

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LETICIA MARTELO PAGOTO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO À ÁGUA EM ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO INCORPORADAS COM BORRACHA DE PNEUS**

Ilha Solteira
2018

LETICIA MARTELO PAGOTO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO À ÁGUA EM ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO INCORPORADAS COM BORRACHA DE PNEUS**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Engenharia Civil.
Área do Conhecimento: Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Fabiano Fioriti

Ilha Solteira

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P139e Pagoto, Leticia Martelo.
Estudo do comportamento à água em argamassas de revestimento incorporadas com borracha de pneus / Leticia Martelo Pagoto. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
165 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2018

Orientador: Cesar Fabiano Fioriti
Inclui bibliografia

1. Argamassa de revestimento. 2. Borracha de recauchutagem de pneus. 3. Comportamento à água.


Raiane da Silva Santos

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Setor Técnico de Avaliação, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB-5 - 8999



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Estudo do Comportamento à Água em Argamassas de Revestimento Incorporadas com Borracha de Pneus

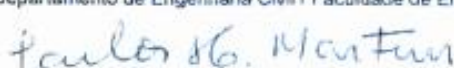
AUTORA: LETICIA MARTELO PAGOTO

ORIENTADOR: CÉSAR FABIANO FIORITI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL, área: Estruturas pela Comissão Examinadora.


Prof. Dr. CÉSAR FABIANO FIORITI
Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente


Prof. Dr. JOSÉ LUIZ PINHEIRO MELGES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. CARLOS HUMBERTO MARTINS
Departamento de Engenharia Civil / Universidade Estadual de Maringá

Ilha Solteira, 29 de novembro de 2018

Dedico este trabalho aos meus pais, que
construíram um lar com pilares sólidos de amor,
carinho, respeito e fé, buscando ensinar os
verdadeiros valores da vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força e conforto espiritual durante os momentos difíceis desta etapa.

Aos meus pais e minha irmã, pelo apoio e compreensão em mais esta etapa de crescimento profissional e pessoal.

Ao Prof. Dr. Cesar Fabiano Fioriti, pela orientação, profissionalismo, dedicação, pelo conhecimento compartilhado e pela compreensão e paciência em todas as fases de realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki e Prof. Dr. José Luiz Pinheiro Melges pelo auxílio e dedicação em solucionar questões durante a fase de execução prática deste trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da Unesp, Flávio e Gilson, pelo auxílio, presteza e dedicação durante a execução dos ensaios práticos e em tudo mais que foi necessário.

À empresa Do Vale Prudente Pneus e Recapagens Ltda., que viabilizou os resíduos de borracha.

A todos, no geral, que participaram e contribuíram de alguma forma para esta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis ”
José de Alencar.

RESUMO

A evolução do processo de industrialização vem desencadeando um consumo desenfreado dos recursos naturais. Diante do exposto, a indústria automobilística contribui em grande escala para a geração de resíduos de pneus, os quais ao serem descartados inadequadamente causam inconvenientes ambientais e de saúde pública. Paralelamente, a borracha proveniente do processo mecânico de recauchutagem de pneus vem sendo utilizada em pesquisas relacionadas ao estudo de variadas propriedades em compósitos cimentícios. Perante isso, este trabalho realizou uma avaliação experimental do comportamento à água de argamassas mistas de revestimento produzidas com a incorporação de duas diferentes granulometrias de borracha de pneus, estudadas segundo a vertente da substituição parcial da areia. O teor de incorporação de borracha de pneus nas argamassas foi de 5%, 10%, 15% e 20%, em volume. As diferentes granulometrias de borracha, provenientes da recauchutagem de pneus, foram doravante denominadas de grossa (passante na peneira #1,19 mm) e fina (passante na peneira #0,60 mm). O programa experimental contou com a execução de ensaios de densidade de massa aparente, retenção de água e índice de consistência nos compósitos no estado fresco; posteriormente, com os compósitos no estado endurecido, foram executados os ensaios de densidade de massa aparente, absorção de água por capilaridade, ensaio de secagem, absorção de água por imersão, permeabilidade ao vapor de água e permeabilidade à água sob pressão. Os resultados obtidos mostraram que a incorporação de borracha pode contribuir de maneira positiva na maioria das propriedades estudadas. Sendo assim, dentre as granulometrias utilizadas neste estudo, a borracha fina se destacou por apresentar menor densidade dos compósitos, maior retenção de água para os teores de 15% e 20% de borracha, menor absorção de água tanto por capilaridade como por imersão, maior capacidade de secagem, maior permeabilidade ao vapor de água e menor permeabilidade à água sob pressão.

Palavras-chave: Argamassa de revestimento. Borracha de recauchutagem de pneus. Comportamento à água.

ABSTRACT

The evolution of the industrialization process has triggered an uncontrolled consumption of natural resources. According to this fact, the automobile industry contributes greatly in generation of waste tires, which, with improper disposal, may cause environmental and public health inconveniences. In parallel, the rubber from the mechanical process of tire retreading has been used in researches related to the study of various properties in cement composites. According to it, this work purposed to carry out an experimental evaluation of the behavior to the water of mixed covering mortars produced with the incorporation of two different grades of tire rubber, studied according to the scope of partial sand replacement. The content of tire rubber incorporation in the mortars was 5%, 10%, 15% and 20% by volume. The different grades of rubber from tire retreading were henceforth referred to as thick (passing through the # 1.19 mm sieve) and fine (passing through the # 0.60 mm sieve). The experimental program consisted in the execution of bulk density tests, tests of water retention and consistency index in the fresh state; subsequently, with the composites in the hardened state, bulk density tests, capillary water absorption tests, drying tests, tests of water absorption by immersion, water vapor permeability and water permeability under pressure. The results showed that the incorporation of rubber could contribute positively in most of the studied properties. Thus, among the gradings used in this study, the fine rubber stood out by presenting the lowest density of the composites, greatest water retention for the contents of 15% and 20% of rubber, lowest water absorption via both capillarity and immersion, greatest drying capacity, greatest permeability to water vapor and lowest permeability to water under pressure.

Keywords: Covering mortar. Rubber tire retreading. Behavior to water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Estrutura do pneu.....	26
Figura 2	- Imagem do espaço do aterro de pneus em Sulaibiya no Kuwait.....	29
Figura 3	- Pneus descartados no Rio Meia Ponte em Goiânia.....	30
Figura 4	- Incêndio em depósito de pneus na cidade de Seseña, na Espanha.....	31
Figura 5	- Depósito de água em pneu.....	31
Figura 6	- Resultados do ensaio de absorção de água por imersão.....	35
Figura 7	- Resultados do ensaio de densidade de massa para os traços com incorporação de cinza de borracha.....	36
Figura 8	- Resultados do ensaio de densidade de massa para os traços com incorporação de 10% de cinza e fibras de borracha.....	36
Figura 9	- Resultados do percentual de retenção de água.....	40
Figura 10	- Resultados da massa específica aparente.....	41
Figura 11	- Resultados do coeficiente de absorção para as argamassas estudadas.....	43
Figura 12	- Resultados da permeabilidade à água sob pressão após 48 horas de ensaio.....	45
Figura 13	- Resultados do ensaio de perda de água por evaporação.....	47
Figura 14	- Borracha grossa.	52
Figura 15	- Borracha fina.	52
Figura 16	- Curvas granulométricas da areia e borracha.....	55
Figura 17	- Determinação da massa do corpo de prova.	64
Figura 18	- Ensaio de secagem.....	68
Figura 19	- Medidas adaptadas do copo teste cilíndrico.	70
Figura 20	- Copo teste cilíndrico fabricado.	71
Figura 21	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de densidade de massa aparente no estado fresco.....	76
Figura 22	- Teor de ar incorporado nos compósitos de argamassa.....	78
Figura 23	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de retenção de água.	79
Figura 24	- Relação dos resultados de retenção de água com os resultados obtidos por Penacho (2012) e Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2015) em termos adimensionais.....	81
Figura 25	- Evolução do índice de consistência dos compósitos.....	82
Figura 26	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido.....	84
Figura 27	- Resultados do coeficiente de capilaridade médio dos compósitos.	86

Figura 28	- Água absorvida média dos compósitos.....	88
Figura 29	- Evolução da água absorvida total média dos compósitos....	90
Figura 30	- Evolução das médias da água evaporada por unidade de área dos compósitos.....	92
Figura 31	- Percentual de água evaporada média dos compósitos.....	93
Figura 32	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão.....	95
Figura 33	- Média de resultados obtidos no ensaio de permeabilidade ao vapor de água.....	97
Figura 34	- Valores médios de variação de massa dos compósitos.....	98
Figura 35	- Média dos resultados obtidos às 24 horas de ensaio.....	100
Figura 36	- Média dos resultados obtidos às 48 horas de ensaio.....	100
Figura 37	- Água aflorada na superfície do revestimento de argamassa	101
Figura 38	- Análise do percentual de água absorvida com 24 horas de ensaio.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Resultados dos índices físicos do cimento Portland utilizado.....	49
Tabela 2	- Resultados dos índices físicos da cal hidratada.....	50
Tabela 3	- Composição granulométrica da areia.....	50
Tabela 4	- Resultados dos ensaios da areia.....	51
Tabela 5	- Resultados dos ensaios para a borracha.....	54
Tabela 6	- Composição granulométrica da borracha.....	54
Tabela 7	- Traços recomendados para argamassas de revestimento....	55
Tabela 8	- Traços das argamassas de revestimento.....	56
Tabela 9	- Parâmetros de proporção das argamassas.....	57
Tabela 10	- Esquema de variáveis a serem analisadas no programa experimental e quantidade de corpos de prova a serem ensaiados.....	58
Tabela 11	- Resultados da água absorvida média dos compósitos.....	88
Tabela 12	- Resultados da água absorvida total média dos compósitos..	90
Tabela 13	- Resumo dos resultados da média da água evaporada por unidade de área.....	92
Tabela 14	- Resumo dos resultados da média do percentual de água evaporada.....	93
Tabela 15	- Resumo dos resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água.....	97

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos.....	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
1.2	Justificativa.....	14
1.3	Estruturação do trabalho.....	16
2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	17
2.1	Argamassa de revestimento.....	17
2.1.1	<i>Breve histórico.....</i>	17
2.1.2	<i>Definição.....</i>	18
2.1.3	<i>Função.....</i>	18
2.1.4	<i>Materiais componentes.....</i>	19
2.1.5	<i>Camadas de revestimentos.....</i>	20
2.1.6	<i>Propriedades.....</i>	21
2.2	Pneus.....	25
2.2.1	<i>Breve relato.....</i>	25
2.2.2	<i>Composição.....</i>	26
2.2.3	<i>Ciclo de vida.....</i>	27
2.2.4	<i>Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de pneus.....</i>	29
2.2.5	<i>Recauchutagem de pneus.....</i>	32
2.2.6	<i>Compósitos cimentícios com incorporação de materiais leves.....</i>	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
3.1	Materiais.....	48
3.1.1	<i>Aglomerantes.....</i>	48
3.1.2	<i>Areia.....</i>	48
3.1.3	<i>Borracha de pneus.....</i>	49
3.1.4	<i>Água.....</i>	49
3.2	Procedimentos experimentais.....	49
3.2.1	<i>Caracterização dos materiais.....</i>	49
3.2.2	<i>Traços dos compósitos de argamassa.....</i>	55
3.2.3	<i>Planejamento dos ensaios.....</i>	57
3.2.4	<i>Densidade de massa aparente no estado fresco.....</i>	59
3.2.5	<i>Retenção de água.....</i>	60
3.2.6	<i>Índice de consistência.....</i>	62
3.2.7	<i>Densidade de massa aparente no estado endurecido.....</i>	63
3.2.8	<i>Absorção de água por capilaridade.....</i>	64
3.2.9	<i>Ensaio de secagem.....</i>	67

3.2.10	<i>Absorção de água por imersão.....</i>	69
3.2.11	<i>Permeabilidade ao vapor de água.....</i>	70
3.2.12	<i>Permeabilidade à água sob pressão.....</i>	73
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	76
4.1	Densidade de massa aparente no estado fresco.....	76
4.2	Retenção de água.....	79
4.3	Índice de consistência.....	82
4.4	Densidade de massa aparente no estado endurecido.....	84
4.5	Absorção de água por capilaridade.....	85
4.6	Ensaio de secagem.....	91
4.7	Absorção de água por imersão.....	94
4.8	Permeabilidade ao vapor de água.....	96
4.9	Permeabilidade à água sob pressão.....	99
5	CONCLUSÕES.....	104
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	106
	REFERÊNCIAS.....	107
	APÊNDICE A - Densidade de Massa Aparente no Estado Fresco	113
	APÊNDICE B - Retenção de Água.....	114
	APÊNDICE C - Índice de Consistência.....	115
	APÊNDICE D - Densidade de Massa Aparente no Estado Endurecido.....	116
	APÊNDICE E - Absorção de Água por Capilaridade.....	117
	APÊNDICE F - Ensaio de Secagem.....	144
	APÊNDICE G - Absorção de Água por Imersão.....	161
	APÊNDICE H - Permeabilidade ao Vapor de Água.....	162
	APÊNDICE I - Permeabilidade à Água Sob Pressão.....	165

1 INTRODUÇÃO

O crescimento dos processos de industrialização, urbanização, agricultura e pecuária no mundo desencadearam um consumo desenfreado dos recursos naturais, como os recursos energéticos (gás natural, petróleo), minerais (grafite, ouro, areia, argila), hídricos (água superficial e subterrânea) e biológicos (florestas). Diante da realidade do possível fim desses recursos, a indústria tem buscado alternativas para continuar produzindo, minimizando na medida do possível os impactos ambientais, em que surge a ideia de consumo sustentável.

A indústria da construção civil se destaca como um grande consumidor dos recursos naturais não renováveis, por meio da exploração de pedreiras e areeiros em terra e no mar. Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC (2014), a produção mundial de agregados se distribui em 66% na Ásia, 9% na Europa e também na América do Norte, 8% na África, 5% na América Latina e 3% na Oceania. Somente o Brasil, no ano de 2014, foi responsável por produzir 741 milhões de toneladas de agregados, o equivalente a 3,7 toneladas per capita.

Uma alternativa para minimizar o impacto ambiental causado pela construção civil, devido ao uso de recursos naturais, é a reciclagem e utilização de resíduos sólidos em substituição aos agregados naturais convencionais, como por exemplo: resíduos de construção civil, vidros, borracha de pneus, garrafas pet, entre outros. Essa alternativa contribui também para a destinação adequada dos resíduos gerados nos processos produtivos, na medida em que propicia o encapsulamento dos rejeitos na constituição de materiais denominados alternativos.

A geração de resíduos de pneus é um dos grandes problemas a serem vencidos nos dias atuais, devido à grande produção de pneus exigidos pela indústria automobilística. Dessa forma, políticas públicas foram criadas ao longo dos anos em função da necessidade de gerenciar esses rejeitos para não causar inconvenientes ambientais e de saúde pública.

Os resíduos de pneus podem ser utilizados como alternativas na construção civil em casos de: drenagem, obras de contenção, proteção contra a maré nas praias, barreiras de inércia, construção de edificações, concreto de baixo desempenho, incorporação para argamassas e concretos, incorporação na pavimentação asfáltica, co-processamento em indústrias cimenteiras, entre outros.

1.1 Objetivos

Este trabalho foi estruturado em objetivos subdivididos em dois tópicos: objetivo geral e objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral foi realizar uma avaliação experimental do comportamento à água de argamassas mistas de revestimento produzidas com a incorporação de duas diferentes granulometrias de borracha de pneus, estudadas segundo a vertente da substituição parcial da areia. O teor de incorporação de borracha de pneus nas argamassas foi de 5%, 10%, 15% e 20%, em volume.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, teve-se que:

- Estudar as generalidades sobre a incorporação de borracha de pneus em compósitos cimentícios;
- Executar a caracterização física dos materiais envolvidos no trabalho: cimento, cal, agregado miúdo e borracha de pneus;
- Executar a confecção das argamassas de revestimento com incorporação de borracha de pneus, conforme traços estabelecidos;
- Executar os ensaios referentes ao programa experimental;
- Analisar os resultados obtidos nos ensaios do programa experimental, analisando o comportamento à água nos diferentes traços produzidos.

1.2 Justificativa

A opção pela utilização da borracha de pneus justifica-se principalmente pelo aspecto tecnológico, frente a uma análise ambiental. Definindo-se a borracha de

pneus como um sólido particularmente intratável, uma vez que sua decomposição é muito lenta, ela pode desencadear efeitos nocivos e adversos se utilizada em incineradores de resíduos domésticos, além do fato de apresentar risco potencial de incêndio e ser visualmente indesejável.

Sabe-se que a borracha de pneus, classificada como material potencialmente poluidor, está sendo estudada no Brasil com relação a sua aplicação em compósitos de concretos e argamassas. Contribuindo de certa forma na busca de alternativas para reduzir os impactos negativos causados, e na conquista de seu principal objetivo, que visa à disposição final a este material.

De acordo com essas considerações, o uso de borracha de pneus na produção de argamassas para revestimento pode apresentar algumas vantagens, tais como:

- Redução do grande volume de um material que causa problemas de saúde e degradação ambiental;
- Otimização do prolongamento da vida útil dos aterros sanitários;
- Redução do tempo de monitoramento após a desativação dos aterros, pois a borracha dos pneus tem sua decomposição muito lenta;
- Redução do consumo das fontes naturais de agregados utilizados na produção de argamassa;
- Redução da emissão de alguns poluentes na atmosfera, já que a queima deste material libera gases tóxicos;
- Redução da sobrecarga em edificações, em função da baixa densidade da borracha.

No aspecto do comportamento à água de compósitos cimentícios, a literatura denota controvérsias quanto a essa característica, não apresentando uma definição clara quanto à sua melhora ou piora. Portanto, a partir dessas divergências, este trabalho poderá auxiliar na compreensão do comportamento à água em argamassas de revestimento, a partir de ensaios laboratoriais relacionados com a água em várias situações, buscando esclarecer e contribuir com esta questão.

Tendo em vista estas considerações, torna-se imperativo a realização de programas experimentais que possam potencializar os resultados de ensaios relacionados com a água em compósitos cimentícios, sendo que a proposta deste trabalho pode perfeitamente contribuir para que a borracha de pneus deixe de ser um

problema ambiental e de saúde pública, e passe a ser mais uma fonte de material alternativo a ser empregado na construção civil.

1.3 Estruturação do trabalho

Visando atingir os objetivos propostos, o tema foi desenvolvido em cinco capítulos.

No capítulo 1 foi feita uma introdução sobre o assunto, e também foram apresentados os objetivos geral e específico propostos e a justifica pela escolha da utilização de borracha de pneus em argamassas de revestimento.

O capítulo 2 foi composto pela revisão bibliográfica do tema, no qual constam definições, funções, propriedades e materiais componentes das argamassas de revestimento e a evolução histórica do pneu acompanhada de sua composição, disposição final, ciclo de vida e processo de reutilização do pneu, a recauchutagem. Além disso, também foi feita uma revisão de trabalhos que utilizaram o resíduo de borracha em concretos e argamassas.

No capítulo 3 foram apresentados os materiais utilizados, seguido da explanação da metodologia: caracterização dos materiais, traços dos compósitos de argamassa e realização dos procedimentos experimentais dos ensaios.

Os resultados e análises obtidos por meio dos procedimentos experimentais foram apresentados no capítulo 4.

Por fim, no capítulo 5, estão dispostas as conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

2.1 Argamassas de revestimento

2.1.1 Breve histórico

Os primeiros registros do uso de argamassa como material de construção são de 10.000 anos, na pré-história. Estima-se que, próximo a 7.000 a.C., o mais antigo emprego de argamassa pela humanidade foi de um piso polido de 180 m², produzido com pedras e argamassa de cal e areia. Esse piso foi descoberto em 1985 no sul da Galileia, próximo de Yiftah'el, em Israel, quando ocorreu uma escavação para abertura de uma rua (EUROPEAN MORTAR INDUSTRY ORGANIZATION – EMO, 2006; HELLENIC CEMENT INDUSTRY ASSOCIATION – HCIA, 2006).

No Egito (2500 a.C.), a pirâmide de Gizé foi construída com pedras conectadas por um tipo de argamassa de cal ou gesso. Esse domínio do tipo de construção parece ter sido transferido para a Grécia antiga também, onde várias misturas de calcário foram utilizadas para construção e revestimento de tijolos feitos de argila e secos ao sol (HCIA, 2006).

De acordo com Selmo (1989), constam nos livros de Boltshauer (1963) que no período micênico (por volta de 2000 a.C.), na Grécia, a argila crua foi utilizada em construções de taipa ou pau a pique, recobrando as estruturas resistentes de madeira. A arquitetura romana etrusca (séculos VII ao VI a.C) empregou técnica idêntica. Entre 1600 e 1100 a.C., nas construções egípcias modestas, a argila em pasta era utilizada envolvendo a armação estrutural das casas, feita de caules de plantas ou de tronco de palmeiras. A arquitetura grega também utilizou argila cozida em placas molduradas e com baixos relevos para revestir os paramentos de pedra das fachadas. Os gregos e os romanos preparavam misturas de cal, areia e água, ou adicionavam gesso para obter o estuque, que constitui uma especialidade para revestimentos internos. Em alguns casos, eles também adicionavam na mistura o pó de mármore. Os romanos, tanto no assentamento das alvenarias como nos revestimentos, usaram amplamente as argamassas.

No Brasil, já no início da colonização, as alvenarias de pedra, sistema frequentemente utilizado na época, eram empregadas em alicerces, embasamentos ou paredes, as quais eram executadas com argamassa de barro ou cal. Outro material

utilizado, que acreditava-se funcionar como aglomerante, era o óleo de baleia, que misturado à areia, barro ou cal, dava origem à argamassa para assentamento dos tijolos ou pedras (FILOMENO, 1993).

2.1.2 Definição

O revestimento de argamassa é definido pela NBR 13529 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2013) como “uma mistura homogênea de agregado (s) miúdo (s), aglomerante (s) inorgânico (s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Esta mesma norma classifica as argamassas quanto à natureza, tipo e número de aglomerantes:

- Argamassa aérea: preparada com aglomerante (s) aéreo (s);
- Argamassa hidráulica: preparada com aglomerante (s) hidráulico (s);
- Argamassa de cal: preparada com cal, como único aglomerante;
- Argamassa de cimento: preparada com cimento, como único aglomerante;
- Argamassa de gesso: preparada com gesso;
- Argamassa de cimento e cal: preparada com cimento e cal como aglomerantes;
- Argamassa mista: preparada com mais de um aglomerante;
- Argamassa simples: preparada com um único aglomerante.

2.1.3 Função

De acordo com Baía e Sabbatini (2000), os revestimentos de argamassa contêm funções importantes, como: proteger os elementos de vedação da construção frente à ação direta de agentes agressivos, auxiliar as vedações com o isolamento termoacústico e estanqueidade à água e aos gases, deixar a superfície dos elementos de vedação plana (proporcionando uma base regular e adequada para receber outras camadas de acabamento), além de contribuir para a estética da fachada da edificação. No entanto, é importante salientar que não é função do revestimento de argamassa esconder as falhas de execução como o desaprumo da alvenaria, por exemplo.

O revestimento de argamassa pode também ser utilizado como acabamento final ou como base para receber outros tipos de revestimentos (pintura, cerâmica, entre outros).

2.1.4 Materiais componentes

Na sequência serão apresentados os materiais comumente utilizados na confecção de argamassas.

a) Aglomerantes

Aglomerantes são materiais ligantes, geralmente pulverulentos, que têm a função de formar a união entre os grãos de agregados. São utilizados para a produção de argamassas, concretos e pastas.

Nas argamassas de revestimento estão presentes dois tipos de aglomerantes, o cimento e a cal.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002) o cimento Portland é um material que possui propriedade aglomerante desenvolvida pela reação de seus constituintes com a água, sendo denominado de aglomerante hidráulico. Nas propriedades das argamassas, a contribuição do cimento está voltada, sobretudo para a resistência mecânica. Além disso, devido ao cimento ser composto por partículas finas, contribui para a retenção da água de mistura e para a plasticidade.

A composição do cimento Portland é dada por clínquer e adições. O clínquer está presente em todos os tipos de cimento, já as adições definem os vários tipos de cimento existentes no mercado. As adições são incorporadas no cimento durante o processo de moagem do clínquer, podendo ser gesso (presente em todos os tipos de cimento por ser responsável pelo controle do tempo de pega do cimento), escórias de alto-forno (proporciona melhoria da resistência final do cimento e durabilidade), materiais pozolânicos (oferecem maior impermeabilidade às misturas cimentícias) e materiais carbonáticos (tornam as misturas cimentícias mais trabalháveis) (ABCP, 2002).

A NBR 7175 (ABNT, 2003) define a cal como sendo um pó fino, obtido pela hidratação da cal virgem, possuindo como elementos essenciais uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio ou, ainda mais, o óxido de magnésio.

A cal empregada na argamassa, durante seu estado fresco, de acordo com Rago e Cincotto (1999), propicia maior plasticidade, melhorando a trabalhabilidade da pasta, o que aumenta a produtividade na execução do revestimento. A retenção de

água também se destaca como propriedade importante, pois impede que a base, onde se aplica o revestimento, absorva água excessivamente.

b) Agregado miúdo

O agregado miúdo representa o maior volume de materiais presentes na argamassa pronta. Tendo dessa maneira importante destaque referente ao seu comportamento e desempenho.

A areia, agregado presente nas argamassas, é definida pela NBR 9935 (ABNT, 2011) como agregado miúdo originado por meio de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou provenientes de processos industriais.

Segundo a ABCP (2002) as propriedades da argamassa variam de acordo com as características da areia:

- As areias mais finas melhoram trabalhabilidade, retenção de água e retração na secagem e pioram aderência e impermeabilidade;
- As areias com granulometria descontínua proporcionam aumento da retração na secagem e porosidade e pioram trabalhabilidade, aderência, resistência mecânica e impermeabilidade;
- As areias com maior teor de grãos angulosos pioram a trabalhabilidade e melhoram retenção de água e aderência.

2.1.5 Camadas de revestimentos

O revestimento de argamassa pode ser constituído por várias camadas com características e funções distintas. A NBR 13529 (ABNT, 2013) define as funções das camadas do revestimento:

- Chapisco: camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento;
- Emboço: camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final;

- Reboco: camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final;
- Acabamento decorativo: material para acabamento aplicado sobre o revestimento de argamassa, como pintura, materiais cerâmicos, pedras naturais, placas laminadas, têxteis e papel.

2.1.6 Propriedades

Conforme Maciel, Barros e Sabbatini (1998), para que as funções dos revestimentos de argamassa possam ser cumpridas de maneira adequada, eles necessitam apresentar um conjunto de propriedades específicas relativas à argamassa no estado fresco e endurecido.

a) Massa específica e teor de ar

A massa específica é a relação entre a massa e o volume da argamassa. Quando considerado os vazios ela é chamada de massa específica aparente e quando desconsiderado, massa específica absoluta.

O teor de ar diz respeito à quantidade de ar existente em certo volume de argamassa. À medida que aumenta o teor de ar da argamassa, diminui a massa específica aparente (MACIEL, BARROS E SABBATINI, 1998).

b) Trabalhabilidade

Segundo Baía e Sabbatini (2000), a trabalhabilidade é uma propriedade de avaliação qualitativa da argamassa, sendo que para ser considerada trabalhável a mesma deve deixar penetrar facilmente a colher de pedreiro (sem ser fluida), manter-se coesa ao ser transportada (mas não aderir à colher ao ser lançada), distribuir-se facilmente e preencher todas as reentrâncias da base e não endurecer rapidamente quando aplicada.

c) Retenção de água

É a propriedade que traduz a capacidade da argamassa de absorver a água de amassamento, durante o estado fresco, quando exposta à sucção do substrato e às condições do ambiente de evaporação de água, proporcionando a pega e endurecimento da argamassa (SANTOS, 2009).

d) Aderência inicial

Segundo a definição de Baía e Sabbatini (2000), aderência inicial é a propriedade relacionada à ancoragem da argamassa ao substrato, que ocorre em superfícies porosas a partir da entrada da pasta nos poros, reentrâncias e saliências, seguidos do endurecimento da pasta. Para a argamassa apresentar boa aderência inicial, ela deve ter trabalhabilidade e retenção de água adequada à sucção do substrato e às condições de exposição.

e) Retração na secagem

As reações de hidratação dos aglomerantes e a perda de água de amassamento rápida e acentuada são fatores que levam à retração das argamassas, provocando fissuras nos revestimentos, das quais as argamassas ricas em cimento possuem mais disponibilidade de aparecimento de fissuras durante o processo de secagem (SANTOS, 2008).

f) Aderência

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998), aderência é a propriedade do revestimento de manter-se fixo ao substrato, por meio da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. Ela é resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa.

Para Veiga (1998) a aderência não depende somente da argamassa, mas também da natureza do substrato e da sua preparação. Logo, os substratos com superfície rugosa são melhores do que a lisa, pois permitem maior grau de ligação mecânica. No entanto, se o substrato apresentar grande capacidade de absorção pode ser desfavorável por tender a ressecar rapidamente o revestimento, o que pode

impedir a hidratação dos seus constituintes e favorecer a formação de uma interface pulverulenta.

g) Capacidade de absorver deformações

A capacidade de absorver deformações é a propriedade do revestimento capaz de absorver as tensões sem romper, sem apresentar fissuras e sem perder a aderência ao substrato. As fissuras ocorrem devido ao alívio das tensões originadas pelas deformações da base, sendo consideradas prejudiciais quando possibilitam a percolação da água no revestimento e comprometem a aderência, o acabamento superficial, a estanqueidade e a durabilidade do conjunto. O revestimento é responsável por absorver as deformações de pequena amplitude, decorrentes da ação da umidade ou da temperatura; já as deformações de grande amplitude, como os recalques estruturais, não são de responsabilidade do revestimento (BAÍA e SABBATINI, 2000).

h) Resistência mecânica

Essa propriedade dos revestimentos é responsável por suportar ações de naturezas distintas. Ela depende tanto do consumo e da natureza dos agregados e aglomerantes empregados na argamassa como da técnica de execução. A técnica de execução deve buscar a compactação durante a aplicação e acabamento da argamassa. A resistência mecânica aumenta com a diminuição da proporção de agregado na argamassa e o fator água/cimento varia inversamente (BAÍA e SABBATINI, 2000).

De acordo com Freitas (2010) os revestimentos de argamassas estão mais associados à resistência à tração na flexão do que à resistência à compressão e, muitas vezes, a baixa resistência à tração na flexão não permite ao revestimento suportar os esforços, ocasionando, desta forma, manifestações patológicas nos revestimentos, tais como fissuração.

Para Veiga (1998), a resistência do revestimento à fissuração é função da capacidade da argamassa em resistir às tensões de tração nela induzidas pelo efeito de restrição da retração (conferida pela aderência ao substrato relativamente rígido) e da intensidade dessas tensões.

i) Durabilidade

Para Maciel, Barros e Sabbatini (1998) a durabilidade é uma propriedade referente ao uso do revestimento, a qual resulta das suas propriedades no estado endurecido e reflete no seu desempenho ao longo do tempo. Alguns fatores são prejudiciais à durabilidade do revestimento, entre eles a espessura excessiva, qualidade, fissuração, cultura e proliferação de microorganismos, e falta de manutenção.

j) Permeabilidade à água

Segundo Pedro (2011) a permeabilidade à água está relacionada com a compacidade, que por sua vez se relaciona com o número de vazios existente, pois quanto menor for o número de vazios maior será a compacidade e menor a permeabilidade. No entanto, uma argamassa pode apresentar um teor mínimo de vazios, mas devido à existência de fissuras ter uma permeabilidade elevada.

Para a avaliação desta propriedade é comum recorrer a ensaios que têm base na determinação da quantidade de água que penetra em um corpo de prova do material sob a ação de uma pressão constante (VEIGA, 1998).

k) Permeabilidade ao vapor de água

De acordo com Veiga (1998), a água infiltrada por meio de fissuras ou de zonas particulares, a água absorvida pelo revestimento e a água que entra na execução das alvenarias e revestimentos, não sendo necessária à hidratação do cimento, devem evaporar logo que as condições atmosféricas permitam. Dessa forma, o revestimento e a possível camada de pintura aplicada sobre ele devem apresentar uma elevada permeabilidade ao vapor de água.

l) Absorção de água por capilaridade

Para Silva (2006) a capacidade de absorção de água indica a habilidade que um material poroso, não saturado, possui de absorver e escoar água por sucção

capilar. Esta propriedade é utilizada para a avaliação da durabilidade dos materiais à base de cimento Portland.

2.2 Pneus

2.2.1 Breve relato

O pneu surgiu no século XIX e desde então passou por várias transformações para chegar à tecnologia atual. Dentre os vários experimentos realizados, teve início a descoberta do processo de vulcanização da borracha pelo americano Charles Goodyear, por volta de 1830. Este processo foi descoberto acidentalmente deixando cair enxofre à borracha cozida a altas temperaturas. A vulcanização da borracha mantém a sua elasticidade tanto no frio quanto no calor, permite dar forma aos pneus, aumenta a segurança nas freadas e diminui as trepidações nos carros. Mais adiante, a primeira patente de pneus para automóveis foi dos irmãos Michelin, em 1845. Em 1847 a primeira câmara cheia de ar foi colocada dentro de um pneu maciço por Robert Thompson. A partir de 1888, com o uso de pneus em larga escala, as empresas passaram a investir mais em pesquisas e segurança (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS – ANIP, [entre 2013-2017]).

A evolução da história dos pneus no Brasil, segundo a ANIP ([entre 2013-2017]), segue a seguinte cronologia:

- Em 1936 teve início as atividades da indústria de pneumáticos no Brasil com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha – Pneus Brasil no Rio de Janeiro. No primeiro ano de existência da Pneus Brasil, foram fabricados mais de 29 mil pneus;
- Entre os anos de 1938 e 1942, grandes fabricantes mundiais passaram a investir na produção de pneus e câmaras de ar no país, estando acompanhadas por empresas de capital nacional;
- Fundação do Sindicato Nacional da Indústria de Pneumáticos, Câmaras de Ar e Camelback – SINPEC, em 1960, e fundação da ANIP, inicialmente com a participação de três empresas (Bridgestone, Goodyear e Pirelli);
- Nos anos de 1970 a 1999, outras empresas instaladas em várias regiões do país se associaram também à ANIP, como por exemplo, Maggion, Tortuga, Michelin. E no ano de 1999 teve início o Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus

Inservíveis, em conformidade com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 258/1999;

- Criação da Reciclanip, em 2007, entidade ligada à ANIP que tem por objetivo profissionalizar o recolhimento e destinação de inservíveis, adotando como base o modelo europeu;
- Associação de demais empresas à ANIP, entre os anos de 2010 e 2014, que atualmente conta com 11 empresas associadas, em torno de 20 fábricas espalhadas pelo país, em sua maioria nas regiões Sul e Sudeste.

2.2.2 Composição

Os pneus são originados a partir da combinação de matérias-primas como borracha natural, derivados de petróleo, aço e produtos químicos, sendo a quantidade de cada um diferente para cada tipo de utilização do pneu. Segundo o SINPEC (2017), no pneu de passeio, por exemplo, a borracha predomina, sendo composto por 27% sintética e 14% natural. Outros constituintes como o negro de fumo representam 28%, os derivados de petróleo e produtos químicos respondem por 17%, o material metálico (ou aço) por 10% e o têxtil por 4% da composição. A estrutura atual dos pneus é composta conforme a estrutura apresentada na (Figura 1):

Figura 1: Estrutura do pneu.



Fonte: Michelin (2018)

- 1) Camada de borracha sintética estanque ao ar que se encontra no interior do pneu e faz a função de câmara de ar;
- 2) Estrutura flexível formada por filamentos (têxteis ou de aço) engastados na borracha, que formam arcos retos e se enrolam no aro do talão do pneu. Sobre a carcaça colocam-se o resto de lonas e camadas de borracha que formam o pneu;
- 3) Área que conecta a borracha à roda e responsável por manter a integridade do pneu no momento da frenagem ou para resistir a força motriz provocada pela aceleração.
- 4) Parte do pneu que se fixa e ajusta o aro. Está formado por um filamento de aço inextensível de forma e proporção variável segundo a dimensão e tipo do pneu. Nele enrola-se a lona carcaça;
- 5) Borracha lateral reforçada que protege o pneu de impactos contra a calçada, buracos no asfalto, entre outros. Neste local também possuem marcações com as características do pneu.
- 6) Área de revestimento, uma das maiores responsáveis pela força e durabilidade do pneu. Feita de cordas de aço conectadas à borracha.
- 7) Camada responsável por reduzir o calor provocado pelo atrito e auxiliar a manter a forma do pneu quando o veículo está em alta velocidade. É reforçada com cordões de Nylon embutidos nas camadas de borracha ao longo da circunferência do pneu.
- 8) Parte do pneu em contato direto com o solo e formada por uma camada de borracha resistente contra impacto que adere com precisão a todo tipo de superfície.

2.2.3 Ciclo de vida

Segundo relatou Pedro (2011), a análise do ciclo de vida é uma técnica que permite avaliar os aspectos ecológicos resultantes da interação de um produto com o ambiente.

Krömer *et al.* (1999) define o ciclo de vida de um pneu em cinco estágios, relacionando-os com o fluxo material e energético, e sobre as emissões e resíduos que se podem originar, sendo elas:

- Extração de matérias-primas e minerais para pneus, incluindo a aquisição de recursos;
- Produção do pneu;
- Consumo do pneu nas estradas;

- Reciclagem dos pneus usados;
- Transporte dos pneus (resume todas as operações de transporte durante a vida útil, exceto o transporte dos pneus usados para a reciclagem).

Para a análise do ciclo de vida dos pneus, Krömer *et al.* (1999) levaram em consideração os *inputs* (recursos gastos e as necessidades de ar e água) e *outputs* (emissões atmosféricas, emissões para a água, resíduos e sobrecarga) do sistema.

a) Inputs

Entre todos os recursos consumidos no ciclo de vida do pneu, aproximadamente de 88% estão concentrados em sua fase de uso e cerca de 6,9 % na extração das matérias-primas.

A necessidade de ar está relacionada, principalmente, à necessidade de oxigênio para a queima dos recursos fósseis na obtenção de energia. A fase de uso do pneu é a principal responsável por todo o consumo de ar, aproximadamente 96,5%, enquanto a extração de matérias-primas representa 2,2% deste total.

A água é usada em todas as fases de vida de um pneu. A maior parte é usada na aquisição de matérias-primas para a sua produção, aproximadamente 90%. O restante fica distribuído nas outras fases: uso (7,0%), produção (3,8%) e transporte (0,2%).

b) Outputs

Entre todas as fases do ciclo de vida do pneu, o uso é o principal responsável pelos impactos ambientais na atmosfera, representando em torno de 95,4% das emissões. Este impacto negativo é causado, quase completamente, pela emissão de gás carbônico (98%) quando o carro está em movimento.

Nas emissões para a água, a aquisição de matérias-primas se destaca com cerca de 94,4%, enquanto o transporte representa 2,8%, o uso 2,8% e a produção 0,008%.

Os resíduos têm sua grande maioria nas fases de extração de matérias-primas (69,4%) e produção dos pneus (26%), sendo uma pequena parcela representada pelo uso e transporte, 4,6 % e menos de 0,1%, respectivamente.

2.2.4 Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de pneus

O número de pneus inservíveis gerados a cada ano é um problema mundial e seu descarte no meio ambiente, de maneira inadequada, pode causar graves problemas ambientais e de saúde pública.

O maior aterro de pneus do mundo está em Sulaibiya no Kuwait. Segundo Kanso (2014), os pneus são provenientes de vários lugares do mundo, mas principalmente dos Estados Unidos que pagam para poderem depositar esses resíduos no local. A extensão do deserto tomada pelo depósito de pneus atinge uma proporção que já pode ser vista do espaço (Figura 2).

Figura 2: Imagem do espaço do aterro de pneus em Sulaibiya no Kuwait.



Fonte: Kanso (2014).

A fim de deter o avanço nos números de pneus inservíveis é necessário buscar alternativas como a reciclagem, porém este processo comporta custos elevados.

Borrachas (natural e sintética) vulcanizadas são os principais constituintes da composição dos pneus e é devido ao processo de vulcanização que se torna difícil reaproveitar seus constituintes originais, pois há dificuldades em reverter este processo e separar os componentes restantes da matriz molecular criada (PEDRO, 2011).

