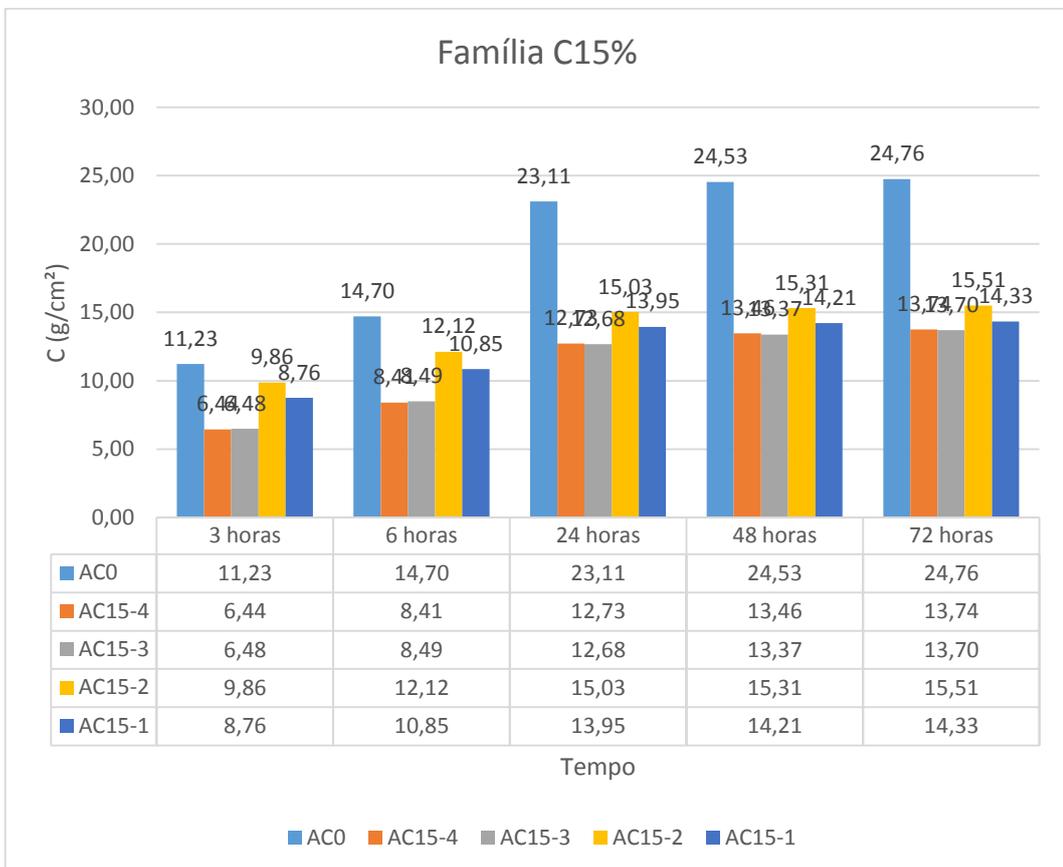
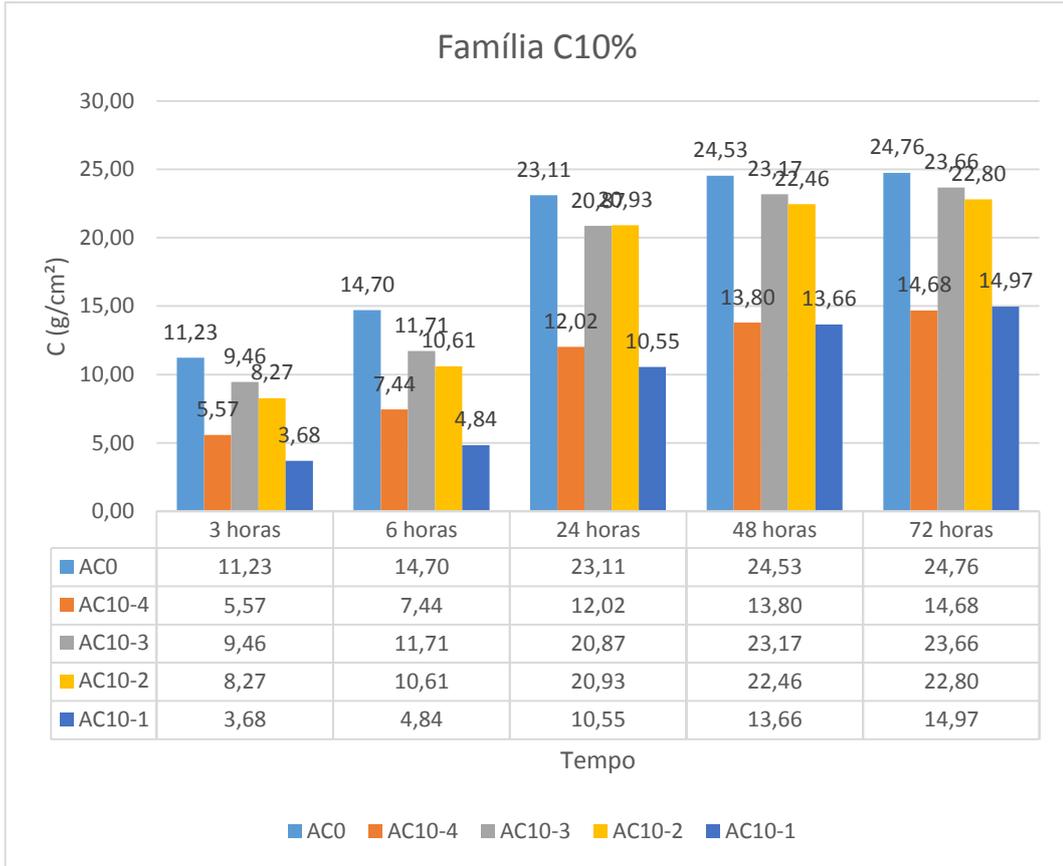
Gráficos absorção por capilaridade para todas as idades – traço 1:3





