

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

CAMILA AKEMI SAKAMOTO

**ARGAMASSAS MISTAS DE REVESTIMENTO COM EMPREGO DE BORRACHA
DE PNEUS: DESEMPENHO PERANTE O COMPORTAMENTO À ÁGUA**

**Ilha Solteira
2020**

CAMILA AKEMI SAKAMOTO

**ARGAMASSAS MISTAS DE REVESTIMENTO COM EMPREGO DE BORRACHA
DE PNEUS: DESEMPENHO PERANTE O COMPORTAMENTO À ÁGUA**

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

Área do Conhecimento: Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. César Fabiano Fioriti.

Ilha Solteira
2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S158a Sakamoto, Camila Akemi.
Argamassas mistas de revestimento com emprego de borracha de pneus:
desempenho perante o comportamento à água / Camila Akemi Sakamoto. --
Ilha Solteira: [s.n.], 2020
195 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2020

Orientador: César Fabiano Fioriti
Inclui bibliografia

1. Argamassas de revestimento. 2. Reboco. 3. Borracha de recauchutagem
de pneus. 4. Comportamento à água.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Argamassas mistas de revestimento com emprego de borracha de pneus:
Desempenho perante o comportamento à água

AUTORA: CAMILA AKEMI SAKAMOTO

ORIENTADOR: CÉSAR FABIANO FIORITI

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



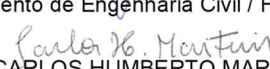
Prof. Dr. CÉSAR FABIANO FIORITI

Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente
Prudente - UNESP



Prof. Dr. JOSE LUIZ PINHEIRO MELGES

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. CARLOS HUMBERTO MARTINS

Departamento de Engenharia Civil / Universidade Estadual de Maringá - UEM

Ilha Solteira, 14 de julho de 2020

“Nosso trabalho deve preparar a próxima geração de mulheres para nos superar em todas as áreas esse é o legado que vamos deixar progresso.” Rupi Kaur

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e meus irmãos pelo apoio emocional e financeiro, além de paciência e compreensão em mais esta etapa de meu crescimento profissional.

Agradeço ao Professor Doutor César Fabiano Fioriti, que desde o começo da jornada me incentivou e me orientou com muito profissionalismo e atenção em todos os momentos deste trabalho.

Agradeço aos Docentes do Programada de Pós-graduação em Engenharia Civil da FEIS-UNESP, por todo apoio e dedicação em solucionar questões durante a execução do trabalho. Agradeço também o Prof. Dr. Fernando Okimoto pela compreensão e paciência durante a fase experimental do programa.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da Unesp, Flávio e Gilson, pelo auxílio e dedicação durante a execução dos ensaios práticos.

Agradeço a Letícia Pagoto pelo auxílio e disposição em tirar todas as dúvidas e me auxiliar em todas as fases deste trabalho, para que este fosse uma continuação do que ela produziu.

Agradeço meus amigos de Presidente Prudente, em especial Tatiana Monteiro, que esteve me apoiando nos melhores e piores momentos dessa jornada e nunca deixou de acreditar em mim. Agradeço a João Pedro Cristofolo Pessoa pelo incentivo durante todo meu primeiro ano de Mestrado em Ilha Solteira e pelo companheirismo.

Aos amigos que fiz em Ilha Solteira, especialmente durante as disciplinas, me auxiliando prontamente nas fases experimentais do trabalho, gratidão a Gean Amâncio Júnior, Gabriela Vicente e João Vítor Berti.

Às amigas que construí na república Bola Gato: Gabriela Boldrini, Gabriely Oliveira, Beatriz Biancardi e Camila Moraes, meu agradecimento por terem me acolhido e feito desse primeiro ano de mestrado tão especial.

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.