Diante da situação da geração de passivo ambiental por meio da disposição inadequada dos pneus inservíveis, políticas públicas de gerenciamento desses

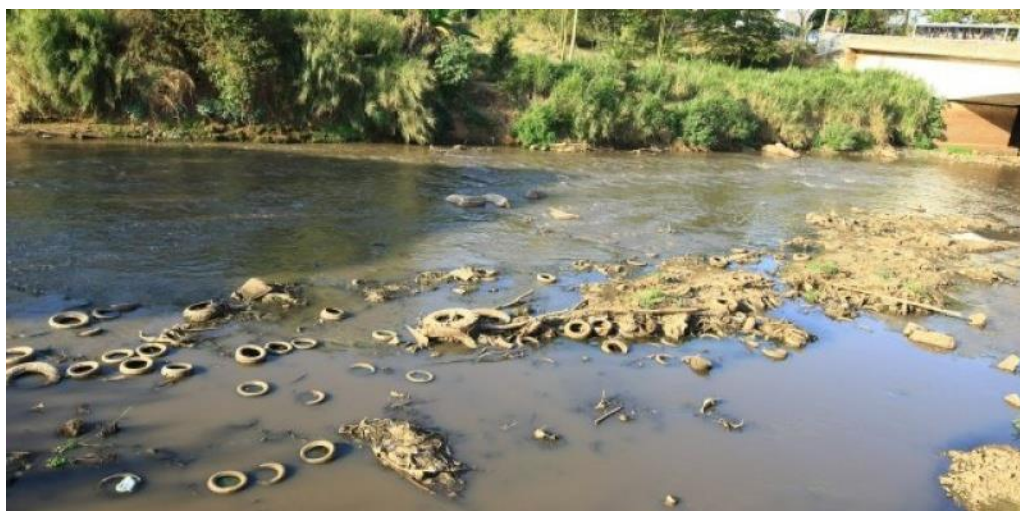
resíduos sólidos foram criadas para tentar minimizar esta questão. São alguns exemplos dessas políticas públicas no Brasil: Política Nacional de Resíduos Sólidos, na Subseção X – dos Pneumáticos; Ações da ANIP; Resolução CONAMA nº 416/2009; Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).

Do início da coleta de pneus pelos fabricantes em 1999 até o ano de 2016 foram coletados e destinados corretamente mais de 4 milhões de toneladas (equivalente a 835 milhões de pneus de carro de passeio). A Reciclanip, entidade ligada à ANIP, até o terceiro trimestre de 2017 já havia destinado adequadamente 359 mil toneladas de pneus inservíveis, quantia equivalente a 71,8 milhões de unidades de pneus de carros de passeio (ANIP, [entre 2013-2017]).

A disposição inadequada dos pneus inservíveis causa problemas ambientais relacionados a:

- Descarte de pneus em corpos d'água (Figura 3);

Figura 3: Pneus descartados no Rio Meia Ponte em Goiânia.



Fonte: O popular (2018)

- Devido à baixa compressibilidade dos pneus, associado à sua degradação muito lenta, quando aterrados inteiros, podem provocar o escorregamento das células de lixo, bem como reduzir a vida útil dos aterros sanitários (D'ALMEIDA; SENA, 2000; SNYDER, 1986);
- Devido à forma do pneu, se for aterrado inteiro, poderá armazenar ar e outros gases no seu interior, aumentando seu volume, e podendo vir a flutuar para a superfície, quebrando a cobertura do aterro. Quando isso ocorre, provoca a exposição

do aterro a micro e macro vetores, a fauna, além de possibilitar que os gases escapem para a atmosfera, bem como haja o vazamento de líquidos (LUND,1993);

- Os pneus ficam sujeitos à queima accidental ou provocada, ocasionando prejuízos na qualidade do ar, em face de liberação de fumaça contendo alto teor de substâncias tóxicas (FIORITI, 2007) (Figura 4);

Figura 4: Incêndio em depósito de pneus na cidade de Seseña, na Espanha.



Fonte: O globo (2018)

- Em relação à saúde pública, o descarte de pneus em terrenos baldios é igualmente danoso, pois devido ao seu formato tende a reter a água de chuva criando um ambiente propício para a proliferação de vetores, como por exemplo, o mosquito *Aedes Aegypti* que é transmissor da dengue (FIORITI, 2007) (Figura 5).

Figura 5: Depósito de água em pneu.



Fonte: Caratinga (2018)

Dessa forma, várias medidas podem ser tomadas para minorar os impactos ambientais causados pela disposição final inadequada dos pneus. Para isso é necessário um elevado nível gerencial, operacional ou ainda tecnológico para essas medidas.

2.2.5 Recauchutagem de pneus

O processo de recauchutagem de pneus é mecânico, sendo realizado por meio de raspagem, geralmente feita com dois cilindros ranhurados, da banda de rodagem do pneu. Neste processo, a raspagem da banda de rodagem é feita para que a estrutura do pneu a ser reaproveitada (carcaça) receba uma nova banda de rodagem, o que reduz a banda de rodagem antiga em partículas de diversos tamanhos, com formatos alongados (como fibras de dimensões de 2 a 40 mm) e granulares (pó) (FIORITI, 2007). Os resíduos de pneus oriundos do processo de recauchutagem de pneus de caminhões foram os utilizados neste trabalho.

Segundo a Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus – ABR [(entre 2013-2017)], a recauchutagem de pneus é uma atividade com mais de 60 anos de tradição no Brasil, sendo este o segundo mercado mundial de recauchutagem de pneus, ficando atrás somente dos Estados Unidos. São cerca de 1257 unidades que realizam a recauchutagem de pneus, em sua maioria empresas de pequeno porte.

O processo mecânico de recauchutagem de pneus pode ser dividido em 11 etapas, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Etapas do processo de recauchutagem.

		
Limpeza do pneu	Inspeção inicial	Raspagem
		
Escariação	Aplicação de cola	Enchimento
		
Aplicação da banda de rodagem	Fase de envelopamento	Montagem para autoclave
		
Autoclave	Vistoria final	

Fonte: Boninpneus (2018)

Os pneus recauchutados proporcionam ao consumidor economia de 73% na compra, comparados aos pneus novos, além de possuírem rendimento quilométrico semelhante (ABR, [(entre 2013-2017)]).

A recauchutagem promove a reutilização de pneus, o que contribui em larga escala, para uma requalificação dos resíduos industriais. Isso impede que os mesmos

sejam colocados em aterros, espalhados pela paisagem ou incinerados, causando riscos à saúde pública.

Em contrapartida, segundo Fioriti (2007), a recauchutagem de pneus é uma fonte de geração de resíduos de borracha que são obtidos durante este processo mecânico. Os resíduos de recauchutagem geram impacto visual negativo, e o depósito desses resíduos a céu aberto além do risco potencial de incêndios, oferecem condições apropriadas para o desenvolvimento de vários tipos de vetores nocivos.

Uma maneira de minimizar o volume desse tipo de resíduo é incorporá-lo em misturas à base de cimento Portland, pois além da efetiva contribuição ao meio ambiente, podem proporcionar propriedades similares aos compósitos convencionais aplicados na construção civil.

2.2.6 Compósitos cimentícios com incorporação de materiais leves

Alguns materiais estudados em incorporações de compósitos cimentícios são denominados leves por possuírem baixa densidade comparados à densidade da areia. Materiais como borracha de pneus, cortiça, Etileno Acetato de Vinila – EVA, argila expandida e vidro são exemplos de materiais leves.

Os estudos voltados para a utilização dos resíduos de pneus, cortiça, EVA, argila expandida e vidro em compósitos de cimento Portland contribuem não somente para buscar alternativas de redução dos impactos negativos, mas também para contribuir na disposição final destes materiais.

A incorporação destes resíduos, assim como todo material alternativo, proporciona alterações nas propriedades dos compósitos, sendo o comportamento à água a vertente principal estudada neste trabalho. Dessa forma, serão relatados trabalhos cujos resultados estejam relacionados ao comportamento à água nos compósitos produzidos.

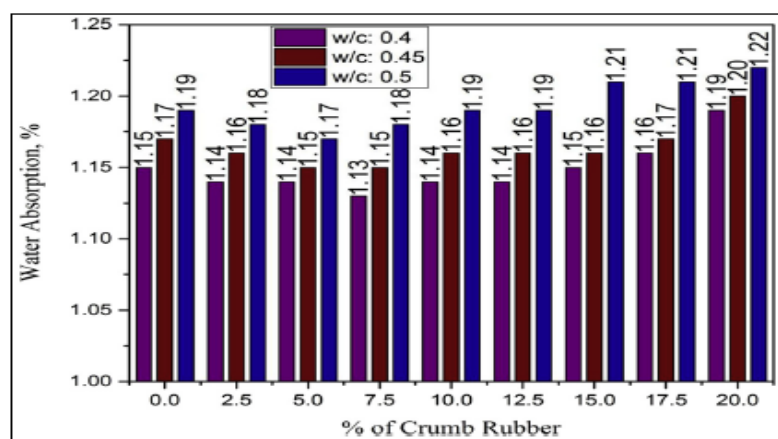
Lintz *et al.* (2010) produziram blocos intertravados de concreto com substituição em massa do agregado miúdo por borracha de recauchutagem (2,5%, 5,0%, 7,5% e 10%) nas frações de 2,4 mm e 4,8 mm. Os resultados do ensaio de absorção de água por imersão mostraram taxas aproximadas de 3,5%, 6,0%, 5,0% e 7,0% de absorção para as respectivas porcentagens de substituição e 3,5% para o traço referência.

Fioriti, Ino e Akasaki (2010) estudaram a influência da incorporação de borracha de recauchutagem, na produção de blocos intertravados de dezesseis faces.

Foi utilizado fator a/c de 0,44 para o traço referência e 0,40 para os traços com borracha (passante na peneira de malha 1,19 mm) nas proporções de 8%, 10%, 12% e 15% de substituição em volume aos agregados. Os resultados do ensaio de absorção de água por imersão indicaram que, comparados à referência, houve aumento de 13,41%, 15,45% e 83,67% para as substituições de 8%, 12% e 15%, respectivamente, enquanto o traço com 10% de borracha apresentou redução de 9,04%.

Thomas e Gupta (2015) confeccionaram traços de concreto com a substituição do agregado miúdo pela borracha oriunda da trituração de pneus. Para a composição da borracha utilizada nos traços, foram misturados 25% de borracha com tamanhos de 2 mm a 4 mm, 35% de 0,8 mm a 2 mm e 40% de borracha passante na peneira 0,59 mm. As taxas de substituição variaram de 2,5% a 20% em incrementos de 2,5%. Foi utilizado fator a/c de 0,4, 0,45 e 0,5 para todas as taxas de substituição. No ensaio de absorção de água por imersão (Figura 6), analisando as taxas de absorção, foi possível observar que nos traços com fator a/c de 0,4 e 0,45 houve tendência crescente para as incorporações de 2,5% a 7,5% de borracha e nas incorporações de 10% a 20% essa taxa começou a aumentar gradativamente. E para o fator a/c de 0,5, a tendência decrescente foi nas incorporações de 2,5% e 5%.

Figura 6: Resultados do ensaio de absorção de água por imersão.

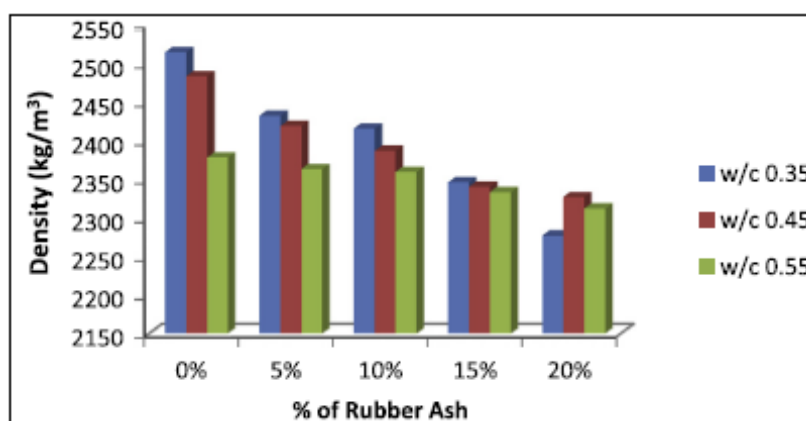


Fonte: Thomas e Gupta (2015).

Gupta, Chaudhary e Sharma (2014) estudaram a substituição em volume do agregado miúdo pela borracha oriunda da trituração de pneus denominada fibra de borracha (2 mm a 3 mm de largura e 20 mm de comprimento) e borracha obtida por meio da técnica de pirólise do pneu (queima por 72 horas com temperatura controlada

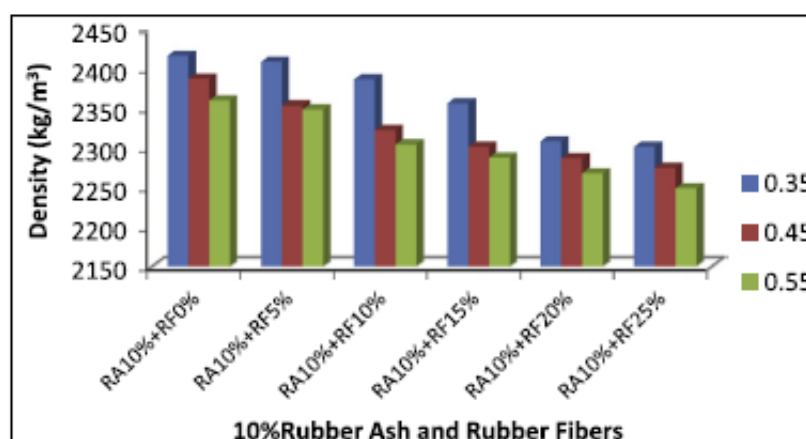
de 850°C) denominada cinza de borracha (partículas variando de 0,15 mm a 1,9 mm). Foram confeccionados traços de concreto com 5%, 10%, 15% e 20% de incorporação de borracha em formato de pó e traços com 5%, 10%, 15%, 20% e 25 % de borrachas em formato de fibras com 10% de borracha em pó. Para todos os traços estudados foram utilizados fatores a/c de 0,35, 0,45 e 0,55. Os resultados da densidade no estado fresco mostraram que todos os traços com incorporação de borracha apresentaram densidade inferior ao traço referência. Nas Figuras 7 e 8, analisando cada fator a/c da mesma porcentagem de incorporação de borracha, é possível observar que a taxa de absorção diminui com o aumento do fator a/c, exceto no traço com 20% de cinza de borracha.

Figura 7: Resultados do ensaio de densidade de massa para os traços com incorporação de cinza de borracha.



Fonte: Gupta, Chaudhary e Sharma (2014).

Figura 8: Resultados do ensaio de densidade de massa para os traços com incorporação de 10% de cinza e fibras de borracha.



Fonte: Gupta, Chaudhary e Sharma (2014).

Nos ensaios de absorção de água por imersão Gupta, Chaudhary e Sharma (2014) verificaram que as taxas de absorção dos traços com cinza de borracha e fator a/c de 0,55 foram menores que o traço referência, sendo que a incorporação de 10% apresentou a menor taxa, cerca de 1,8% contra 2,2% do controle. Já para o fator a/c de 0,35 e 0,45 as taxas de absorção foram maiores e a diferença mais acentuada foi no traço com 20% de cinza de borracha e fator a/c de 0,35, com cerca de 1,4% contra o controle com 0,5%. A absorção de água dos traços com 10% de cinza de borracha e fibras manteve-se praticamente constante no fator a/c de 0,55 para as porcentagens estudadas, com valor de 1,3% aproximadamente, contra 1,8% do traço referência.

Silva Júnior *et al.* (2016) confeccionaram dosagens de concreto com fator a/c de 0,6, uso de plastificante e substituição em massa do agregado miúdo por borracha de recauchutagem, com dimensão máxima de 4,75 mm, tratada com solução de hidróxido de sódio (NaOH), utilizando brita de origem granítica. Foram adotados teores de substituição de 5,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5%, 15,0%, 17,5% e 20,0%, sendo produzidos traços com e sem o uso de plastificante para cada taxa estudada. Avaliando os resultados do ensaio de consistência, os autores notaram que o aumento do teor de borracha aumentava a consistência do concreto, mostrando redução nos valores do abatimento da ordem de 32%, 41%, 59%, 68% e 77% para os teores de 5,0%, 7,5%, 10,0%, 12,5% e 15,0%, respectivamente, com o uso de plastificante, quando comparados à referência. Os traços sem plastificante apresentaram reduções da ordem de 33% e 67% para os respectivos 5,0% e 7,5% de substituição, em relação à referência e os autores consideraram que os concretos com teor igual ou superior a 7,5% não foram trabalháveis, pois apresentaram abatimento inferior a 20,0 mm.

Pinto, Fioriti e Akasaki (2014) estudaram argamassas mistas de revestimento com 4% e 10% do volume do agregado miúdo substituído pela borracha de recauchutagem nas frações de 0,075 mm, 1,19 mm e 2,38 mm. Os resultados do ensaio de densidade mostraram que as argamassas com borracha apresentaram densidade inferior à argamassa referência. Comparando o traço com teor de 4% ao traço referência, a diferença foi de 4,95%, 2,80% e 1,65% no estado fresco, e 6,19%, 4,76% e 3,53% no estado endurecido (idade de 28 dias, seca em estufa) para as frações de 0,075 mm, 1,19 mm e 2,38 mm, respectivamente. E o traço com 10% de borracha apresentou diferença de 14,41%, 12,61% e 10,81% no estado fresco, e 16,67%, 14,76% e 12,86% no estado endurecido para as respectivas frações estudadas.

Fioriti *et al.* (2012) trabalharam com borracha oriunda do processo de trituração, moagem e peneiramento de pneus, nas granulometrias de 420 μ m, 1000 μ m, 1500 μ m e 2000 μ m, para a produção de argamassas. Foi utilizada borracha na proporção de 18,8 %, em volume, em substituição ao agregado miúdo, com e sem o tratamento com solução de NaOH. Os resultados indicaram que o índice de consistência aumentava com o aumento da granulometria da borracha. A argamassa referência apresentou índice de 95,5% e relacionando-o com cada granulometria, houve diferença de 42,7% (420 μ m), 34,8% (1000 μ m), 11,6% (1500 μ m) e 8,2% (2000 μ m). Analisando a influência do uso de borracha não tratada no índice de consistência das argamassas em relação às tratadas, houve diferença de 0,7%, de 4,2% e de 6,7% para as granulometrias de 420 μ m, 1000 μ m e 1500 μ m, respectivamente, e somente a argamassa com borracha tratada de granulometria 2000 μ m apresentou melhora na trabalhabilidade, com diferença de 3,6% em relação à argamassa com borracha não tratada. Para o ensaio de densidade não foi utilizada a borracha com tratamento e os resultados apontaram que as argamassas produzidas com borracha apresentavam densidade inferior à argamassa referência. No estado fresco, a diferença nos valores da densidade para o traço referência em relação a cada porcentagem de borracha incorporada nas argamassas foi de 12,2% (420 μ m), 12,7% (1000 μ m), 11,3% (1500 μ m) e 10,4% (2000 μ m) e no estado endurecido (seco em estufa aos 28 dias) a diferença foi de 13,0% (420 μ m), 13,5% (1000 μ m), 12,1% (1500 μ m) e 11,1% (2000 μ m). No ensaio de absorção de água por imersão (idade de 90 dias), eles observaram que comparando as argamassas com borracha tratada às não tratadas, as granulometrias de 420 μ m e 1000 μ m indicaram aumento de 27,9% e 17,7%, respectivamente, e houve redução de 18,6% na absorção para a granulometria 1500 μ m quando comparada a argamassa de borracha sem tratamento com a tratada. Já a granulometria de 2000 μ m não apresentou diferença nos resultados das duas argamassas estudadas.

Macedo *et al.* (2016) produziram argamassa mista de revestimento com borracha oriunda da moagem de pneus, com dimensão dos grãos variando de 1,05 mm a 2,47 mm. A substituição ao agregado miúdo foi nas proporções de 5% e 10% de borracha. Os resultados apontaram que houve redução da densidade no estado endurecido de 1,1% e 2,2% para os teores de 5% e 10%, respectivamente, quando comparadas à argamassa referência. Quanto à consistência, também houve redução da ordem de 8% e 4% para os respectivos teores de substituição estudados e os

autores afirmaram que os valores encontrados são satisfatórios para aplicação dessas argamassas. Para o ensaio de absorção de água por imersão os resultados mostraram que à medida em que aumentava a porcentagem de incorporação da borracha, diminuía as taxas de absorção, sendo elas 21%, 20% e 19% para os traços referência, 5% e 10% de borracha, respectivamente.

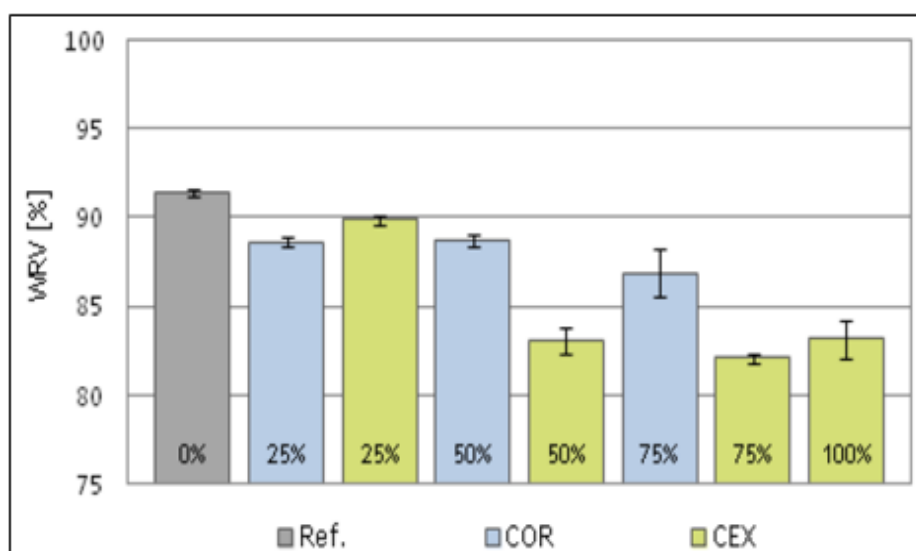
Nos estudos de Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2015), foram analisadas argamassas mistas de revestimento com adição de pó de borracha proveniente do processo de reciclagem de pneus nos teores de 6%, 8%, 10% e 12% em relação ao volume de agregado miúdo. Os resultados obtidos apresentaram redução da densidade de massa aparente no estado fresco de 5%, 6%, 7% e 9% e aumento do teor de ar incorporado de 46%, 51%, 62%, 87% para os respectivos teores 6%, 8%, 10% e 12% quando comparados à referência. Segundo os autores, a redução da densidade das argamassas pode estar relacionada com o aumento do teor de ar incorporado ao adicionar borracha na mistura. Para o ensaio de retenção de água, os teores de 6% e 8% apresentaram taxas de retenção de 92,53% e 92,50%, respectivamente, contra 92,33% da referência. Para os demais teores (10% e 12%), as taxas passaram a ser inferiores à referência, 92,30% e 92,16%, respectivamente. Os autores explicaram que até o teor de 8%, a borracha preenche os vazios entre os grãos de areia, o que pareceu contribuir melhorando as taxas de retenção de água das argamassas, e à medida que o teor de borracha aumentou, ela se tornou excessiva, reduzindo os valores para essa propriedade. Por fim, para os respectivos teores estudados, as taxas de absorção de água por imersão reduziram 0,2%, 0,4%, 0,8% e 1,6%, o que indica que houve redução do índice de vazios, fechando o pacote granulométrico das argamassas.

Angelin *et. al* (2017) estudaram o efeito da porosidade em argamassas com substituição de 30% do agregado miúdo pela borracha de pneus em várias granulometrias (fibras e semelhante à esferóides). Os resultados obtidos apontaram que a trabalhabilidade do traço estudado não foi afetada de maneira acentuada, sendo que as proporções do fator a/c e do superplastificante foram as mesmas tanto no traço controle como no traço com borracha. Quanto à densidade no estado endurecido, ocorreu a redução de 27% do valor quando comparado ao traço referência, sendo que os autores destacaram que essa característica permite o emprego desse tipo de argamassa, por exemplo, na aplicação externa de revestimentos de parede e também na confecção de pavimentos intertravados de concreto para uso de pedestres. Por

fim, a argamassa com borracha apresentou absorção de água cerca de 32%, contra 8% do traço referência, intimamente associada à elevada média da porcentagem de porosidade determinada, de aproximadamente 35% contra 3,3% do traço referência, permitindo afirmar que a argamassa com borracha, dentro do percentual de incorporação de borracha utilizada, apresenta absorção de água de cerca de 4 vezes superior à argamassa referência.

Oliveira, Barroca e Nepomuceno (2014) produziram argamassas mistas de revestimento com substituições em volume do agregado miúdo por cortiça natural (denominada COR) nas taxas de 25% ($a/c= 0,91$), 50% ($a/c= 0,91$) e 75% ($a/c= 1,12$) e cortiça expandida (denominada CEX) nas taxas de 25% ($a/c= 1,19$), 50% ($a/c= 1,51$), 75% ($a/c= 1,71$) e 100% ($a/c= 1,88$). O fator a/c variou em cada compósito de modo a manter a consistência por espalhamento entre 160 mm e 180 mm. Na Figura 9 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de retenção de água na qual os autores constataram que a redução do fator a/c proporciona uma maior retenção de água nas argamassas e como esse fator aumenta com o aumento do teor de substituição, observou-se uma ligeira redução da retenção de água nas argamassas com substituições a partir de 50%, sobretudo para a cortiça expandida.

Figura 9: Resultados do percentual de retenção de água.

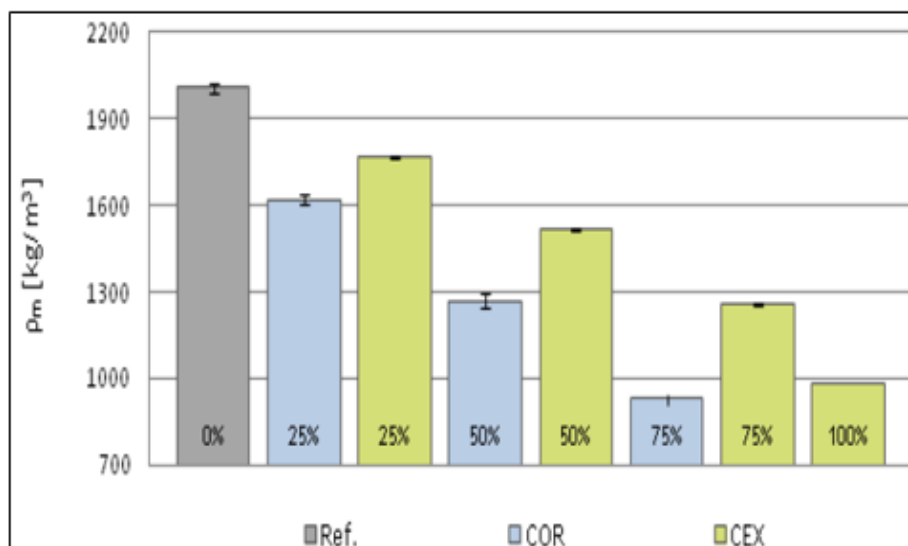


Fonte: Oliveira, Barroca e Nepomuceno (2014).

Para o ensaio de densidade de massa aparente no estado fresco, Oliveira, Barroca e Nepomuceno (2014) observaram que o aumento do teor de substituição

dos dois tipos de cortiça reduziu a densidade das argamassas, sendo que os maiores valores foram das argamassas com cortiça expandida comparadas às argamassas de cortiça natural como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10: Resultados da massa específica aparente.



Fonte: Oliveira, Barroca e Nepomuceno (2014).

Andrade e Guimarães (2017) produziram argamassas com substituições em massa do agregado miúdo pelo resíduo de EVA triturado proveniente da utilização em palmilhas e solados da indústria calçadista. Foram definidos traços com proporção de cimento e areia de 1:3 (fator a/c de 0,5) e 1:6 (fator a/c de 0,63) e teores de incorporação de EVA de 5%, 10% e 15% de granulometria passante na peneira de 4,8 mm. Os resultados de densidade de massa aparente no estado fresco apresentaram reduções de 9%, 22% e 31% (traço 1:3) e 13%, 24% e 32% (traço 1:6) para as incorporações de 5%, 10% e 15%, respectivamente, comparados à referência. Quanto à absorção de água por imersão, houve redução da taxa de absorção com o aumento do teor de incorporação. Para o traço 1:3, essa redução foi de 27%, 31% e 45% para os teores de 5%, 10% e 15% de incorporação. No caso do traço 1:6, houve redução de cerca de 21% para os teores de 5% e 10% e para a incorporação de 15% a taxa de absorção aumentou 95% comparado à referência. Segundo os autores, a mudança de comportamento da absorção na argamassa de traço 1:6 se deve à nova redistribuição granulométrica causada pela incorporação de 15%, pois até o teor de 10% havia uma melhor compacidade das partículas, resultando em possível

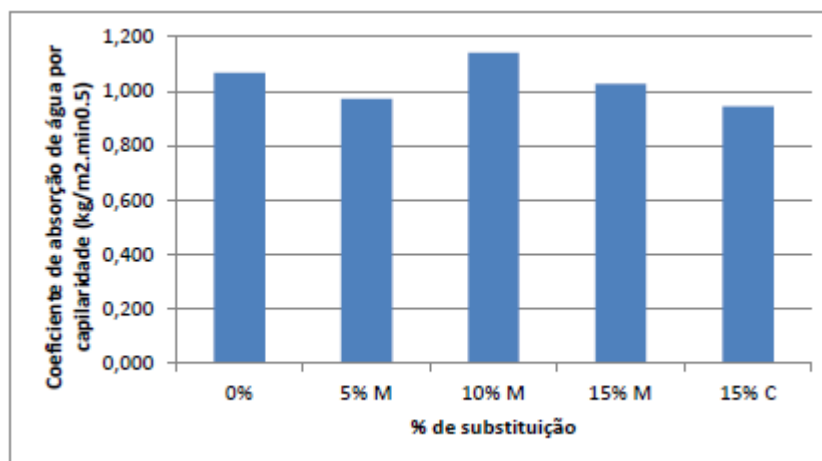
preenchimento total dos vazios. Também foi realizado o ensaio de absorção de água por capilaridade e o mesmo comportamento das argamassas para o ensaio de absorção por imersão foi observado. Em relação à referência, para o traço 1:3, as argamassas apresentaram redução de 31%, 48% e 57% e no traço 1:6, redução de 28%, 52% e 3% para as incorporações de 5%, 10% e 15%, respectivamente.

No estudo de Pinto e Fioriti (2016a), foi analisado o desempenho de argamassas mistas de revestimento com 10% de substituição em volume do agregado miúdo pela borracha de recauchutagem passante na peneira de 0,075 mm (fina) e 2,38 mm (grossa). Os traços de argamassa foram aplicados em painéis de alvenaria para analisar a permeabilidade à água por meio do Método do Cachimbo. Os resultados mostraram que a argamassa confeccionada com borracha de granulometria mais fina apresentou os melhores resultados, com absorção média de 0,22 ml/min contra a argamassa referência de 0,15 ml/min, enquanto a argamassa com borracha mais grossa apresentou absorção cerca de 3 vezes superior ao controle. Segundo os autores, esses resultados se devem ao fato das partículas de borracha não preencherem todos os vazios produzidos pelo compósito, tornando o material mais permeável.

Soares *et al.* (2015) estudaram a influência da incorporação de granulado de cortiça e argila expandida com granulometria entre 0,5 mm e 2 mm em substituição ao agregado miúdo no teor entre 20% e 30% para produção de argamassas de revestimento. Os resultados mostraram que, comparados à referência, houve redução da densidade de massa aparente no estado fresco em cerca de 16% e 13% e aumento da porosidade das argamassas em cerca de 19% e 23% para as incorporações de granulado de cortiça e argila expandida, respectivamente. O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado segundo a EN 1015-18 (2002), no entanto, sem a vedação das faces laterais dos semiprismas e os resultados do coeficiente de capilaridade mostraram que não houve alteração do coeficiente para a incorporação do granulado de cortiça e para a argila expandida, um aumento de 10% quando comparado à referência. No ensaio de secagem foram utilizados semiprismas saturados provenientes dos ensaios de massa específica e porosidade e os resultados obtidos indicaram redução do índice de secagem de 29% para a argamassa com granulado de cortiça e 18% para argila expandida comparadas à referência, indicando menor resistência à difusão de vapor de água, ou seja, maior capacidade de secagem das argamassas com as incorporações.

Nos estudos realizados por Pedro (2011) foram realizadas substituições em volume do agregado miúdo pela borracha oriunda do processo de trituração de pneus (denominada de borracha mecânica) nas taxas de 5%, 10% e 15% e pela borracha do processo de trituração criogênica de pneus (denominada borracha criogênica) na taxa de 15% de substituição para confecção de argamassas de revestimento. As partículas utilizadas para os ensaios, dos dois tipos de borracha, foram de tamanho inferior a 2 mm. O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi realizado nas argamassas com incorporação de 15% dos dois tipos de borracha e o autor concluiu que as argamassas com incorporação de borracha apresentaram desempenho melhor quando comparado às misturas referência. Dessa forma, as argamassas com borracha mecânica e criogênica apresentaram aumento de 48% e 34%, respectivamente, comparadas à argamassa referência. Quanto ao ensaio de absorção de água por capilaridade, os valores de coeficiente de absorção obtidos foram próximos nos diferentes tipos de argamassa em estudo, sendo os valores maior e menor de absorção de $1,14 \text{ kg/m}^2 \text{ min}^{0,5}$ (argamassa com 10% de borracha mecânica) e $0,94 \text{ kg/m}^2 \text{ min}^{0,5}$ (argamassa com 15% de borracha criogênica), respectivamente, contra $1,07 \text{ kg/m}^2 \text{ min}^{0,5}$ da argamassa referência, como pode ser observado na Figura 11. Segundo o autor, essa aproximação de valores pode ser devido à incorporação de borracha provocar aumento do teor de ar incorporado, logo, compensando uma pior compactação devido à diminuição do peso próprio das misturas (efeitos contraditórios que se equilibram e geram valores próximos nas diferentes argamassas).

Figura 11: Resultados do coeficiente de absorção para as argamassas estudadas.



Fonte: Pedro (2011).

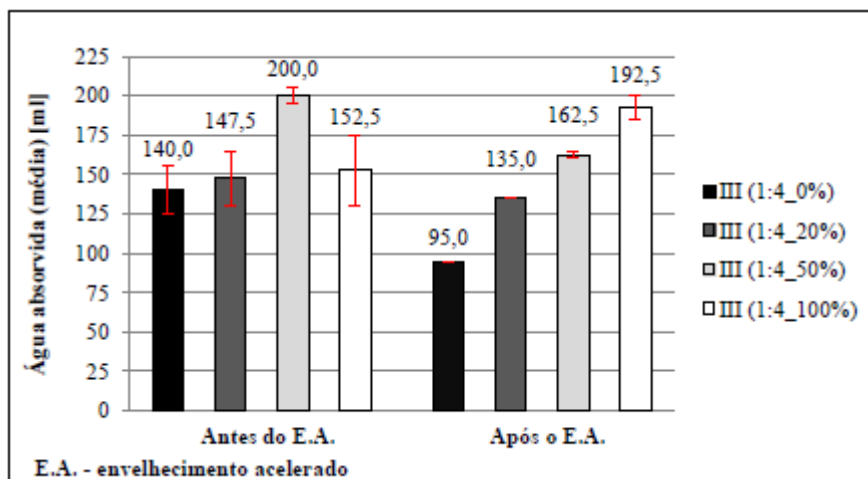
Pedro (2011) também realizou, para as argamassas com 15% dos dois tipos de borracha, o ensaio de permeabilidade à água líquida após o ensaio de envelhecimento dos corpos de prova e verificou que na argamassa criogênica e referência os valores de coeficiente de absorção foram da ordem de 160 % e 63%, respectivamente, maiores que a argamassa mecânica. De acordo com o autor, esses valores se devem ao fato das argamassas criogênicas e referência serem mais sensíveis aos ciclos climáticos, apresentando maior porosidade devido à ação dos ciclos gelo/degelo do ensaio de envelhecimento.

Penacho (2012) estudou a viabilidade da utilização de resíduos finos de vidro em substituição ao agregado miúdo para produção de argamassas de revestimento. Foram utilizados teores de substituição em volume de 20%, 50% e 100% de vidro com granulometria inferior a 2,38 mm e fator a/c de 1,19 constante em todas as argamassas. As incorporações de vidro praticamente não interferiram na consistência dos compósitos, pois as argamassas referência e 100% de vidro apresentaram espalhamento de 168 mm e as demais, 168,5 mm. Quanto à densidade de massa aparente tanto no estado fresco como endurecido, as argamassas com incorporação de vidro apresentaram densidades inferiores à referência de 1,8%, 5,6% e 8,4% (estado fresco) e 2,3%, 3,5% e 11,3% (estado endurecido). O teor de ar incorporado nas argamassas aumentou com o aumento das incorporações, com taxas de 9,5%, 10,4% e 12,6% para os teores de 20%, 50% e 100%, respectivamente, contra 8,2% da referência. Segundo o autor, os resíduos de vidro possuem maior angulosidade dos grãos em relação à areia, o que reduz a compacidade entre eles, consequentemente aumentando o teor de ar incorporado e também contribuindo para a redução da densidade de massa dos compósitos de argamassa. Quanto ao ensaio de retenção de água, os resultados mostraram aumento das taxas de retenção de 3,4%, 13,1% e 19,9% em relação ao traço referência.

A análise da absorção de água por capilaridade também foi realizada nos estudos de Penacho (2012), e os resultados mostraram que o aumento do teor de incorporação aumentou a massa de água absorvida pelas argamassas e quanto ao coeficiente de capilaridade, houve aumento de 5,6%, 14,9% e 30,9% para os teores de 20%, 50% e 100% comparados à referência. Para o ensaio de secagem realizado, foram utilizados os semiprismas ao fim do ensaio de absorção de água por capilaridade. Dessa forma, o autor concluiu que a água evaporada por unidade de área média aumenta com o aumento dos teores de incorporação, seguindo a

tendência dos resultados do ensaio de capilaridade, na qual as argamassas que absorveram mais água apresentaram uma maior quantidade de água disponível para evaporação. Finalmente, realizou-se o ensaio de permeabilidade à água sob pressão antes e depois de submeter os corpos de prova ao envelhecimento acelerado. Os resultados, apresentados na Figura 12, mostraram que houve tendência linear dos resultados apenas após o envelhecimento, tendência já observada nos ensaios de teor de ar incorporado e absorção de água por capilaridade. No ensaio realizado antes do envelhecimento, a incorporação de 50% de vidro apresentou resultado fora da linearidade esperada, fato explicado devido à existência de microfissuras na superfície do revestimento.

Figura 12: Resultados da permeabilidade à água sob pressão após 48 horas de ensaio.



Fonte: Penacho (2012).

Boukour e Benmalek (2016) produziram argamassas com substituição em volume do agregado miúdo por resíduos de tijolos de barro (partículas com tamanho inferior a 2 mm) e borracha oriunda do processo de trituração de pneus (partículas com tamanho variando de 0,5 mm a 4 mm). Foram confeccionadas argamassas com 10%, 20% e 30% de incorporação de borracha, argamassas com 2,5%, 5%, 7,5% e 10% de incorporação de resíduos de tijolos de barro e argamassas com combinação dos dois materiais, sendo uma com 20% e 5% e outra 20% e 7,5% de borracha e resíduos de tijolos respectivamente. Os resultados do ensaio de absorção de água por imersão apontaram reduções de 1,2%, 1,8%, 3,1%, 4,8% e 5% para as argamassas com 10%, 20% e 30% de borracha e argamassas com os dois materiais, 20% de borracha com 5% e 7,5% de resíduo de tijolo, respectivamente. Quanto à

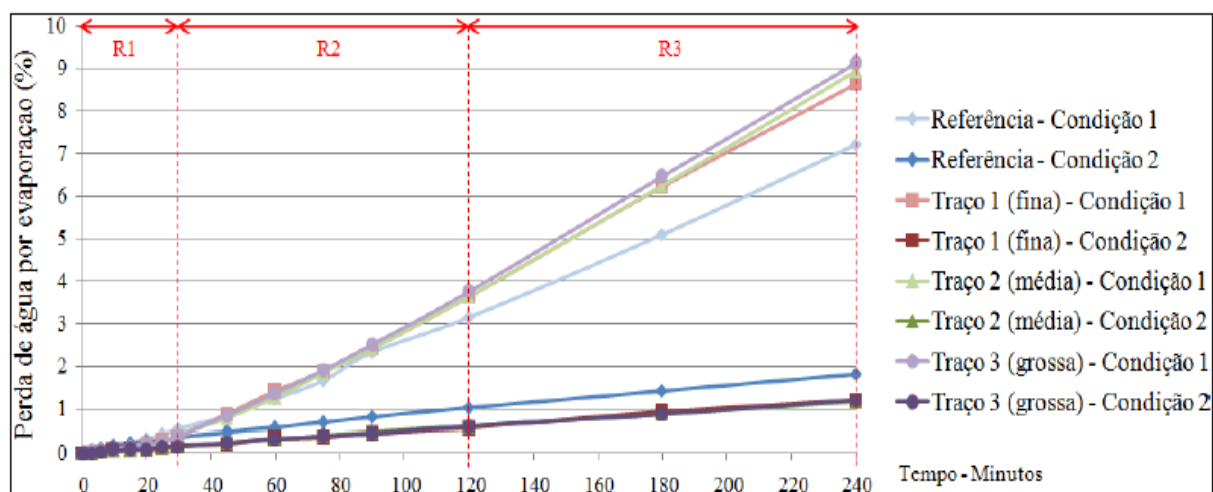
absorção de água por capilaridade, as argamassas com borracha apresentaram valores de absorção inferiores à argamassa referência, cerca de 22%, 37%, 56% para as incorporações de 10%, 20% e 30%, respectivamente, e 17% e 36% para as argamassas com os dois materiais, 20% de borracha com 5% e 7,5% de resíduo de tijolo, respectivamente.