Gráficos absorção por capilaridade para todas as idades – traço 1:2:9





### APÊNDICE D - Resultados dos ensaios de absorção por imersão

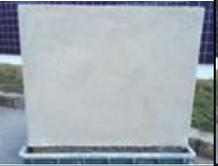
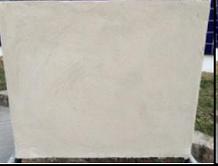
Subfamília	Absorção por Imersão - 28 dias							
	A (%) Absorção				Iv (%) Índice de vazios			
	CP1	CP2	CP3	Média	CP1	CP2	CP3	Média
A0	9,64	9,65		<b>9,65</b>	18,88	19,10		<b>18,99</b>
A2,5-4	8,00	8,53	8,35	<b>8,29</b>	14,95	15,78	15,60	<b>15,44</b>
A2,5-3	9,46	9,96	9,59	<b>9,67</b>	17,02	17,87	17,44	<b>17,44</b>
A2,5-2	7,93	8,41	6,95	<b>7,76</b>	12,18	12,19	10,27	<b>11,55</b>
A2,5-1	9,39	8,93	9,66	<b>9,33</b>	13,82	12,68	13,59	<b>13,36</b>
A5-4	13,11	12,33	11,70	<b>12,38</b>	21,44	20,73	19,97	<b>20,72</b>
A5-3	13,23	12,79	12,93	<b>12,99</b>	22,08	21,36	21,58	<b>21,67</b>
A5-2	12,90	13,52	12,31	<b>12,91</b>	21,28	21,93	20,69	<b>21,30</b>
A5-1	11,52	12,41	12,82	<b>12,25</b>	19,88	21,21	21,95	<b>21,01</b>
A10-4	14,35	14,13	15,35	<b>14,61</b>	23,39	23,53	25,05	<b>23,99</b>
A10-3	13,73	13,47	14,26	<b>13,82</b>	22,95	21,94	22,60	<b>22,49</b>
A10-2	14,20	14,72	15,15	<b>14,69</b>	22,86	23,08	23,75	<b>23,23</b>
A10-1	13,44	13,01	12,92	<b>13,12</b>	20,22	19,85	21,34	<b>20,47</b>
A15-4	16,54	16,73	17,24	<b>16,83</b>	25,85	25,93	26,69	<b>26,16</b>
A15-3	14,62	13,27	13,49	<b>13,79</b>	22,46	20,44	20,75	<b>21,22</b>
A15-2	16,68	14,67	15,67	<b>15,67</b>	24,99	21,55	23,38	<b>23,30</b>
A15-1	17,15	15,71	17,05	<b>16,63</b>	25,16	23,52	25,10	<b>24,59</b>
AC0	14,62	14,52	13,68	<b>14,27</b>	25,52	24,64	23,00	<b>24,39</b>
AC2,5-4	22,28	18,69	19,64	<b>20,20</b>	25,12	24,28	23,62	<b>24,34</b>
AC2,5-3	15,38	17,15	17,95	<b>16,83</b>	23,02	25,65	26,66	<b>25,11</b>
AC2,5-2	18,02	11,42	17,41	<b>15,62</b>	25,47	16,34	24,74	<b>22,19</b>
AC2,5-1	21,46	24,50	19,54	<b>21,83</b>	29,17	32,95	26,24	<b>29,45</b>
AC5-4	17,80	17,72	16,65	<b>17,39</b>	23,75	23,83	22,53	<b>23,37</b>
AC5-3	16,20	15,14	17,25	<b>16,20</b>	22,60	21,07	23,77	<b>22,48</b>
AC5-2	19,30	18,21	19,89	<b>19,14</b>	24,57	23,49	25,19	<b>24,42</b>
AC5-1	23,36	22,05	24,25	<b>23,22</b>	24,73	29,17	26,48	<b>26,79</b>
AC10-4	15,58	17,12	15,98	<b>16,23</b>	20,92	24,80	21,76	<b>22,50</b>
AC10-3	22,16	21,37	21,05	<b>21,53</b>	29,63	28,34	28,39	<b>28,79</b>
AC10-2	19,07	18,19	18,98	<b>18,75</b>	26,64	25,72	26,53	<b>26,30</b>
AC10-1	16,66	17,97	17,77	<b>17,47</b>	23,72	25,06	25,33	<b>24,70</b>
AC15-4	18,84	17,57	18,70	<b>18,37</b>	24,55	21,79	24,14	<b>23,49</b>
AC15-3	16,15	16,48	16,25	<b>16,30</b>	20,81	21,16	20,81	<b>20,93</b>
AC15-2	22,39	26,59	23,77	<b>24,25</b>	23,41	27,62	25,43	<b>25,49</b>
AC15-1	21,39	27,62	29,28	<b>26,10</b>	23,12	33,98	35,70	<b>30,94</b>