RESUMO

O estudo do comportamento dos revestimentos à água é de extrema importância dado que este tem relação direta com a durabilidade, estanqueidade, degradação e desempenho da construção. Ligado a este fator, a crescente utilização de novos materiais não convencionais incorporados às argamassas de revestimento confere novas qualidades, mas também limitações. Perante isso, neste trabalho foi realizado como uma continuação dos estudos propostos por Pagoto (2018) objetivando uma avaliação das características de comportamento à água de dois tipos distintos de borracha de pneus, sendo uma grossa (#1,19 mm) e outra tratada como fina (#0,60 mm), incorporadas em argamassas mistas de revestimento. Os teores de incorporação da borracha foram de 10 e 20%, em volume, substituindo o agregado miúdo, sendo que os traços e materiais empregados foram os mesmos utilizados por Pagoto (2018). O programa experimental transcorreu com a execução de ensaios no estado endurecido, sendo eles: (1) densidade de massa; (2) absorção de água por imersão; (3) absorção de água por capilaridade; (4) secagem; (5) processos de umidificação e secagem com acompanhamento da termografia infravermelha; (6) aferição da umidade (umidímetro); e (7) absorção com tubos de Karsten. A partir dos resultados, a incorporação de borracha fina (#0,60 mm) na argamassa proporcionou resultados satisfatórios para o comportamento à água, sendo possível inferir que as duas porcentagem analisadas (10% e 20%) trouxeram resultados apropriados, pois diminuíram a absorção nos ensaios de capilaridade e em todos os ensaios de umidificação, além de apresentarem a tendência a perder umidade mais rapidamente, para os ensaios de secagem. A menor proporção (10%) atestou ser ainda mais vantajosa em relação à argamassa de 20% de substituição, apresentando menor absorção para o ensaio de imersão e para o ensaio com Tubos de Karsten. Com relação aos ensaios termográficos e aferição de umidade entende-se que a incorporação proporciona o acúmulo de água na superfície do corpo de prova, diminuindo a possibilidade da água caminhar pelos poros.

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

ABSTRACT

The study of water behavioural performance in coating mortar is of extreme importance as it directly impacts construction durability, sealing, degradation and performance. Additionally, the increased usage of new unconventional materials mixed in coating mortars grants new advantages, but also limitations. In view of this, this work was carried out as a continuation of the studies proposed by Pagoto (2018) aiming at assessing the water behavior characteristics of how different types of tire rubber, one thick (#1.19 mm) and one thin (#0.60 mm) incorporated in mixed coating mortars. The percentages of rubber incorporation were 10% and 20% by volume, replacing the fine aggregate, and the traces and materials were the same used by Pagoto (2018). The following tests were executed in the hardened state during this experimental program: (1) absorption by capillarity; (2) water absorption by immersion; (3) drying; (4) mass density; (5) humidification and drying processes assisted by infrared thermography; (6) moisture measurement (moisture meter); (7) absorption with Karsten tubes. From the results, the incorporation of fine rubber (# 0.60 mm) in the mortar provided satisfactory results for the water behavior, being possible to infer that the two percentages analyzed (10% and 20%) brought appropriate results, since they reduced the absorption in capillarity tests and in all humidification tests, besides presenting a tendency to lose moisture more quickly, for drying tests. The smallest proportion (10%) proved to be even more advantageous in relation to the 20% replacement mortar, presenting less absorption for the immersion test and for the test with Karsten tubes. With regard to thermographic tests and moisture measurement, it is understood that the incorporation provides the accumulation of water on the surface of the specimen, reducing the possibility of water transporting through the pores.