Pinto e Fioriti (2016b) estudaram teores de 4% e 10% de borracha de recauchutagem na substituição em volume do agregado miúdo para produção de argamassas mistas de revestimento. Os tamanhos das partículas de borracha utilizadas para cada teor de substituição foram as passantes na peneira 0,075 mm, 1,19 mm e 2,38 mm. Para o ensaio de densidade no estado fresco, os resultados mostraram que as argamassas com borracha apresentaram densidade inferior à argamassa referência. Comparando-as ao traço referência, as diferenças no estado fresco foram de 3% (0,075 mm e 1,19 mm) e 5,9% (2,38 mm) para o teor de 4%, e 3,8% (0,075 mm e 2,38 mm) e 6,8% (1,19 mm) no teor de 10%. No estado endurecido, as diferenças em relação à referência foram de 5,3% (0,075 mm e 1,19 mm) e 8,1% (2,38 mm) para o teor de 4% e 6,8% (0,075 mm), 10,5% (1,19 mm) e 5% (2,38 mm). Quanto ao ensaio de absorção de água por capilaridade, a argamassa com teor de 4% (0,075 mm) apresentou a maior absorção média (1,87 g/cm²) e o teor de 10% (1,19 mm) a menor (1,51 g/cm²), comparando-os à argamassa referência (1,82 g/cm²). Por fim, as argamassas foram submetidas ao ensaio de perda de água nos momentos iniciais por evaporação e os resultados apontaram que, quando submetidas à secagem em estufa, as argamassas com borracha de granulometria 0,075 mm e 1,19 mm apresentaram taxas médias de evaporação parecidas, com cerca de 1,59%, 1,63% para as incorporações de 4% e 10%, respectivamente, enquanto a argamassa referência, 1,46%. As argamassas com borracha de granulometria 2,38 mm obtiveram taxas próximas para as duas incorporações estudadas, com cerca de 1,69% para 4% de borracha e 1,70% para 10% de borracha. As mesmas argamassas também foram submetidas à condição de secagem natural em laboratório e foi observado que para todas as granulometrias as argamassas com 4% de borracha e referência comportaram-se iguais, com taxa de evaporação de 0,52% enquanto a argamassa com 10% de borracha obteve absorção inferior de 0,29%.

Pinto *et al.* (2015) analisaram argamassas com substituição em volume de 7% do agregado miúdo pela borracha de recauchutagem nas granulometrias passantes na peneira 0,075 mm (fina), 1,19 mm (média) e 2,38 mm (grossa). As argamassas

estudadas foram ensaiadas analisando a perda de água nos momentos iniciais por evaporação e para isso, elas foram submetidas à secagem em estufa (denominada condição 1) e à secagem natural em laboratório (denominada condição 2). Os resultados do ensaio, apresentados na Figura 13, mostraram que as argamassas com borracha na condição 1 apresentaram maiores velocidades de perda de água quando comparadas às argamassas referência nas mesmas condições, enquanto na condição 2 mostrou-se o contrário. Comparando a condição 1 e a condição 2, as argamassas com borracha apresentaram diferença média superior a 82% e as argamassas referência diferença de 65%.

Figura 13: Resultados do ensaio de perda de água por evaporação.



Fonte: Pinto *et al.* (2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Pretendendo atingir o objetivo proposto neste trabalho, foi desenvolvido um programa experimental de ensaios para análise do comportamento à água nas argamassas mistas de revestimento incorporadas com borracha de pneus.

Logo, serão apresentados na sequência os materiais e procedimentos experimentais adotados, sendo estes realizados nos Laboratórios de Engenharia Civil da FEIS/UNESP, de Ilha Solteira.

3.1 Materiais

3.1.1 Aglomerantes

a) Cimento

Foi utilizado o cimento CP II Z-32 fornecido pelo fabricante Ciplan. Suas propriedades atendem desde argamassas de assentamento e revestimento, estruturas em concreto armado, concreto massa, concreto para pavimentos, bem como outras diversas aplicações.

b) Cal hidratada

A cal hidratada empregada foi CH-III fornecida pelo fabricante Votorantim Cimentos. Sua composição química é de hidróxidos de cálcio e magnésio e geralmente são empregadas na fabricação de argamassa para assentamento e revestimento, oferecendo maior plasticidade às misturas.

3.1.2 Areia

Foi utilizada areia fina de origem natural.

3.1.3 Borracha de pneus

A borracha utilizada é proveniente do processo de recauchutagem de pneus de caminhões, cujo fornecimento se deu por meio da empresa Do Vale Prudente Pneus e Recapagens Ltda, situada em Presidente Prudente – SP. Os resíduos de recauchutagem apresentam diversas dimensões, devido a isto o material foi submetido ao peneiramento classificatório que o separou em faixas granulométricas definidas, de fácil distinção visual, a fim de se obter as granulometrias necessárias e estudar suas influências na incorporação das argamassas mistas de revestimento.

3.1.4 Água

A água de amassamento utilizada foi obtida da rede pública de abastecimento de Ilha Solteira – SP.

3.2 Procedimentos experimentais

3.2.1 Caracterização dos materiais

(a) Caracterização física do cimento

A caracterização do cimento foi realizada segundo a NBR 11578 (ABNT, 1997) e os resultados dos ensaios, fornecidos pelo fabricante, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos índices físicos do cimento Portland utilizado.

Blaine (cm/g)	Massa específica absoluta (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)	Tempos de pega (min)		Resistência à compressão (MPa)			
			Início	Fim	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
5000	3,00	0,95	195	270	15,0	23,0	28,0	33,0

Fonte: www.ciplan.com.br

(b) Caracterização física da cal hidratada

A caracterização da cal hidratada foi realizada por meio de ensaios de massa específica absoluta segundo a NBR 16605 (ABNT, 2017), massa unitária seguindo a NBR NM 45 (ABNT, 2006), finura segundo NBR 9289 (ABNT, 2000) e índice de retenção de água de acordo com a NBR 9290 (ABNT, 1996). Os resultados obtidos nos ensaios estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados dos índices físicos da cal hidratada.

Massa específica absoluta (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)	Finura (%)		Índice de retenção de água (%)
		Peneira 0,6 mm	Peneira 0,075 mm	
2,21	0,90	0,35	13,00	87,00

Fonte: Elaboração da própria autora.

(c) Caracterização física da areia

A composição granulométrica da areia foi realizada de acordo com NBR NM 248 (ABNT, 2003) e pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3: Composição granulométrica da areia.

Ø Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida em cada peneira	% Retida acumulada	% Passante em cada peneira
2,36	0,17	0,01	0,01	99,99
1,18	0,49	0,04	0,06	99,94
0,60	7,21	0,61	0,67	99,33
0,30	434,42	36,83	37,49	62,51
0,15	713,35	60,47	97,97	2,03
fundo	24,00	2,03	100,00	0,00
Σ	1179,6	100,00		

Fonte: Elaboração da própria autora.

Para a determinação da massa específica absoluta da areia utilizou-se a NBR NM 52 (ABNT, 2009), para a massa unitária a NBR NM 45 (ABNT, 2006), para o teor de umidade a NBR 9775 (ABNT, 2011) e para material pulverulento a NBR NM 46 (ABNT, 2003). Os resultados desses ensaios, dimensão máxima característica e módulo de finura do agregado estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados dos ensaios da areia.

Massa específica absoluta (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)	Dimensão máxima característica (mm)	Módulo de finura	Teor de Umidade (%)	Pulverulento (%)
2,62	1,61	0,60	1,36	0,052	0,2

Fonte: Elaboração da própria autora.

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), a areia utilizada é classificada como fina, porém em função de se encontrar fora da zona utilizável pode ser classificada comercialmente como “muito fina”.

(d) Peneiramento classificatório da borracha

Primeiramente foram descartadas impurezas existentes nos resíduos de borracha para se evitar influências no desempenho dos compósitos. Em seguida, uma amostra do resíduo de borracha foi separada com auxílio do agitador de peneiras mecânico. O material utilizado neste trabalho é o passante nas peneiras #1,19 mm (denominado de borracha grossa) e #0,60 mm (denominado de borracha fina), o qual representa o reaproveitamento de cerca de 65% dos resíduos de borracha de pneu de recauchutagem. Após a separação, os materiais foram armazenados em sacos plásticos para posterior utilização.

A escolha das duas diferentes granulometrias de resíduos da recauchutagem de pneus foi realizada visando o maior uso e reaproveitamento desse material. Logo, as frações utilizadas apresentam a maior parte do volume desses resíduos.

A faixa granulométrica da borracha grossa (#1,19 mm), mostrada na Figura 14, apresenta forma de fibras alongadas com 2 mm a 3 mm de espessura.

Figura 14: Borracha grossa.



Fonte: Própria autora.

Já a borracha fina (#0,60 mm) possui o formato arredondado, tipo pó (Figura 15).

Figura 15: Borracha fina.



Fonte: Própria autora.

(e) Caracterização física da borracha

Para a determinação da massa específica utilizou-se o ensaio conhecido como “*Teorema de Arquimedes*”. Os procedimentos adotados para este ensaio serão descritos na sequência:

- Por se tratar de um material com massa específica baixa, optou-se pelo uso de um líquido com massa específica inferior à da água, no caso o álcool etílico hidratado, no qual a borracha entrou em total imersão sem reagir com o álcool;
- Precavendo-se de possíveis reações da borracha com o álcool, o que poderia acarretar de certa forma na mudança de temperatura durante o andamento dos ensaios, e de fato poderia vir a alterar o resultado final dos ensaios, procurou-se deixar a borracha o mínimo de tempo possível em contato com o líquido.

“Teorema de Arquimedes”

- Colocou-se uma quantidade da amostra de borracha num cesto metálico, sendo o conjunto pesado e determinado a massa “A” (g);
 - Em seguida, o cesto com a amostra foi imerso em álcool e pesado, determinando a massa “B” (g). O peso “B” é igual ao peso da borracha menos o empuxo do álcool deslocado, ou seja, “B” (g) é numericamente igual ao volume (cm³) da borracha;
 - A Equação 1 foi utilizada para determinar a massa específica “ γ_{ab} ” em g/cm³:
- $$\gamma_{ab} = \frac{A}{A-B} \quad (1)$$
- Este ensaio também foi refeito, utilizando-se uma quantidade superior de borracha;
 - De posse dos valores obtidos nos ensaios ora descritos, fez-se a média aritmética desses valores, adotando seu resultado como sendo a massa específica da borracha de pneus.

Quanto à massa unitária da borracha grossa e fina, a mesma foi obtida seguindo o descrito na NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Na Tabela 5 estão apresentados os valores dos ensaios para a borracha.

Tabela 5: Resultados dos ensaios para a borracha.

Massa específica absoluta (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)	
	Borracha grossa	Borracha fina
1,15	0,39	0,32

Fonte: Elaboração da própria autora.

A análise da composição granulométrica da borracha foi realizada de acordo com NBR NM 248 (ABNT, 2003) e pode ser visualizada na Tabela 6. O módulo de finura obtido foi de 3,63.

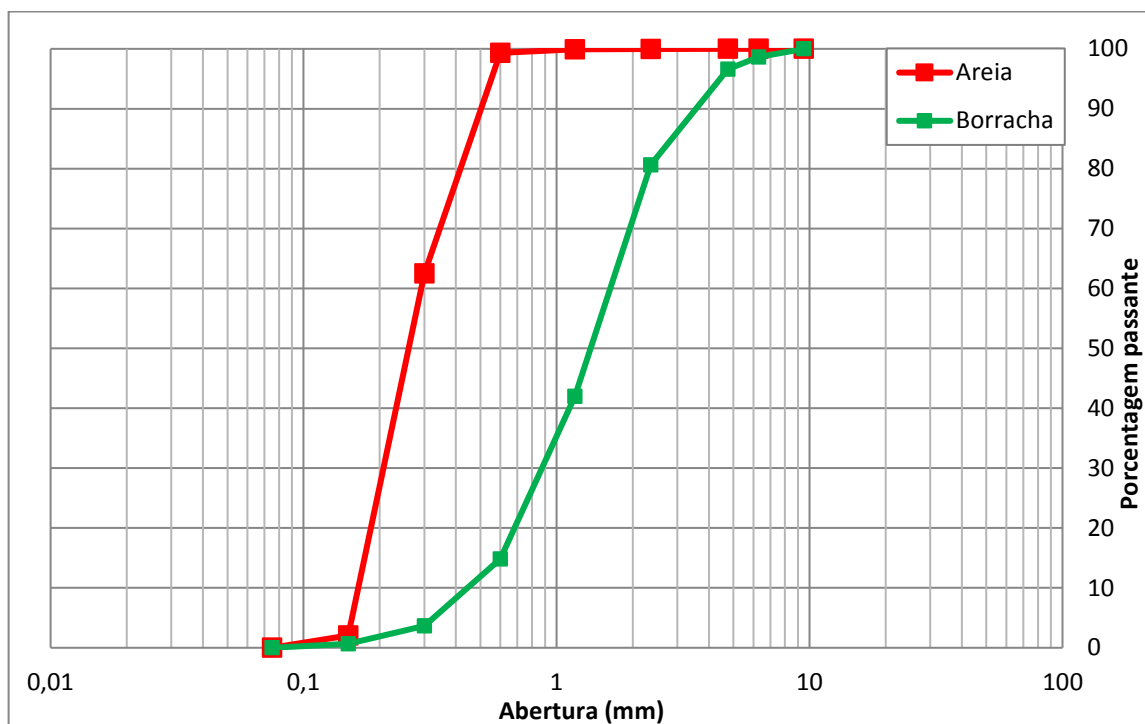
As curvas granulométricas da areia e borracha foram apresentadas na Figura 16.

Tabela 6: Composição granulométrica da borracha.

Ø Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida em cada peneira	% Retida acumulada	% Passante em cada peneira
6,30	3,40	1,35	1,35	98,65
4,75	5,10	2,05	3,40	96,60
2,36	40,00	16,00	19,40	80,60
1,18	96,60	38,63	58,03	41,97
0,60	67,90	27,16	85,19	14,81
0,30	27,90	11,15	96,35	3,66
0,15	7,40	2,97	99,32	0,68
fundo	1,70	0,68	100,00	0,00
Σ	250,00	100,00		

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 16: Curvas granulométricas da areia e borracha.



Fonte: Elaboração da própria autora.

3.2.2 Traços dos compósitos de argamassa

Usualmente a composição e a dosagem das argamassas adotadas no Brasil são feitas com base em traços (massa ou volume) descritos ou especificados em normas internacionais ou nacionais, como por exemplo: ABNT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT de São Paulo e cadernos de encargos. A Tabela 7 apresenta algumas recomendações de traços para argamassas mistas de revestimento.

Tabela 7: Traços recomendados para argamassas de revestimento.

Camada	Características	Consumo de aglomerante (kg/m³)		Traço em volume (cimento: cal: areia)
		Cimento	Cal hidratada	
Reboco ¹	Argamassa mista	250 / 150	75 / 150	1: 1: 5 e 1: 2: (8 a 9)
Emboço e reboco ²	Argamassa mista	200 / 350 e 100 / 250	100 / 150 e 50 / 150	1: (0,5 a 1,3): (4,0 a 8,3) e 1: (0,4 a 2,7): (6,4 a 16)
Emboço e reboco ³	Argamassa mista	300 / 400 e 150 / 220	30 / 100 e 100 / 150	1: (0,25 a 0,5): (3 a 4,5) e 1: (1 a 2): (6 a 9)

Fontes: Construção Mercado (2012) ¹; Thomaz (2001) ²; Isaia (2007) ³.

Neste trabalho foi adotado o traço em volume de materiais secos (cimento, cal e areia) 1: 1: 5, equivalente ao traço em massa 1: 0,86: 7,67, com substituição de 5%, 10%, 15% e 20% em volume do agregado miúdo por borracha de pneus. O teor de borracha de pneus utilizado representa uma quantidade significativa, considerando-se que a massa específica da borracha é baixa. Além disso, levando-se em consideração resultados obtidos nas referências Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2015), Pinto e Fioriti (2016b), Cintra, Paiva e Baldo (2014), Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2009), Fioriti (2007), Pedro (2011), os mesmos sempre utilizaram teores de borracha que variaram de 3% a 20% (em volume) em suas composições cimentícias.

Inicialmente foi feita a transformação dos traços em volume para massa, em que os proporcionamentos dos materiais, em massa, foram definidos a partir da determinação da massa unitária do cimento, da cal hidratada, da areia e da borracha de pneus.

O plano experimental incluiu a execução de 9 traços de argamassas mistas, sendo 4 com a utilização de borracha denominada grossa, 4 com borracha denominada fina e 1 sem a utilização de borracha (referência – parâmetro de comparação), recebendo as seguintes denominações:

- Ab0 (argamassa de referência);
- Ab5_G, Ab10_G, Ab15_G e Ab20_G (argamassas com borracha grossa);
- Ab5_F, Ab10_F, Ab15_F e Ab20_F (argamassas com borracha fina).

As Tabelas 8 e 9 apresentam a proporção dos materiais e os parâmetros dos traços das argamassas mistas produzidas.

Tabela 8: Traços das argamassas de revestimento.

Materiais	Ab0		Ab5		Ab10		Ab15		Ab20	
	kg/m ³	% vol.	kg/m ³	% vol.	kg/m ³	% vol.	kg/m ³	% vol.	kg/m ³	% vol.
Cimento	178,5	7,69	178,5	7,49	178,5	7,29	178,5	7,1	178,5	6,9
Cal	153,51	56,66	153,51	52,78	153,51	48,9	153,51	45,02	153,51	41,14
Areia	1369,1	13,9	1309,3	13,54	1246,2	13,18	1179,6	12,82	1109	12,46
Borracha	—	—	26,28	5	53,99	10	83,26	15	114,25	20
Água	348,08	21,75	348,08	21,19	348,08	20,62	348,08	20,06	348,08	19,5
Σ	2049,2	100	2015,7	100	1980,3	100	1942,9	100	1903,4	100

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 9: Parâmetros de proporção das argamassas.

Traços	Relação água/materiais secos (massa)	Relação água/cimento (massa)	Relação água/aglomerante (massa)	Relação agregado/aglomerante (massa)
Ab0	0,205	1,95	1,05	4,12
Ab5	0,209	1,95	1,05	3,94
Ab10	0,213	1,95	1,05	3,75
Ab15	0,218	1,95	1,05	3,55
Ab20	0,224	1,95	1,05	3,34

Fonte: Elaboração da própria autora.

A confecção dos corpos de prova se deu da mesma maneira para todos os compósitos, com a mistura realizada em argamassadeira. Para a realização da mistura dos materiais utilizados para cada compósito, primeiramente foram misturados água e aglomerantes e seguido da areia. A mistura dos materiais totalizou 4 minutos e 30 segundos. No caso dos compósitos com incorporação de borracha, esta foi adicionada na mistura logo após a areia.

Logo após a mistura foram realizados os ensaios no estado fresco (densidade de massa aparente, retenção de água e índice de consistência) e o material foi colocado nos moldes referentes a cada ensaio proposto, sendo as fôrmas de PVC de diâmetro 145 mm e altura 20 mm para o ensaio de permeabilidade ao vapor de água; as fôrmas de madeira de 300 x 300 x 20 mm para o ensaio de permeabilidade à água sob pressão; e as fôrmas metálicas de 40 x 40 x 160 mm para os ensaios de densidade de massa aparente, absorção por imersão, absorção por capilaridade e ensaio de secagem. Posterior ao preenchimento das fôrmas metálicas, as mesmas foram levadas à mesa vibratória para que houvesse um melhor adensamento do material.

Todos os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida por 21 dias para cura do material. Em seguida, foram levados à estufa (temperatura de 105°C) por 24 horas para eliminar toda a umidade dos corpos de prova. Retirados da estufa, os mesmos foram mantidos em temperatura ambiente até a data de início dos ensaios (idade de 28 dias).

3.2.3 Planejamento dos ensaios

As variáveis são aspectos que permitem analisar as características de qualidade exigidas. No caso das argamassas mistas de revestimento, deseja-se que as mesmas apresentem bom desempenho mecânico e sejam duráveis.

Considerando que o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o comportamento à água de argamassas mistas de revestimento produzidas com incorporação de borracha de pneus, foram definidas as variáveis que caracterizam o seu desempenho técnico, e estão abaixo relacionadas:

- Densidade de massa aparente;
- Retenção de água;
- Índice de consistência;
- Absorção de água por capilaridade;
- Ensaio de secagem;
- Absorção de água por imersão;
- Permeabilidade ao vapor de água;
- Permeabilidade à água sob pressão.

A Tabela 10 apresenta uma programação esquemática que envolve todos os parâmetros de execução dos experimentos, bem como o número de corpos de prova fabricados e utilizados para cada ensaio.

Tabela 10: Esquema de variáveis a serem analisadas no programa experimental e quantidade de corpos de prova a serem ensaiados.

Borracha de pneus	Nº de compósitos	Ensaio realizado por compósito	Idade (dias)	Nº de corpos de prova
0%, 5%, 10%, 15% e 20%	9	Densidade de massa aparente	0 e 28	4
		Retenção de água	0	2
		Consistência	0	1*
		Absorção por capilaridade	28	7
		Ensaio de secagem	≥28	7
		Absorção de água por imersão	28	4
		Permeabilidade ao vapor de água	28	5
		Permeabilidade à água sob pressão	≥28	2

*Definido pela NBR 13276 (ABNT, 2016).

Fonte: Elaboração da própria autora.

3.2.4 Densidade de massa aparente no estado fresco

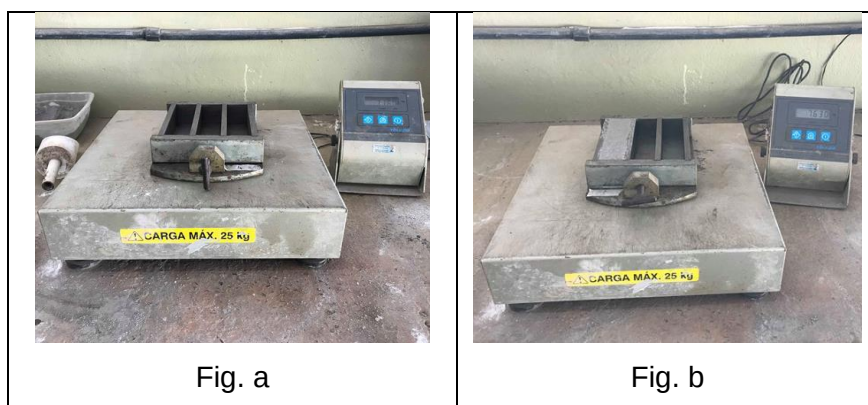
O ensaio de densidade de massa aparente no estado fresco foi realizado baseando-se na NBR 13278 (ABNT, 2005).

a) Procedimentos de ensaio

Para a realização desse ensaio foram utilizadas fôrmas metálicas de corpos de prova prismáticos com dimensões de 40 x 40 x 160 mm, na qual foram preenchidos quatro corpos de prova prismáticos.

- 1) As quatro fôrmas metálicas foram numeradas para posterior identificação dos corpos de prova;
- 2) Aplicou-se uma camada de óleo na fôrma metálica e foi determinada a massa " M_f " (g) (Quadro 2 – fig. a);
- 3) Após o procedimento de moldagem dos corpos de prova (item 3.2.4), limpou-se a fôrma com papel absorvente para retirar o material excedente;
- 4) Pesou-se a fôrma preenchida com o compósito e foi determinada a massa " M_c " (g) (Quadro 2 – fig. b).

Quadro 2: Procedimentos do ensaio de densidade de massa aparente no estado fresco.



Fonte: Própria autora.

b) Resultados

A densidade de massa aparente do compósito " D " (kg/m^3) foi calculada segundo a Equação 2.

$$D = \frac{M_c - M_f}{V_f} \times 1000 \quad (2)$$

- “ M_f ” é a massa da fôrma metálica com óleo (g);
- “ M_c ” é a massa da fôrma metálica com óleo preenchida com o compósito (g);
- “ V_f ” é o volume da fôrma metálica (cm³).

O teor de ar incorporado “ A ” (%) foi calculado em todos os compósitos de argamassa de acordo com a Equação 3.

$$A = 100 \left(1 - \frac{D}{d_t} \right) \quad (3)$$

- “ d_t ” é a densidade de massa teórica (g/cm³).

O ensaio foi realizado em quatro corpos de prova prismáticos para cada compósito produzido, e seu resultado final foi o valor médio dos resultados encontrados.

3.2.5 Retenção de água

O ensaio de retenção de água seguiu as prescrições da EN 1015-8 (1999). Este ensaio avalia a capacidade de retenção de água por meio de um procedimento de sucção, que determina a quantidade de água retida na argamassa, depois de realizado o procedimento.

a) Procedimentos de ensaio

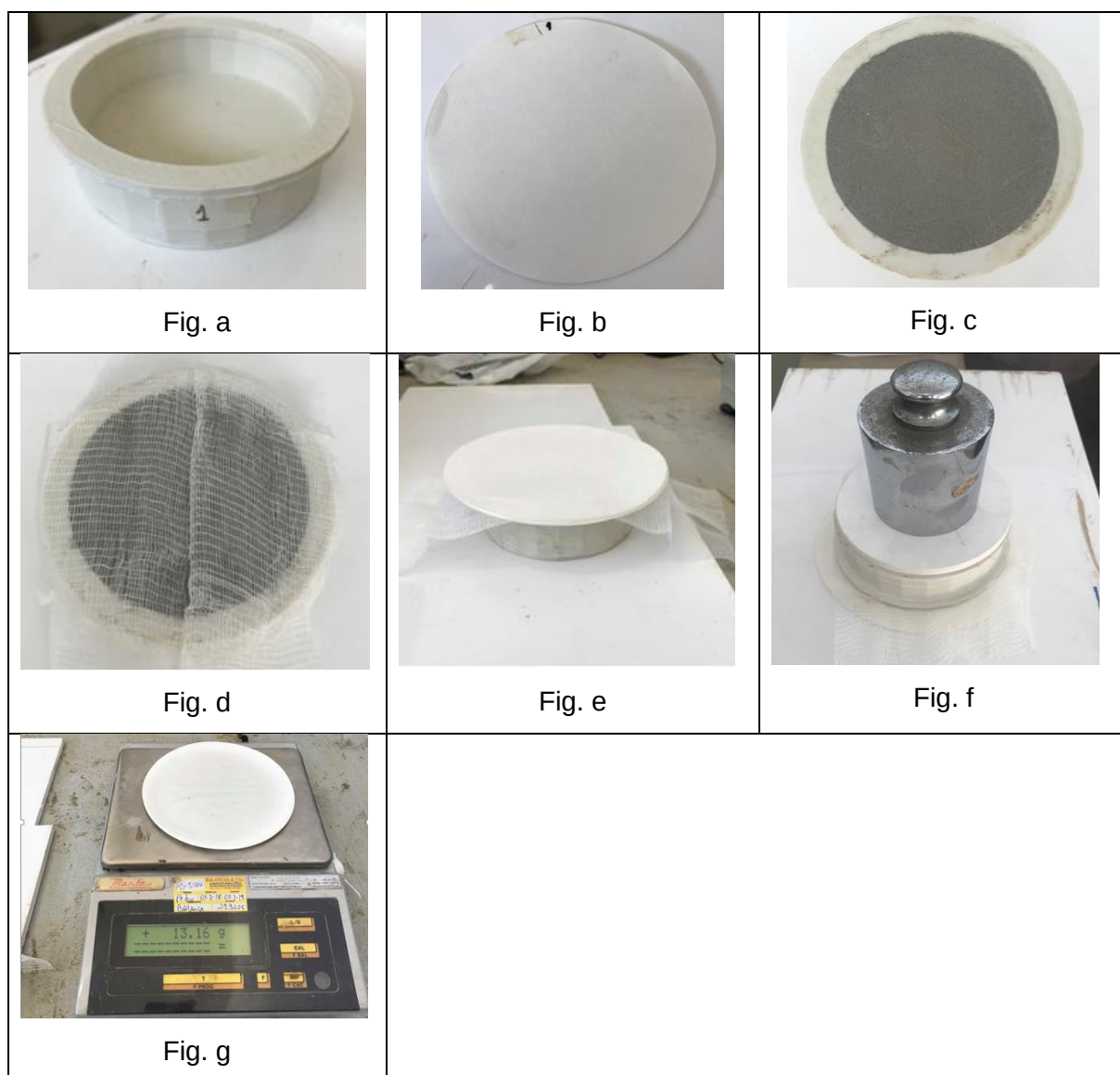
- 1) O molde cilíndrico (Quadro 3 – fig. a) de polímero Acrilonitrilo-butadieno-estireno – ABS, foi confeccionado em impressora 3D com dimensões de 100 mm de diâmetro e 25 mm de altura foi pesado e determinado a massa “ M_1 ” (g);
- 2) Um conjunto de quatro folhas de papel filtro (Quadro 3 – fig. b) com espessura aproximada de 2 mm foi pesado e determinado a massa “ M_2 ” (g);
- 3) O molde foi preenchido com o compósito a ser ensaiado e o material excedente retirado com o auxílio de régua metálica e papel absorvente (para limpar as bordas do molde) (Quadro 3 – fig. c). O conjunto foi pesado e determinado a massa “ M_3 ” (g);
- 4) Cobriu-se o conjunto com gaze (Quadro 3 – fig. d) e o papel filtro, já anteriormente pesado, foi colocado sobre a gaze (Quadro 3 – fig. e);

5) Com o auxílio de uma placa, colocou-se o conjunto em posição invertida e um peso de 2 kg foi colocado sobre o molde (Quadro 3 – fig. f) por um período de tempo de $5 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$;

6) Decorrido esse tempo, retirou-se o peso, o conjunto foi colocado na posição inicial, o papel filtro úmido foi pesado e determinado a massa “*M4*” (g) (Quadro 3 – fig. g).

Para os casos em que a quantidade de água absorvida pelo papel filtro excedeu 10 g, repetiu-se o ensaio com uma quantidade maior de folhas de papel filtro.

Quadro 3: Procedimentos do ensaio de retenção de água.



Fonte: Própria autora.

b) Resultados

A porcentagem de retenção de água “WRV” foi calculada pela Equação 4:

$$WRV = 100 - W_4 \quad (4)$$

- “W₄” é a perda de água relativa (%) dada pela Equação 5:

$$W_4 = \frac{W_3}{W_2} \times 100 \quad (5)$$

- “W₃” é a massa de água absorvida pelo papel filtro (g) dada pela Equação 6:

$$W_3 = M_4 - M_2 \quad (6)$$

- “W₂” é a massa de água existente no molde (g) dada pela Equação 7:

$$W_2 = (M_3 - M_1) \times W_1 \quad (7)$$

- “W₁” é a massa de água total na argamassa (g) dada pela Equação 8:

$$W_1 = \frac{M_{\text{água}}}{M_{\text{argamassa}}} \quad (8)$$

O ensaio foi realizado duas vezes para cada compósito e seu resultado final foi o valor médio dos resultados encontrados de retenção de água.

3.2.6 Índice de consistência

O índice de consistência foi determinado segundo a NBR 13276 (ABNT, 2016). Esse ensaio permite avaliar a trabalhabilidade das argamassas em estudo.

a) Procedimentos de ensaio

- 1) Inicialmente foram umedecidos a mesa para índice de consistência (Quadro 4 – fig. a), o molde tronco-cônico (Quadro 4 – fig. b) e o soquete metálico (Quadro 4 – fig. c);
- 2) O molde foi posicionado centralizado na mesa e com o auxílio de colher de pedreiro, preencheu-se o molde em três camadas sucessivas, sendo aplicada à primeira camada 15 golpes com o soquete metálico, a segunda com 10 golpes e a terceira com 5 golpes (Quadro 4 – fig. d);
- 3) Arrasou-se a superfície do molde com régua metálica e retirou-se o material excedente com auxílio de papel absorvente;
- 4) Retirou-se o molde e a manivela da mesa foi acionada em trinta golpes permitindo o espalhamento do compósito;

5) Após o espalhamento, foram determinadas três medidas do compósito “ e_1 ”, “ e_2 ” e “ e_3 ” (mm) com o auxílio de régua metálica (Quadro 4 – fig. e).

Quadro 4: Procedimentos do ensaio de índice de consistência.



Fonte: Própria autora.

b) Resultados

O resultado do índice de consistência “ IC ” (mm) foi determinado com a média aritmética dos três diâmetros determinados (Equação 9).

$$IC = \frac{e_1 + e_2 + e_3}{3} \quad (9)$$

3.2.7 Densidade de massa aparente no estado endurecido

O ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido foi realizado segundo a NBR 13280 (ABNT, 2005).

a) Procedimentos de ensaio

Os corpos de prova moldados no ensaio de densidade de massa aparente no estado fresco foram utilizados para determinar a densidade de massa aparente no estado endurecido. Assim, pesou-se cada um dos corpos de prova e a massa “*M*” (g) foi determinada (Figura 17).

Figura 17: Determinação da massa do corpo de prova.



Fonte: Própria autora.

b) Resultados

A densidade de massa aparente do compósito “*D*” (kg/m³) foi calculada por meio da Equação 10.

$$D = \frac{M}{V} \times 1000 \quad (10)$$

- “*M*” é a massa do corpo de prova (g);
- “*V*” é o volume do corpo de prova (largura x altura x comprimento) (cm³).

O ensaio foi realizado em quatro corpos de prova prismáticos para cada compósito e seu resultado final foi o valor médio dos resultados encontrados de densidade de massa aparente.

3.2.8 Absorção de água por capilaridade

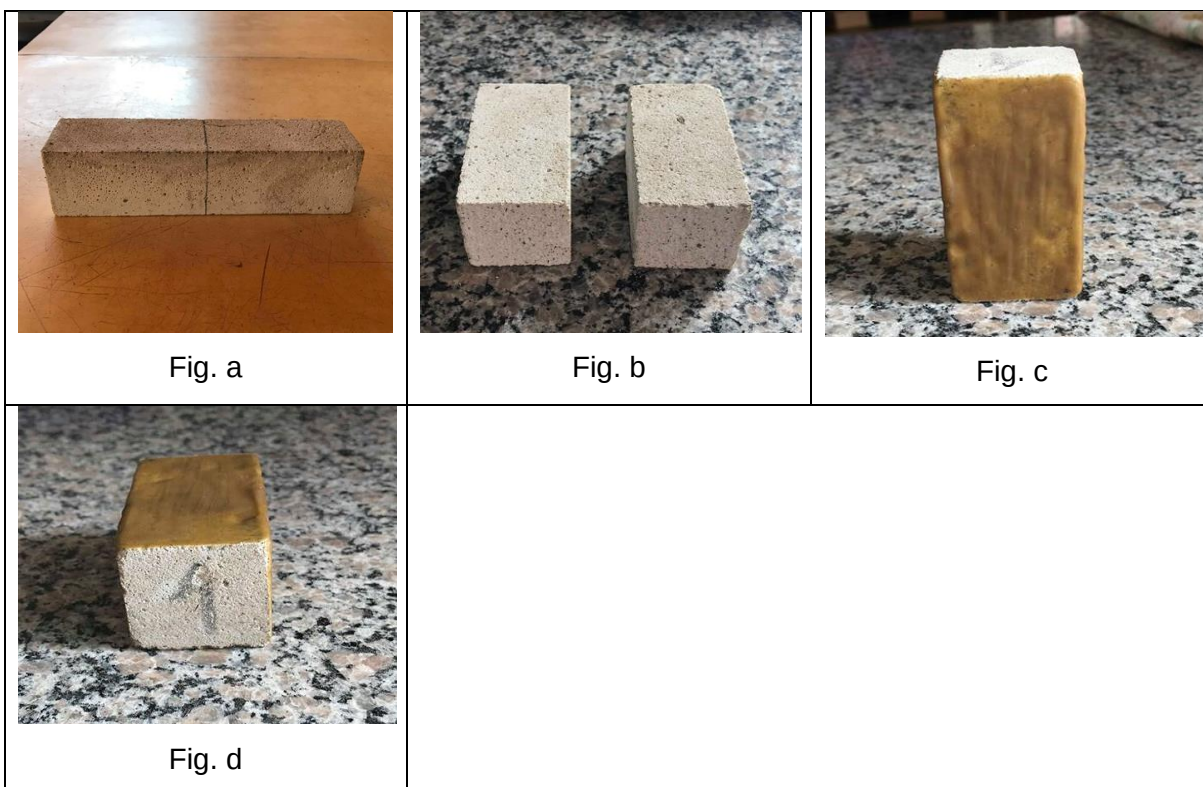
Baseando-se na EN 1015-18 (2002), pretendeu-se com este ensaio medir o acréscimo de massa de água que ascende por capilaridade pela seção do semiprisma em contato com a água.

a) Preparo dos corpos de prova

Para este ensaio foram utilizados corpos de prova prismáticos de dimensões 40 x 40 x 160 mm.

- 1) Uma marcação foi inicialmente realizada em cada corpo de prova prismático passando-se uma linha, com o auxílio de régua e lápis, no centro das suas quatro faces laterais (Quadro 5 – fig. a);
- 2) Cortou-se cada um deles com o auxílio de serra elétrica seguindo a marcação. Dessa forma, cada corpo de prova prismático foi dividido em dois semiprismas iguais de dimensões 40 x 40 x 80 mm (Quadro 5 – fig. b);
- 3) Pincelou-se as faces de cada semiprisma, exceto as bases, com cera de abelha em estado líquido para vedação das laterais permitindo a entrada de água somente pela base em contato com água (Quadro 5 – fig. c);
- 4) Numerou-se a base não serrada de cada semiprisma para sua identificação (Quadro 5 – fig. d).

Quadro 5: Preparo dos corpos de prova para o ensaio de absorção de água por capilaridade.

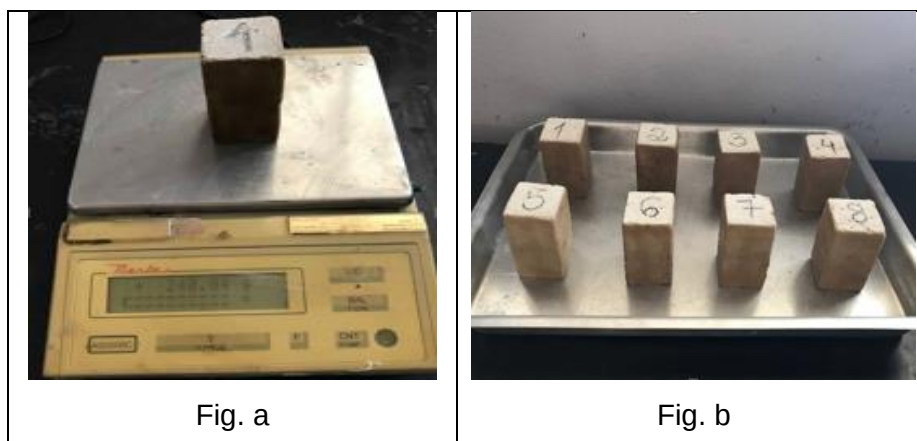


Fonte: Própria autora.

b) Procedimentos de ensaio

- 1) Cada semiprismas foi pesado e determinado sua massa inicial (Quadro 6 – fig. a);
- 2) Colocou-se água em um recipiente a uma altura de 5 mm a 10 mm;
- 3) Os semiprimas foram imersos no recipiente com água, colocando-os com a base serrada em contato com a água (Quadro 6 – fig. b);
- 4) Determinações das massas dos semiprismas “M” (g) foram realizadas em tempos de 6 a 10 minutos (definiu-se o tempo de 7 minutos para todos os compósitos), 10 minutos, 30 minutos, 60 minutos, 90 minutos, 180 minutos, 300 minutos, 480 minutos, 1440 minutos e 2880 minutos após a imersão dos mesmos em água. Para essas determinações, cada semiprisma foi retirado do recipiente, sua base levemente seca com auxílio de papel absorvente, determinado a massa para cada tempo e levados ao recipiente novamente.

Quadro 6: Procedimentos do ensaio de absorção de água por capilaridade.



Fonte: Própria autora.

c) Resultados

O coeficiente de absorção de água por capilaridade “C” ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$) foi calculado pela Equação 11:

$$C = \frac{(M_{90} - M_{10})}{A \times (\sqrt{90} - \sqrt{10})} \quad (11)$$

- “ M_{90} ” é a massa do semiprisma na leitura de 90 minutos (g);
- “ M_{10} ” é a massa do semiprisma na leitura de 10 minutos (g);
- “A” é a área da base do semiprisma (m^2).

A água absorvida “ ΔM ” (g) foi calculada pela Equação 12:

$$\Delta M = M_{(t)} - M_{(t-1)} \quad (12)$$

- “ M_t ” é a massa do semiprisma na leitura de “ t ” minutos (variando de 0 a 2880 minutos);
- “ M_{t-1} ” é a massa do semiprisma na leitura de tempo anterior ao “ t ” minutos.

A absorção capilar “ A_c ” foi calculada pela Equação 13:

$$A_c = \frac{\Delta M}{A} \quad (13)$$

A água absorvida total “ ΔM_T ” foi calculada pela Equação 14:

$$\Delta M_T = M_t - M_0 \quad (14)$$

- “ M_0 ” é a massa do semiprisma na leitura inicial do ensaio, 0 minutos.