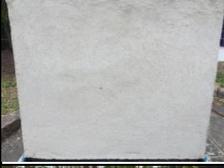
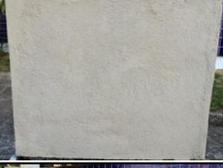
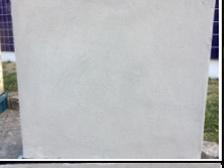
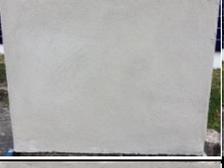
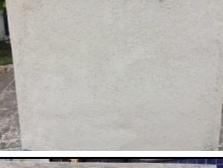
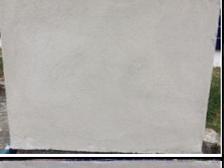
Subfamília	Absorção por Imersão - 28 dias											
	ps (massa esp. amostra seca)				psat (massa esp. amostra sat.)				pr (massa específica real)			
	CP1	CP2	CP3	Média	CP1	CP2	CP3	Média	CP1	CP2	CP3	Média
A0	1,96	1,98		<b>1,97</b>	2,15	2,17		<b>2,16</b>	2,41	2,45		<b>2,43</b>
A2,5-4	1,87	1,85	1,87	<b>1,86</b>	2,02	2,01	2,03	<b>2,02</b>	2,20	2,20	2,21	<b>2,20</b>
A2,5-3	1,80	1,79	1,82	<b>1,80</b>	1,97	1,97	1,99	<b>1,98</b>	2,17	2,19	2,20	<b>2,18</b>
A2,5-2	1,54	1,45	1,48	<b>1,49</b>	1,66	1,57	1,58	<b>1,60</b>	1,75	1,65	1,65	<b>1,68</b>
A2,5-1	1,47	1,42	1,41	<b>1,43</b>	1,61	1,55	1,54	<b>1,57</b>	1,71	1,63	1,63	<b>1,65</b>
A5-4	1,64	1,68	1,71	<b>1,68</b>	1,85	1,89	1,91	<b>1,88</b>	2,08	2,12	2,13	<b>2,11</b>
A5-3	1,67	1,67	1,67	<b>1,67</b>	1,89	1,88	1,88	<b>1,89</b>	2,14	2,12	2,13	<b>2,13</b>
A5-2	1,65	1,62	1,68	<b>1,65</b>	1,86	1,84	1,89	<b>1,86</b>	2,10	2,08	2,12	<b>2,10</b>
A5-1	1,73	1,71	1,71	<b>1,72</b>	1,92	1,92	1,93	<b>1,93</b>	2,15	2,17	2,19	<b>2,17</b>
A10-4	1,63	1,67	1,63	<b>1,64</b>	1,86	1,90	1,88	<b>1,88</b>	2,13	2,18	2,18	<b>2,16</b>
A10-3	1,67	1,63	1,58	<b>1,63</b>	1,90	1,85	1,81	<b>1,85</b>	2,17	2,09	2,05	<b>2,10</b>
A10-2	1,61	1,57	1,57	<b>1,58</b>	1,84	1,80	1,81	<b>1,81</b>	2,09	2,04	2,06	<b>2,06</b>
A10-1	1,50	1,53	1,65	<b>1,56</b>	1,71	1,73	1,87	<b>1,77</b>	1,89	1,90	2,10	<b>1,96</b>
A15-4	1,56	1,55	1,55	<b>1,55</b>	1,82	1,81	1,81	<b>1,82</b>	2,11	2,09	2,11	<b>2,10</b>
A15-3	1,54	1,54	1,54	<b>1,54</b>	1,76	1,75	1,75	<b>1,75</b>	1,98	1,94	1,94	<b>1,95</b>