Keywords: Coating mortars. Plaster. Tire retreading rubber. Behavior when exposed to water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Variação do teor de umidade de um material poroso em função da umidade relativa do ar	41
Figura 2	- Etapas da fixação de água por adsorção ao nível de um poro	42
Figura 3	- Modos de condensação: água adsorvida e água capilar, respectivamente	43
Figura 4	- Composição das camadas de um pneu	49
Figura 5	- Pneu preparado para receber a nova camada de borracha	56
Figura 6	- Processo de recauchutagem que produz resíduo de borracha	57
Figura 7	- Variação da porcentagem de porosidade para cada teor de incorporação de borracha nas argamassas	61
Figura 8	- Comparação da porcentagem de absorção de água com a porosidade por porcentagem de adição de borracha	62
Figura 9	- Resultados dos ensaios de absorção pelo método do cachimbo	67
Figura 10	- Variação da retenção de água das argamassas com a quantidade de borracha	68
Figura 11	- Curva granulométrica da areia	76
Figura 12	- Amostra de borracha sem peneirar, granulometria #0,6 mm e #1,19 mm	77
Figura 13	- Curva granulométrica da borracha	78
Figura 14	- Processo de mistura dos materiais para confecção das argamassas mistas	81
Figura 15	- Modelo de câmera termográfica (lir e40) utilizada no trabalho	83
Figura 16	- Aparato de ativação com duas lâmpadas infravermelho	87
Figura 17	- Imagem do medidor de umidade usado no trabalho	88
Figura 18	- Imagem do termo higrômetro utilizado no trabalho	89
Figura 19	- Tubos de Karsten utilizados nos ensaios	89
Figura 20	- Caixa de armazenamento dos corpos de prova com a sílica	

	gel azul no fundo	90
Figura 21	- Procedimento do ensaio de absorção por capilaridade	93
Figura 22	- Procedimento do ensaio de secagem	94
Figura 23	- Imagem ilustrativa do local dos ensaios	97
Figura 24	- Execução do ensaio de termográfico	99
Figura 25	- Aferição de umidade do corpo de prova com a malha auxiliar	100
Figura 26	- Utilização dos tubos de Karsten adaptados em corpo de prova	101
Figura 27	- Síntese das atividades experimentais	104
Figura 28	- Gráfico da taxa de absorção por imersão comparados com Pagoto (2018)	109
Figura 29	- Gráfico da absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	111
Figura 30	- Resultados dos ensaios de absorção por capilaridade de Kurtz et al. (2018)	113
Figura 31	- Seção transversal esquemática de um material poroso: "a" poro fechado "b", "c", "d", "e" e "f" poro aberto	116
Figura 32	- Gráfico do percentual de água evaporada pelo ensaio de secagem	117
Figura 33	- Porcentagem de ganho de massa após 1 minuto de contato com a água	119
Figura 34	- Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem	120
Figura 35	- Gráfico com a médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 1 minuto de contato	121
Figura 36	- Termogramas em 1 minuto, 30 minutos e 48 horas durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 1 minuto de contato	122
Figura 37	- Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (1 minuto)	123
Figura 38	- Gráficos de umidade com 1 minuto e 48 horas de secagem	124

Figura 39	- Porcentagem de ganho de massa após 1 hora de contato com a água	126
Figura 40	- Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem	127
Figura 41	- Gráfico com as médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 1 hora de contato	127
Figura 42	- Termogramas em 1 minuto, 30 minutos e 48 horas durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 1 hora de contato	128
Figura 43	- Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (1 hora – secagem passiva)	129
Figura 44	- Gráficos de umidade com 1 minuto e 48 horas de secagem	130
Figura 45	- Porcentagem de ganho de massa após 24 horas de contato com a água	132
Figura 46	- Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem	133
Figura 47	- Gráfico das médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 24 horas de contato	134
Figura 48	- Termogramas em 1 minuto, 30 minutos e 48 horas durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 24 horas de contato	135
Figura 49	- Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (24 horas – secagem passiva)	136
Figura 50	- Gráficos de umidade com 1 minuto e 48 horas de secagem	137
Figura 51	- Porcentagem de ganho de massa após 1 minuto de contato com a água e 5 min dentro do aparato de ativação	139
Figura 52	- Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem	140
Figura 53	- Gráfico das médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 1 minuto de contato	141