O coeficiente de sorptividade “ S ” (g/min^{0,5}) foi calculado pela Equação 15:

$$S = \frac{\Delta M_{T(2880)}}{t^{0,5}} \quad (15)$$

- “ $\Delta M_{T(2880)}$ ” é a massa total de água absorvida (g) na leitura de 2880 minutos;
- “ t ” é o tempo total de ensaio, 2880 minutos.

O ensaio foi realizado em sete semiprismas para cada compósito e seu resultado final foi o valor médio dos resultados encontrados de coeficiente de absorção de água por capilaridade, água absorvida, absorção capilar e água absorvida total.

Com os resultados do ensaio, foi construído um gráfico da água absorvida média em função do tempo de imersão e água absorvida total média em função do tempo de imersão para os compósitos estudados.

3.2.9 Ensaio de secagem

Este ensaio não se encontra normatizado e foi realizado segundo descrito por Penacho (2012). Ele analisa a capacidade de secagem da argamassa em condições atmosféricas.

O ensaio de secagem iniciou-se logo após o ensaio de absorção de água por capilaridade e foram utilizados os mesmos semiprismas nas condições do seu término.

a) Procedimentos de ensaio

- 1) Após a última determinação de massa da capilaridade, retirou-se os semiprismas do recipiente com água, o mesmo foi esvaziado e os semiprismas foram voltados no recipiente para secagem completa (Figura 18);
- 2) No dia seguinte, determinações das massas iniciais dos semiprismas foram realizadas e em tempos de 30 minutos, 60 minutos, 90 minutos, 270 minutos, 450 minutos e 1440 minutos após a massa inicial.

Figura 18: Ensaio de secagem.



Fonte: Própria autora.

b) Resultados

A água evaporada “ ΔM ” (g) foi calculada pela Equação 16:

$$\Delta M = M_{2880} - M_t \quad (16)$$

- “ M_{2880} ” é a massa do semiprisma (g) na leitura de 2880 minutos do ensaio de capilaridade;
- “ M_t ” é a massa do semiprisma (g) na leitura de “t” minutos (variando de 0 a 1440 minutos).

O percentual de água evaporada “ $P\Delta M$ ” (%) foi baseado em Pereira e Bauer (2013) e calculado pela Equação 17:

$$P\Delta M = \left[1 - \left(\frac{M_t}{M_{2880}} \right) \right] \times 100 \quad (17)$$

O resultado final da água evaporada, água evaporada por unidade de área e percentual de água evaporada foi o valor médio dos resultados encontrados nos sete semiprismas de cada compósito já ensaiados na absorção de água por capilaridade.

Os resultados do ensaio de secagem foram apresentados construindo-se um gráfico da razão entre a massa de água evaporada e a área da base do semiprisma em função do tempo e um gráfico do percentual de água evaporada em função do tempo.

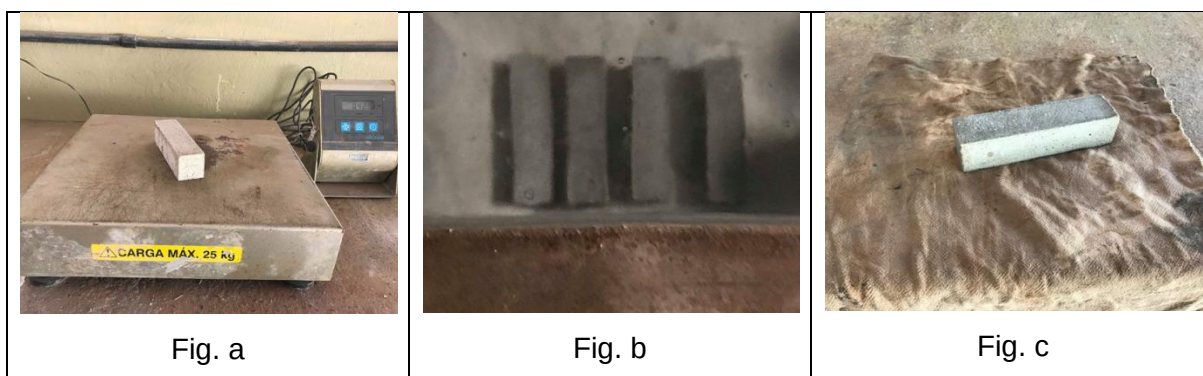
3.2.10 Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado de acordo com as prescrições da NBR 9778 (ABNT, 2009).

a) Procedimentos de ensaio

- 1) Pesou-se quatro corpos de prova prismáticos de dimensões 40 x 40 x 160 mm em estado seco e determinou-se a massa inicial “ M_i ” de cada um (g) (Quadro 7 – fig. a);
- 2) Os corpos de prova foram submergidos em tanque com água por 24 horas (Quadro 7 – fig. b);
- 3) Decorridas às 24 horas, os corpos de prova foram retirados do tanque e foi feita a remoção do excesso de água com um pano úmido (Quadro 7 – fig. c);
- 4) Em seguida, as massas finais “ M_f ” (g) de cada corpo de prova foram determinadas.

Quadro 7: Procedimentos do ensaio de absorção de água por imersão.



Fonte: Própria autora.

b) Resultados

A taxa de absorção de água “A” (%) foi calculada pela Equação 18.

$$A = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad (18)$$

- “ M_i ” é a massa inicial do corpo de prova (g);
- “ M_f ” é a massa final do corpo de prova (g).

O resultado da taxa de absorção de água será a média dos quatro corpos de prova do compósito ensaiado.

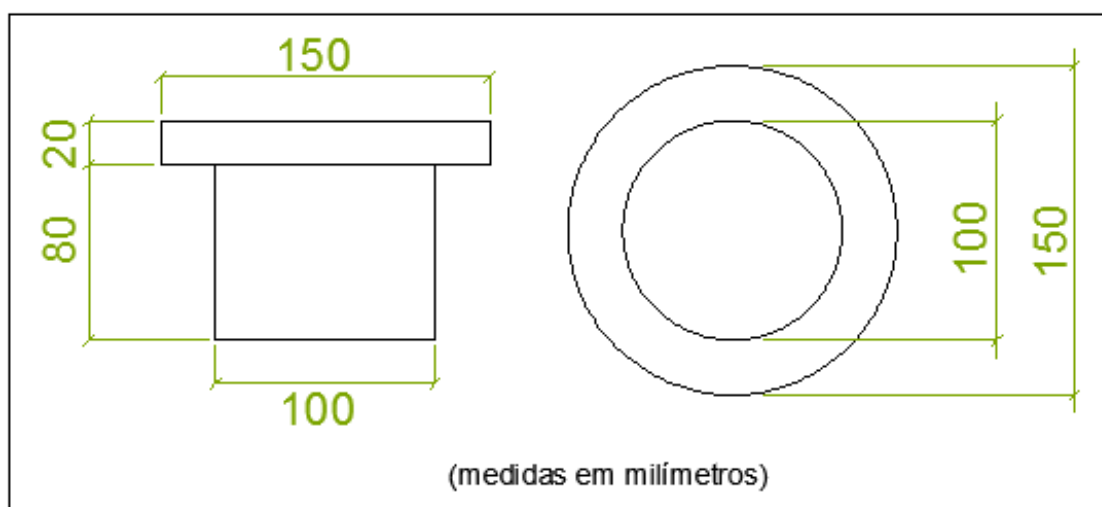
3.2.11 Permeabilidade ao vapor de água

Este ensaio foi realizado baseando-se na EN 1015-19 (2000) e em Temp (2014), que consiste na determinação da capacidade da argamassa em extrair para o exterior o vapor de água existente no interior das construções.

a) Preparo dos copos teste

Foram fabricados cinco copos teste cilíndricos com chapa metálica galvanizada nas dimensões adaptadas por Temp (2014), como é apresentado na Figura 19. Na Figura 20 é mostrado o copo utilizado para o ensaio.

Figura 19: Medidas adaptadas do copo teste cilíndrico.



Fonte: Própria autora.

Figura 20: Copo teste cilíndrico fabricado.

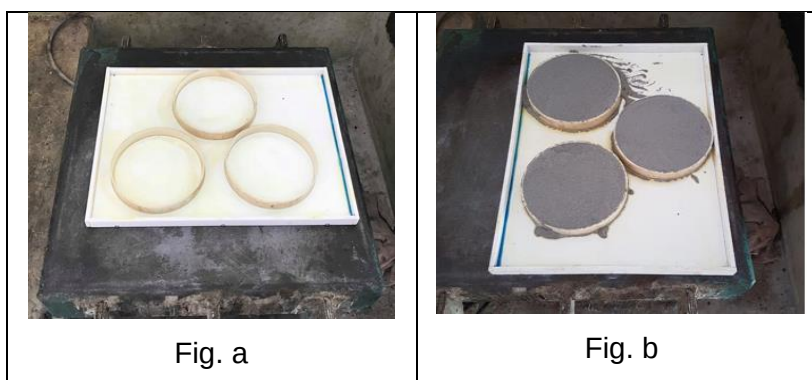


Fonte: Própria autora.

b) Confeção dos corpos de prova:

- 1) Foram confeccionados cinco aros de PVC com dimensões de 145 mm de diâmetro e 20 mm de altura para servir de molde para a produção dos corpos de prova do compósito;
- 2) Os aros foram posicionados sobre uma placa e uma camada de óleo foi aplicada sobre eles (Quadro 8 – fig. a);
- 3) Preencheu-se os aros com o compósito ensaiado e retirou-se o excesso dos aros com o auxílio de régua metálica (Quadro 8 – fig. b).

Quadro 8: Procedimentos para confecção dos corpos de prova circulares.

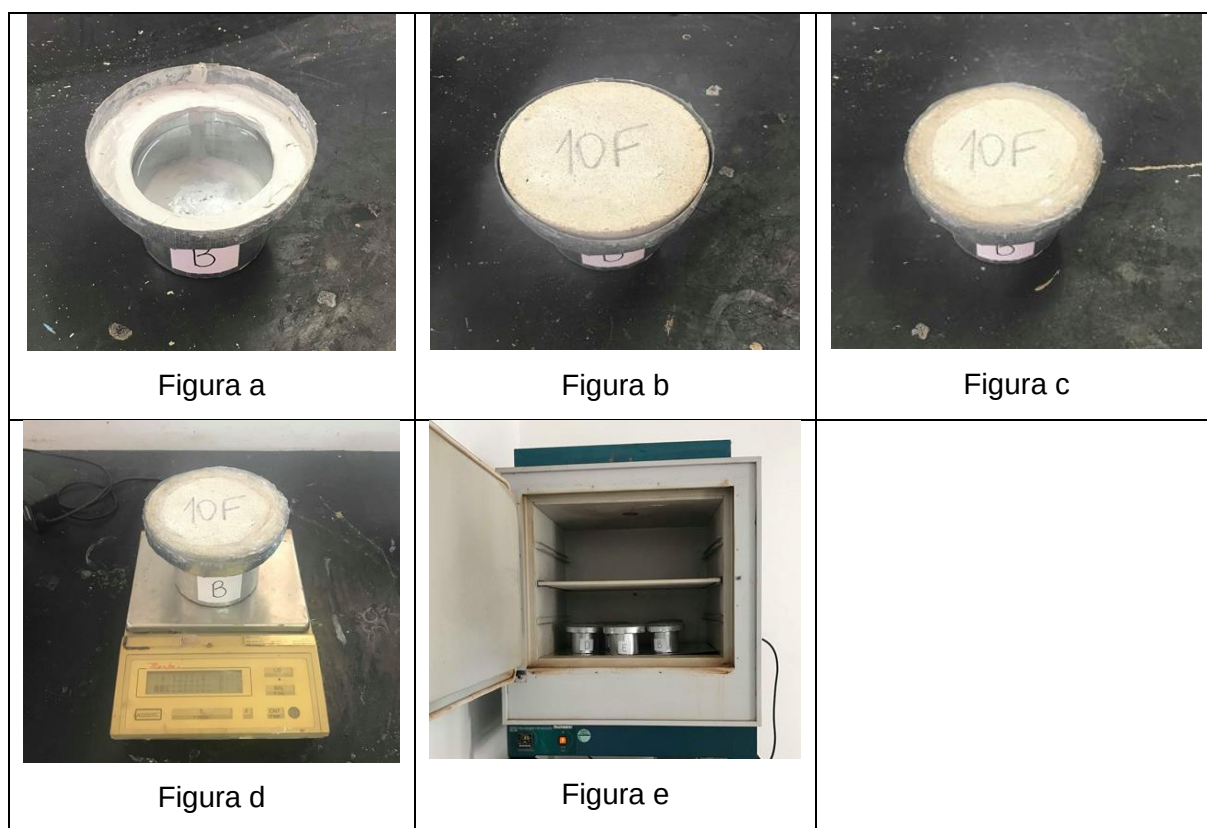


Fonte: Própria autora.

c) Procedimentos de ensaio

- 1) Preencheu-se o copo teste com 500 ml de água (Quadro 9 – fig. a);
- 2) O corpo de prova circular foi posicionado dentro do copo teste (Quadro 9 – fig. b) e as laterais foram vedadas com silicone (Quadro 9 – fig. c);
- 3) Montado o ensaio, foi determinada a massa inicial de cada conjunto (copo teste, água e argamassa) (Quadro 9 – fig. d) e foram levados à estufa com temperatura constante de $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de 56% (Quadro 9 – fig. e). Determinações das massas foram realizadas a cada 24 horas por quinze dias consecutivos.

Quadro 9: Procedimentos do ensaio de permeabilidade ao vapor de água.



Fonte: Própria autora.

d) Resultados:

Os resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água foram apresentados construindo-se um gráfico da variação da massa de água média (quantidade de vapor de água que passa pela argamassa) em função do tempo em dias.

O resultado final da variação da massa de água será o valor médio dos resultados encontrados nos cinco conjuntos de cada compósito.

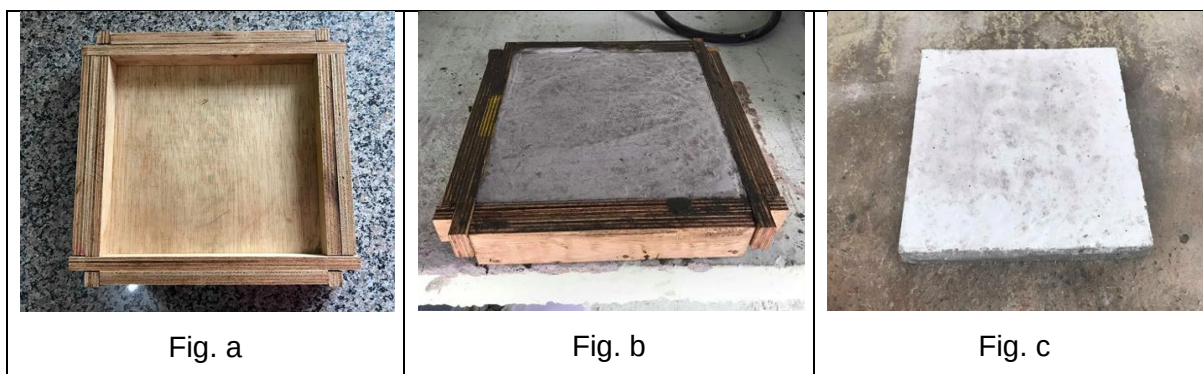
3.2.12 Permeabilidade à água sob pressão

O ensaio de permeabilidade à água sob pressão foi baseado nas prescrições da EN 1015-21 (2002) e objetiva simular as condições a que um revestimento é submetido como a pluviosidade e condições adversas de pressão do vento.

a) Confeção das placas de concreto

- 1) Foram confeccionadas duas caixas de madeirite naval nas dimensões de 300 x 300 x 40 mm. Uma camada de selante foi passada nas caixas para contribuir com a impermeabilização das caixas (Quadro 10 – fig. a);
- 2) Confeccionou-se um traço de concreto de 1: 3: 3 (cimento, areia e brita), em volume, para a fabricação das placas de concreto que serviram de substrato para a camada do compósito de argamassa estudado;
- 3) Após a aplicação de uma camada de óleo nas caixas, o concreto foi lançado e vibrado por 15 segundos na mesa vibratória para melhor adensamento dos materiais. A superfície do concreto foi regularizada com o auxílio de régua metálica (Quadro 10 – fig. b);
- 4) Decorridas 24 horas, as placas foram desformadas (Quadro 10 – fig. c) e levadas à cura úmida até o dia de aplicação da camada do compósito.

Quadro 10: Procedimentos para confecção das placas de concreto.



Fonte: Própria autora.

b) Confeção dos corpos de prova

- 1) Foram confeccionados dois moldes de madeirite naval nas dimensões de 300 x 300 x 30 mm (Quadro 11 – fig. a);
- 2) O molde de madeirite foi posicionado sobre a placa de concreto de modo a deixar 20 mm de altura para a espessura da camada do compósito e aplicou-se uma camada de óleo no interior do molde (Quadro 11 – fig. b);
- 3) Para a aplicação da camada do compósito, a superfície da placa de concreto foi previamente umedecida com água;
- 4) Aplicou-se o compósito com o auxílio de colher de pedreiro e a superfície foi nivelada com régua metálica (Quadro 11 – fig. c).

Quadro 11: Procedimentos para confecção dos corpos de prova.

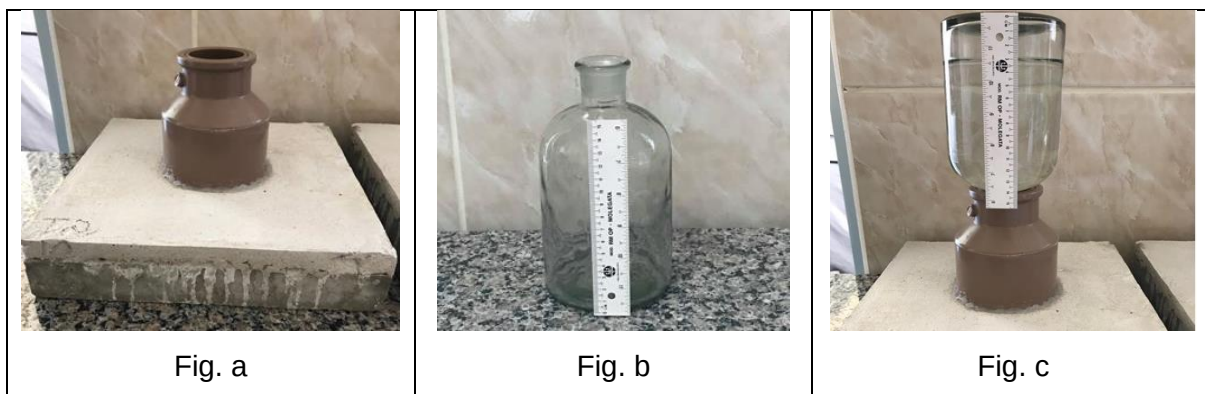


Fonte: Própria autora.

c) Procedimentos de ensaio

- 1) Posicionou-se a luva de redução 110 x 60 mm de PVC sobre a camada do compósito e as suas laterais foram vedadas com silicone 24 horas antes ao início do ensaio (Quadro 12 – fig. a);
- 2) Uma régua graduada em milímetros foi fixada ao recipiente de vidro com capacidade de 1030 ml (Quadro 12 – fig. b);
- 3) Preencheu-se o recipiente com 900 ml de água;
- 4) Preencheu-se a luva de redução com 500 ml de água;
- 5) O recipiente com água foi colocado em posição invertida sobre a luva de redução (Quadro 12 – fig. c);
- 6) A primeira leitura da água, posição da água em milímetros, foi feita e também leituras com 24 horas e 48 horas do início do ensaio, de modo a determinar a variação da coluna de água.

Quadro 12: Procedimentos para o ensaio de permeabilidade à água sob pressão.



Fonte: Própria autora.

d) Resultados

Os resultados do ensaio de permeabilidade à água sob pressão foram analisados como feito por Penacho (2012), devido à alteração da geometria do equipamento de ensaio prescrito pela norma.

A variação da coluna de água durante as 48 horas de ensaio foi determinada pela média de dois ensaios realizados por compósito em duas leituras, 24 horas e 48 horas.

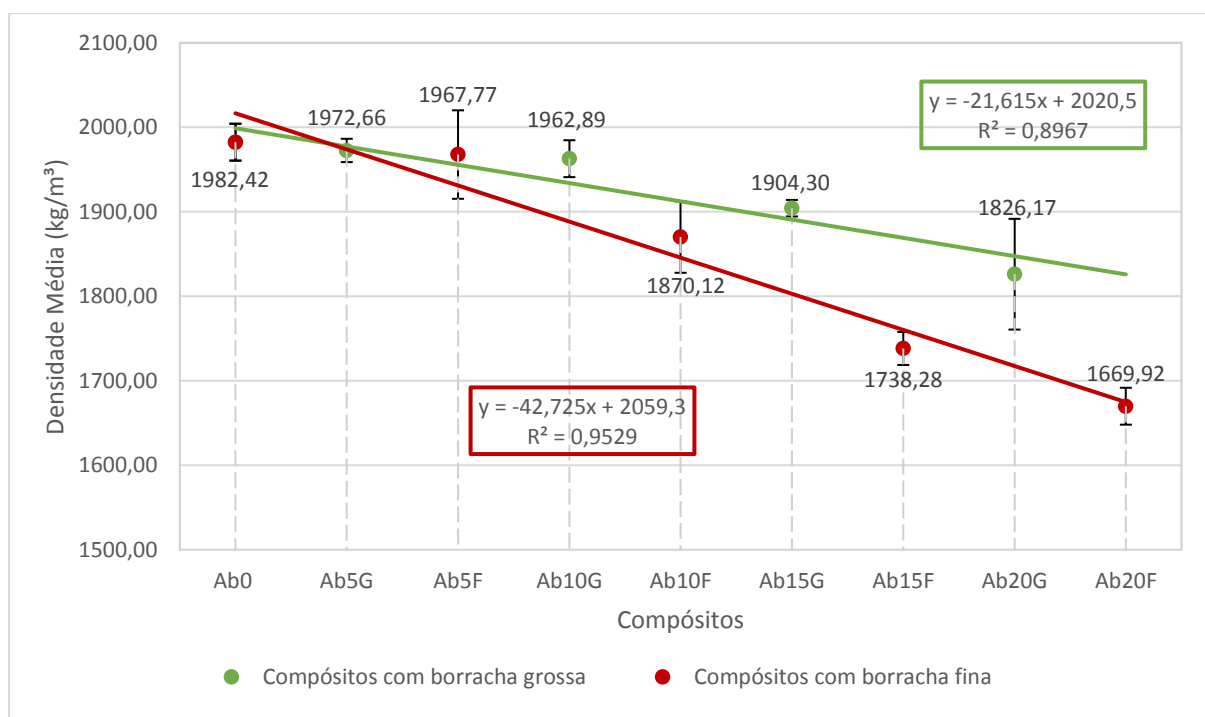
4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com os compósitos ensaiados, segundo o programa experimental de ensaios, bem como suas respectivas análises.

4.1 Densidade de massa aparente no estado fresco

O Apêndice A contém os valores individuais dos corpos de prova e suas respectivas médias referente ao ensaio de densidade de massa aparente no estado fresco. No gráfico da Figura 21 são apresentados os resultados das médias das densidades de massa aparente, no qual é possível observar que a incorporação das duas granulometrias de borracha influencia na densidade média dos compósitos.

Figura 21: Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de densidade de massa aparente no estado fresco.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Pelo gráfico da Figura 21 observa-se que todos os compósitos com borracha apresentaram densidade de massa aparente no estado fresco inferiores à referência, sendo que, comparando as duas granulometrias de borracha, os menores valores de

densidade para o mesmo teor de incorporação foram evidenciados nos compósitos de borracha fina.

O aumento da incorporação do teor de borracha mostrou uma tendência decrescente na densidade de massa dos compósitos, praticamente apresentando uma linearidade entre os resultados, os quais variaram entre 1982,42 kg/m³ e 1826,17 kg/m³ (redução total de 7,89%) para as incorporações de borracha grossa ($R^2 = 0,8967$) e entre 1982,42 kg/m³ e 1669,92 kg/m³ (redução total de 15,76%) para as incorporações de borracha fina ($R^2 = 0,9529$).

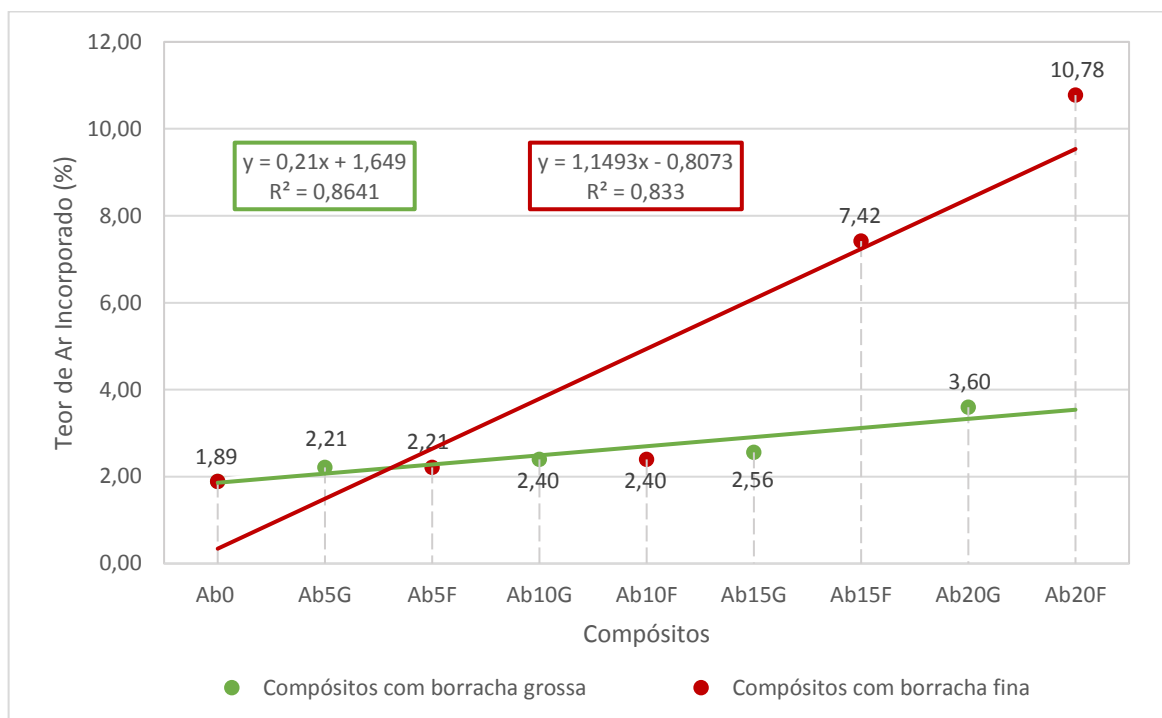
Se comparados os resultados obtidos aos de Fioriti *et al.* (2012), que utilizaram borracha de trituração e moagem de pneus, verifica-se a mesma tendência observada, na qual a incorporação de borracha reduziu a densidade no estado fresco e os compósitos com incorporação de borracha de granulometria menor apresentaram densidade inferior aos de granulometria maior.

Pinto, Fioriti e Akasaki (2014) produziram argamassas mistas de revestimento com borracha de pneus de mesma origem da borracha utilizada neste estudo, recauchutagem de pneus, e também notaram que as menores densidades foram evidenciadas nas argamassas com granulometria menor.

A redução da densidade de massa das argamassas tanto no estado fresco como no estado endurecido com o aumento da incorporação de borracha pode ser explicada devido à baixa massa unitária da borracha comparada à areia (1610 kg/m³) e também ao arranjo interno entre as partículas. A diferença entre as densidades de massa dos compósitos com borracha está relacionada não somente às diferenças entre a massa unitária da borracha grossa (390 kg/m³) e borracha fina (320 kg/m³) de aproximadamente 18%, mas também em função da possível angulosidade das partículas que alteram a compacidade da mistura, interferindo também no teor de ar incorporado da mesma, como pode ser visto no gráfico ilustrado na Figura 22.

Análogo aos resultados de densidade de massa, é possível observar que o aumento do teor de borracha aumenta o teor de ar incorporado na mistura. No entanto, somente a partir dos teores de 15% e 20% de borracha houve maior incorporação de ar para os compósitos de borracha fina comparados aos mesmos teores de borracha grossa.

Figura 22: Teor de ar incorporado nos compósitos de argamassa.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Comparando a tendência dos resultados da densidade de massa no estado fresco com o teor de ar incorporado é possível constatar que até o teor de 15% de borracha grossa (Ab5_G, Ab10_G e Ab15_G), a massa unitária da borracha influenciou de maneira mais significativa na redução da densidade de massa, pois houveram pequenos aumentos do teor de ar, sendo o maior aumento evidenciado para o compósito de 20% de borracha (Ab20_G), que resultou na maior redução da densidade de massa entre as incorporações de borracha grossa. No caso das incorporações de borracha fina, o teor de ar passou a influenciar mais na densidade de massa para os teores de 15% (Ab15_F) e 20% (Ab20_F) de borracha, o que resultou em reduções mais acentuadas na densidade de massa dos compósitos de borracha para esses teores.

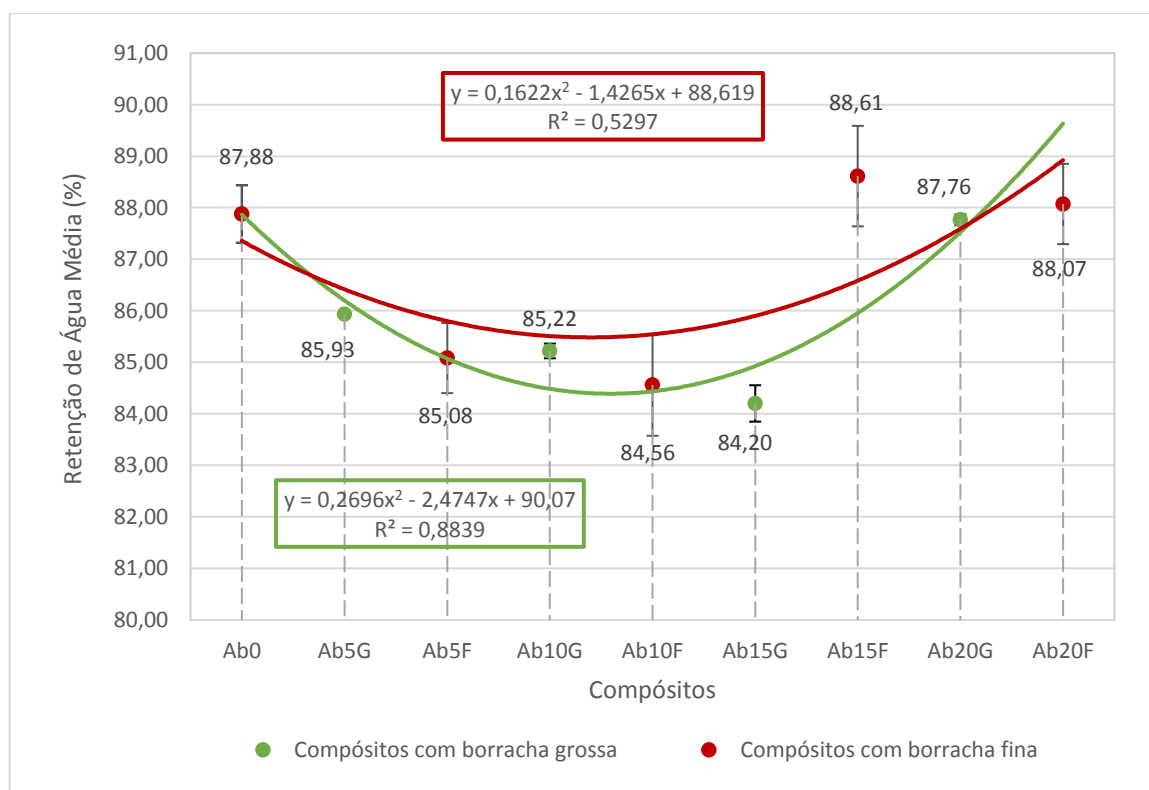
Segundo Penacho (2012), que utilizou incorporação de resíduos finos de vidro em argamassas de revestimento, o aumento do teor de vidro resultou em maiores teores de ar incorporado nas misturas, explicado pelo fato das partículas de resíduos de vidro apresentarem maior angulosidade (menor esfericidade) comparadas às partículas da areia utilizada, o que provocou menor compacidade da mistura, aumentando os vazios. Dessa forma, a redução da densidade de massa com o aumento da incorporação de resíduos de vidro pode ser explicada, embora o aumento do teor de ar seja um efeito secundário.

Elevadas densidades de massa de compósitos, a longo prazo, podem proporcionar riscos ergonômicos ao trabalhador. Dessa forma, a redução da densidade de massa dos compósitos com a incorporação de borracha não somente pode melhorar as condições de trabalho do funcionário que executa o revestimento, mas também pode proporcionar maior rendimento do funcionário ao fim de uma jornada de trabalho. Logo, pode-se afirmar que as incorporações de borracha fina apresentaram os melhores resultados nestes aspectos, devido às baixas densidades de massa dos compósitos.

4.2 Retenção de água

Os valores médios obtidos pelo ensaio de retenção de água foram apresentados na Figura 23, e os resultados detalhados de cada compósito estão no Apêndice B.

Figura 23: Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de retenção de água.



Fonte: Elaboração da própria autora.

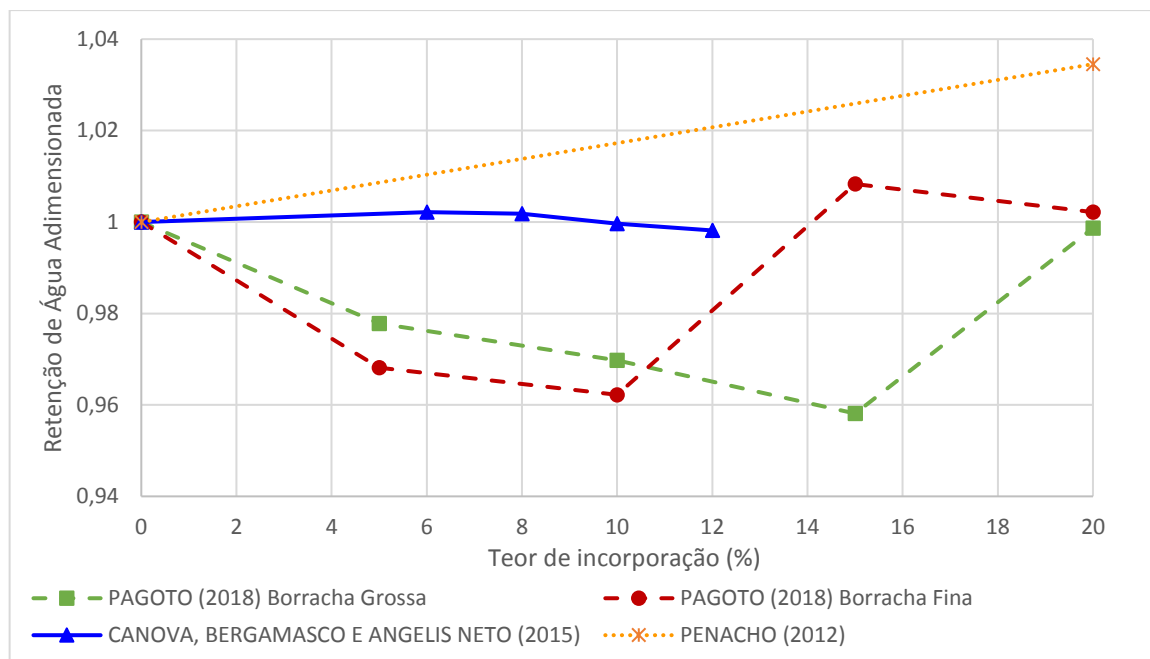
A incorporação de borracha interferiu na propriedade de retenção de água da argamassa, como pode ser visto no gráfico da Figura 23. Para os teores até 15% de borracha grossa e 10% de borracha fina, a retenção diminuiu com o aumento das incorporações, 2,22% (Ab5_G), 3,19% (Ab5_F), 3,03% (Ab10_G), 3,78% (Ab10_F), 4,19% (Ab15_G), comparados à referência (Ab0). Os demais teores apresentaram comportamento diferente, deixando de reduzir a retenção de água com o aumento do teor de incorporação, o que resultou em taxa de retenção praticamente igual para o compósito de 20% de borracha grossa (Ab20_G) e aumentos de 0,83% e 0,22% para os compósitos com 15% (Ab15_F) e 20% (Ab20_F) de incorporação de borracha fina, respectivamente.

Penacho (2012) ao incorporar resíduos de vidro em argamassas de revestimento com teores de 20%, 50% e 100% de substituição ao agregado miúdo, notou tendência linear crescente das taxas de retenção de água à medida em que os percentuais de resíduos de vidro aumentavam, sendo que as taxas de retenção variaram entre 69,5% (referência) e 83,3% (incorporação de 100%). Segundo o autor, desde que as taxas não fossem excessivas, esse aumento da retenção de água representa uma melhoria nesta propriedade, pois podem melhor explorar as propriedades do cimento.

Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2015) adicionaram pó de borracha proveniente da reciclagem de pneus em relação ao volume de agregado miúdo e concluíram que os teores de 6% e 8% de borracha contribuíram de maneira positiva para a retenção de água, sendo que a borracha preencheu os vazios entre os grãos de areia. À medida em que os teores de incorporação aumentaram (10% e 12%) a borracha se tornou excessiva, causando a redução dos percentuais de retenção.

O gráfico ilustrado na Figura 24 apresenta uma relação adimensional (feita pela divisão de cada resultado de retenção de água dos compósitos pelo respectivo resultado referência) entre as taxas de retenção de água dos resultados obtidos com a incorporação de borrachas grossa e fina, resultados dos estudos de Penacho (2012) com incorporação de resíduos finos de vidro (limitou-se à incorporação de 20% para estabelecer um limite de comparação entre os teores) e Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2015) com incorporação de pó de borracha proveniente da reciclagem de pneus.

Figura 24: Relação dos resultados de retenção de água com os resultados obtidos por Penacho (2012) e Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2015) em termos adimensionais.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Por meio da análise da Figura 24 nota-se que, com exceção da incorporação de resíduos finos de vidro, as taxas de retenção de água não apresentam uniformidade com o aumento do teor de incorporação de borracha, independente da granulometria utilizada, no qual pode-se afirmar comparando os resultados de Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2015) aos resultados obtidos.

Segundo Silva (2006), a retenção de água é uma propriedade da argamassa de revestimento que, quando em percentual adequado, evita a sucção rápida de água pelo substrato e eventual evaporação da água existente na mistura, fatores que dessecam a argamassa e impedem a completa hidratação do cimento, no qual parte dele passa a funcionar apenas como fíler.

Dessa forma, os compósitos com 5% (Ab5_G), 10% (Ab10_G) e 15% (Ab15_G) de incorporação de borracha grossa e 5% (Ab5_F) e 10% (Ab10_F) de borracha fina, por reduzirem o percentual de retenção de água em relação à referência (Ab0), podem prejudicar os compósitos quanto aos fatores citados por Silva (2006), sendo que os resultados mostraram que a incorporação de borracha fina apresentou menor retenção de água comparado aos mesmos teores de borracha grossa. Já para as demais incorporações de borracha, os percentuais de retenção de água mantiveram-

se próximos à referência, logo, não resultaram em uma melhora ou piora relevante para esta propriedade.

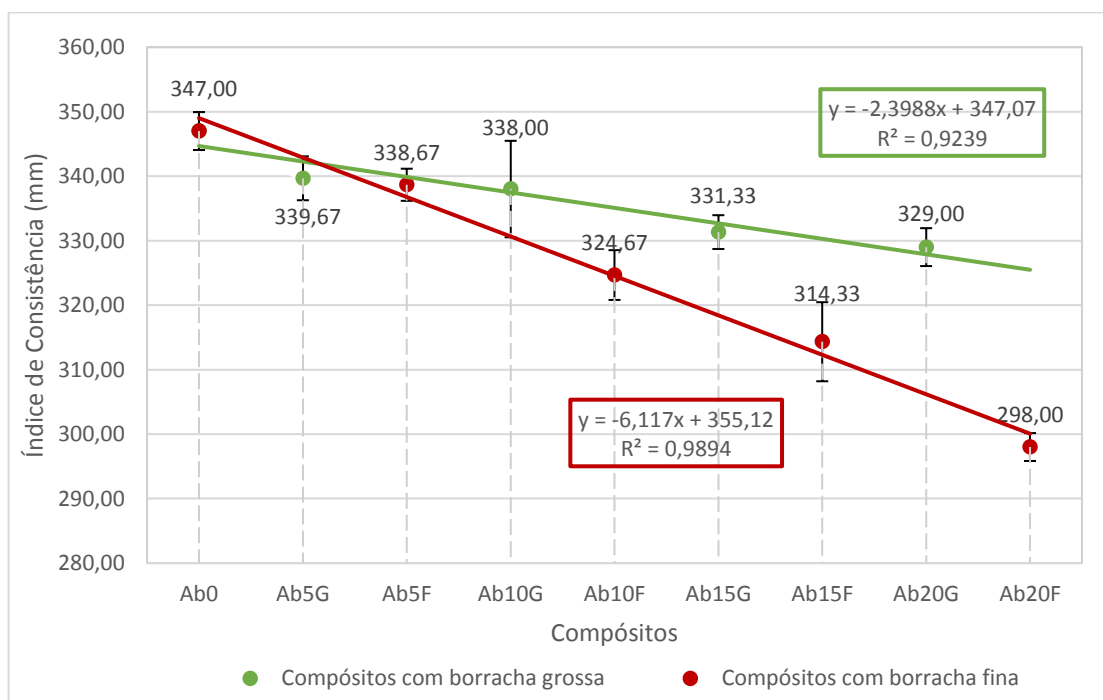
É válido notar que, embora alguns compósitos com borracha tenham resultado em taxas de retenção inferiores à referência (Ab0), como já foram apresentados, a diferença foi pequena, de 3,68% para o compósito que resultou em menor taxa de retenção (Ab15_G).