A15-2	1,50	1,47	1,49	<b>1,49</b>	1,75	1,68	1,73	<b>1,72</b>	2,00	1,87	1,95	<b>1,94</b>
A15-1	1,47	1,50	1,47	<b>1,48</b>	1,72	1,73	1,72	<b>1,72</b>	1,96	1,96	1,97	<b>1,96</b>
AC0	1,75	1,70	1,68	<b>1,71</b>	2,00	1,94	1,91	<b>1,95</b>	2,34	2,25	2,18	<b>2,26</b>
AC2,5-4	1,13	1,30	1,20	<b>1,21</b>	1,38	1,54	1,44	<b>1,45</b>	1,51	1,72	1,57	<b>1,60</b>
AC2,5-3	1,50	1,50	1,49	<b>1,49</b>	1,73	1,75	1,75	<b>1,74</b>	1,94	2,01	2,02	<b>1,99</b>
AC2,5-2	1,41	1,43	1,42	<b>1,42</b>	1,67	1,60	1,67	<b>1,64</b>	1,90	1,71	1,89	<b>1,83</b>
AC2,5-1	1,36	1,34	1,34	<b>1,35</b>	1,65	1,67	1,61	<b>1,64</b>	1,92	2,01	1,82	<b>1,92</b>
AC5-4	1,33	1,35	1,35	<b>1,34</b>	1,57	1,58	1,58	<b>1,58</b>	1,75	1,77	1,75	<b>1,75</b>
AC5-3	1,40	1,39	1,38	<b>1,39</b>	1,62	1,60	1,62	<b>1,61</b>	1,80	1,76	1,81	<b>1,79</b>
AC5-2	1,27	1,29	1,27	<b>1,28</b>	1,52	1,52	1,52	<b>1,52</b>	1,69	1,69	1,69	<b>1,69</b>
AC5-1	1,06	1,32	1,09	<b>1,16</b>	1,31	1,61	1,36	<b>1,43</b>	1,41	1,87	1,49	<b>1,59</b>
AC10-4	1,34	1,45	1,36	<b>1,38</b>	1,55	1,70	1,58	<b>1,61</b>	1,70	1,93	1,74	<b>1,79</b>
AC10-3	1,34	1,33	1,35	<b>1,34</b>	1,63	1,61	1,63	<b>1,63</b>	1,90	1,85	1,88	<b>1,88</b>
AC10-2	1,40	1,41	1,40	<b>1,40</b>	1,66	1,67	1,66	<b>1,67</b>	1,90	1,90	1,90	<b>1,90</b>
AC10-1	1,42	1,39	1,43	<b>1,41</b>	1,66	1,65	1,68	<b>1,66</b>	1,87	1,86	1,91	<b>1,88</b>
AC15-4	1,30	1,24	1,29	<b>1,28</b>	1,55	1,46	1,53	<b>1,51</b>	1,73	1,59	1,70	<b>1,67</b>
AC15-3	1,29	1,28	1,28	<b>1,28</b>	1,50	1,50	1,49	<b>1,49</b>	1,63	1,63	1,62	<b>1,62</b>
AC15-2	1,05	1,04	1,07	<b>1,05</b>	1,28	1,32	1,32	<b>1,31</b>	1,37	1,44	1,43	<b>1,41</b>
AC15-1	1,08	1,23	1,22	<b>1,18</b>	1,31	1,57	1,58	<b>1,49</b>	1,41	1,86	1,90	<b>1,72</b>