Figura 54	- Termogramas em 5 minutos, 30 minutos e 3 horas durante o ensaio de umidificação e secagem ativa –1 minuto de contato	142
Figura 55	- Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (1 minuto – secagem ativa)	143
Figura 56	- Gráficos de umidade com 5 minutos e 2 horas de secagem	144
Figura 57	- Porcentagem de ganho de massa após 1 hora de contato com a água e 5 minutos dentro do aparato de ativação	147
Figura 58	- Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem	147
Figura 59	- Gráfico das médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 1 hora de contato	148
Figura 60	- Termogramas em 5 minutos, 30 minutos e 3 horas durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 1 hora de contato	149
Figura 61	- Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (1 hora – secagem ativa)	150
Figura 62	- Gráficos de umidade com 5 minutos e 2 horas de secagem	151
Figura 63	- Porcentagem de ganho de massa após 24 horas de contato com a água e 5 minutos dentro do aparato de ativação	154
Figura 64	- Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem	154
Figura 65	- Gráfico das médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 24 horas de contato	155
Figura 66	- Termogramas em 5 minutos, 30 minutos e 3 horas durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 24 horas de contato	156
Figura 67	- Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (24 horas – secagem ativa)	157
Figura 68	- Gráficos de umidade com 5 minutos e 2 horas de secagem	158
Figura 69	- Gráfico da média de água absorvida no ensaio de absorção com tubos de karsten	167

Figura 70	- Gráfico da taxa média de absorção (ml/min) com tubos de Karsten	168
Figura 71	- Resultados dos ensaios de absorção pelo método do cachimbo	170
Figura 72	- Resultados dos ensaios de permeabilidade (tubos de Karsten) de Pinto, Fioriti e Akasaki (2014)	171
Figura 73	- Comparação dos resultados da taxa de absorção por tubos de Karsten e absorção por capilaridade	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Entradas e saídas do processo de recauchutagem de pneus	24
Tabela 2	- Tecnologia de destinação final e quantidade total de pneus inservíveis destinados (2016)	53
Tabela 3	- Ensaios médios físicos de referência do cimento CP II Z - 32	74
Tabela 4	- Ensaios médios de referência da cal hidratada CH - III	75
Tabela 5	- Composição granulométrica da areia	75
Tabela 6	- Composição granulométrica da borracha	78
Tabela 7	- Traços recomendados para argamassas de revestimento	79
Tabela 8	- Traços das argamassas mistas de revestimento	80
Tabela 9	- Parâmetros de proporção das argamassas mistas	81
Tabela 10	- Resultados de densidade de massa aparente no estado endurecido	105
Tabela 11	- Resultados de absorção de água por imersão	107
Tabela 12	- Comparação dos resultados dos ensaios de capilaridade com Kurz et al. (2018)	113
Tabela 13	- Comparação da absorção de água por capilaridade aos 2880 minutos com Pagoto (2018)	114
Tabela 14	- Comparação do resultado de capilaridade e secagem	118
Tabela 15	- Resultados de controle de massa passivo de 1 minuto de contato com a água	119
Tabela 16	- Resultados de controle de massa passivo de 1 hora de contato com a água	126
Tabela 17	- Resultados de controle de massa passivo de 24 horas de contato com a água	132
Tabela 18	- Resultados de controle de massa ativo de 1 min de	139

contato com a água

Tabela 19 - Resultados de controle de massa ativo de 1 hora de contato com a água 146

Tabela 20 - Resultados de controle de massa ativo de 24 horas de contato com a água 153

QUADROS

Quadro 1	- Síntese dos autores analisados	70
Quadro 2	- Síntese dos autores analisados com trabalhos em argamassas – objetivos e ensaios	72
Quadro 3	- Normas técnicas nacionais em vigência sobre termografia	84
Quadro 4	- Resumo dos ensaios de umidificação e secagem.	96
Quadro 5	- Relação do presente trabalho com o de Pagoto (2018).	104
Quadro 6	- Resumo dos resultados de controle de massa do processo de umidificação e secagem em ordem crescente	162

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	21
1.1.	OBJETIVOS	22
1.1.1	Objetivo geral.....	22
1.1.2	Objetivos específicos.....	22
1.2	JUSTIFICATIVA	23
1.3	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	27
2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	28
2.1	ARGAMASSA DE REVESTIMENTO.....	28
2.1.1	Breve histórico.....	28
2.1.2	Definição	29
2.1.3	Funções.....	30
2.1.4	Propriedades.....	30
2.1.5	Classificação.....	33
2.1.6	Camadas constituintes	34
2.1.7	Materiais componentes.....	35
2.2	COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO.....	39
2.2.1	Definição	39
2.2.2	Transferência de umidade em materiais de construção	39
2.2.3	Propriedades físicas e higrotérmicas	45
2.3	PNEUS	47
2.3.1	Breve histórico.....	47