4.3 Índice de consistência

O índice de consistência individual dos compósitos foi apresentado no Apêndice C. É possível observar a evolução desses valores no gráfico da Figura 25.

Nota-se que todos os compósitos com incorporação de borracha apresentaram índices de consistência inferiores à referência, sendo que os menores valores foram das incorporações de borracha fina comparados aos mesmos teores de borracha grossa, e a diferença entre eles passou a ser maior a partir das incorporações de 10% (indica um possível pior arranjo entre as partículas de borracha fina na mistura, fato já observado no ensaio de densidade de massa aparente no estado fresco).

Figura 25: Evolução do índice de consistência dos compósitos.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Analisando separadamente a influência do aumento do teor de incorporação de cada granulometria de borracha, observa-se que os compósitos apresentaram tendência praticamente linear dos resultados do índice de consistência, tanto para a borracha grossa ($R^2 = 0,9239$) como para a borracha fina ($R^2 = 0,9894$).

Nos compósitos com incorporação de 5% (Ab5_G e Ab5_F) e 10% (Ab10_G) de borracha grossa os valores dos índices de consistência foram próximos, apresentando uma pequena diferença entre eles, 0,29% (Ab5_G e Ab5_F) e 0,21% (Ab5_F e Ab10_G), o que mostra que para essas incorporações, a granulometria da borracha praticamente não interferiu.

Macedo *et al.* (2016) realizaram o ensaio de consistência em suas misturas com 5% e 10% de incorporação de borracha (dimensão dos grãos variando de 1,05 mm a 2,47 mm) e observaram também que a incorporação de borracha reduziu o índice de consistência, no entanto, o aumento do teor aumentou o índice de consistência. Comparando seus resultados com os resultados obtidos nos compósitos de borracha grossa (granulometria semelhante), houve divergência, pois o aumento do teor de incorporação reduziu pouco o índice de consistência.

Fioriti *et al.* (2012) também realizaram o ensaio de índice de consistência nos compósitos de argamassa com borracha de trituração e moagem de pneus e comparando aos resultados obtidos, houve a mesma tendência, na qual a incorporação de borracha diminui o índice de consistência e essa redução é maior para as borrachas de menor granulometria.

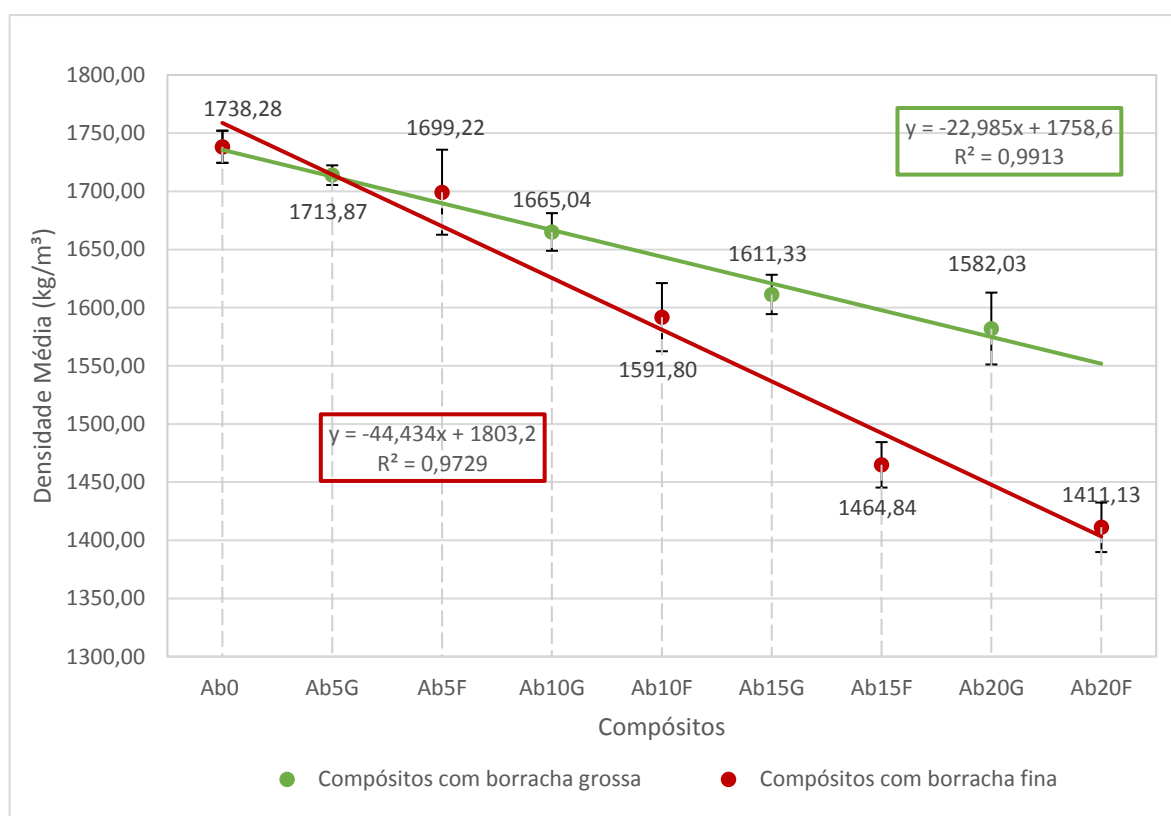
O índice de consistência permite avaliar a trabalhabilidade da argamassa e de acordo com os resultados obtidos nota-se que as argamassas com incorporação de borracha reduziram seu índice de consistência, no entanto, é válido lembrar que essa redução não interferiu de maneira negativa na trabalhabilidade durante o processo de confecção dos corpos de prova utilizados para os ensaios.

Relacionando os resultados de densidade de massa aparente no estado fresco e índice de consistência, quanto à tendência observada em ambos os resultados, pode-se ratificar que a medida em que se aumenta os teores de incorporação de borracha, há reduções da densidade de massa e índice de consistência dos compósitos.

4.4 Densidade de massa aparente no estado endurecido

Os resultados individuais bem como os valores médios da densidade de massa aparente no estado endurecido dos compósitos estão no Apêndice D. No gráfico da Figura 26 foram apresentados valores médios da densidade de massa e como pode ser observado, o aumento do teor de incorporação de borracha reduziu a densidade de massa dos compósitos, independente da granulometria da borracha, quando comparados à referência.

Figura 26: Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Nota-se entre os resultados que a densidade de massa no estado endurecido diminuiu de maneira praticamente linear com o aumento do teor de incorporação, tanto da borracha grossa ($R^2 = 0,9913$) quanto da borracha fina ($R^2 = 0,9729$), sendo que os resultados variaram entre 1738,28 kg/m³ e 1582,03 kg/m³ (redução total de 8,99%) para os compósitos com borracha grossa e entre 1738,28 kg/m³ e 1411,13 kg/m³ (redução total de 18,82%) para os compósitos com borracha fina.

Todos os compósitos apresentaram resultados de densidade de massa no estado endurecido inferiores à densidade de massa no estado fresco, fato este já esperado. A redução da densidade nesse caso é devido ao consumo de água necessário durante o processo de hidratação do cimento, que ocorre em sua quase totalidade nos primeiros 28 dias de cura dos corpos de prova, e à perda de água por evaporação relacionada à secagem da argamassa.

Os autores Fioriti *et al.* (2012), Pinto, Fioriti e Akasaki (2014), Pinto e Fioriti (2016b), Macedo *et al.* (2016) e Angelin *et. al* (2017) encontraram resultados semelhantes no ensaio de densidade de massa no estado endurecido em compósitos com borracha de pneus provenientes de vários processos.

Penacho (2012) que utilizou incorporações de vidro também encontrou resultados semelhantes, os quais apresentaram tendência linear de redução da densidade com o aumento do teor de incorporação, chegando à redução total de 11,3% para 100% de substituição da areia pelo resíduo de vidro comparado à referência.

As baixas densidades de massa evidenciadas nos compósitos com borracha além de, no estado fresco, poderem reduzir riscos ergonômicos e proporcionar maior produtividade de serviço ao funcionário, como já apresentado, no estado endurecido tendem a reduzir a sobrecarga permanente na estrutura, que podem levar à economia de materiais durante o seu dimensionamento. Analisando os resultados obtidos segundo esses aspectos, confirma-se o que já foi apresentado sobre a densidade de massa no estado fresco, no qual as incorporações de borracha fina contribuem de maneira mais positiva na redução da densidade no estado endurecido.

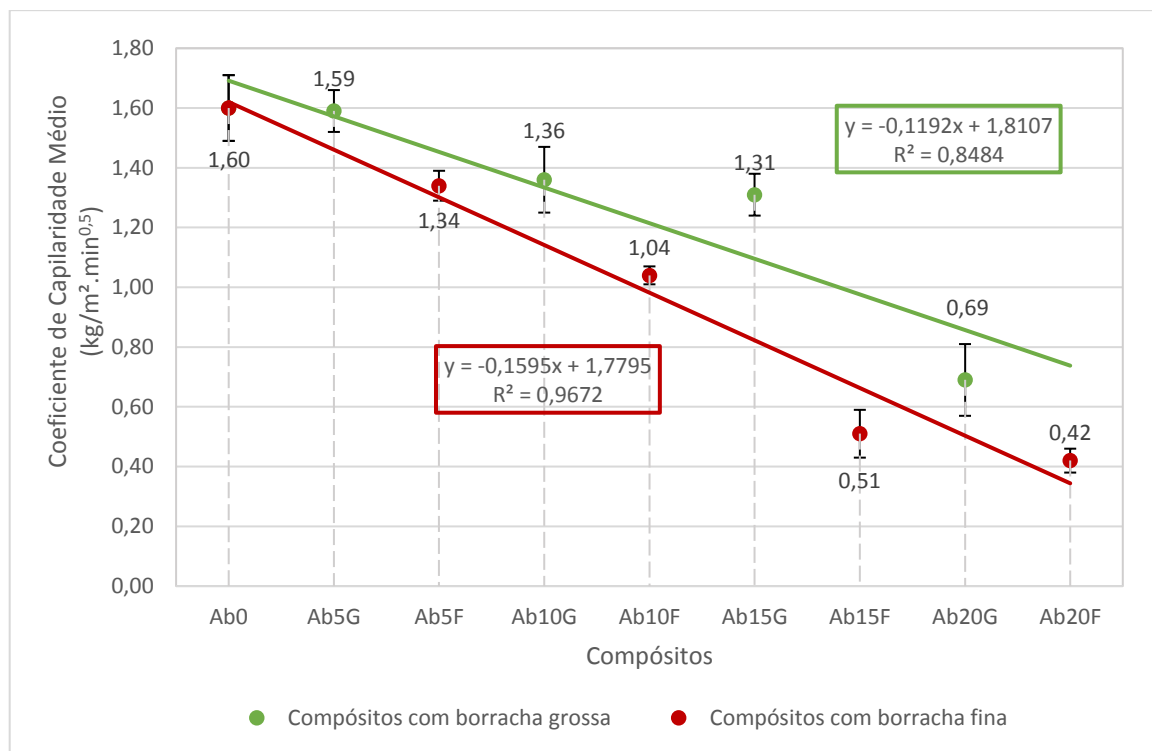
4.5 Absorção de água por capilaridade

No Apêndice E foi apresentado o cálculo do coeficiente de capilaridade em maiores detalhes para os compósitos estudados, e a Figura 27 resume os resultados dos coeficientes de capilaridade médios. É possível observar que a incorporação de borracha reduz esse coeficiente, embora a redução tenha sido mínima para o compósito com 5% de borracha grossa (Ab5_G).

Analisando os resultados dos coeficientes de capilaridade médios dos compósitos com borracha, nota-se que a granulometria da borracha interfere nesse coeficiente. Os compósitos com incorporação de borracha grossa apresentaram

coeficientes de capilaridade superiores aos compósitos com mesmos teores de borracha fina.

Figura 27: Resultados do coeficiente de capilaridade médio dos compósitos.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Os compósitos com incorporação de borracha grossa apresentaram resultados de coeficiente com tendência próxima a linear ($R^2 = 0,8484$), com resultados variando entre $1,60 \text{ kg/m}^2.\text{min}^{0,5}$ e $0,69 \text{ kg/m}^2.\text{min}^{0,5}$ (redução total de 56,87%). No caso dos compósitos com borracha fina, os valores dos coeficientes de capilaridade reduziram de maneira praticamente linear ($R^2 = 0,9672$), variando entre $1,60 \text{ kg/m}^2.\text{min}^{0,5}$ e $0,42 \text{ kg/m}^2.\text{min}^{0,5}$ (redução total de 73,75%).

Como já mostrado na Equação 11 do item 3.2.8, o cálculo do coeficiente de capilaridade leva em consideração as leituras de massa dos semiprismas aos 10 minutos e 90 minutos a partir do início do ensaio. Dessa forma, de acordo com os resultados obtidos, pode-se afirmar que a incorporação de borracha reduz a velocidade de absorção de água por capilaridade nos momentos iniciais de ensaio.

Penacho (2012) ao produzir argamassas com incorporação de resíduos finos de vidro notou que o coeficiente de capilaridade aumentava de maneira linear com o crescente teor de incorporação, sendo que todos foram superiores à referência. Para

o autor, os resultados se devem à alteração da microestrutura da argamassa ao incorporar vidro. Logo, apesar do aumento do teor de ar incorporado na mistura com o aumento das incorporações de vidro, a conectividade entre os poros seria provavelmente mais reduzida.

Soares *et al.* (2014) utilizaram a mesma metodologia, porém sem vedar as faces laterais do corpo de prova. Os autores não notaram diferença dos coeficientes de capilaridade ao incorporar granulado de cortiça com teor entre 20% e 30%. No caso da incorporação de argila expandida, houve aumento de 10% comparado à argamassa de referência.

Pedro (2011) realizou o ensaio de absorção de água por capilaridade em compósitos com incorporação de borracha de origem mecânica e constatou que a incorporação de borracha reduziu o coeficiente de capilaridade em alguns teores de borracha. Para as incorporações de 5% e 15% o coeficiente aumentou com o aumento do teor de borracha, ambos com valores inferiores à referência e para a incorporação de 10%, o coeficiente foi superior à referência. Segundo o autor, esperava-se aumento do coeficiente com o aumento do teor de borracha, já que a mesma é responsável pela pior compactação da argamassa devido à redução da sua densidade de massa. No entanto, Khatib e Bayomy (1999) *apud* Pedro (2011) explicam que a redução do coeficiente de capilaridade com o aumento da incorporação de borracha se deve ao aumento do teor de ar incorporado, sendo esperado menores valores de absorção de água para maiores taxas de incorporação de borracha, efeitos contraditórios que se equilibram.

A redução do coeficiente de capilaridade pode não estar ligada somente ao aumento do teor de ar com a incorporação de borracha, mas também ao caminho do fluxo de água pelos capilares que pode se tornar mais difícil inicialmente já que a borracha é um material que praticamente não absorve água.

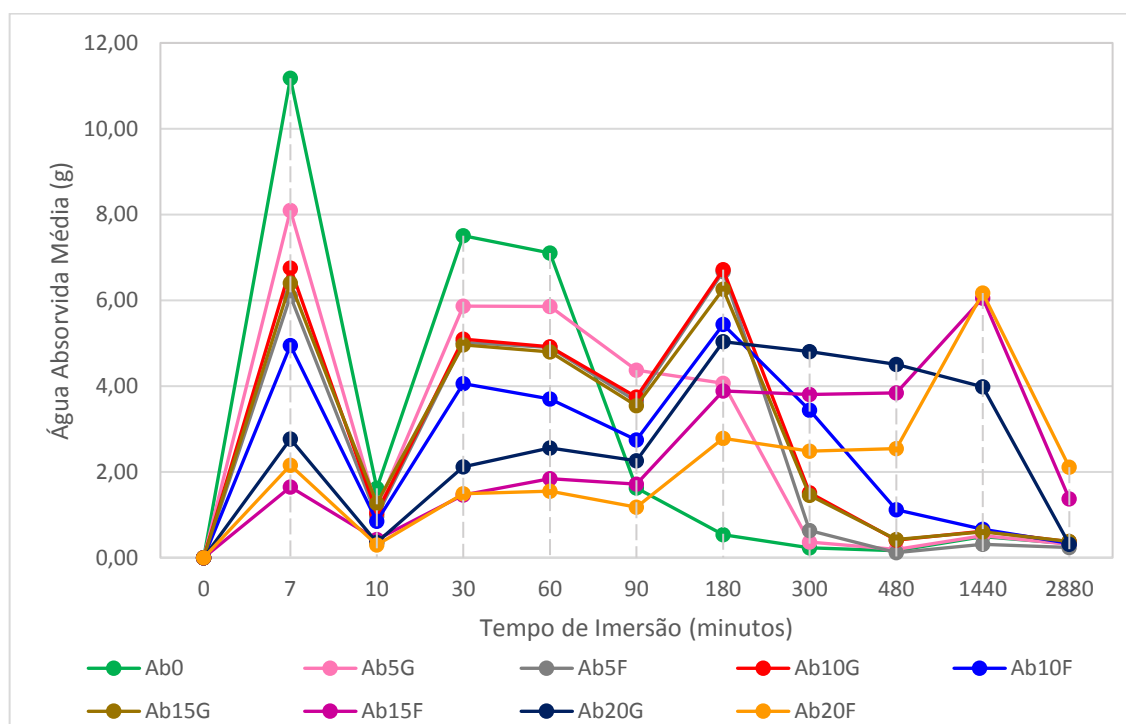
Na Tabela 11 e na Figura 28 estão apresentados os valores da água absorvida média dos compósitos para cada tempo de leitura estipulado em ensaio. No Apêndice E foram apresentados separadamente os valores de água absorvida para os semiprismas ensaiados de cada compósito.

Tabela 11: Resultados da água absorvida média dos compósitos.

Tempo de Imersão (min)	Água Absorvida Média - ΔM (g)								
	Ab0	Ab5 _G	Ab5 _F	Ab10 _G	Ab10 _F	Ab15 _G	Ab15 _F	Ab20 _G	Ab20 _F
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	11,18	8,10	6,10	6,75	4,95	6,40	1,65	2,77	2,16
10	1,62	1,14	0,97	1,04	0,85	1,27	0,42	0,36	0,29
30	7,50	5,87	5,02	5,10	4,06	4,96	1,46	2,12	1,49
60	7,11	5,86	4,90	4,92	3,70	4,80	1,84	2,56	1,55
90	1,62	4,37	3,65	3,75	2,74	3,54	1,71	2,26	1,18
180	0,53	4,07	6,67	6,71	5,44	6,26	3,89	5,03	2,78
300	0,23	0,36	0,63	1,52	3,44	1,45	3,80	4,81	2,48
480	0,16	0,19	0,12	0,41	1,11	0,42	3,84	4,50	2,54
1440	0,49	0,51	0,31	0,62	0,67	0,60	6,05	3,98	6,17
2880	0,33	0,31	0,24	0,37	0,33	0,38	1,37	0,31	2,11

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 28: Água absorvida média dos compósitos.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Observa-se que, até os 60 minutos de ensaio, o compósito referência (Ab0) apresentou seus valores de água absorvida média superior a todos os compósitos com borracha e no intervalo de 90 a 300 min, manteve-se com absorção inferior aos demais, exceto aos 90 minutos na qual a menor água absorvida foi do compósito com 20% de borracha fina (Ab20_F). Dessa maneira, é possível constatar que a

incorporação de borracha tende a diminuir a velocidade de absorção de água nos momentos iniciais do ensaio, assim como já foi observado com os resultados do coeficiente de capilaridade.

Os compósitos com 10% (Ab10_G) e 15% (Ab15_G) de borracha grossa apresentaram resultados semelhantes ao longo de todo o ensaio, mostrando que o aumento do teor de borracha entre 10% e 15% praticamente não interferiu na massa de água absorvida.

Analisando os compósitos com borracha, nota-se com os resultados obtidos que tanto para a borracha grossa como para a borracha fina até os 90 min a massa de água absorvida dos compósitos é menor para os compósitos com maior teor de borracha, sendo que a partir dessa leitura não se pode afirmar o mesmo. De modo geral, os compósitos com maior teor de borracha apresentaram maiores quantidades de água absorvida em leituras mais próximas ao final (entre 180 minutos e 1440 minutos).

Ao fim do ensaio, pode-se afirmar que os compósitos referência (Ab0), com borracha grossa (Ab5_G, Ab10_G, Ab15_G e Ab20_G) e 5% (Ab5_F) e 10% (Ab20_F) de borracha fina estavam próximos à saturação dos corpos de prova, na qual a água absorvida em 24 horas (entre 1440 minutos e 2880 minutos) foi próxima a zero.

Na Tabela 12 foram apresentados os valores de água absorvida total média em cada tempo de ensaio, na qual é possível quantificar a massa de água absorvida total até o momento de cada leitura e o gráfico da Figura 29 ilustra a evolução desses valores. No Apêndice E foram apresentados os resultados individuais dos compósitos.

Todos os compósitos com borracha apresentaram tendência próxima a linear dos resultados da água absorvida total (R^2 variando entre 0,8841 e 0,9639), mostrando uma crescente evolução da água absorvida ao longo do ensaio. No caso do compósito referência (Ab0), aos 90 minutos a água absorvida (29,03 g) apresentava-se próxima à água absorvida total (30,76), indicando velocidade maior para atingir a água absorvida total, o que resultou em tendência mais distante à linear ($R^2 = 0,7689$) que os demais compósitos.

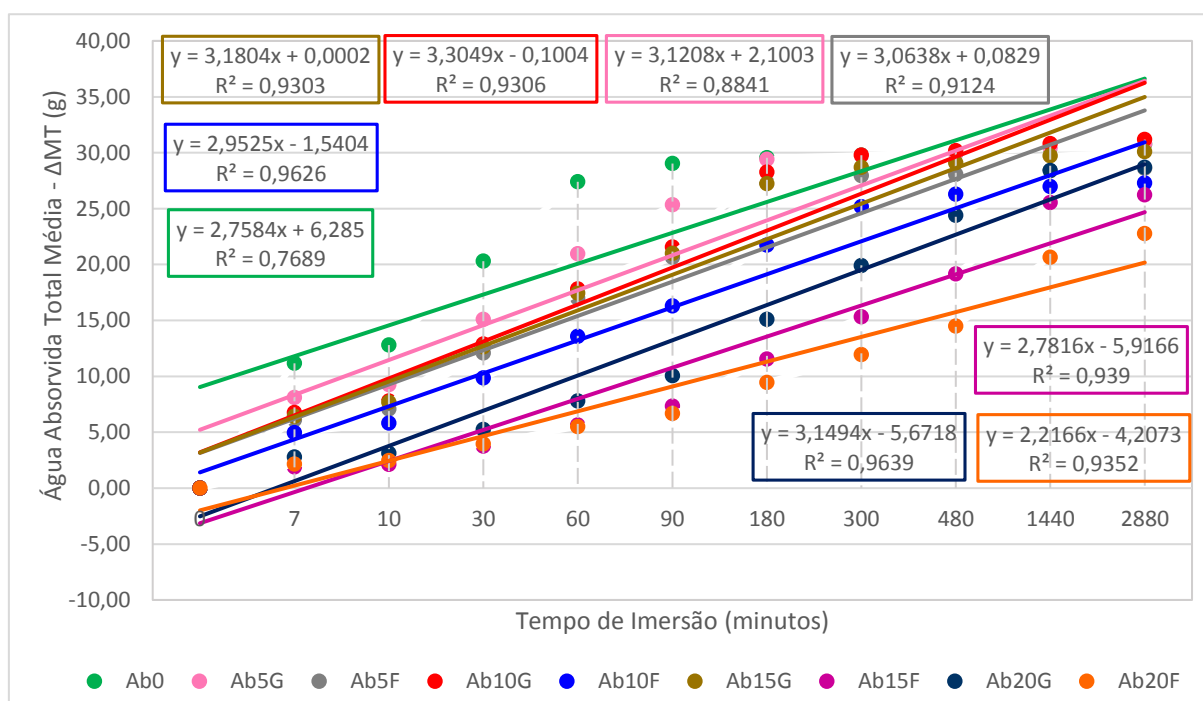
Nota-se que até a leitura de 90 min, o compósito referência (Ab0) apresentou os valores de água absorvida total média superiores e claramente com diferença maior aos demais compósitos. A partir dessa leitura, os valores ficaram próximos para as incorporações de 5% (Ab5_G) e 10% (Ab10_G) de borracha grossa, chegando a ultrapassar a referência a partir dos 480 min de ensaio.

Tabela 12: Resultados da água absorvida total média dos compósitos.

Tempo de Imersão (min)	Água Absorvida Total Média - ΔMT (g)								
	Ab0	Ab5 _G	Ab5 _F	Ab10 _G	Ab10 _F	Ab15 _G	Ab15 _F	Ab20 _G	Ab20 _F
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	11,18	8,10	6,10	6,75	4,95	6,40	1,88	2,77	2,16
10	12,80	9,23	7,07	7,79	5,80	7,67	2,13	3,12	2,45
30	20,30	15,10	12,09	12,89	9,86	12,63	3,74	5,24	3,94
60	27,40	20,96	16,99	17,81	13,56	17,43	5,64	7,80	5,49
90	29,03	25,33	20,63	21,55	16,30	20,97	7,33	10,06	6,67
180	29,56	29,40	27,30	28,27	21,74	27,23	11,53	15,09	9,46
300	29,79	29,76	27,93	29,78	25,18	28,68	15,32	19,90	11,94
480	29,95	29,95	28,05	30,19	26,29	29,10	19,17	24,40	14,48
1440	30,44	30,47	28,36	30,81	26,96	29,71	25,54	28,39	20,65
2880	30,76	30,78	28,60	31,18	27,29	30,08	26,24	28,70	22,76

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 29: Evolução da água absorvida total média dos compósitos.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Analisando a massa total de água absorvida ao final do ensaio (2880 minutos de imersão) pode-se afirmar que à medida em que o teor de borracha fina aumentou, menores foram os valores da massa de água absorvida, representando uma redução total de 26% para o compósito de 20% de borracha (Ab20_F) comparado à referência (Ab0). No caso dos compósitos com borracha grossa, embora a água absorvida tenha

sido superior à referência para os teores de 5% (Ab5_G) e 10% (Ab10_G) e os demais (Ab15_G e Ab20_G), os valores foram inferiores à referência com o aumento do teor de borracha, não houve uma variação significativa dos valores como no caso dos compósitos com borracha fina.

Pinto e Fioriti (2016b) realizaram o ensaio de absorção de água por capilaridade utilizando a metodologia da NBR 9779 (ABNT, 2012) na qual a absorção por capilaridade se dá pela base e laterais do corpo de prova. Os resultados mostraram que todas as incorporações de borracha, exceto o teor de 4% de borracha de granulometria 0,075 mm, apresentaram massa total de água absorvida média inferior à referência nos momentos iniciais de ensaio (até 360 minutos). No final do ensaio, quanto à massa total de água absorvida, as incorporações de 4% e 10% de borracha de granulometria 2,38 mm e 10% de granulometria 1,19 mm apresentaram valores inferiores à referência, sendo que o aumento do teor diminuiu a massa de água absorvida para borracha de 2,38 mm, enquanto os demais, teores de 4% (0,075 mm e 1,19 mm) e 10% (0,075 mm) apresentaram água absorvida total superior à referência. Comparando os resultados dos autores aos resultados obtidos nota-se divergência, mostrando que a metodologia utilizada alterou de maneira significativa os resultados.

4.6 Ensaio de secagem

Os resultados individuais dos semiprismas de cada compósito estão apresentados no Apêndice F. Na Tabela 13 e na Figura 30 encontram-se os valores médios de água evaporada por unidade de área para cada tempo determinado em ensaio.

Analisando os resultados da média da água evaporada por unidade de área, nota-se que todos os compósitos com incorporação de borracha apresentaram valores inferiores à referência (Ab0), sendo que para compósito com 10% de borracha fina (Ab10_F) seus valores aproximaram-se à referência.

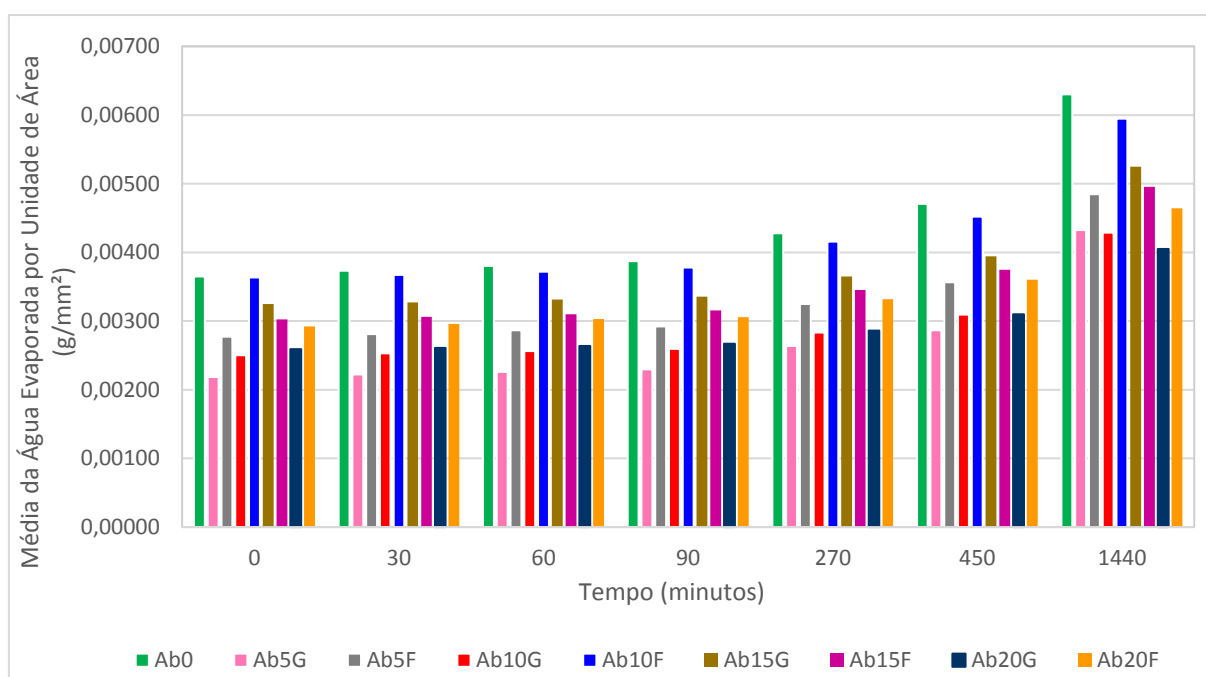
Em relação aos compósitos com borracha grossa, é possível observar no geral, em todos os tempos determinados no ensaio, que o aumento do teor de incorporação de borracha aumentou a água evaporada por unidade de área da argamassa, exceto para o compósito de 20% (Ab20_G) que resultou em valores de água evaporada por unidade de área inferiores ao compósito de 15% (Ab15_G).

Tabela 13: Resumo dos resultados da média da água evaporada por unidade de área.

Tempo (min)	Média da Água Evaporada por Unidade de Área (g/mm ²)								
	Ab0	Ab5 _G	Ab5 _F	Ab10 _G	Ab10 _F	Ab15 _G	Ab15 _F	Ab20 _G	Ab20 _F
0	0,00365	0,00219	0,00277	0,00250	0,00363	0,00325	0,00302	0,00259	0,00292
30	0,00373	0,00222	0,00281	0,00253	0,00367	0,00327	0,00306	0,00261	0,00296
60	0,00380	0,00226	0,00287	0,00256	0,00372	0,00331	0,00310	0,00264	0,00303
90	0,00387	0,00230	0,00292	0,00260	0,00378	0,00336	0,00315	0,00267	0,00306
270	0,00428	0,00263	0,00325	0,00283	0,00415	0,00365	0,00345	0,00286	0,00332
450	0,00471	0,00287	0,00357	0,00309	0,00452	0,00394	0,00375	0,00310	0,00360
1440	0,00630	0,00432	0,00485	0,00429	0,00595	0,00525	0,00495	0,00405	0,00464

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 30: Evolução das médias da água evaporada por unidade de área dos compósitos.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Para os compósitos com borracha fina, até o teor de 10% (Ab5_F e Ab10_F) os valores de água evaporada por unidade de área aumentaram com o aumento do teor de borracha. Nos demais compósitos (Ab15_F e Ab20_F) mostrou-se o contrário. No entanto, nenhum dos compósitos apresentaram resultados superiores à referência (Ab0).

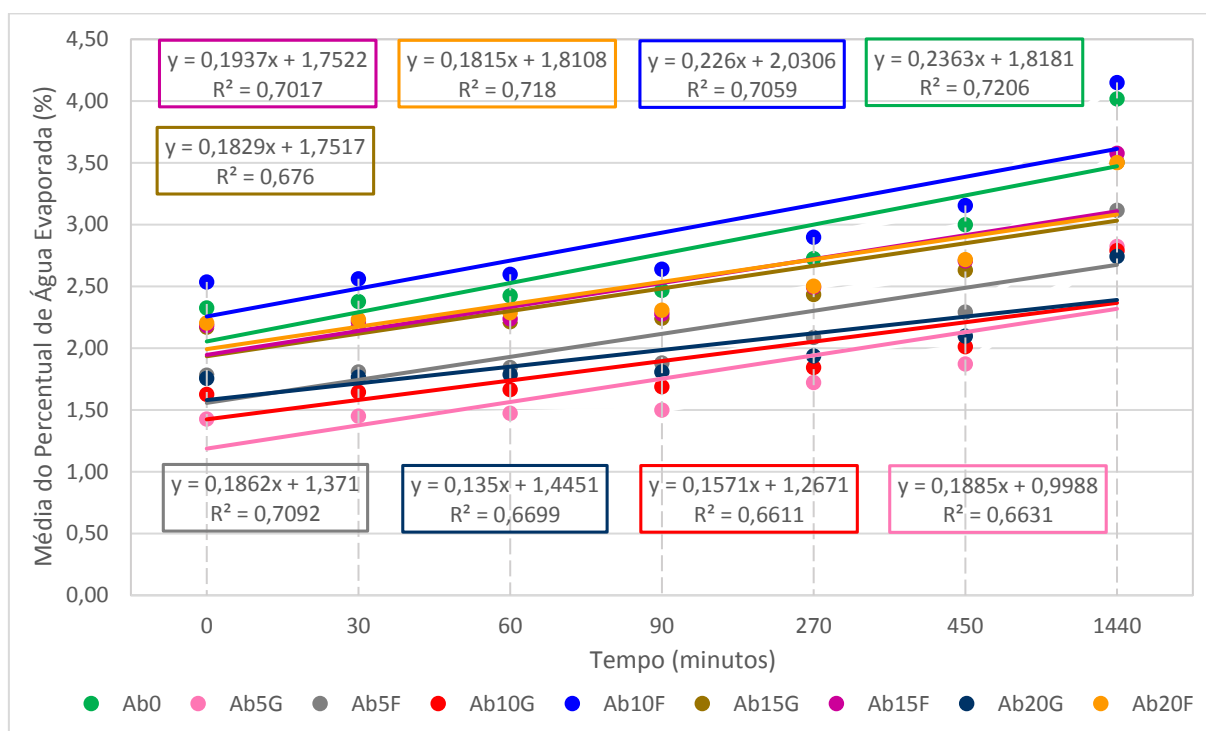
Na Tabela 14. e na Figura 31 estão apresentados os percentuais médios de água evaporada em todos os tempos de ensaio. Os resultados individuais de cada semiprisma dos compósitos estão no Apêndice F.

Tabela 14: Resumo dos resultados da média do percentual de água evaporada.

Tempo (min)	Média do Percentual de Água Evaporada (%)								
	Ab0	Ab5 _G	Ab5 _F	Ab10 _G	Ab10 _F	Ab15 _G	Ab15 _F	Ab20 _G	Ab20 _F
0	2,33	1,43	1,78	1,63	2,54	2,17	2,18	1,76	2,20
30	2,38	1,45	1,81	1,64	2,56	2,19	2,21	1,77	2,23
60	2,42	1,47	1,84	1,67	2,60	2,21	2,24	1,79	2,29
90	2,47	1,50	1,88	1,69	2,64	2,24	2,28	1,81	2,31
270	2,73	1,72	2,09	1,84	2,90	2,44	2,49	1,94	2,50
450	3,00	1,87	2,29	2,01	3,16	2,63	2,71	2,10	2,72
1440	4,02	2,82	3,12	2,79	4,15	3,50	3,58	2,74	3,50

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 31: Percentual de água evaporada média dos compósitos.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Os percentuais de água evaporada dos compósitos estudados não apresentaram tendência próxima a linear como pode ser visto na Figura 31 (valores de R^2 variando entre 0,6611 e 0,7206), pois os mesmos não resultaram em uma crescente evolução como observado, no geral, para os resultados da água absorvida total do ensaio de absorção por capilaridade.

Ao fim do ensaio, os percentuais diminuíram com o aumento do teor de incorporação de borracha grossa, com exceção do compósito 15% de borracha grossa (Ab15_G), e para as incorporações de borracha fina, o aumento do teor aumentou o

percentual de evaporação, exceto para o compósito de 10% (Ab10_F), que se manteve superior aos demais em todos os tempos de ensaio. Logo, salvas as exceções, pode-se ratificar que houve comportamento contrário quanto à secagem para as granulometrias de borracha.

Penacho (2012) também realizou o ensaio de secagem após ter submetido os mesmos corpos de prova ao ensaio de absorção de água por capilaridade em argamassas produzidas com incorporação de resíduos de vidro. Os resultados mostraram que a água evaporada por unidade de área é tanto maior quanto maior o teor de incorporação de resíduos de vidro (tendência linear crescente dos resultados). Segundo o autor, os ensaios de absorção por capilaridade e secagem apresentaram mesma tendência, na qual as argamassas que absorveram mais água apresentaram uma maior quantidade de água disponível para evaporação, o que resultou em maiores massas de água evaporadas.

Relacionando os ensaios de absorção de água por capilaridade e secagem é possível afirmar que, para os compósitos com borracha fina (Ab5_F, Ab10_F, Ab15_F e Ab20_F) e 15% (Ab15_G) e 20% (Ab20_G) de borracha grossa, o aumento do teor de incorporação de borracha reduziu a massa total de água absorvida, o que resultou em menor quantidade de água disponível para evaporação. Dessa forma, aumenta-se a capacidade de secagem da argamassa, resultando em maiores percentuais de água evaporada. No caso dos compósitos com 5% (Ab5_G) e 10% (Ab10_G) de borracha grossa, os resultados foram contrários ao observado nos demais, o que reduziu a capacidade de secagem para estes teores de incorporação.

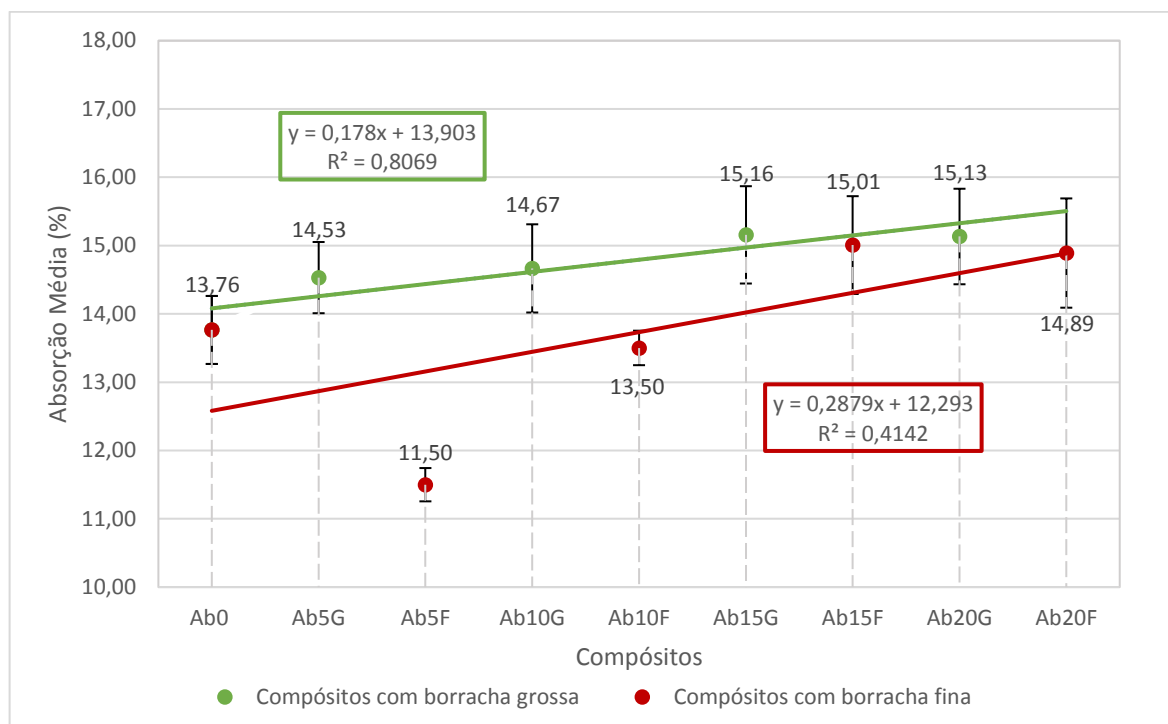
4.7 Absorção de água por imersão

Os resultados individuais de absorção de água por imersão dos compósitos, bem como valores de absorção média foram apresentados no Apêndice G. O gráfico que ilustra a média da absorção dos compósitos está representado na Figura 32.