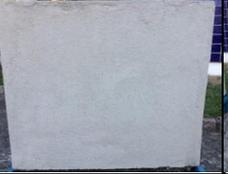
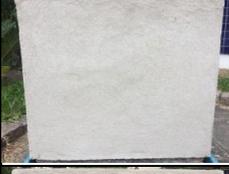
**APÊNDICE E - Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão**

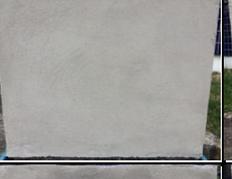
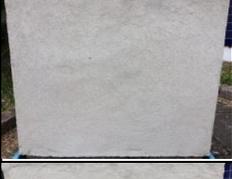
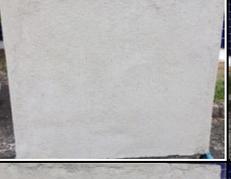
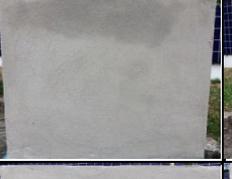
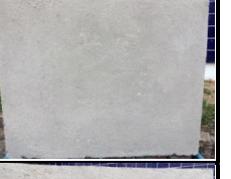
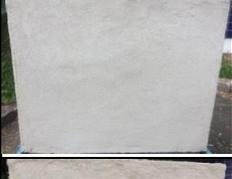
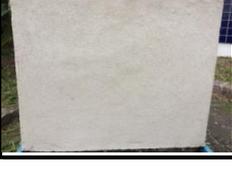
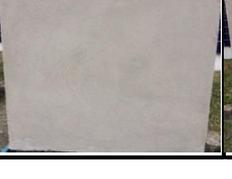
Subfamília	Rompimento 28 dias – Tração na flexão								
	Carga (kgf)			Tensão (MPa)				Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3	Média		
A0	220,0	190,0	240,0	5,16	4,45	5,63	<b>5,08</b>	<b>0,59</b>	<b>11,69</b>
A2,5-4	160,0	170,0	180,0	3,75	3,98	4,22	<b>3,98</b>	<b>0,24</b>	<b>5,90</b>
AC0	20,0	20,0	10,0	0,47	0,47	0,23	<b>0,39</b>	<b>0,14</b>	<b>35,53</b>
AC10-3	4,0	3,0	3,0	0,09	0,07	0,07	<b>0,08</b>	<b>0,01</b>	<b>15,06</b>

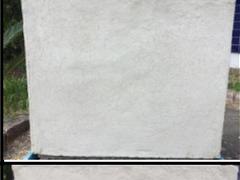
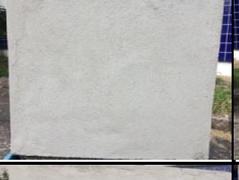
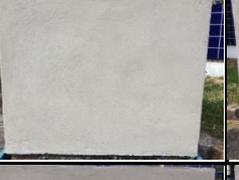
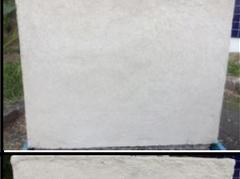
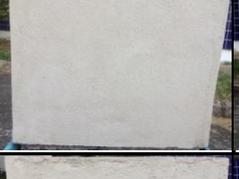
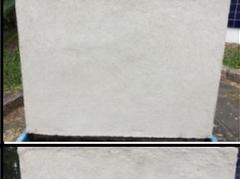
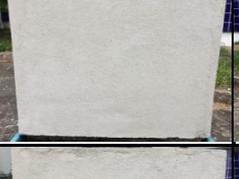
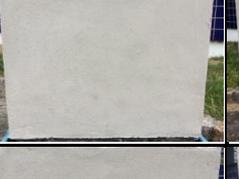
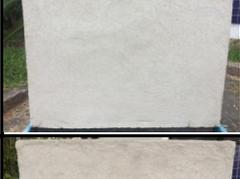
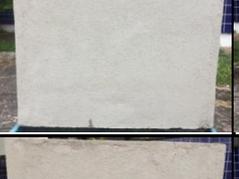
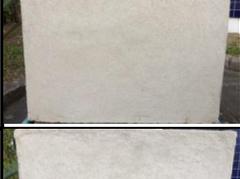
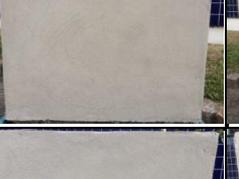
**APÊNDICE F - Resultados da avaliação do surgimento de manifestações patológicas**