Observa-se nos resultados de absorção de água dos compósitos com borracha grossa tendência próxima à linear ($R^2 = 0,8069$), visto que todas as incorporações foram superiores à referência (Ab0). Até a incorporação de 15% (Ab5_G, Ab10_G, Ab15_G) pode-se afirmar que houve aumento da absorção de água com o aumento da incorporação de borracha, no entanto, o mesmo não ocorre para a incorporação de 20% (Ab20_G), que apresentou taxa de absorção ligeiramente inferior ao compósito

com 15% (Ab15_G). Dessa forma, pode-se ratificar que não houve alteração da absorção para os referidos teores de borracha.

Figura 32: Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Para as incorporações de borracha fina foi observado comportamento diferente à borracha grossa. Os compósitos com 5% e 10% de borracha apresentaram absorção inferior à referência (Ab0), em 2,26% (Ab5_F) e 0,26% (Ab10_F). Nos demais compósitos, Ab15_F e Ab20_F, a absorção foi superior à referência, em 1,25% e 1,13% respectivamente. Tais resultados não levaram a borracha fina a desenvolver a linearidade ($R^2 = 0,4142$) observada na borracha grossa.

Analisando os compósitos com 15% e 20% de borracha (Ab15_G, Ab15_F, Ab20_G e Ab20_F), as taxas de absorção variaram pouco, de 14,89% a 15,16%. Dessa forma, pode-se admitir que a granulometria da borracha praticamente não interferiu na propriedade de absorção de água por imersão para esses teores de incorporação.

Angelin *et. al* (2017) incorporaram borracha com teor de 30% e os resultados de absorção de água mostraram que a incorporação de borracha para este teor aumentou a taxa de absorção em cerca de 4 vezes a taxa de absorção da argamassa referência, e segundo os autores, a elevada absorção está intimamente ligada à alta

porosidade da argamassa ao incorporar borracha, cerca de 10 vezes a porosidade da argamassa referência.

Quanto ao comportamento observado nos resultados sobre a interferência da granulometria da borracha na absorção de água, Fioriti *et al.* (2012) destacaram o mesmo, no qual para a mesma taxa de incorporação de borracha a absorção é maior para a borracha de granulometria maior.

Andrade e Guimarães (2017) observaram que as argamassas incorporadas com EVA triturado resultaram em taxas de absorção menores que a referência, indicando menor absorção para os compósitos com maior volume de fibras. Para a incorporação de 15% (relação cimento e areia de 1:6) o comportamento da argamassa mudou, resultando em uma absorção 95% maior que a referência. Os autores explicaram que até o teor de 10% de EVA o material preenchia os vazios do arranjo granulométrico existentes na mistura, o que por sua vez resultou em taxas de absorção menores, e a partir desse percentual, os vazios foram saturados e o material passou a formar novos vazios.

Dessa forma, comparando os resultados obtidos aos de Andrade e Guimarães (2017) pode-se afirmar que as incorporações de 5% e 10% de borracha fina (Ab5_F e Ab10_F) podem ter proporcionado um arranjo granulométrico melhor que as demais incorporações, pois as taxas de absorção foram inferiores à referência (Ab0).

4.8 Permeabilidade ao vapor de água

Os resultados da variação de massa de cada conjunto dos compósitos bem como suas respectivas médias estão no Apêndice H. O resumo dos valores de variação média de massa nos intervalos entre leituras foram apresentados na Tabela 15 e ilustrados no gráfico da Figura 33.

O compósito referência (Ab0) manteve-se com variação de massa média inferior aos demais compósitos em todos os intervalos entre leituras, mostrando que a incorporação de borracha, independente da granulometria, altera a propriedade de permeabilidade ao vapor das argamassas de revestimento.

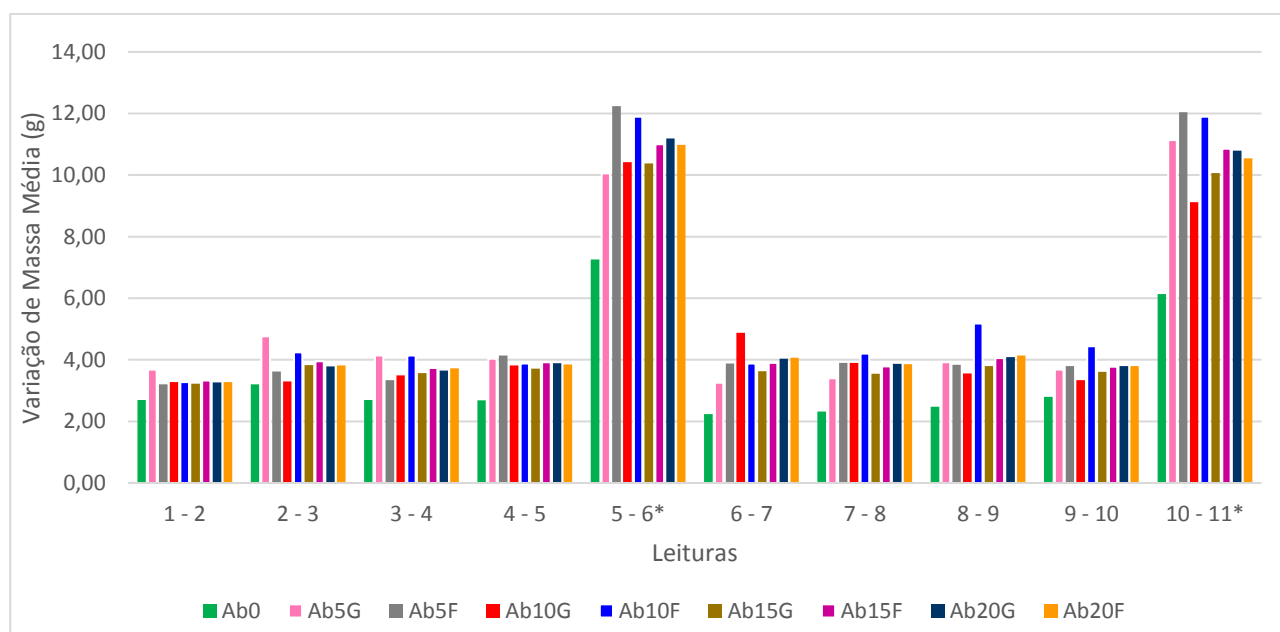
Tabela 15: Resumo dos resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água.

Leituras	Variação de Massa Média - ΔM (g)								
	Ab0	Ab5 _G	Ab5 _F	Ab10 _G	Ab10 _F	Ab15 _G	Ab15 _F	Ab20 _G	Ab20 _F
1 - 2	2,70	3,68	3,20	3,28	3,28	3,23	3,33	3,26	3,28
2 - 3	3,20	4,76	3,62	3,30	4,24	3,82	3,95	3,79	3,82
3 - 4	2,70	4,14	3,34	3,50	4,14	3,56	3,74	3,66	3,72
4 - 5	2,68	4,04	4,14	3,82	3,88	3,71	3,92	3,89	3,84
5 - 6*	7,26	10,06	12,24	10,42	11,90	10,38	11,00	11,19	10,98
6 - 7	2,24	3,26	3,88	4,88	3,88	3,63	3,91	4,03	4,07
7 - 8	2,32	3,40	3,90	3,90	4,20	3,54	3,79	3,87	3,86
8 - 9	2,48	3,92	3,84	3,56	5,18	3,80	4,06	4,09	4,14
9 - 10	2,80	3,68	3,80	3,34	4,44	3,61	3,77	3,79	3,79
10 - 11*	6,14	11,14	12,04	9,12	11,90	10,07	10,85	10,80	10,55
ΔM dos compósitos (g)	2,47	3,72	3,86	3,51	4,07	3,53	3,74	3,74	3,72

* Intervalo de 72 horas nas leituras.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 33: Média de resultados obtidos no ensaio de permeabilidade ao vapor de água.



* Intervalo de 72 horas nas leituras.

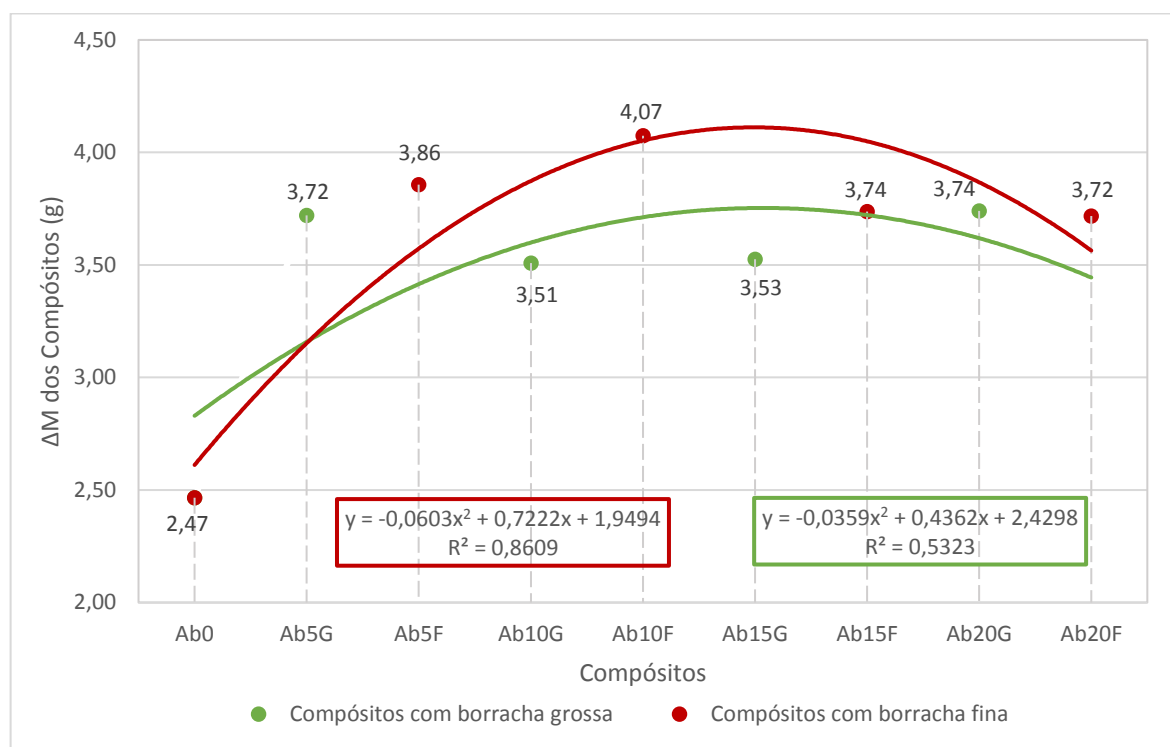
Fonte: Elaboração da própria autora.

No geral, as incorporações de borracha grossa apresentaram tendência decrescente de variação de massa para os teores de 5% (Ab5_G) e 10% (Ab10_G) de borracha, e enquanto para os teores de 15% (Ab15_G) e 20% (Ab20_G) a tendência foi

crescente. As incorporações de borracha fina obtiveram resultados próximos na maioria dos intervalos de leituras.

O resumo das variações de massa médias de todos os intervalos de leituras é ilustrado no gráfico da Figura 34. A incorporação de borracha interferiu de maneira significativa na permeabilidade da argamassa ao vapor de água. Relacionando os compósitos com borracha à referência (Ab0), houve aumento de 50,61% (Ab5_G), 56,28% (Ab5_F), 42,10% (Ab10_G), 64,78% (Ab10_F), 42,91% (Ab15_G), 51,42% (Ab15_F), 51,42% (Ab20_G) e 50,61% (Ab20_F).

Figura 34: Valores médios de variação de massa dos compósitos.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Analisando separadamente os compósitos com borracha, nota-se que praticamente não houve alteração da variação de massa média ($\Delta M = 0,02$ g) entre os compósitos com 5% (Ab5_G) e 20% (Ab20_G) de borracha grossa e 15% (Ab15_F) e 20% (Ab20_F) de borracha fina que variaram entre 3,72 g e 3,74 g. O mesmo pode ser observado para as incorporações de 10% (Ab10_G) e 15% (Ab15_G) de borracha grossa, resultando na mesma diferença de variação de massa de 0,02 g.

Pedro (2011) ao produzir argamassas com incorporação de 15% de borracha de origem mecânica e 15% de borracha criogênica, concluiu que as argamassas com

borracha aumentaram seus coeficientes de permeabilidade ao vapor de água, em 48% e 34% respectivamente. Comparando os resultados obtidos aos do autor, tudo leva a crer que, de maneira geral, foi obtido o mesmo, no qual a borracha aumentou a permeabilidade das argamassas, e quanto ao teor de 15% de incorporação, a perda de massa dos compósitos ensaiados em relação à referência (Ab0), 42,91% (Ab15G) e 51,42% (Ab15F), ficaram próximos à diferença do coeficiente de permeabilidade da argamassa mecânica comparado à sua respectiva referência (48%).

A incorporação de resíduos de concreto obtidos por trituração de blocos de concreto em argamassas de revestimento também proporcionou maior coeficiente de permeabilidade ao vapor de água nos resultados obtidos por Neno (2010), embora a diferença tenha sido pequena, 5,44% (incorporação de 20% de resíduos de concreto) superior à argamassa de referência. Segundo a autora, os resíduos de concreto apresentam partículas mais porosas e com maior absorção de água, o que permitiu maior permeabilidade ao vapor. No entanto, a diferença na permeabilidade ao vapor foi pequena pois ocorreu algum efeito fíler que acabou por dificultar a difusão do vapor de água pela camada de revestimento.

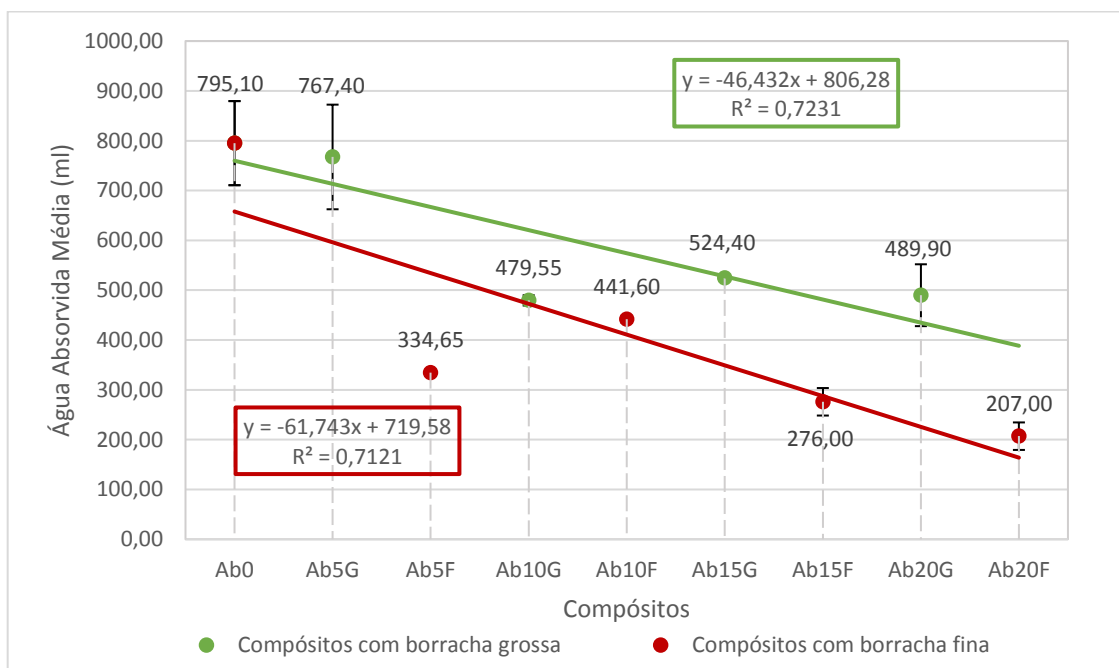
Este ensaio permite avaliar a capacidade que os revestimentos de argamassa têm de eliminar para o exterior o vapor de água presente no interior das construções. Logo, quanto mais permeável for, mais resistente será à deterioração devido à presença de vapor de água no interior das argamassas. Dessa forma, pode-se afirmar que as incorporações de borracha fina apresentaram os maiores valores de perda de massa, resultando em argamassas mais permeáveis ao vapor de água.

4.9 Permeabilidade à água sob pressão

Os resultados individuais do ensaio de permeabilidade à água sob pressão foram apresentados no Apêndice I. Na Figura 35 e na Figura 36 foram apresentados os valores médios de absorção de água às 24 horas e às 48 horas do início do ensaio, respectivamente.

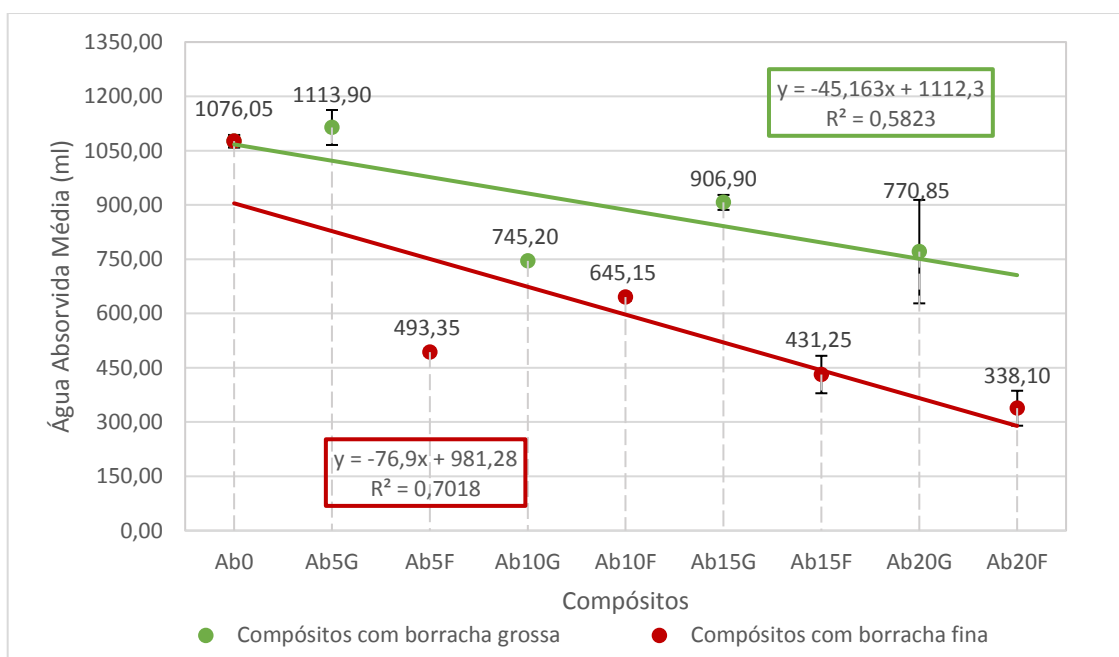
É possível observar no comportamento dos compósitos ensaiados, que a incorporação de borracha altera a propriedade de permeabilidade à água sob pressão de maneira mais significativa nos compósitos com borracha fina que nos compósitos com borracha grossa, tanto nas primeiras 24 horas de ensaio como no fim do ensaio, às 48 horas.

Figura 35: Média de resultados obtidos às 24 horas de ensaio.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 36: Média de resultados obtidos às 48 horas de ensaio.



Fonte: Elaboração da própria autora.

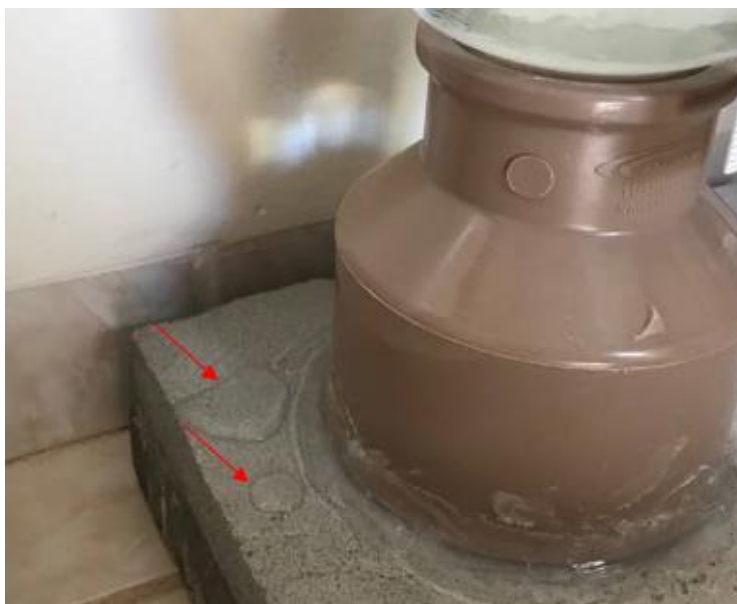
Analisando os resultados da água absorvida média nas primeiras 24 horas de ensaio, nota-se que todos os compósitos ensaiados apresentaram resultados inferiores à referência (Ab0). Para as incorporações de borracha grossa, o aumento do teor de incorporação de borracha apresentou tendência de diminuir a quantidade

de água absorvida comparada à referência, com exceção do compósito com 10% (Ab10_G), que resultou em valor inferior ao de 15% (Ab15_G). No caso das incorporações de borracha fina, foi observado a mesma tendência dos compósitos com borracha grossa, no entanto, houve exceção do compósito com 10% (Ab10_F), que resultou em absorção superior às demais incorporações de mesma borracha. As exceções das incorporações de 10% tanto da borracha grossa como da borracha fina resultaram em valores próximos com diferença de 37,95 ml entre eles.

Ao fim do ensaio, passadas 48 horas, a tendência e exceções observadas nos resultados das primeiras 24 horas mantiveram-se, no entanto, o compósito de 5% de borracha grossa (Ab5_G) apresentou absorção 3,52% superior à referência.

No decorrer do ensaio, nos compósitos com 10% de borracha fina (Ab10_F) e 15% de borracha grossa (Ab15_G), surgiram pequenos pontos de afloramento de água na superfície do revestimento de argamassa (Figura 37), que podem ter surgido por saturação pontual (ou local) na argamassa, embora esses pontos de afloramento estabilizaram-se e não interferiram no ensaio levando à alta absorção de água por pressão.

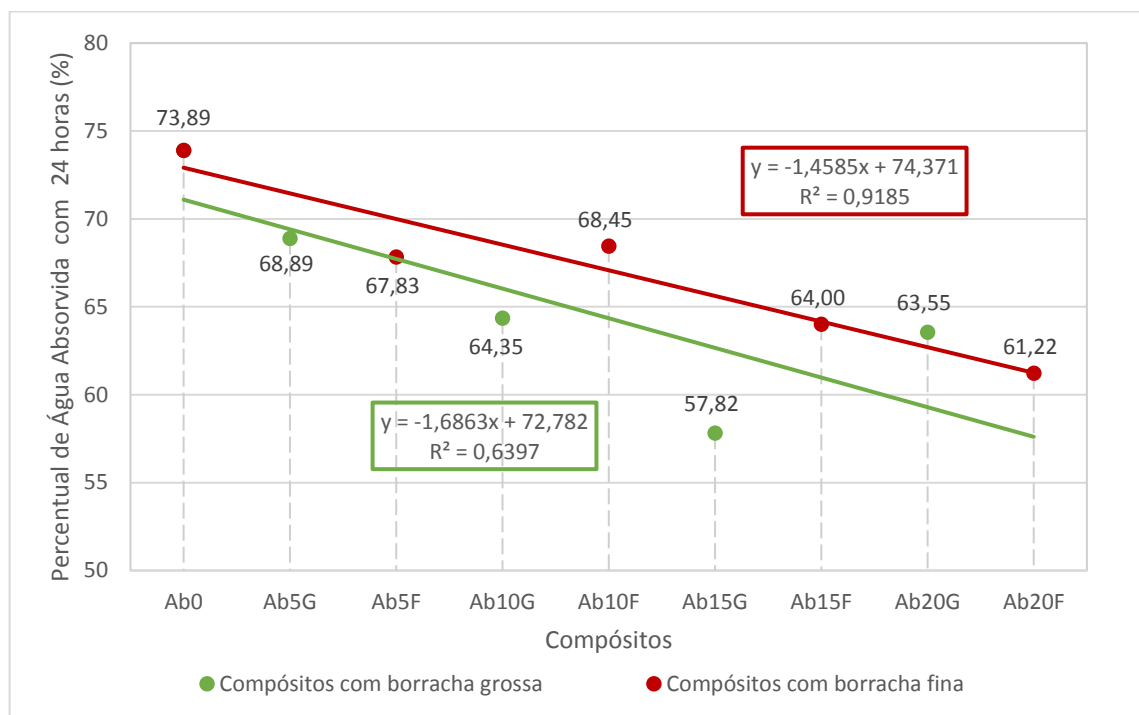
Figura 37: Água aflorada na superfície do revestimento de argamassa.



Fonte: Própria autora.

O gráfico da Figura 38 apresenta uma análise do percentual de água absorvida nas primeiras 24 horas de ensaio em relação à absorção total de cada compósito de argamassa.

Figura 38: Análise do percentual de água absorvida com 24 horas de ensaio.



Fonte: Própria autora.

Nota-se que todos os compósitos absorveram mais de 57% do total da água absorvida já nas primeiras 24 horas de ensaio. Em relação aos compósitos com borracha, de maneira geral, o aumento do teor de incorporação de borracha reduziu esse percentual, com exceção do compósito com 10% de borracha fina (Ab10F) e 15% de borracha grossa (Ab15G) que apresentaram resultados fora da tendência linear apresentada pelos demais compósitos. Embora os compósitos com borracha fina tenham apresentado água absorvida menor que os com borracha grossa, como já foi apresentado, eles resultaram em um maior percentual de absorção até as 24 horas, o que levou os mesmos a uma saturação mais rápida que os demais.

Por meio dessa análise pode-se afirmar que todos os compósitos absorveram menos água que a argamassa referência até as 24 horas de ensaio, fato também observado, no geral, para o ensaio de absorção de água por capilaridade nas primeiras 24 horas, com exceção dos compósitos com 5% (Ab5G) e 10% (Ab10G) de borracha grossa que apresentaram água absorvida pouco acima da referência. Dessa forma, tanto para a absorção por capilaridade como para absorção sob pressão, a incorporação de borracha reduz a absorção de água nas primeiras 24 horas.

Penacho (2012) utilizou a mesma metodologia empregada neste ensaio e resultou em absorções superiores que a referência quanto maior o teor de

incorporação de resíduos de vidro, resultados estes que estariam ligados ao aumento do teor de ar incorporado e absorção de água por capilaridade.

Pedro (2011) realizou o ensaio de permeabilidade à água líquida utilizando a metodologia do tubo de Karsten, após submeter os corpos de prova ao ensaio de envelhecimento acelerado. Seus resultados mostraram que para uma hora de ensaio, o compósito com 15% de incorporação de borracha de origem mecânica apresentou absorção de água inferior à referência, e na incorporação de 15% de borracha de origem criogênica a absorção foi superior à referência.

Pinto e Fioriti (2016a) também utilizaram a metodologia do tubo de Karsten para o ensaio de permeabilidade à água líquida. Os resultados apontaram que o aumento da granulometria de borracha de recauchutagem apresentou tendência a absorver mais água, sendo mais permeável. As incorporações de borracha aumentaram a absorção em relação à referência, sendo que para a granulometria de 0,075 mm os valores de absorção de água foram mais próximos à referência que a granulometria de 2,38 mm.

Com o ensaio de permeabilidade à água sob pressão pretendeu-se simular as condições de pluviosidade e pressão do vento a que um revestimento está submetido, logo, espera-se que um revestimento possua baixa absorção de água nessas condições. Dessa forma, com os resultados obtidos, é possível afirmar que as incorporações de borracha fina foram os compósitos que mais contribuíram de maneira positiva nesta propriedade, pois obtiveram baixos valores de absorção de água.

5 CONCLUSÕES

Como conclusão geral deste trabalho é possível dizer que a borracha de recauchutagem de pneus se mostrou um resíduo que, incorporado à argamassa mista de revestimento, pode contribuir em propriedades relacionadas ao comportamento à água.

Nos ensaios de densidade de massa aparente no estado fresco e endurecido é possível destacar que o aumento do teor de incorporação de borracha reduziu a densidade de massa devido à baixa densidade da borracha comparada à densidade da areia e também devido à incorporação de ar, cujo teor aumentou com o aumento do teor de incorporação de borracha. Os compósitos com borracha fina apresentaram as menores densidades de massa em todos os compósitos estudados.

Na retenção de água observou-se que houve redução do percentual de retenção com o aumento do teor de incorporação de borracha até o teor de 10% de borracha fina e 15% de borracha grossa, sendo as menores taxas de retenção evidenciadas nas incorporações de borracha fina. Nas incorporações de 15% de borracha fina e 20% de borracha grossa os percentuais foram superiores à referência, e para o 20% de borracha fina houve redução em relação ao 15% de mesma borracha. As incorporações de borracha grossa e 15% e 20% de borracha fina resultaram em maiores percentuais de retenção de água. Embora alguns percentuais de compósitos com borracha tenham sido menores que o compósito referência, não houve uma piora significativa para esta propriedade.

O índice de consistência dos compósitos com incorporação de borracha também reduziu com o aumento do teor, no entanto, a diferença foi mínima entre os compósitos com 5% e 10% de borracha grossa e 5% de borracha fina. Os maiores índices de consistência foram dos compósitos com borracha grossa. Destaca-se que a redução do índice de consistência não interferiu de maneira negativa na trabalhabilidade durante o processo de confecção dos corpos de prova.

No ensaio de absorção de água por capilaridade foi possível observar que a incorporação de borracha reduziu o coeficiente de capilaridade dos compósitos e essa redução foi maior para as incorporações de borracha fina, o que indica uma menor velocidade de absorção de água nos momentos iniciais de ensaio. Ao final do ensaio, houve redução da quantidade total de água absorvida com o aumento do teor de incorporação de borracha fina. Para as incorporações de borracha grossa, os

compósitos com 5% e 10% de borracha resultaram em água absorvida superiores à referência, enquanto os demais, 15% e 20%, os valores foram inferiores à referência. No entanto, não houve variação significativa do total de água absorvida para os compósitos com borracha grossa como observado nos compósitos com borracha fina.

Para o ensaio de secagem, que teve início após o término da capilaridade, foi possível verificar que os compósitos com incorporação de borracha apresentaram média de água evaporada por unidade de área inferiores à referência. Os compósitos com borracha fina e 15% e 20% de borracha grossa resultaram em maiores percentuais de água evaporada como aumento do teor de borracha, fato que se explica devido à menores quantidades de água absorvida por capilaridade, como consequência menores quantidades de água disponível para evaporação, o que aumentou a capacidade de secagem desses compósitos. Para os demais, 5% e 10% de borracha grossa, os resultados foram contrários, o que reduziu a capacidade de secagem dos mesmos.

Na absorção de água por imersão verificou-se que, no geral, a taxa de absorção aumentou com o aumento do teor de incorporação para ambas as granulometrias de borracha. No caso dos compósitos com borracha grossa, as taxas foram superiores ao compósito referência, e para os compósitos com borracha fina, foram inferiores para os compósitos com 5% e 10% e superiores para os demais. As menores taxas de absorção de água por imersão foram evidenciadas nos compósitos com borracha fina.

Para o ensaio de permeabilidade ao vapor de água, a incorporação de borracha aumentou a variação de massa média dos compósitos. Para as incorporações de borracha grossa, os compósitos com 10% e 15% apresentaram variação de massa praticamente iguais e inferiores aos compósitos com 5% e 20% de borracha, que também apresentaram resultados praticamente iguais. Para as incorporações de borracha fina, houve aumento da variação de massa para os compósitos com 5% e 10% e redução para os compósitos com 15% e 20%, embora seus resultados tenham sido praticamente iguais. Os compósitos com borracha fina foram mais permeáveis ao vapor de água.

No ensaio de permeabilidade à água sob pressão foi possível observar que a incorporação de borracha para as duas granulometrias reduziu a quantidade de água absorvida em relação à referência nas primeiras 24 horas. Ao final do ensaio, às 48 horas, com exceção do compósito com 5% de borracha grossa, todos resultaram em

água absorvida inferior à referência. Os menores valores de água absorvida sob pressão foram evidenciados nos compósitos com borracha fina.

Diante do exposto, é possível concluir, com os resultados obtidos, que a incorporação de borracha fina proporcionou melhorias na maioria das propriedades estudadas. Para a aplicação das argamassas estudadas em revestimento externo, os compósitos com teores de incorporação de borracha fina de 15% e 20% se mostraram mais viáveis, enquanto para aplicação em revestimento interno, os teores de 10%, 15% e 20% de borracha fina apresentaram os melhores resultados para tal finalidade.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

A fim de contribuir para aumentar o entendimento sobre o comportamento à água em argamassas mistas de revestimento incorporadas com borracha de recauchutagem de pneus, são listadas a seguir algumas sugestões para trabalhos futuros:

- e) Analisar a umidade e secagem dos compósitos de argamassa por meio da técnica de termografia infravermelha;
- f) Para o ensaio de permeabilidade à água sob pressão, realizar o ensaio de envelhecimento nas placas de concreto com a camada do compósito de argamassa e analisar o comportamento do ensaio em relação às mesmas na idade de 28 dias de cura;
- g) Analisar o comportamento das argamassas de revestimento por meio do ensaio de perda de água por evaporação durante a sua secagem.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. S.; GUIMARÃES, C. C. Propriedades de argamassa com EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*) em substituição parcial ao agregado. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 13, n. 1, p. 174-192, 2017.

ANGELIN, A. F.; LINTZ, R. C. C.; BARBOSA, L.A.G.; OSÓRIO, W. R. The effects of porosity on mechanical behavior and water absorption of an environmentally friendly cement mortar with recycled rubber. **Construction And Building Materials**, Amsterdam, v. 151, p. 534-545, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP (Brasil) (Org.). **Boletim Técnico BT-106**: Guia básico de utilização do cimento Portland. [S. l.], 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52**: Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9289**: Cal hidratada para argamassas – Determinação da finura. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9290**: Cal hidratada para argamassas – Determinação de retenção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9775**: Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005 – Versão corrigida 2009.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11578**: Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO SEGMENTO DE REFORMA DE PNEUS – ABR. São Paulo, [entre 2013-2017]. Disponível em: <<http://www.abr.org.br/>>. Acesso em: 6 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS – ANIP. *Site*. Brasília, DF, [entre 2013-2017]. Disponível em: <http://www.anip.com.br/>. Acesso em: 1 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO – ANEPAC. *Site*. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.anepac.org.br/>. Acesso em: 24 jul. 2017.

BAÍA, L. L. R. SABBATINI, F.H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 4. ed. São Paulo, 2000. 82 p.

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

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; ANGELIS NETO, G. Estudo comparativo entre dois tipos de argamassa de revestimento com adição de pó de borracha de pneus inservíveis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. **Anais** [...] Curitiba: [s. n.], 2009. p. 1 – 14.

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; ANGELIS NETO, G. Pó de borracha de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 10, n. 3, p.41-53, 2015.

CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B. Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, n. 353, p. 69-76, 2014.

CONSTRUÇÃO MERCADO. **Execução de revestimento interno de paredes com placas cerâmicas**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/>. Acesso em: 10 jul. 2017.

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero; VILHENA, André. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: CEMPRE/IPT, 2000. 370 p.

EUROPEAN MORTAR INDUSTRY ORGANIZATION – EMO. **History of mortar**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <http://www.euromortar.com/>. Acesso em: 27 fev. 2018.

EUROPEAN STANDARD. **EN 998-1**: specification for mortar for masonry: part 1: rendering and plastering mortar. Brussels: European Committee For Standardization (CEN), 2010.

EUROPEAN STANDARD. **EN 1015-8**: methods of test for mortar for masonry: part 8: determination of water retentivity of fresh mortar. Brussels: European Committee For Standardization (CEN), 1999.

EUROPEAN STANDARD. **EN 1015-18**: Methods of test for mortar for masonry: part 18: determination of water- absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Brussels: European Committee For Standardization (CEN), 2002.

EUROPEAN STANDARD. **EN 1015-19**: Methods of test for mortar for masonry: part 19: determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars. Brussels: European Committee For Standardization (CEN), 2000.

EUROPEAN STANDARD. **EN 1015-21**: Methods of test for mortar for masonry: part 21: determination of the comparability of one-coat rendering mortars with substrates. Brussels: European Committee For Standardization (CEN), 2002.

FILOMENO, O. L. **Caracterização das argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis e estudo comparativo entre argamassas de assentamento de cimento e cal e cimento e saibro**. 1993. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2007. 202 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L.; SOUZA, L. C.; MARQUES, M. L. Influência de diferentes granulometrias de resíduos de pneus em argamassas. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E ETICS, 4., 2012, Coimbra. **Anais [...]** Coimbra: APFAC, 2012. p.1-12.

FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 32, n. 3, p.237-244, 2010.

FREITAS, C. **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido**. 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Departamento de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GUPTA, T.; CHAUDHARY, S.; SHARMA, R. K. Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate. **Construction And Building Materials**, Amsterdam, v. 73, p. 562-574, 2014.

HELLENIC CEMENT INDUSTRY ASSOCIATION – HCIA. **History: evolution**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <http://www.hcia.gr>. Acesso em: 27 fev. 2018.

ISAIA, G. C (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 1712 p. 2 v.

KANSO, M. A. **Maior aterro do mundo possui 7 milhões de pneus e pode ser visto do espaço**. 2014. Disponível em: <https://hypescience.com>. Acesso em: 26 mar. 2018.

KRÖMER, S.; KREIPE, E.; REICHENBACH, D.; STARK, R. **Life Cycle Assessment of a Car Tire**. Hannover: Continental AG, 1999.

LINTZ, R. C. C.; BARBOSA, L. A. G.; SEYDELL, M. R. R.; JACINTHO, A. E. P. G. A. Avaliação do comportamento de concreto contendo borracha de pneus inservíveis para utilização em pisos intertravados. **Engenharia Civil (UM)**, Braga, v. 1, n. 37, p.17-26, 2010.

LUND, H. F. (Ed.). **The McGraw-Hill Recycling Handbook**. New York: McGraw-Hill, 1993. 1000 p.

MACEDO, P. D. F.; QUEIROZ, B. G.; TEIXEIRA, R. L. P.; OLIVEIRA, C. A. S. Avaliação do emprego de agregados miúdos provenientes do beneficiamento de pneus automotivos na produção de argamassa. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 8, n. 1, p.2-9, 2016.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo: EPUSP, 1998. 37 p.

NENO, C. J. F. **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão**. 2010. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

OLIVEIRA, L. A. P.; BARROCA, P. A. G.; NEPOMUCENO, M. C. S. Comportamento reológico de argamassas com agregados leves reciclados de cortiça. In: SIMPÓSIO DE ARGAMASSAS E SOLUÇÕES TÉRMICAS DE REVESTIMENTO, 1., Coimbra. **Anais** [...] Coimbra: [s. n.], 2014. p. 1-12.

PEDRO, D. A. G. **Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus**. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado em Construção) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

PENACHO, P. M. **Desempenho de argamassas com incorporação de resíduos finos de vidro: Reciclagem de agregados (RCD) e reacção álcalis-sílica (RAS)**. 2012. 399 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

PEREIRA, C. H.; BAUER, E. **Perda de água de argamassas de revestimento nos momentos iniciais por evaporação e absorção do substrato**. Material and Material, Artigo Técnico 23, 2013.

PINTO, N. A.; FIORITI, C. F. Avaliação de argamassas mistas de revestimento produzidas com borracha de pneus. **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 20, n. 2, p.103-110, 2016b.

PINTO, N. A.; FIORITI, C. F. Desempenho de argamassas de revestimento produzidas com borracha de pneus. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 60-66, 2016.

PINTO, N. A.; FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L. Argamassas de revestimento produzidas com borracha proveniente do processo de recauchutagem de pneus. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2014, Guimarães. **Anais** [...] Guimarães: [s. n.], 2014.

PINTO, N. A.; MARTINS, J. F. A.; GARCIA, T. B.; RODRIGUES, N. C.; FIORITI, C. F.; OKIMOTO, F. S. Argamassas de revestimento produzidas com borracha de pneus: perda de água nos momentos iniciais por evaporação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 43, 2015, São Bernardo do Campo. **Anais** [...] Brasília, DF: COBENGE, 2015. p. 1-9.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. **Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas**. São Paulo: EPUSP, 1998. 24 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/233)

SANTOS, H. B. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. 2008. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, S. R. S. **Argamassas pré-doseadas para rebocos de edifícios recentes**. 2009. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Militar) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. 1989. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SILVA JÚNIOR, F. A.; JUCIER, K. J.; IZÍDIO JÚNIOR, L. R.; ALCÂNTARA, C. S. Concreto com resíduos de borracha de pneu e brita granítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal. **Anais** [...] Natal: Cbecimat, 2016. p. 3182-3193.

SILVA, J. R. M. C. **Incorporação de resíduos de barro vermelho em argamassas cimentícias**. 2006. 224 f. Dissertação (Mestrado em Construção) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS, CÂMARAS DE AR E CAMELBACK – SINPEC. **Matérias-primas**. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/sinpec>. Acesso em: 03 ago. 2017.

SNYDER, R. H.. The shape and size of the scrap tire problem and some potential solutions. In: CONFERENCE ON TIRE TECHNOLOGY CLEMSON PROCEEDINGS, 1986, Clemson. **Proceedings** [...] Clemson: University Greenville, 1986.

SOARES, A.; JÚLIO, M.; FLORES-COLEN, I.; ILHARCO, L.; BRITO, J.; MARTINHO, J. G. Water-resistance of mortars with lightweight aggregates. **Key Engineering Materials**, Pfaffikon, v. 634, p. 46-53, 2015.

TEMP, A. L. **Avaliação de revestimentos de argamassa à permeabilidade ao vapor de água**. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: PINI, 2001. 449 p.

THOMAS, B. S.; GUPTA, R. C. Long term behaviour of cement concrete containing discarded tire rubber. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 102, p.78-87, 2015.

VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes**: contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação. 1998. 458 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 1998.

APÊNDICE A – Densidade de Massa Aparente no Estado Fresco

Compósitos	Identificação	Corpo de Prova	Mf (g)	Mc (g)	Densidade - D (kg/m³)	D Média (kg/m³)	Desvio Padrão (kg/m³)
Referência	Ab0	A1	6765	7275	1992,19	1982,42	21,84
		A2	6865	7370	1972,66		
		A3	7390	7905	2011,72		
		A4	7340	7840	1953,13		
5% de borracha grossa	Ab5 _G	B1	7420	7920	1953,13	1972,66	13,81
		B2	7360	7865	1972,66		
		B3	7165	7670	1972,66		
		B4	7470	7980	1992,19		
5% de borracha fina	Ab5 _F	C1	7365	7890	2050,78	1967,77	52,36
		C2	8045	8535	1914,06		
		C3	6865	7370	1972,66		
		C4	7365	7860	1933,59		
10% de borracha grossa	Ab10 _G	D1	7465	7975	1992,19	1962,89	21,84
		D2	7245	7740	1933,59		
		D3	7340	7845	1972,66		
		D4	7360	7860	1953,13		
10% de borracha fina	Ab10 _F	E1	8045	8520	1855,47	1870,12	42,29
		E2	7985	8480	1933,59		
		E3	7990	8470	1875,00		
		E4	7165	7630	1816,41		
15% de borracha grossa	Ab15 _G	F1	7465	7955	1914,06	1904,30	9,77
		F2	7245	7735	1914,06		
		F3	7345	7830	1894,53		
		F4	7360	7845	1894,53		
15% de borracha fina	Ab15 _F	G1	8045	8485	1718,75	1738,28	19,53
		G2	7990	8440	1757,81		
		G3	7990	8440	1757,81		
		G4	7165	7605	1718,75		
20% de borracha grossa	Ab20 _G	H1	7190	7630	1718,75	1826,17	65,51
		H2	7325	7795	1835,94		
		H3	7995	8470	1855,47		
		H4	7990	8475	1894,53		
20% de borracha fina	Ab20 _F	I1	8045	8465	1640,63	1669,92	21,84
		I2	7990	8425	1699,22		
		I3	7990	8415	1660,16		
		I4	7165	7595	1679,69		

APÊNDICE B – Retenção de Água

Compósitos	Identificação	Amostra	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	W1 (g)	W2 (g)	W3 (g)	W4 (%)	Retenção de Água - WRV (%)	WRV Média (%)	Desvio Padrão (%)
Referência	Ab0	A1	79,35	6,47	467,81	14,20	0,17	65,92	7,73	11,73	88,27	87,88	0,56
		A2	80,33	6,43	466,88	14,64	0,17	65,59	8,21	12,52	87,48		
5% de borracha grossa	Ab5 _G	B1	79,47	6,59	455,42	15,71	0,17	64,87	9,12	14,06	85,94	85,93	0,01
		B2	80,44	6,55	457,32	15,70	0,17	65,03	9,15	14,07	85,93		
5% de borracha fina	Ab5 _F	C1	79,67	6,50	432,71	15,88	0,17	60,91	9,38	15,40	84,60	85,08	0,68
		C2	80,60	6,43	430,25	15,14	0,17	60,33	8,71	14,44	85,56		
10% de borracha grossa	Ab10 _G	D1	79,45	6,50	430,02	15,66	0,18	61,56	9,16	14,88	85,12	85,22	0,14
		D2	80,46	6,54	428,47	15,51	0,18	61,11	8,97	14,68	85,32		
10% de borracha fina	Ab10 _F	E1	79,63	6,43	408,35	14,94	0,18	57,72	8,51	14,74	85,26	84,56	0,99
		E2	80,61	6,42	412,70	15,83	0,18	58,31	9,41	16,14	83,86		
15% de borracha grossa	Ab15 _G	F1	79,59	6,50	426,65	16,16	0,18	62,13	9,66	15,55	84,45	84,20	0,35
		F2	80,54	6,50	418,54	16,21	0,18	60,51	9,71	16,05	83,95		
15% de borracha fina	Ab15 _F	G1	80,07	5,67	401,10	12,61	0,18	57,47	6,94	12,08	87,92	88,61	0,98
		G2	80,69	5,67	397,16	11,73	0,18	56,65	6,06	10,70	89,30		
20% de borracha grossa	Ab20 _G	H1	79,70	5,76	410,62	13,20	0,18	60,44	7,44	12,31	87,69	87,76	0,10
		H2	79,70	5,70	405,17	12,93	0,18	59,45	7,23	12,16	87,84		
20% de borracha fina	Ab20 _F	I1	79,73	6,43	374,99	13,16	0,18	53,93	6,73	12,48	87,52	88,07	0,78
		I2	80,69	6,16	375,20	12,28	0,18	53,79	6,12	11,38	88,62		

APÊNDICE C – Índice de Consistência

Compósitos	Identificação	Espalhamento (mm)	Índice de Consistência (mm)	Desvio Padrão (mm)
Referência	Ab0	350,00	347,00	2,94
		348,00		
		343,00		
5% de borracha grossa	Ab5 _G	341,00	339,67	3,40
		335,00		
		343,00		
5% de borracha fina	Ab5 _F	342,00	338,67	2,49
		338,00		
		336,00		
10% de borracha grossa	Ab10 _G	348,00	338,00	7,48
		336,00		
		330,00		
10% de borracha fina	Ab10 _F	330,00	324,67	3,86
		323,00		
		321,00		
15% de borracha grossa	Ab15 _G	335,00	331,33	2,62
		330,00		
		329,00		
15% de borracha fina	Ab15 _F	322,00	314,33	6,13
		307,00		
		314,00		
20% de borracha grossa	Ab20 _G	325,00	329,00	2,94
		332,00		
		330,00		
20% de borracha fina	Ab20 _F	299,00	298,00	2,16
		300,00		
		295,00		

APÊNDICE D – Densidade de Massa Aparente no Estado Endurecido

Compósitos	Identificação	Corpos de Prova	M (g)	Densidade - D (kg/m³)	D Média (kg/m³)	Desvio Padrão (kg/m³)
Referência	Ab0	A1	445	1738,28	1738,28	13,81
		A2	445	1738,28		
		A3	450	1757,81		
		A4	440	1718,75		
5% de borracha grossa	Ab5 _G	B1	440	1718,75	1713,87	8,46
		B2	440	1718,75		
		B3	440	1718,75		
		B4	435	1699,22		
5% de borracha fina	Ab5 _F	C1	450	1757,81	1699,22	36,54
		C2	425	1660,16		
		C3	435	1699,22		
		C4	430	1679,69		
10% de borracha grossa	Ab10 _G	D1	430	1679,69	1665,04	16,19
		D2	425	1660,16		
		D3	430	1679,69		
		D4	420	1640,63		
10% de borracha fina	Ab10 _F	E1	410	1601,56	1591,80	29,30
		E2	415	1621,09		
		E3	410	1601,56		
		E4	395	1542,97		
15% de borracha grossa	Ab15 _G	F1	415	1621,09	1611,33	16,91
		F2	415	1621,09		
		F3	415	1621,09		
		F4	405	1582,03		
15% de borracha fina	Ab15 _F	G1	370	1445,31	1464,84	19,53
		G2	380	1484,38		
		G3	380	1484,38		
		G4	370	1445,31		
20% de borracha grossa	Ab20 _G	H1	395	1542,97	1582,03	30,88
		H2	400	1562,50		
		H3	410	1601,56		
		H4	415	1621,09		
20% de borracha fina	Ab20 _F	I1	355	1386,72	1411,13	21,28
		I2	370	1445,31		
		I3	360	1406,25		
		I4	360	1406,25		

APÊNDICE E – Absorção de Água por Capilaridade

REFERÊNCIA - Ab0												
Semiprismas	1			2			3			4		
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)
0	226,64	0,00	0,0000	215,31	0,00	0,0000	212,87	0,00	0,0000	221,62	0,00	0,0000
7	236,76	10,12	0,0063	225,76	10,45	0,0065	223,39	10,52	0,0066	233,29	11,67	0,0073
10	238,57	1,81	0,0011	227,47	1,71	0,0011	225,02	1,63	0,0010	234,92	1,63	0,0010
30	246,39	7,82	0,0049	235,39	7,92	0,0049	232,24	7,22	0,0045	242,39	7,47	0,0047
60	254,24	7,85	0,0049	242,89	7,50	0,0047	238,28	6,04	0,0038	250,19	7,80	0,0049
90	257,10	2,86	0,0018	244,04	1,15	0,0007	239,92	1,64	0,0010	251,53	1,34	0,0008
180	257,95	0,85	0,0005	244,48	0,44	0,0003	240,75	0,83	0,0005	251,87	0,34	0,0002
300	258,21	0,26	0,0002	244,67	0,19	0,0001	241,00	0,25	0,0002	252,05	0,18	0,0001
480	258,39	0,18	0,0001	244,84	0,17	0,0001	241,20	0,20	0,0001	252,13	0,08	0,0000
1440	259,00	0,61	0,0004	245,27	0,43	0,0003	241,76	0,56	0,0004	252,50	0,37	0,0002
2880	259,41	0,41	0,0003	245,50	0,23	0,0001	242,07	0,31	0,0002	252,68	0,18	0,0001

REFERÊNCIA - Ab0							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Área da base imersa (mm²)	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Coeficiente de Capilaridade - C (kg/m².min ^{0,5})	1,83	1,64	1,47	1,64	1,57	1,56	1,52
C Médio (kg/m².min ^{0,5})	1,60						
Desvio Padrão (kg/m².min ^{0,5})	0,11						

5% DE BORRACHA GROSSA - Ab5 _G												
Semiprismas	1			2			3			4		
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)
0	215,78	0,00	0,0000	216,98	0,00	0,0000	220,34	0,00	0,0000	205,37	0,00	0,0000
7	223,24	7,46	0,0047	224,77	7,79	0,0049	228,74	8,40	0,0053	213,65	8,28	0,0052
10	224,45	1,21	0,0008	226,01	1,24	0,0008	229,98	1,24	0,0008	214,75	1,10	0,0007
30	230,19	5,74	0,0036	232,14	6,13	0,0038	236,44	6,46	0,0040	220,79	6,04	0,0038
60	235,82	5,63	0,0035	238,18	6,04	0,0038	242,78	6,34	0,0040	226,68	5,89	0,0037
90	239,84	4,02	0,0025	242,65	4,47	0,0028	247,52	4,74	0,0030	230,95	4,27	0,0027
180	244,94	5,10	0,0032	246,63	3,98	0,0025	251,19	3,67	0,0023	233,84	2,89	0,0018
300	245,46	0,52	0,0003	246,88	0,25	0,0002	251,43	0,24	0,0002	234,15	0,31	0,0002
480	245,70	0,24	0,0001	247,12	0,24	0,0002	251,64	0,21	0,0001	234,28	0,13	0,0001
1440	246,31	0,61	0,0004	247,62	0,50	0,0003	252,09	0,45	0,0003	234,74	0,46	0,0003
2880	246,65	0,34	0,0002	247,91	0,29	0,0002	252,41	0,32	0,0002	235,05	0,31	0,0002

5% DE BORRACHA GROSSA - Ab5 _G							
Semiprismas	1	2	3	4	6	7	8
Área da base imersa (mm²)	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Coeficiente de Capilaridade - C (kg/m².min ^{0,5})	1,52	1,64	1,73	1,60	1,51	1,53	1,59
C Médio (kg/m².min ^{0,5})	1,59						
Desvio Padrão (kg/m².min ^{0,5})	0,07						

5% DE BORRACHA FINA - Ab5 _F												
Semiprismas	1			2			3			4		
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm²)
0	219,04	0,00	0,0000	219,94	0,00	0,0000	223,87	0,00	0,0000	221,50	0,00	0,0000
7	224,87	5,83	0,0036	226,02	6,08	0,0038	230,10	6,23	0,0039	227,80	6,30	0,0039
10	225,94	1,07	0,0007	227,12	1,10	0,0007	231,16	1,06	0,0007	228,79	0,99	0,0006
30	231,08	5,14	0,0032	232,40	5,28	0,0033	236,42	5,26	0,0033	233,84	5,05	0,0032
60	236,07	4,99	0,0031	237,56	5,16	0,0032	241,55	5,13	0,0032	238,75	4,91	0,0031
90	239,72	3,65	0,0023	241,41	3,85	0,0024	245,32	3,77	0,0024	242,41	3,66	0,0023
180	246,48	6,76	0,0042	247,51	6,10	0,0038	251,50	6,18	0,0039	249,30	6,89	0,0043
300	247,07	0,59	0,0004	247,92	0,41	0,0003	251,98	0,48	0,0003	250,00	0,70	0,0004
480	247,17	0,10	0,0001	248,01	0,09	0,0001	252,11	0,13	0,0001	250,09	0,09	0,0001
1440	247,50	0,33	0,0002	248,34	0,33	0,0002	252,44	0,33	0,0002	250,42	0,33	0,0002
2880	247,70	0,20	0,0001	248,55	0,21	0,0001	252,67	0,23	0,0001	250,72	0,30	0,0002

5% DE BORRACHA FINA - Ab5F							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Área da base imersa (mm²)	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Coeficiente de Capilaridade - C (kg/m².min ^{0,5})	1,36	1,41	1,40	1,35	1,31	1,27	1,28
C Médio (kg/m².min ^{0,5})	1,34						
Desvio Padrão (kg/m².min ^{0,5})	0,05						

10% DE BORRACHA GROSSA - Ab10 _G												
Semiprismas	1			2			3			4		
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)
0	215,66	0,00	0,0000	214,20	0,00	0,0000	217,37	0,00	0,0000	214,01	0,00	0,0000
7	221,97	6,31	0,0039	221,30	7,10	0,0044	224,28	6,91	0,0043	219,22	5,21	0,0033
10	223,11	1,14	0,0007	222,49	1,19	0,0007	225,37	1,09	0,0007	220,06	0,84	0,0005
30	228,24	5,13	0,0032	228,10	5,61	0,0035	230,69	5,32	0,0033	224,28	4,22	0,0026
60	233,08	4,84	0,0030	233,45	5,35	0,0033	235,89	5,20	0,0032	228,32	4,04	0,0025
90	236,80	3,72	0,0023	237,60	4,15	0,0026	239,87	3,98	0,0025	231,36	3,04	0,0019
180	243,93	7,13	0,0045	243,90	6,30	0,0039	247,00	7,13	0,0045	237,88	6,52	0,0041
300	245,77	1,84	0,0012	244,67	0,77	0,0005	248,05	1,05	0,0007	241,27	3,39	0,0021
480	246,18	0,41	0,0003	244,94	0,27	0,0002	248,36	0,31	0,0002	242,06	0,79	0,0005
1440	246,84	0,66	0,0004	245,41	0,47	0,0003	248,90	0,54	0,0003	242,91	0,85	0,0005
2880	247,24	0,40	0,0003	245,76	0,35	0,0002	249,24	0,34	0,0002	243,39	0,48	0,0003

10% DE BORRACHA GROSSA - Ab10 _G							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Área da base imersa (mm²)	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Coeficiente de Capilaridade - C (kg/m².min ^{0,5})	1,35	1,49	1,43	1,12	1,37	1,35	1,39
C Médio (kg/m².min ^{0,5})	1,36						
Desvio Padrão (kg/m².min ^{0,5})	0,11						

10% DE BORRACHA FINA - Ab10 _F												
Semiprismas	1			2			3			4		
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - Ac (g/mm ²)
0	205,84	0,00	0,0000	197,88	0,00	0,0000	204,34	0,00	0,0000	199,55	0,00	0,0000
7	209,60	3,76	0,0023	200,79	2,91	0,0018	209,83	5,49	0,0034	204,97	5,42	0,0034
10	210,42	0,82	0,0005	201,76	0,97	0,0006	210,69	0,86	0,0005	205,84	0,87	0,0005
30	214,33	3,91	0,0024	205,72	3,96	0,0025	214,90	4,21	0,0026	210,01	4,17	0,0026
60	218,11	3,78	0,0024	209,52	3,80	0,0024	218,60	3,70	0,0023	213,71	3,70	0,0023
90	221,02	2,91	0,0018	212,25	2,73	0,0017	221,37	2,77	0,0017	216,48	2,77	0,0017
180	226,67	5,65	0,0035	217,69	5,44	0,0034	226,85	5,48	0,0034	221,95	5,47	0,0034
300	230,74	4,07	0,0025	221,36	3,67	0,0023	230,15	3,30	0,0021	224,90	2,95	0,0018
480	232,71	1,97	0,0012	223,20	1,84	0,0011	230,80	0,65	0,0004	225,41	0,51	0,0003
1440	233,67	0,96	0,0006	224,14	0,94	0,0006	231,28	0,48	0,0003	225,93	0,52	0,0003
2880	234,07	0,40	0,0003	224,57	0,43	0,0003	231,58	0,30	0,0002	226,21	0,28	0,0002

10% DE BORRACHA FINA - Ab10F							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Área da base imersa (mm²)	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Coeficiente de Capilaridade - C (kg/m².min ^{0,5})	1,05	1,04	1,06	1,05	1,07	1,04	0,96
C Médio (kg/m².min ^{0,5})	1,04						
Desvio Padrão (kg/m².min ^{0,5})	0,03						

15% DE BORRACHA GROSSA - Ab15 _G												
Semiprismas	1			2			3			4		
Tempo de Imersão (min)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - $\Delta M/S$ (g/mm ²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - $\Delta M/S$ (g/mm ²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - $\Delta M/S$ (g/mm ²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - $\Delta M/S$ (g/mm ²)
0	209,38	0,00	0,0000000	207,34	0,00	0,0000000	209,28	0,00	0,0000000	209,97	0,00	0,0000000
7	215,74	6,36	0,0039750	213,64	6,30	0,0039375	215,35	6,07	0,0037938	216,09	6,12	0,0038250
10	216,97	1,23	0,0007687	214,88	1,24	0,0007750	216,52	1,17	0,0007313	217,29	1,20	0,0007500
30	222,35	5,38	0,0033625	219,89	5,01	0,0031312	221,23	4,71	0,0029437	221,97	4,68	0,0029250
60	227,48	5,13	0,0032063	224,67	4,78	0,0029875	225,78	4,55	0,0028438	226,50	4,53	0,0028313
90	231,19	3,71	0,0023188	228,18	3,51	0,0021938	229,17	3,39	0,0021187	229,89	3,39	0,0021187
180	237,10	5,91	0,0036938	234,67	6,49	0,0040562	235,72	6,55	0,0040938	236,44	6,55	0,0040938
300	238,11	1,01	0,0006313	236,05	1,38	0,0008625	237,51	1,79	0,0011187	238,24	1,80	0,0011250
480	238,42	0,31	0,0001937	236,44	0,39	0,0002437	238,01	0,50	0,0003125	238,71	0,47	0,0002937
1440	238,96	0,54	0,0003375	237,03	0,59	0,0003688	238,60	0,59	0,0003688	239,36	0,65	0,0004063
2880	239,31	0,35	0,0002187	237,45	0,42	0,0002625	238,94	0,34	0,0002125	239,74	0,38	0,0002375

15% DE BORRACHA GROSSA - Ab15 _G							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Área da base imersa (mm²)	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Coeficiente de Capilaridade - C (kg/m².min ^{0,5})	1,41	1,31	1,25	1,25	1,38	1,38	1,23
C Médio (kg/m².min ^{0,5})	1,31						
Desvio Padrão (kg/m².min ^{0,5})	0,07						

15% DE BORRACHA FINA - Ab15 _F												
Semiprismas	1			2			3			4		
Tempo de Imersão (min)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)
0	192,80	0,00	0,0000000	197,53	0,00	0,0000000	197,60	0,00	0,0000000	189,53	0,00	0,0000000
7	194,97	2,17	0,0013562	199,70	2,17	0,0013562	199,18	1,58	0,0009875	191,44	1,91	0,0011938
10	195,26	0,29	0,0001812	199,98	0,28	0,0001750	199,39	0,21	0,0001312	191,65	0,21	0,0001313
30	197,25	1,99	0,0012438	201,90	1,92	0,0012000	200,76	1,37	0,0008563	193,19	1,54	0,0009625
60	199,71	2,46	0,0015375	204,28	2,38	0,0014875	202,33	1,57	0,0009813	194,89	1,70	0,0010625
90	201,76	2,05	0,0012812	206,29	2,01	0,0012562	203,83	1,50	0,0009375	196,40	1,51	0,0009438
180	205,91	4,15	0,0025938	210,38	4,09	0,0025563	207,83	4,00	0,0025000	200,63	4,23	0,0026437
300	209,57	3,66	0,0022875	213,94	3,56	0,0022250	211,42	3,59	0,0022437	204,81	4,18	0,0026125
480	213,02	3,45	0,0021563	217,53	3,59	0,0022438	215,04	3,62	0,0022625	209,07	4,26	0,0026625
1440	217,74	4,72	0,0029500	223,15	5,62	0,0035125	222,77	7,73	0,0048313	215,09	6,02	0,0037625
2880	218,37	0,63	0,0003937	223,75	0,60	0,0003750	223,83	1,06	0,0006625	215,68	0,59	0,0003688

15% DE BORRACHA FINA - Ab15 _F									
Semiprismas	5			6			7		
Tempo de Imersão (min)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)
0	194,81	0,00	0,0000000	200,53	0,00	0,0000000	194,79	0,00	0,0000000
7	196,91	2,10	0,0013125	202,28	1,75	0,0010938	196,28	1,49	0,0009313
10	197,16	0,25	0,0001563	202,46	0,18	0,0001125	196,59	0,31	0,0001938
30	198,69	1,53	0,0009563	203,86	1,40	0,0008750	198,10	1,51	0,0009437
60	200,51	1,82	0,0011375	205,45	1,59	0,0009937	199,87	1,77	0,0011063
90	202,11	1,60	0,0010000	206,99	1,54	0,0009625	201,53	1,66	0,0010375
180	206,50	4,39	0,0027437	211,14	4,15	0,0025937	205,91	4,38	0,0027375
300	210,38	3,88	0,0024250	215,16	4,02	0,0025125	209,56	3,65	0,0022813
480	214,25	3,87	0,0024188	219,55	4,39	0,0027438	213,30	3,74	0,0023375
1440	220,35	6,10	0,0038125	227,31	7,76	0,0048500	219,94	6,64	0,0041500
2880	221,01	0,66	0,0004125	227,97	0,66	0,0004125	220,63	0,69	0,0004312

15% DE BORRACHA FINA - Ab15 _F							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Área da base imersa (mm²)	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Coeficiente de Capilaridade - C (kg/m².min ^{0,5})	0,64	0,62	0,44	0,47	0,49	0,45	0,49
C Médio (kg/m².min ^{0,5})	0,51						
Desvio Padrão (kg/m².min ^{0,5})	0,08						

20% DE BORRACHA GROSSA - Ab20 _G												
Semiprismas	1			2			3			4		
Tempo de Imersão (min)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)
0	206,39	0,00	0,0000000	205,49	0,00	0,0000000	208,67	0,00	0,0000000	206,63	0,00	0,0000000
7	208,54	2,15	0,0013438	207,66	2,17	0,0013562	210,89	2,22	0,0013875	208,92	2,29	0,0014313
10	208,90	0,36	0,0002250	208,00	0,34	0,0002125	211,12	0,23	0,0001438	209,18	0,26	0,0001625
30	210,69	1,79	0,0011187	209,83	1,83	0,0011438	212,61	1,49	0,0009313	210,92	1,74	0,0010875
60	213,07	2,38	0,0014875	212,13	2,30	0,0014375	214,54	1,93	0,0012062	213,11	2,19	0,0013688
90	215,27	2,20	0,0013750	214,27	2,14	0,0013375	216,54	2,00	0,0012500	215,27	2,16	0,0013500
180	220,23	4,96	0,0031000	219,27	5,00	0,0031250	221,47	4,93	0,0030813	220,21	4,94	0,0030875
300	224,87	4,64	0,0029000	224,05	4,78	0,0029875	226,22	4,75	0,0029688	225,04	4,83	0,0030187
480	229,49	4,62	0,0028875	228,64	4,59	0,0028687	231,46	5,24	0,0032750	229,99	4,95	0,0030938
1440	234,30	4,81	0,0030063	233,10	4,46	0,0027875	237,29	5,83	0,0036437	234,85	4,86	0,0030375
2880	234,57	0,27	0,0001687	233,39	0,29	0,0001812	237,72	0,43	0,0002688	235,23	0,38	0,0002375

20% DE BORRACHA GROSSA - Ab20 _G							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Área da base imersa (mm²)	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Coeficiente de Capilaridade - C (kg/m².min ^{0,5})	0,63	0,62	0,54	0,60	0,77	0,74	0,91
C Médio (kg/m².min ^{0,5})	0,69						
Desvio Padrão (kg/m².min ^{0,5})	0,12						

20% DE BORRACHA FINA - Ab20 _F												
Semiprismas	1			2			3			4		
Tempo de Imersão (min)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção Capilar - ΔM/S (g/mm²)
0	186,17	0,00	0,0000000	189,64	0,00	0,0000000	189,29	0,00	0,0000000	191,81	0,00	0,0000000
7	188,44	2,27	0,0014188	191,82	2,18	0,0013625	190,96	1,67	0,0010438	194,10	2,29	0,0014313
10	188,74	0,30	0,0001875	192,18	0,36	0,0002250	191,22	0,26	0,0001625	194,39	0,29	0,0001812
30	190,34	1,60	0,0010000	193,89	1,71	0,0010687	192,51	1,29	0,0008062	195,85	1,46	0,0009125
60	191,93	1,59	0,0009938	195,58	1,69	0,0010563	193,88	1,37	0,0008563	197,39	1,54	0,0009625
90	193,17	1,24	0,0007750	196,77	1,19	0,0007437	194,94	1,06	0,0006625	198,58	1,19	0,0007438
180	195,74	2,57	0,0016063	199,39	2,62	0,0016375	197,69	2,75	0,0017188	201,64	3,06	0,0019125
300	197,95	2,21	0,0013812	201,63	2,24	0,0014000	200,26	2,57	0,0016063	204,45	2,81	0,0017563
480	200,07	2,12	0,0013250	203,90	2,27	0,0014188	202,97	2,71	0,0016938	207,21	2,76	0,0017250
1440	205,66	5,59	0,0034938	209,82	5,92	0,0037000	209,26	6,29	0,0039312	213,45	6,24	0,0039000
2880	207,80	2,14	0,0013375	212,04	2,22	0,0013875	211,61	2,35	0,0014688	215,35	1,90	0,0011875

REFERÊNCIA - Ab0							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Água absorvida média total (g)	32,77	30,19	29,20	31,06	30,99	30,60	30,52
Tempo de imersão total (min ^{0,5})	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67
Coeficiente de Sorptividade - S (g/min ^{0,5})	0,61	0,56	0,54	0,58	0,58	0,57	0,57
S Médio (g/min ^{0,5})	0,57						
Desvio Padrão (g/min ^{0,5})	0,02						

5% DE BORRACHA GROSSA - Ab5 _e															
Semiprismas	1		2		3		4		5		6		7		Água Absorvida Total Média-ΔMτ (g)
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔMτ (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔMτ (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔMτ (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔMτ (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔMτ (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔMτ (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔMτ (g)	
0	215,78	0,00	216,98	0,00	220,34	0,00	205,37	0,00	214,42	0,00	218,79	0,00	208,90	0,00	0,00
7	223,24	7,46	224,77	7,79	228,74	8,40	213,65	8,28	222,10	7,68	227,16	8,37	217,60	8,70	8,10
10	224,45	8,67	226,01	9,03	229,98	9,64	214,75	9,38	223,12	8,70	228,20	9,41	218,71	9,81	9,23
30	230,19	14,41	232,14	15,16	236,44	16,10	220,79	15,42	228,57	14,15	233,75	14,96	224,40	15,50	15,10
60	235,82	20,04	238,18	21,20	242,78	22,44	226,68	21,31	234,19	19,77	239,35	20,56	230,30	21,40	20,96
90	239,84	24,06	242,65	25,67	247,52	27,18	230,95	25,58	238,44	24,02	243,68	24,89	234,80	25,90	25,33
180	244,94	29,16	246,63	29,65	251,19	30,85	233,84	28,47	243,31	28,89	248,71	29,92	237,73	28,83	29,40
300	245,46	29,68	246,88	29,90	251,43	31,09	234,15	28,78	243,86	29,44	249,10	30,31	238,02	29,12	29,76
480	245,70	29,92	247,12	30,14	251,64	31,30	234,28	28,91	244,09	29,67	249,28	30,49	238,15	29,25	29,95
1440	246,31	30,53	247,62	30,64	252,09	31,75	234,74	29,37	244,72	30,30	249,76	30,97	238,62	29,72	30,47
2880	246,65	30,87	247,91	30,93	252,41	32,07	235,05	29,68	245,06	30,64	250,03	31,24	238,91	30,01	30,78

5% DE BORRACHA GROSSA - Ab5 _G							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Água absorvida média total (g)	30,87	30,93	32,07	29,68	30,64	31,24	30,01
Tempo de imersão total (min ^{0,5})	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67
Coeficiente de Sorptividade - S (g/ min ^{0,5})	0,58	0,58	0,60	0,55	0,57	0,58	0,56
S Médio (g/ min ^{0,5})	0,57						
Desvio Padrão (g/ min ^{0,5})	0,01						

5% DE BORRACHA FINA - Ab5 _e															
Semiprismas	1		2		3		4		5		6		7		Água Absorvida Total Média- ΔM _T (g)
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	
0	219,04	0,00	219,94	0,00	223,87	0,00	221,50	0,00	224,40	0,00	211,64	0,00	222,34	0,00	0,00
7	224,87	5,83	226,02	6,08	230,10	6,23	227,80	6,30	230,50	6,10	217,53	5,89	228,59	6,25	6,10
10	225,94	6,90	227,12	7,18	231,16	7,29	228,79	7,29	231,40	7,00	218,39	6,75	229,41	7,07	7,07
30	231,08	12,04	232,40	12,46	236,42	12,55	233,84	12,34	236,28	11,88	223,11	11,47	234,21	11,87	12,09
60	236,07	17,03	237,56	17,62	241,55	17,68	238,75	17,25	241,10	16,70	227,73	16,09	238,87	16,53	16,99
90	239,72	20,68	241,41	21,47	245,32	21,45	242,41	20,91	244,67	20,27	231,23	19,59	242,39	20,05	20,63
180	246,48	27,44	247,51	27,57	251,50	27,63	249,30	27,80	251,89	27,49	237,68	26,04	249,49	27,15	27,30
300	247,07	28,03	247,92	27,98	251,98	28,11	250,00	28,50	252,72	28,32	238,13	26,49	250,45	28,11	27,93
480	247,17	28,13	248,01	28,07	252,11	28,24	250,09	28,59	252,93	28,53	238,22	26,58	250,57	28,23	28,05
1440	247,50	28,46	248,34	28,40	252,44	28,57	250,42	28,92	253,20	28,80	238,46	26,82	250,90	28,56	28,36
2880	247,70	28,66	248,55	28,61	252,67	28,80	250,72	29,22	253,46	29,06	238,71	27,07	251,11	28,77	28,60

5% DE BORRACHA FINA - Ab5F							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Água absorvida média total (g)	30,87	30,93	32,07	29,68	30,64	31,24	30,01
Tempo de imersão total (min ^{0,5})	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67
Coeficiente de Sorptividade - S (g/ min ^{0,5})	0,58	0,58	0,60	0,55	0,57	0,58	0,56
S Médio (g/ min ^{0,5})	0,57						
Desvio Padrão (g/ min ^{0,5})	0,01						

10% DE BORRACHA GROSSA - Ab10 _G															
Semiprismas	1		2		3		4		5		6		7		Água Absorvida Total Média- ΔM _T (g)
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	
0	215,66	0,00	214,20	0,00	217,37	0,00	214,01	0,00	210,96	0,00	214,28	0,00	217,10	0,00	0,00
7	221,97	6,31	221,30	7,10	224,28	6,91	219,22	5,21	218,33	7,37	221,17	6,89	224,58	7,48	6,75
10	223,11	7,45	222,49	8,29	225,37	8,00	220,06	6,05	219,37	8,41	222,18	7,90	225,56	8,46	7,79
30	228,24	12,58	228,10	13,90	230,69	13,32	224,28	10,27	224,54	13,58	227,19	12,91	230,77	13,67	12,89
60	233,08	17,42	233,45	19,25	235,89	18,52	228,32	14,31	229,54	18,58	232,12	17,84	235,82	18,72	17,81
90	236,80	21,14	237,60	23,40	239,87	22,50	231,36	17,35	233,28	22,32	235,88	21,60	239,66	22,56	21,55
180	243,93	28,27	243,90	29,70	247,00	29,63	237,88	23,87	239,48	28,52	242,96	28,68	246,30	29,20	28,27
300	245,77	30,11	244,67	30,47	248,05	30,68	241,27	27,26	240,63	29,67	244,29	30,01	247,38	30,28	29,78
480	246,18	30,52	244,94	30,74	248,36	30,99	242,06	28,05	240,99	30,03	244,67	30,39	247,71	30,61	30,19
1440	246,84	31,18	245,41	31,21	248,90	31,53	242,91	28,90	241,63	30,67	245,29	31,01	248,26	31,16	30,81
2880	247,24	31,58	245,76	31,56	249,24	31,87	243,39	29,38	242,02	31,06	245,60	31,32	248,57	31,47	31,18

10% DE BORRACHA GROSSA - Ab10 _G							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Água absorvida média total (g)	31,58	31,56	31,87	29,38	31,06	31,32	31,47
Tempo de imersão total (min ^{0,5})	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67
Coeficiente de Sorptividade - S (g/ min ^{0,5})	0,59	0,59	0,59	0,55	0,58	0,58	0,59
S Médio (g/ min ^{0,5})	0,58						
Desvio Padrão (g/ min ^{0,5})	0,01						

10% DE BORRACHA FINA - Ab10 _F															
Semiprismas	1		2		3		4		5		6		7		Água Absorvida Total Média-ΔM _T (g)
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	
0	205,84	0,00	197,88	0,00	204,34	0,00	199,55	0,00	204,81	0,00	201,54	0,00	199,62	0,00	0,00
7	209,60	3,76	200,79	2,91	209,83	5,49	204,97	5,42	210,69	5,88	207,39	5,85	204,94	5,32	4,95
10	210,42	4,58	201,76	3,88	210,69	6,35	205,84	6,29	211,55	6,74	208,20	6,66	205,71	6,09	5,80
30	214,33	8,49	205,72	7,84	214,90	10,56	210,01	10,46	215,79	10,98	212,32	10,78	209,53	9,91	9,86
60	218,11	12,27	209,52	11,64	218,60	14,26	213,71	14,16	219,58	14,77	216,03	14,49	212,94	13,32	13,56
90	221,02	15,18	212,25	14,37	221,37	17,03	216,48	16,93	222,37	17,56	218,75	17,21	215,46	15,84	16,30
180	226,67	20,83	217,69	19,81	226,85	22,51	221,95	22,40	227,78	22,97	224,22	22,68	220,59	20,97	21,74
300	230,74	24,90	221,36	23,48	230,15	25,81	224,90	25,35	230,85	26,04	227,58	26,04	224,23	24,61	25,18
480	232,71	26,87	223,20	25,32	230,80	26,46	225,41	25,86	231,60	26,79	228,39	26,85	225,50	25,88	26,29
1440	233,67	27,83	224,14	26,26	231,28	26,94	225,93	26,38	232,18	27,37	228,95	27,41	226,12	26,50	26,96
2880	234,07	28,23	224,57	26,69	231,58	27,24	226,21	26,66	232,52	27,71	229,25	27,71	226,41	26,79	27,29

10% DE BORRACHA FINA - Ab10F							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Água absorvida média total (g)	28,23	26,69	27,24	26,66	27,71	27,71	26,79
Tempo de imersão total (min ^{0,5})	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67
Coeficiente de Sorptividade - S (g/ min ^{0,5})	0,53	0,50	0,51	0,50	0,52	0,52	0,50
S Médio (g/ min ^{0,5})	0,51						
Desvio Padrão (g/ min ^{0,5})	0,01						

15% DE BORRACHA GROSSA - Ab15 _G															
Semiprismas	1		2		3		4		5		6		7		Água Absorvida Total Média- ΔM _T (g)
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	
0	209,38	0,00	207,34	0,00	209,28	0,00	209,97	0,00	205,26	0,00	210,30	0,00	215,07	0,00	0,00
7	215,74	6,36	213,64	6,30	215,35	6,07	216,09	6,12	212,11	6,85	217,15	6,85	221,33	6,26	6,40
10	216,97	7,59	214,88	7,54	216,52	7,24	217,29	7,32	213,45	8,19	218,53	8,23	222,64	7,57	7,67
30	222,35	12,97	219,89	12,55	221,23	11,95	221,97	12,00	218,69	13,43	223,67	13,37	227,23	12,16	12,63
60	227,48	18,10	224,67	17,33	225,78	16,50	226,50	16,53	223,70	18,44	228,78	18,48	231,69	16,62	17,43
90	231,19	21,81	228,18	20,84	229,17	19,89	229,89	19,92	227,40	22,14	232,51	22,21	235,07	20,00	20,97
180	237,10	27,72	234,67	27,33	235,72	26,44	236,44	26,47	233,23	27,97	238,25	27,95	241,80	26,73	27,23
300	238,11	28,73	236,05	28,71	237,51	28,23	238,24	28,27	234,29	29,03	239,16	28,86	244,01	28,94	28,68
480	238,42	29,04	236,44	29,10	238,01	28,73	238,71	28,74	234,61	29,35	239,51	29,21	244,62	29,55	29,10
1440	238,96	29,58	237,03	29,69	238,60	29,32	239,36	29,39	235,18	29,92	240,09	29,79	245,33	30,26	29,71
2880	239,31	29,93	237,45	30,11	238,94	29,66	239,74	29,77	235,55	30,29	240,48	30,18	245,72	30,65	30,08

15% DE BORRACHA GROSSA - Ab15 _G							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Água absorvida média total (g)	29,93	30,11	29,66	29,77	30,29	30,18	30,65
Tempo de imersão total (min ^{0,5})	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67
Coeficiente de Sorptividade - S (g/ min ^{0,5})	0,56	0,56	0,55	0,55	0,56	0,56	0,57
S Médio (g/ min ^{0,5})	0,56						
Desvio Padrão (g/ min ^{0,5})	0,01						