Fachada Norte	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	0				
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	14				
21					

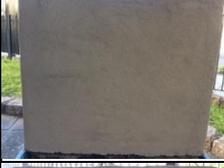
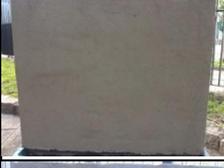
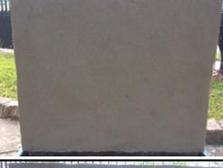
Fachada Norte	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	28				
	35				
	42				
	49				
	56				
	63				
	70				
	77				
	84				
91					

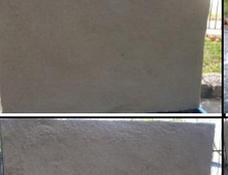
Fachada Norte	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	98				
	105				
	112				
	119				
	126				
	133				
	140				
	147				
	154				
161					

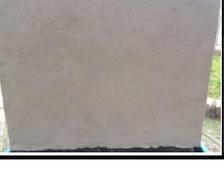
Fachada Norte	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	168				
	175				
	182				
	189				
	196				
	203				
	210				
	217				
	224				
231					

Fachada Norte	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	238				
	245				
	252				
	245				
	259				
	245				
	266				
	273				
	280				

Fachada Sul	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	0				
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	14				
21					

Fachada Sul	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	28				
	35				
	42				
	49				
	56				
	63				
	70				
	77				
	84				
91					

Fachada Sul	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	98				
	105				
	112				
	119				
	126				
	133				
	140				
	147				
	154				
161					

Fachada Sul	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	168				
	175				
	182				
	189				
	196				
	203				
	210				
	217				
	224				
231					

Fachada Sul	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	238				
	245				
	252				
	245				
	259				
	245				
	266				
	273				
	280				

Fachada Leste	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	0				
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	14				
21					

Fachada Leste	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	28				
	35				
	42				
	49				
	56				
	63				
	70				
	77				
	84				
91					

Fachada Leste	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	98				
	105				
	112				
	119				
	126				
	133				
	140				
	147				
	154				
161					

Fachada Leste	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	168				
	175				
	182				
	189				
	196				
	203				
	210				
	217				
	224				
231					

Fachada Leste	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	238				
	245				
	252				
	245				
	259				
	245				
	266				
	273				
	280				

Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
14				
21				

Fachada Oeste

Fachada Oeste	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	28				
	35				
	42				
	49				
	56				
	63				
	70				
	77				
	84				
91					

Fachada Oeste	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	98				
	105				
	112				
	119				
	126				
	133				
	140				
	147				
	154				
161					

Fachada Oeste	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	168				
	175				
	182				
	189				
	196				
	203				
	210				
	217				
	224				
231					

Fachada Oeste	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	238				
	245				
	252				
	245				
	259				
	245				
	266				
	273				
	280				

Vista Superior	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	0				
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	14				
21					

Vista Superior	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	28				
	35				
	42				
	49				
	56				
	63				
	70				
	77				
	84				
91					

Vista Superior	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	98				
	105				
	112				
	119				
	126				
	133				
	140				
	147				
	154				
161					

Vista Superior	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	168				
	175				
	182				
	189				
	196				
	203				
	210				
	217				
	224				
231					

Vista Superior	Idade (dias)	A0	A2,5-4	AC0	AC10-3
	238				
	245				
	252				
	245				
	259				
	245				
	266				
	273				
	280				