15% DE BORRACHA FINA - Ab15 _F															
Semiprismas	1		2		3		4		5		6		7		Água Absorvida Total Média-ΔM _T (g)
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	
0	192,80	0,00	197,53	0,00	197,60	0,00	189,53	0,00	194,81	0,00	200,53	0,00	194,79	0,00	0,00
7	194,97	2,17	199,70	2,17	199,18	1,58	191,44	1,91	196,91	2,10	202,28	1,75	196,28	1,49	1,88
10	195,26	2,46	199,98	2,45	199,39	1,79	191,65	2,12	197,16	2,35	202,46	1,93	196,59	1,80	2,13
30	197,25	4,45	201,90	4,37	200,76	3,16	193,19	3,66	198,69	3,88	203,86	3,33	198,10	3,31	3,74
60	199,71	6,91	204,28	6,75	202,33	4,73	194,89	5,36	200,51	5,70	205,45	4,92	199,87	5,08	5,64
90	201,76	8,96	206,29	8,76	203,83	6,23	196,40	6,87	202,11	7,30	206,99	6,46	201,53	6,74	7,33
180	205,91	13,11	210,38	12,85	207,83	10,23	200,63	11,10	206,50	11,69	211,14	10,61	205,91	11,12	11,53
300	209,57	16,77	213,94	16,41	211,42	13,82	204,81	15,28	210,38	15,57	215,16	14,63	209,56	14,77	15,32
480	213,02	20,22	217,53	20,00	215,04	17,44	209,07	19,54	214,25	19,44	219,55	19,02	213,30	18,51	19,17
1440	217,74	24,94	223,15	25,62	222,77	25,17	215,09	25,56	220,35	25,54	227,31	26,78	219,94	25,15	25,54
2880	218,37	25,57	223,75	26,22	223,83	26,23	215,68	26,15	221,01	26,20	227,97	27,44	220,63	25,84	26,24

15% DE BORRACHA FINA - Ab15F							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Água absorvida média total (g)	25,57	26,22	26,23	26,15	26,20	27,44	25,84
Tempo de imersão total (min min ^{0,5})	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67
Coeficiente de Sorptividade - S (g/ min ^{0,5})	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,51	0,48
S Médio (g/ min ^{0,5})	0,49						
Desvio Padrão (g/ min ^{0,5})	0,01						

20% DE BORRACHA GROSSA - Ab20G							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Água absorvida média total (g)	28,18	27,90	29,05	28,60	29,10	28,73	29,34
Tempo de imersão total (min ^{0,5})	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67
Coefficiente de Sorptividade - S (g/ min ^{0,5})	0,53	0,52	0,54	0,53	0,54	0,54	0,55
S Médio (g/ min ^{0,5})	0,53						
Desvio Padrão (g/ min ^{0,5})	0,01						

20% DE BORRACHA FINA - Ab20 _F															
Semiprismas	1		2		3		4		5		6		7		Água Absorvida Total Média- ΔM _T (g)
Tempo de Imersão (min)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	Massa - Mt (g)	Água Absorvida Total - ΔM _T (g)	
0	186,17	0,00	189,64	0,00	189,29	0,00	191,81	0,00	189,61	0,00	191,08	0,00	186,63	0,00	0,00
7	188,44	2,27	191,82	2,18	190,96	1,67	194,10	2,29	191,35	1,74	193,53	2,45	189,14	2,51	2,16
10	188,74	2,57	192,18	2,54	191,22	1,93	194,39	2,58	191,57	1,96	193,84	2,76	189,46	2,83	2,45
30	190,34	4,17	193,89	4,25	192,51	3,22	195,85	4,04	192,73	3,12	195,42	4,34	191,08	4,45	3,94
60	191,93	5,76	195,58	5,94	193,88	4,59	197,39	5,58	193,99	4,38	197,14	6,06	192,78	6,15	5,49
90	193,17	7,00	196,77	7,13	194,94	5,65	198,58	6,77	195,00	5,39	198,40	7,32	194,09	7,46	6,67
180	195,74	9,57	199,39	9,75	197,69	8,40	201,64	9,83	197,63	8,02	201,29	10,21	197,06	10,43	9,46
300	197,95	11,78	201,63	11,99	200,26	10,97	204,45	12,64	200,19	10,58	203,77	12,69	199,55	12,92	11,94
480	200,07	13,90	203,90	14,26	202,97	13,68	207,21	15,40	203,06	13,45	206,33	15,25	202,07	15,44	14,48
1440	205,66	19,49	209,82	20,18	209,26	19,97	213,45	21,64	210,58	20,97	212,33	21,25	207,68	21,05	20,65
2880	207,80	21,63	212,04	22,40	211,61	22,32	215,35	23,54	213,19	23,58	214,28	23,20	209,29	22,66	22,76

20% DE BORRACHA FINA - Ab20F							
Semiprismas	1	2	3	4	5	6	7
Água absorvida média total (g)	21,63	22,40	22,32	23,54	23,58	23,20	22,66
Tempo de imersão total (min ^{0,5})	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67	53,67
Coeficiente de Sorptividade - S (g/ min ^{0,5})	0,40	0,42	0,42	0,44	0,44	0,43	0,42
S Médio (g/ min ^{0,5})	0,42						
Desvio Padrão (g/ min ^{0,5})	0,01						

APÊNDICE F – Ensaio de Secagem

REFERÊNCIA - Ab0																
Semiprismas	1				2				3				4			
A (mm²)	1600				1600				1600				1600			
M ₂₈₈₀ (g)	259,41				245,50				242,07				252,68			
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)
0	253,73	5,68	0,00355	2,19	239,57	5,93	0,00371	2,42	236,47	5,60	0,00350	2,31	246,65	6,03	0,00377	2,39
30	253,61	5,80	0,00363	2,24	239,43	6,07	0,00379	2,47	236,34	5,73	0,00358	2,37	246,52	6,16	0,00385	2,44
60	253,49	5,92	0,00370	2,28	239,32	6,18	0,00386	2,52	236,24	5,83	0,00364	2,41	246,41	6,27	0,00392	2,48
90	253,40	6,01	0,00376	2,32	239,20	6,30	0,00394	2,57	236,12	5,95	0,00372	2,46	246,28	6,40	0,00400	2,53
270	252,79	6,62	0,00414	2,55	238,53	6,97	0,00436	2,84	235,51	6,56	0,00410	2,71	245,60	7,08	0,00443	2,80
450	252,13	7,28	0,00455	2,81	237,80	7,70	0,00481	3,14	234,85	7,22	0,00451	2,98	244,87	7,81	0,00488	3,09
1440	249,68	9,73	0,00608	3,75	235,16	10,34	0,00646	4,21	232,44	9,63	0,00602	3,98	242,21	10,47	0,00654	4,14

REFERÊNCIA - Ab0														
Semiprismas	5				6				7				Média da Água Evaporada por Unidade de Área (g/mm²)	Média do Percentual de Água Evaporada (%)
A (mm²)	1600				1600				1600					
M2880 (g)	253,21				253,07				251,60					
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)		
0	247,15	6,06	0,00379	2,39	247,41	5,66	0,00354	2,24	245,68	5,92	0,00370	2,35	0,00365	2,33
30	247,00	6,21	0,00388	2,45	247,28	5,79	0,00362	2,29	245,56	6,04	0,00377	2,40	0,00373	2,38
60	246,88	6,33	0,00396	2,50	247,17	5,90	0,00369	2,33	245,45	6,15	0,00384	2,44	0,00380	2,42
90	246,77	6,44	0,00403	2,54	247,04	6,03	0,00377	2,38	245,34	6,26	0,00391	2,49	0,00387	2,47
270	246,12	7,09	0,00443	2,80	246,42	6,65	0,00416	2,63	244,67	6,93	0,00433	2,75	0,00428	2,73
450	245,41	7,80	0,00488	3,08	245,76	7,31	0,00457	2,89	244,01	7,59	0,00474	3,02	0,00471	3,00
1440	242,77	10,44	0,00653	4,12	243,27	9,80	0,00612	3,87	241,43	10,17	0,00636	4,04	0,00630	4,02

5% DE BORRACHA GROSSA - Ab5c																
Semiprismas	1				2				3				4			
A (mm²)	1600				1600				1600				1600			
M ₂₈₈₀ (g)	246,65				247,91				252,41				235,05			
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)
0	243,27	3,38	0,00211	1,37	244,44	3,47	0,00217	1,40	248,87	3,54	0,00221	1,40	231,58	3,47	0,00217	1,48
30	243,16	3,49	0,00218	1,41	244,40	3,51	0,00219	1,42	248,79	3,62	0,00226	1,43	231,54	3,51	0,00219	1,49
60	243,12	3,53	0,00221	1,43	244,32	3,59	0,00224	1,45	248,74	3,67	0,00229	1,45	231,48	3,57	0,00223	1,52
90	243,06	3,59	0,00224	1,46	244,28	3,63	0,00227	1,46	248,69	3,72	0,00233	1,47	231,42	3,63	0,00227	1,54
270	242,65	4,00	0,00250	1,62	243,89	4,02	0,00251	1,62	248,28	4,13	0,00258	1,64	230,02	5,03	0,00314	2,14
450	242,16	4,49	0,00281	1,82	243,39	4,52	0,00283	1,82	247,74	4,67	0,00292	1,85	230,50	4,55	0,00284	1,94
1440	239,97	6,68	0,00418	2,71	241,10	6,81	0,00426	2,75	245,36	7,05	0,00441	2,79	228,17	6,88	0,00430	2,93

5% DE BORRACHA GROSSA - Ab5g														
Semiprismas	5				6				7				Média da Água Evaporada por Unidade de Área (g/mm²)	Média do Percentual de Água Evaporada (%)
A (mm²)	1600				1600				1600					
M2880 (g)	245,06				250,03				238,91					
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)		
0	241,60	3,46	0,00216	1,41	246,48	3,55	0,00222	1,42	235,30	3,61	0,00226	1,51	0,00219	1,43
30	241,56	3,50	0,00219	1,43	246,42	3,61	0,00226	1,44	235,26	3,65	0,00228	1,53	0,00222	1,45
60	241,50	3,56	0,00223	1,45	246,38	3,65	0,00228	1,46	235,19	3,72	0,00233	1,56	0,00226	1,47
90	241,44	3,62	0,00226	1,48	246,30	3,73	0,00233	1,49	235,12	3,79	0,00237	1,59	0,00230	1,50
270	241,06	4,00	0,00250	1,63	245,90	4,13	0,00258	1,65	234,71	4,20	0,00262	1,76	0,00263	1,72
450	240,57	4,49	0,00281	1,83	245,38	4,65	0,00291	1,86	234,18	4,73	0,00296	1,98	0,00287	1,87
1440	238,33	6,73	0,00421	2,75	242,96	7,07	0,00442	2,83	231,70	7,21	0,00451	3,02	0,00432	2,82

5% DE BORRACHA FINA - Ab5F																
Semiprismas	1				2				3				4			
A (mm ²)	1600				1600				1600				1600			
M ₂₈₈₀ (g)	247,70				248,55				252,67				250,72			
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)
0	243,21	4,49	0,00281	1,81	244,13	4,42	0,00276	1,78	248,40	4,27	0,00267	1,69	246,22	4,50	0,00281	1,79
30	243,16	4,54	0,00284	1,83	244,09	4,46	0,00279	1,79	248,36	4,31	0,00269	1,71	246,13	4,59	0,00287	1,83
60	243,04	4,66	0,00291	1,88	244,01	4,54	0,00284	1,83	248,28	4,39	0,00274	1,74	246,07	4,65	0,00291	1,85
90	242,96	4,74	0,00296	1,91	243,93	4,62	0,00289	1,86	248,20	4,47	0,00279	1,77	245,95	4,77	0,00298	1,90
270	242,47	5,23	0,00327	2,11	243,40	5,15	0,00322	2,07	247,74	4,93	0,00308	1,95	245,41	5,31	0,00332	2,12
450	241,94	5,76	0,00360	2,33	242,90	5,65	0,00353	2,27	247,25	5,42	0,00339	2,15	244,88	5,84	0,00365	2,33
1440	239,91	7,79	0,00487	3,14	240,90	7,65	0,00478	3,08	245,41	7,26	0,00454	2,87	242,77	7,95	0,00497	3,17

5% DE BORRACHA FINA - Ab5F														
Semiprismas	5				6				7				Média da Água Evaporada por Unidade de Área (g/mm²)	Média do Percentual de Água Evaporada (%)
A (mm²)	1600				1600				1600					
M ₂₈₈₀ (g)	253,46				238,71				251,11					
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)		
0	249,02	4,44	0,00278	1,75	234,24	4,47	0,00279	1,87	246,63	4,48	0,00280	1,78	0,00277	1,78
30	248,98	4,48	0,00280	1,77	234,16	4,55	0,00284	1,91	246,55	4,56	0,00285	1,82	0,00281	1,81
60	248,89	4,57	0,00286	1,80	234,05	4,66	0,00291	1,95	246,46	4,65	0,00291	1,85	0,00287	1,84
90	248,79	4,67	0,00292	1,84	233,93	4,78	0,00299	2,00	246,42	4,69	0,00293	1,87	0,00292	1,88
270	248,28	5,18	0,00324	2,04	233,41	5,30	0,00331	2,22	245,84	5,27	0,00329	2,10	0,00325	2,09
450	247,77	5,69	0,00356	2,24	232,88	5,83	0,00364	2,44	245,36	5,75	0,00359	2,29	0,00357	2,29
1440	245,68	7,78	0,00486	3,07	230,69	8,02	0,00501	3,36	243,27	7,84	0,00490	3,12	0,00485	3,12

10% DE BORRACHA GROSSA - Ab10g																
Semiprismas	1				2				3				4			
A (mm ²)	1600				1600				1600				1600			
M ₂₈₈₀ (g)	247,24				245,76				249,24				243,39			
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)
0	243,12	4,12	0,00258	1,67	241,65	4,11	0,00257	1,67	245,13	4,11	0,00257	1,65	239,70	3,69	0,00231	1,52
30	243,08	4,16	0,00260	1,68	241,62	4,14	0,00259	1,68	245,08	4,16	0,00260	1,67	239,66	3,73	0,00233	1,53
60	243,00	4,24	0,00265	1,71	241,56	4,20	0,00262	1,71	245,02	4,22	0,00264	1,69	239,62	3,77	0,00236	1,55
90	242,95	4,29	0,00268	1,74	241,50	4,26	0,00266	1,73	244,95	4,29	0,00268	1,72	239,57	3,82	0,00239	1,57
270	242,57	4,67	0,00292	1,89	241,11	4,65	0,00291	1,89	244,55	4,69	0,00293	1,88	239,21	4,18	0,00261	1,72
450	242,13	5,11	0,00319	2,07	240,69	5,07	0,00317	2,06	244,11	5,13	0,00321	2,06	238,83	4,56	0,00285	1,87
1440	240,17	7,07	0,00442	2,86	238,79	6,97	0,00436	2,84	242,09	7,15	0,00447	2,87	236,98	6,41	0,00401	2,63

10% DE BORRACHA GROSSA - Ab10g														
Semiprismas	5				6				7				Média da Água Evaporada por Unidade de Área (g/mm²)	Média do Percentual de Água Evaporada (%)
A (mm²)	1600				1600				1600					
M ₂₈₈₀ (g)	242,02				245,60				248,57					
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)		
0	238,05	3,97	0,00248	1,64	241,62	3,98	0,00249	1,62	244,54	4,03	0,00252	1,62	0,00250	1,63
30	238,01	4,01	0,00251	1,66	241,57	4,03	0,00252	1,64	244,49	4,08	0,00255	1,64	0,00253	1,64
60	237,97	4,05	0,00253	1,67	241,52	4,08	0,00255	1,66	244,44	4,13	0,00258	1,66	0,00256	1,67
90	237,92	4,10	0,00256	1,69	241,47	4,13	0,00258	1,68	244,38	4,19	0,00262	1,69	0,00260	1,69
270	237,55	4,47	0,00279	1,85	241,10	4,50	0,00281	1,83	243,99	4,58	0,00286	1,84	0,00283	1,84
450	237,14	4,88	0,00305	2,02	240,70	4,90	0,00306	2,00	243,58	4,99	0,00312	2,01	0,00309	2,01
1440	235,28	6,74	0,00421	2,78	238,85	6,75	0,00422	2,75	241,63	6,94	0,00434	2,79	0,00429	2,79

10% DE BORRACHA FINA - Ab10F																
Semiprismas	1				2				3				4			
A (mm²)	1600				1600				1600				1600			
M ₂₈₈₀ (g)	234,07				224,57				231,58				226,21			
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)
0	228,01	6,06	0,00379	2,59	218,76	5,81	0,00363	2,59	225,76	5,82	0,00364	2,51	220,36	5,85	0,00366	2,59
30	227,95	6,12	0,00383	2,61	218,73	5,84	0,00365	2,60	225,68	5,90	0,00369	2,55	220,29	5,92	0,00370	2,62
60	227,86	6,21	0,00388	2,65	218,63	5,94	0,00371	2,65	225,62	5,96	0,00373	2,57	220,22	5,99	0,00374	2,65
90	227,78	6,29	0,00393	2,69	218,55	6,02	0,00376	2,68	225,50	6,08	0,00380	2,63	220,12	6,09	0,00381	2,69
270	227,12	6,95	0,00434	2,97	217,99	6,58	0,00411	2,93	224,89	6,69	0,00418	2,89	219,50	6,71	0,00419	2,97
450	226,52	7,55	0,00472	3,23	217,41	7,16	0,00448	3,19	224,28	7,30	0,00456	3,15	218,89	7,32	0,00458	3,24
1440	224,09	9,98	0,00624	4,26	215,21	9,36	0,00585	4,17	221,95	9,63	0,00602	4,16	216,52	9,69	0,00606	4,28

15% DE BORRACHA GROSSA - Ab15c																
Semiprismas	1				2				3				4			
A (mm ²)	1600				1600				1600				1600			
M ₂₈₈₀ (g)	239,31				237,45				238,94				239,74			
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)
0	234,03	5,28	0,00330	2,21	232,09	5,36	0,00335	2,26	233,85	5,09	0,00318	2,13	234,71	5,03	0,00314	2,10
30	234,00	5,31	0,00332	2,22	232,06	5,39	0,00337	2,27	233,80	5,14	0,00321	2,15	234,67	5,07	0,00317	2,11
60	233,94	5,37	0,00336	2,24	232,00	5,45	0,00341	2,30	233,73	5,21	0,00326	2,18	234,61	5,13	0,00321	2,14
90	233,87	5,44	0,00340	2,27	231,93	5,52	0,00345	2,32	233,68	5,26	0,00329	2,20	234,55	5,19	0,00324	2,16
270	233,41	5,90	0,00369	2,47	231,43	6,02	0,00376	2,54	233,21	5,73	0,00358	2,40	234,11	5,63	0,00352	2,35
450	232,91	6,40	0,00400	2,67	230,96	6,49	0,00406	2,73	232,78	6,16	0,00385	2,58	233,64	6,10	0,00381	2,54
1440	230,73	8,58	0,00536	3,59	228,84	8,61	0,00538	3,63	230,82	8,12	0,00508	3,40	231,64	8,10	0,00506	3,38

15% DE BORRACHA GROSSA - Ab15c														
Semiprismas	5				6				7				Média da Água Evaporada por Unidade de Área (g/mm²)	Média do Percentual de Água Evaporada (%)
A (mm²)	1600				1600				1600					
M ₂₈₈₀ (g)	235,55				240,48				245,72					
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)		
0	230,27	5,28	0,00330	2,24	235,35	5,13	0,00321	2,13	240,51	5,21	0,00326	2,12	0,00325	2,17
30	230,24	5,31	0,00332	2,25	235,30	5,18	0,00324	2,15	240,48	5,24	0,00328	2,13	0,00327	2,19
60	230,16	5,39	0,00337	2,29	235,24	5,24	0,00327	2,18	240,39	5,33	0,00333	2,17	0,00331	2,21
90	230,07	5,48	0,00343	2,33	235,16	5,32	0,00333	2,21	240,33	5,39	0,00337	2,19	0,00336	2,24
270	229,62	5,93	0,00371	2,52	234,72	5,76	0,00360	2,40	239,85	5,87	0,00367	2,39	0,00365	2,44
450	229,12	6,43	0,00402	2,73	234,25	6,23	0,00389	2,59	239,39	6,33	0,00396	2,58	0,00394	2,63
1440	227,00	8,55	0,00534	3,63	232,20	8,28	0,00518	3,44	237,19	8,53	0,00533	3,47	0,00525	3,50

15% DE BORRACHA FINA - Ab15F																
Semiprismas	1				2				3				4			
A (mm ²)	1600				1600				1600				1600			
M ₂₈₈₀ (g)	218,37				223,75				223,83				215,68			
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)
0	213,53	4,84	0,00303	2,22	218,76	4,99	0,00312	2,23	219,14	4,69	0,00293	2,10	210,87	4,81	0,00301	2,23
30	213,45	4,92	0,00308	2,25	218,73	5,02	0,00314	2,24	219,07	4,76	0,00298	2,13	210,81	4,87	0,00304	2,26
60	213,40	4,97	0,00311	2,28	218,64	5,11	0,00319	2,28	219,00	4,83	0,00302	2,16	210,76	4,92	0,00308	2,28
90	213,31	5,06	0,00316	2,32	218,54	5,21	0,00326	2,33	218,92	4,91	0,00307	2,19	210,67	5,01	0,00313	2,32
270	212,85	5,52	0,00345	2,53	218,06	5,69	0,00356	2,54	218,42	5,41	0,00338	2,42	210,19	5,49	0,00343	2,55
450	212,40	5,97	0,00373	2,73	217,58	6,17	0,00386	2,76	217,93	5,90	0,00369	2,64	209,72	5,96	0,00373	2,76
1440	210,58	7,79	0,00487	3,57	215,65	8,10	0,00506	3,62	215,85	7,98	0,00499	3,57	207,82	7,86	0,00491	3,64

15% DE BORRACHA FINA - Ab15F														
Semiprismas	5				6				7				Média da Água Evaporada por Unidade de Área (g/mm²)	Média do Percentual de Água Evaporada (%)
A (mm²)	1600				1600				1600					
M2880 (g)	221,01				227,97				220,63					
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)		
0	215,89	5,12	0,00320	2,32	223,30	4,67	0,00292	2,05	215,89	4,74	0,00296	2,15	0,00302	2,18
30	215,83	5,18	0,00324	2,34	223,22	4,75	0,00297	2,08	215,84	4,79	0,00299	2,17	0,00306	2,21
60	215,77	5,24	0,00327	2,37	223,17	4,80	0,00300	2,11	215,78	4,85	0,00303	2,20	0,00310	2,24
90	215,69	5,32	0,00333	2,41	223,09	4,88	0,00305	2,14	215,70	4,93	0,00308	2,23	0,00315	2,28
270	215,17	5,84	0,00365	2,64	222,64	5,33	0,00333	2,34	215,24	5,39	0,00337	2,44	0,00345	2,49
450	214,68	6,33	0,00396	2,86	222,19	5,78	0,00361	2,54	214,77	5,86	0,00366	2,66	0,00375	2,71
1440	212,64	8,37	0,00523	3,79	220,32	7,65	0,00478	3,36	212,92	7,71	0,00482	3,49	0,00495	3,58

20% DE BORRACHA GROSSA - Ab20g																
Semiprismas	1				2				3				4			
A (mm ²)	1600				1600				1600				1600			
M ₂₈₈₀ (g)	234,57				233,39				237,72				235,23			
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)
0	230,37	4,20	0,00262	1,79	229,29	4,10	0,00256	1,76	233,98	3,74	0,00234	1,57	231,24	3,99	0,00249	1,70
30	230,33	4,24	0,00265	1,81	229,26	4,13	0,00258	1,77	233,97	3,75	0,00234	1,58	231,23	4,00	0,00250	1,70
60	230,30	4,27	0,00267	1,82	229,20	4,19	0,00262	1,80	233,94	3,78	0,00236	1,59	231,16	4,07	0,00254	1,73
90	230,25	4,32	0,00270	1,84	229,11	4,28	0,00267	1,83	233,87	3,85	0,00241	1,62	231,13	4,10	0,00256	1,74
270	229,95	4,62	0,00289	1,97	228,83	4,56	0,00285	1,95	233,61	4,11	0,00257	1,73	230,84	4,39	0,00274	1,87
450	229,53	5,04	0,00315	2,15	228,44	4,95	0,00309	2,12	233,22	4,50	0,00281	1,89	230,48	4,75	0,00297	2,02
1440	227,93	6,64	0,00415	2,83	226,87	6,52	0,00407	2,79	231,86	5,86	0,00366	2,47	229,01	6,22	0,00389	2,64

20% DE BORRACHA GROSSA - Ab20g														
Semiprismas	5				6				7				Média da Água Evaporada por Unidade de Área (g/mm²)	Média do Percentual de Água Evaporada (%)
A (mm²)	1600				1600				1600					
M2880 (g)	238,52				237,91				236,66					
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)		
0	234,13	4,39	0,00274	1,84	233,87	4,04	0,00253	1,70	232,09	4,57	0,00286	1,93	0,00259	1,76
30	234,11	4,41	0,00276	1,85	233,84	4,07	0,00254	1,71	232,05	4,61	0,00288	1,95	0,00261	1,77
60	234,07	4,45	0,00278	1,87	233,80	4,11	0,00257	1,73	231,98	4,68	0,00293	1,98	0,00264	1,79
90	234,03	4,49	0,00281	1,88	233,75	4,16	0,00260	1,75	231,94	4,72	0,00295	1,99	0,00267	1,81
270	233,71	4,81	0,00301	2,02	233,40	4,51	0,00282	1,90	231,62	5,04	0,00315	2,13	0,00286	1,94
450	233,34	5,18	0,00324	2,17	233,06	4,85	0,00303	2,04	231,23	5,43	0,00339	2,29	0,00310	2,10
1440	231,78	6,74	0,00421	2,83	231,50	6,41	0,00401	2,69	229,67	6,99	0,00437	2,95	0,00405	2,74

20% DE BORRACHA FINA - Ab20F																
Semiprismas	1				2				3				4			
A (mm ²)	1600				1600				1600				1600			
M ₂₈₈₀ (g)	207,80				212,04				211,61				215,35			
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm ²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)
0	203,27	4,53	0,00283	2,18	207,43	4,61	0,00288	2,17	207,00	4,61	0,00288	2,18	210,37	4,98	0,00311	2,31
30	203,25	4,55	0,00284	2,19	207,42	4,62	0,00289	2,18	206,94	4,67	0,00292	2,21	210,30	5,05	0,00316	2,35
60	203,16	4,64	0,00290	2,23	207,29	4,75	0,00297	2,24	206,81	4,80	0,00300	2,27	210,18	5,17	0,00323	2,40
90	203,08	4,72	0,00295	2,27	207,25	4,79	0,00299	2,26	206,80	4,81	0,00301	2,27	210,15	5,20	0,00325	2,41
270	202,67	5,13	0,00321	2,47	206,85	5,19	0,00324	2,45	206,38	5,23	0,00327	2,47	209,74	5,61	0,00351	2,61
450	202,19	5,61	0,00351	2,70	206,39	5,65	0,00353	2,66	205,95	5,66	0,00354	2,67	209,27	6,08	0,00380	2,82
1440	200,55	7,25	0,00453	3,49	204,70	7,34	0,00459	3,46	204,33	7,28	0,00455	3,44	207,62	7,73	0,00483	3,59

20% DE BORRACHA FINA - Ab20F														
Semiprismas	5				6				7				Média da Água Evaporada por Unidade de Área (g/mm²)	Média do Percentual de Água Evaporada (%)
A (mm²)	1600				1600				1600					
M2880 (g)	213,19				214,28				209,29					
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Água Evaporada por Unidade de Área - ΔM/A (g/mm²)	Percentual de Água Evaporada - PΔM (%)		
0	208,94	4,25	0,00266	1,99	209,46	4,82	0,00301	2,25	204,39	4,90	0,00306	2,34	0,00292	2,20
30	208,87	4,32	0,00270	2,03	209,33	4,95	0,00309	2,31	204,32	4,97	0,00311	2,37	0,00296	2,23
60	208,75	4,44	0,00278	2,08	209,22	5,06	0,00316	2,36	204,21	5,08	0,00317	2,43	0,00303	2,29
90	208,71	4,48	0,00280	2,10	209,18	5,10	0,00319	2,38	204,14	5,15	0,00322	2,46	0,00306	2,31
270	208,31	4,88	0,00305	2,29	208,72	5,56	0,00348	2,59	203,75	5,54	0,00346	2,65	0,00332	2,50
450	207,88	5,31	0,00332	2,49	208,25	6,03	0,00377	2,81	203,31	5,98	0,00374	2,86	0,00360	2,72
1440	206,29	6,90	0,00431	3,24	206,50	7,78	0,00486	3,63	201,60	7,69	0,00481	3,67	0,00464	3,50

APÊNDICE G – Absorção de Água por Imersão

Compósitos	Identificação	Corpos de Prova	Mi (g)	Mf (g)	Absorção - A (%)	A Média (%)	Desvio Padrão (%)
Referência	Ab0	A1	445	510	14,61	13,76	0,50
		A2	445	505	13,48		
		A3	450	510	13,33		
		A4	440	500	13,64		
5% de borracha grossa	Ab5 _G	B1	440	505	14,77	14,53	0,52
		B2	440	500	13,64		
		B3	440	505	14,77		
		B4	435	500	14,94		
5% de borracha fina	Ab5 _F	C1	450	500	11,11	11,50	0,24
		C2	425	475	11,76		
		C3	435	485	11,49		
		C4	430	480	11,63		
10% de borracha grossa	Ab10 _G	D1	430	495	15,12	14,67	0,65
		D2	425	485	14,12		
		D3	430	490	13,95		
		D4	420	485	15,48		
10% de borracha fina	Ab10 _F	E1	410	465	13,41	13,50	0,25
		E2	415	470	13,25		
		E3	410	465	13,41		
		E4	395	450	13,92		
15% de borracha grossa	Ab15 _G	F1	415	475	14,46	15,16	0,71
		F2	415	480	15,66		
		F3	415	475	14,46		
		F4	405	470	16,05		
15% de borracha fina	Ab15 _F	G1	370	425	14,86	15,01	0,72
		G2	380	435	14,47		
		G3	380	435	14,47		
		G4	370	430	16,22		
20% de borracha grossa	Ab20 _G	H1	395	455	15,19	15,13	0,70
		H2	400	465	16,25		
		H3	410	470	14,63		
		H4	415	475	14,46		
20% de borracha fina	Ab20 _F	I1	355	410	15,49	14,89	0,80
		I2	370	420	13,51		
		I3	360	415	15,28		
		I4	360	415	15,28		

APÊNDICE H – Permeabilidade ao Vapor de Água

REFERÊNCIA - Ab0							
Leituras	Variação de Massa - ΔM (g)					ΔM Média (g)	Desvio Padrão (g)
	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3	Conjunto 4	Conjunto 5		
1 - 2	2,60	2,80	2,90	2,80	2,40	2,70	0,18
2 - 3	3,00	3,40	3,30	3,20	3,10	3,20	0,14
3 - 4	2,40	3,20	2,90	2,60	2,40	2,70	0,31
4 - 5	2,50	3,00	2,80	2,60	2,50	2,68	0,19
5 - 6*	6,80	7,80	7,70	6,90	7,10	7,26	0,41
6 - 7	2,00	2,60	2,40	2,20	2,00	2,24	0,23
7 - 8	2,30	2,50	2,50	2,20	2,10	2,32	0,16
8 - 9	2,60	2,40	2,70	2,50	2,20	2,48	0,17
9 - 10	2,70	2,90	3,10	2,70	2,60	2,80	0,18
10 - 11*	6,00	6,50	6,70	5,90	5,60	6,14	0,40

* Intervalo de 72 horas nas leituras.

5% DE BORRACHA GROSSA - Ab5 _G							
Leituras	Variação de Massa - ΔM (g)					ΔM Média (g)	Desvio Padrão (g)
	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3	Conjunto 4	Conjunto 5		
1 - 2	3,30	3,50	4,10	3,70	3,80	3,68	0,27
2 - 3	4,60	5,00	6,10	3,80	4,30	4,76	0,78
3 - 4	4,00	3,80	4,90	3,80	4,20	4,14	0,41
4 - 5	3,50	3,20	4,00	5,60	3,90	4,04	0,83
5 - 6*	9,20	10,60	9,80	10,90	9,80	10,06	0,61
6 - 7	3,10	3,10	3,40	3,50	3,20	3,26	0,16
7 - 8	3,60	3,10	3,30	2,90	4,10	3,40	0,42
8 - 9	3,40	4,30	3,70	4,00	4,20	3,92	0,33
9 - 10	3,50	3,50	3,60	3,90	3,90	3,68	0,18
10 - 11*	9,50	10,30	13,20	11,80	10,90	11,14	1,28

* Intervalo de 72 horas nas leituras.

5% DE BORRACHA FINA - Ab5 _F							
Leituras	Variação de Massa - ΔM (g)					ΔM Média (g)	Desvio Padrão (g)
	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3	Conjunto 4	Conjunto 5		
1 - 2	2,90	3,40	3,40	3,30	3,00	3,20	0,21
2 - 3	3,90	4,10	3,10	3,70	3,30	3,62	0,37
3 - 4	2,80	3,80	3,40	3,20	3,50	3,34	0,33
4 - 5	3,80	3,80	5,80	3,80	3,50	4,14	0,84
5 - 6*	11,50	12,10	15,00	11,20	11,40	12,24	1,41
6 - 7	4,00	4,30	3,90	3,90	3,30	3,88	0,32
7 - 8	3,80	4,00	4,20	3,50	4,00	3,90	0,24
8 - 9	3,70	4,20	3,60	3,90	3,80	3,84	0,21
9 - 10	3,80	3,80	3,80	3,80	3,80	3,80	0,00
10 - 11*	11,50	12,10	14,00	11,20	11,40	12,04	1,02

* Intervalo de 72 horas nas leituras.

10% DE BORRACHA GROSSA - Ab10 _G							
Leituras	Variação de Massa - ΔM (g)					ΔM Média (g)	Desvio Padrão (g)
	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3	Conjunto 4	Conjunto 5		
1 - 2	3,30	3,30	3,40	3,20	3,20	3,28	0,07
2 - 3	3,60	3,10	3,60	3,00	3,20	3,30	0,25
3 - 4	3,40	3,20	3,70	3,60	3,60	3,50	0,18
4 - 5	4,00	3,70	4,00	3,80	3,60	3,82	0,16
5 - 6*	9,90	11,40	13,00	11,30	6,50	10,42	2,19
6 - 7	4,00	3,40	6,60	3,60	6,80	4,88	1,50
7 - 8	3,50	3,50	5,90	3,30	3,30	3,90	1,00
8 - 9	3,30	3,70	4,90	2,80	3,10	3,56	0,73
9 - 10	3,50	3,20	4,00	3,10	2,90	3,34	0,38
10 - 11*	9,10	8,80	9,90	8,60	9,20	9,12	0,44

* Intervalo de 72 horas nas leituras.

10% DE BORRACHA FINA - Ab10 _F							
Leituras	Variação de Massa - ΔM (g)					ΔM Média (g)	Desvio Padrão (g)
	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3	Conjunto 4	Conjunto 5		
1 - 2	3,00	3,80	2,80	3,20	3,60	3,28	0,37
2 - 3	4,30	4,60	4,20	3,90	4,20	4,24	0,22
3 - 4	4,00	4,10	3,60	4,70	4,30	4,14	0,36
4 - 5	3,80	4,20	3,50	3,90	4,00	3,88	0,23
5 - 6*	11,40	12,50	11,90	11,80	11,90	11,90	0,35
6 - 7	3,80	4,20	3,50	3,90	4,00	3,88	0,23
7 - 8	3,40	4,10	4,20	5,30	4,00	4,20	0,62
8 - 9	4,50	4,80	5,20	6,60	4,80	5,18	0,74
9 - 10	4,00	4,10	4,40	5,40	4,30	4,44	0,50
10 - 11*	11,40	12,50	11,90	11,80	11,90	11,90	0,35

* Intervalo de 72 horas nas leituras.

15% DE BORRACHA GROSSA - Ab15 _G							
Leituras	Variação de Massa - ΔM (g)					ΔM Média (g)	Desvio Padrão (g)
	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3	Conjunto 4	Conjunto 5		
1 - 2	3,40	3,90	3,60	3,40	3,30	3,52	0,21
2 - 3	3,60	3,60	3,40	3,40	3,40	3,48	0,10
3 - 4	3,40	3,90	3,90	3,70	4,00	3,78	0,21
4 - 5	3,70	3,70	3,50	3,40	3,50	3,56	0,12
5 - 6*	10,50	10,20	10,60	9,70	9,20	10,04	0,52
6 - 7	3,70	3,40	4,10	3,60	4,10	3,78	0,28
7 - 8	4,00	3,70	3,90	3,60	3,00	3,64	0,35
8 - 9	2,50	3,90	3,20	3,20	3,40	3,24	0,45
9 - 10	3,20	3,70	3,90	3,10	4,00	3,58	0,37
10 - 11*	9,20	8,90	10,20	10,20	8,90	9,48	0,60

* Intervalo de 72 horas nas leituras.

15% DE BORRACHA FINA - Ab15 _F							
Leituras	Variação de Massa - ΔM (g)					ΔM Média (g)	Desvio Padrão (g)
	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3	Conjunto 4	Conjunto 5		
1 - 2	2,10	2,80	3,30	2,50	2,60	2,66	0,39
2 - 3	3,30	3,20	3,50	3,50	3,20	3,34	0,14
3 - 4	3,80	4,20	4,50	3,80	4,10	4,08	0,26
4 - 5	3,70	3,90	3,70	4,10	3,70	3,82	0,16
5 - 6*	10,10	10,40	10,90	10,40	10,10	10,38	0,29
6 - 7	3,70	4,40	3,80	4,10	3,90	3,98	0,25
7 - 8	4,00	3,50	3,70	3,50	3,60	3,66	0,19
8 - 9	3,20	3,20	3,70	3,90	3,10	3,42	0,32
9 - 10	3,80	4,00	3,70	3,90	3,30	3,74	0,24
10 - 11*	10,40	10,00	12,10	11,60	10,90	11,00	0,77

* Intervalo de 72 horas nas leituras.

20% DE BORRACHA GROSSA - Ab20 _G							
Leituras	Variação de Massa - ΔM (g)					ΔM Média (g)	Desvio Padrão (g)
	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3	Conjunto 4	Conjunto 5		
1 - 2	4,00	4,10	3,90	4,00	4,30	4,06	0,14
2 - 3	5,50	5,30	5,50	5,60	6,00	5,58	0,23
3 - 4	4,50	4,50	4,90	4,70	4,40	4,60	0,18
4 - 5	4,60	4,50	4,80	4,70	4,80	4,68	0,12
5 - 6*	13,30	13,50	13,30	13,80	12,90	13,36	0,29
6 - 7	4,60	6,30	4,50	4,50	4,70	4,92	0,69
7 - 8	4,30	2,40	4,60	4,20	4,60	4,02	0,83
8 - 9	4,60	4,10	4,60	4,70	4,90	4,58	0,26
9 - 10	4,30	4,40	4,50	4,50	4,60	4,46	0,10
10 - 11*	12,00	11,30	12,50	11,20	12,70	11,94	0,61

* Intervalo de 72 horas nas leituras.

20% DE BORRACHA FINA - Ab20 _F							
Leituras	Variação de Massa - ΔM (g)					ΔM Média (g)	Desvio Padrão (g)
	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3	Conjunto 4	Conjunto 5		
1 - 2	3,50	3,40	3,40	3,60	3,30	3,44	0,10
2 - 3	4,50	4,40	4,00	3,80	4,30	4,20	0,26
3 - 4	4,20	4,40	4,20	4,20	4,50	4,30	0,13
4 - 5	4,30	4,30	3,60	3,80	3,80	3,96	0,29
5 - 6*	11,20	13,20	12,70	12,10	13,10	12,46	0,74
6 - 7	4,10	4,80	3,70	4,10	3,90	4,12	0,37
7 - 8	4,40	4,70	4,10	4,40	4,60	4,44	0,21
8 - 9	4,20	4,50	4,00	4,10	3,90	4,14	0,21
9 - 10	4,60	5,30	4,60	4,80	4,40	4,74	0,31
10 - 11*	15,00	14,70	15,50	16,00	14,80	15,20	0,49

* Intervalo de 72 horas nas leituras.

APÊNDICE I – Permeabilidade à Água Sob Pressão

Compósitos	Identificação	Corpos de Prova	Água Absorvida (ml)					
			24 horas	Média 24 horas	Desvio Padrão 24 horas	48 horas	Média 48 horas	Desvio Padrão 48 horas
Referência	Ab0	A1	879,50	795,10	84,40	1058,90	1076,05	17,15
		A2	710,70			1093,20		
5% de borracha grossa	Ab5 _G	B1	662,40	767,40	105,00	1065,60	1113,90	48,30
		B2	872,40			1162,20		
5% de borracha fina	Ab5 _F	C1	338,10	334,65	3,45	503,70	493,35	10,35
		C2	331,20			483,00		
10% de borracha grossa	Ab10 _G	D1	469,20	479,55	10,35	738,30	745,20	6,90
		D2	489,90			752,10		
10% de borracha fina	Ab10 _F	E1	434,70	441,60	6,90	634,80	645,15	10,35
		E2	448,50			655,50		
15% de borracha grossa	Ab15 _G	F1	524,40	524,40	0,00	927,60	906,90	20,70
		F2	524,40			886,20		
15% de borracha fina	Ab15 _F	G1	248,40	276,00	27,60	379,50	431,25	51,75
		G2	303,60			483,00		
20% de borracha grossa	Ab20 _G	H1	552,00	489,90	62,10	913,80	770,85	142,95
		H2	427,80			627,90		
20% de borracha fina	Ab20 _F	I1	234,60	207,00	27,60	386,40	338,10	48,30
		I2	179,40			289,80		