### APÊNDICE G - Resultados de absorção pelo método cachimbo

Argamassa A0								
Minuto	Fachada Norte				Fachada Sul			
	Medição (ml)				Medição (ml)			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
1	3,90	3,95	3,90	<b>3,92</b>	3,90	4,00	3,90	<b>3,93</b>
2	3,90	3,90	3,80	<b>3,87</b>	3,80	4,00	3,80	<b>3,87</b>
3	3,85	3,90	3,80	<b>3,85</b>	3,70	3,90	3,70	<b>3,77</b>
4	3,80	3,90	3,80	<b>3,83</b>	3,60	3,80	3,70	<b>3,70</b>
5	3,80	3,85	3,70	<b>3,78</b>	3,55	3,80	3,70	<b>3,68</b>
6	3,80	3,85	3,70	<b>3,78</b>	3,50	3,80	3,65	<b>3,65</b>
7	3,70	3,80	3,70	<b>3,73</b>	3,40	3,75	3,60	<b>3,58</b>
8	3,65	3,80	3,60	<b>3,68</b>	3,40	3,75	3,60	<b>3,58</b>
9	3,60	3,75	3,60	<b>3,65</b>	3,40	3,75	3,50	<b>3,55</b>
10	3,60	3,70	3,60	<b>3,63</b>	3,40	3,70	3,50	<b>3,53</b>
11	3,60	3,70	3,50	<b>3,60</b>	3,30	3,70	3,50	<b>3,50</b>
12	3,60	3,70	3,50	<b>3,60</b>	3,20	3,60	3,50	<b>3,43</b>
13	3,60	3,70	3,50	<b>3,60</b>	3,10	3,60	3,40	<b>3,37</b>
14	3,60	3,70	3,50	<b>3,60</b>	3,10	3,60	3,40	<b>3,37</b>
15	3,60	3,70	3,45	<b>3,58</b>	3,00	3,60	3,40	<b>3,33</b>

Argamassa A2,5-4								
Minuto	Fachada Norte				Fachada Sul			
	Medição (ml)				Medição (ml)			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
1	3,90	3,95	3,80	<b>3,88</b>	3,90	3,90	4,00	<b>3,93</b>
2	3,85	3,90	3,80	<b>3,85</b>	3,80	3,80	4,00	<b>3,87</b>
3	3,80	3,85	3,70	<b>3,78</b>	3,80	3,80	3,90	<b>3,83</b>
4	3,70	3,80	3,60	<b>3,70</b>	3,80	3,70	3,90	<b>3,80</b>
5	3,70	3,80	3,60	<b>3,70</b>	3,80	3,60	3,90	<b>3,77</b>
6	3,65	3,70	3,60	<b>3,65</b>	3,80	3,60	3,80	<b>3,73</b>
7	3,60	3,65	3,55	<b>3,60</b>	3,70	3,55	3,80	<b>3,68</b>
8	3,60	3,65	3,50	<b>3,58</b>	3,70	3,55	3,70	<b>3,65</b>
9	3,55	3,65	3,50	<b>3,57</b>	3,70	3,50	3,70	<b>3,63</b>
10	3,50	3,60	3,45	<b>3,52</b>	3,60	3,50	3,70	<b>3,60</b>
11	3,50	3,60	3,40	<b>3,50</b>	3,55	3,50	3,70	<b>3,58</b>
12	3,45	3,60	3,30	<b>3,45</b>	3,55	3,40	3,60	<b>3,52</b>
13	3,40	3,50	3,30	<b>3,40</b>	3,50	3,40	3,60	<b>3,50</b>
14	3,40	3,50	3,20	<b>3,37</b>	3,45	3,30	3,60	<b>3,45</b>
15	3,30	3,40	3,20	<b>3,30</b>	3,40	3,30	3,60	<b>3,43</b>

Argamassa AC0								
Minuto	Fachada Norte				Fachada Sul			
	Medição (ml)				Medição (ml)			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
1	3,95	4,00	3,90	<b>3,95</b>	4,00	4,00	4,00	<b>4,00</b>
2	3,90	4,00	3,90	<b>3,93</b>	4,00	4,00	4,00	<b>4,00</b>
3	3,80	3,95	3,85	<b>3,87</b>	3,80	4,00	4,00	<b>3,93</b>
4	3,75	3,95	3,70	<b>3,80</b>	3,80	4,00	4,00	<b>3,93</b>
5	3,70	3,95	3,70	<b>3,78</b>	3,80	4,00	4,00	<b>3,93</b>
6	3,65	3,90	3,70	<b>3,75</b>	3,80	4,00	4,00	<b>3,93</b>
7	3,60	3,00	3,60	<b>3,40</b>	3,75	4,00	4,00	<b>3,92</b>
8	3,55	3,00	3,60	<b>3,38</b>	3,70	4,00	3,95	<b>3,88</b>
9	3,50	3,00	3,60	<b>3,37</b>	3,70	4,00	3,95	<b>3,88</b>
10	3,50	3,00	3,50	<b>3,33</b>	3,70	4,00	3,95	<b>3,88</b>
11	3,40	2,95	3,50	<b>3,28</b>	3,60	3,95	3,90	<b>3,82</b>
12	3,35	2,95	3,50	<b>3,27</b>	3,60	3,95	3,90	<b>3,82</b>
13	3,30	2,95	3,50	<b>3,25</b>	3,55	3,95	3,90	<b>3,80</b>
14	3,25	2,95	3,50	<b>3,23</b>	3,50	3,95	3,90	<b>3,78</b>
15	3,20	2,95	3,40	<b>3,18</b>	3,50	3,95	3,90	<b>3,78</b>

Argamassa AC10-3								
Minuto	Fachada Norte				Fachada Sul			
	Medição (ml)				Medição (ml)			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
1	3,65	3,80	3,90	<b>3,78</b>	3,80	3,90	3,50	<b>3,73</b>
2	3,50	3,65	3,80	<b>3,65</b>	3,70	3,80	3,40	<b>3,63</b>
3	3,30	3,60	3,75	<b>3,55</b>	3,70	3,80	3,40	<b>3,63</b>
4	3,20	3,50	3,75	<b>3,48</b>	3,60	3,75	3,40	<b>3,58</b>
5	3,15	3,40	3,70	<b>3,42</b>	3,55	3,70	3,35	<b>3,53</b>
6	3,10	3,40	3,65	<b>3,38</b>	3,55	3,70	3,30	<b>3,52</b>
7	3,00	3,35	3,60	<b>3,32</b>	3,50	3,70	3,30	<b>3,50</b>
8	2,95	3,30	3,50	<b>3,25</b>	3,50	3,60	3,30	<b>3,47</b>
9	2,90	3,20	3,45	<b>3,18</b>	3,50	3,60	3,30	<b>3,47</b>
10	2,80	3,20	3,45	<b>3,15</b>	3,45	3,55	3,30	<b>3,43</b>
11	2,80	3,10	3,45	<b>3,12</b>	3,40	3,55	3,25	<b>3,40</b>
12	2,70	3,05	3,35	<b>3,03</b>	3,40	3,50	3,25	<b>3,38</b>
13	2,70	3,05	3,30	<b>3,02</b>	3,40	3,50	3,25	<b>3,38</b>
14	2,60	3,00	3,30	<b>2,97</b>	3,30	3,50	3,20	<b>3,33</b>
15	2,55	2,95	3,25	<b>2,92</b>	3,30	3,45	3,20	<b>3,32</b>

**APÊNDICE H - Resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração**

Argamassa	Posição Solar	Ponto	Ruptura	Força (kgf)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Média (MPa)
AC0	Norte	1	F	35	18,095	<b>0,19</b>	<b>0,42</b>
		2	E	98	18,095	<b>0,53</b>	
		3	E	65	16,619	<b>0,38</b>	
		4	E	42	18,095	<b>0,23</b>	
	1 (repetição)	F	91	16,619	<b>0,54</b>	<b>0,50</b>	
	Sul	1	E	86	16,619		<b>0,51</b>
		2	E	86	16,619		<b>0,51</b>
3	F	83	16,619	<b>0,49</b>			
AC10-3	Norte	1	E	14	16,619	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>
		2	E (ERRO)	5	15,904	<b>0,03</b>	
		3	E	14	15,904	<b>0,09</b>	
		4	E	14	14,522	<b>0,09</b>	
	Sul	1	E	8	15,205	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>
		2	E	8	15,205	<b>0,05</b>	
		3	E (ERRO)	-	-	-	
A0	Norte	1	A / E	99	19,634	<b>0,49</b>	<b>0,68</b>
		2	E	135	17,349	<b>0,76</b>	
		3	F	141	17,349	<b>0,80</b>	
	Sul	1	E	153	20,428	<b>0,73</b>	<b>0,70</b>
		2	E	123	19,634	<b>0,61</b>	
		3	F	151	19,634	<b>0,75</b>	
A2,5-4	Norte	1	F	23	16,619	<b>0,14</b>	<b>0,78</b>
		2	A / E	222	18,095	<b>1,20</b>	
		3	E	179	17,349	<b>1,01</b>	
	Sul	1	F	19	17,349	<b>0,11</b>	<b>0,45</b>
		2	E	99	16,619	<b>0,58</b>	
		3	E	146	17,349	<b>0,82</b>	
		4	E	55	18,095	<b>0,30</b>	