2.3.2	Definição	47
2.3.3	Composição	48
2.3.4	Produção dos pneus	50
2.3.5	Legislação nacional.....	51
2.3.6	Correta destinação	52
2.3.7	Impactos no ambiente	53
2.3.8	Recauchutagem como tecnologia para reutilização	55
2.3.9	Compósitos cimentícios com incorporação de materiais não convencionais	58
3	MATERIAIS E MÉTODOS	73
3.1	MATERIAIS	73
3.1.1	Traço da argamassa	79
3.1.2	Equipamentos e aparatos para a realização dos ensaios.....	83
3.2	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	90
3.2.1	Densidade de massa aparente no estado endurecido	91
3.2.2	Absorção de água por imersão	91
3.2.3	Absorção de água por capilaridade	92
3.2.4	Ensaio de secagem	94
3.2.5	Processo de umidificação e secagem	96
3.2.6	Absorção com tubos de Karsten.....	101
3.2.7	Planejamento e síntese dos ensaios do programa experimental	104
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	106

4.1.	DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO	106
4.2	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO	108
4.3	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	111
4.4	ENSAIO DE SECAGEM	117
4.5	PROCESSO DE UMIDIFICAÇÃO E SECAGEM	119
4.5.1	Passiva – 1 min	120
4.5.2	Passivo – 1 hora	127
4.5.3	Passivo – 24 horas	133
4.5.4	Ativo – 1 minuto	139
4.5.5	Ativo – 1 hora	147
4.5.6	Ativo – 24 horas	154
4.5.7	Relação dos resultados dos ensaios passivos e ativos	161
4.6	ABSORÇÃO COM TUBOS DE KARSTEN	167
4.7	Cenário de redução de disposição final de borracha de pneus	175
5	CONCLUSÕES	177
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	180
	REFERÊNCIAS	182
	APÊNDICE A - Ensaio passivo 1 min de contato - Ensaio termográfico	192
	APÊNDICE B - Ensaio passivo 1 min de contato - Aferição de umidade	198

APÊNDICE C - Ensaio passivo 1 h de contato- Ensaio termográfico	204
APÊNDICE D - Ensaio passivo 1 h de contato - Aferição de umidade	210
APÊNDICE E - Ensaio passivo 24 h de contato - Ensaio termográfico	216
APÊNDICE F - Ensaio passivo 24 h de contato - Aferição de umidade	222
APÊNDICE G - Ensaio ativo 1 min de contato - Ensaio termográfico	228
APÊNDICE H - Ensaio ativo 1 min de contato - Aferição de umidade	234
APÊNDICE I - Ensaio ativo 1 h de contato- Ensaio termográfico	240
APÊNDICE J - Ensaio ativo 1 h de contato - Aferição de umidade	246
APÊNDICE K - Ensaio ativo 24 h de contato - Ensaio termográfico	252
APÊNDICE L - Ensaio ativo 24 h de contato - Aferição de umidade	258
APÊNDICE M - Ensaio de Capilaridade.....	264
APÊNDICE N - Ensaio de Secagem	265
APÊNDICE O - Ensaio de absorção com Tubos de Karsten.....	266

1. INTRODUÇÃO

O revestimento de fachada de uma edificação pode ser apresentado como a primeira camada de uma edificação que entra em contato com agentes externos, não possuindo apenas valor estético no sistema construtivo, mas também trabalhando principalmente na proteção da edificação com um todo. Logo, o estudo do comportamento de seus componentes construtivos conduz a um aperfeiçoamento, proporcionando maior durabilidade e conforto aos usuários (BARREIRA, 2004).

A água, tanto na forma de umidade como em seu contato direto com os revestimentos de fachada, é um dos agentes mais importantes na degradação das edificações. Com isso, pode-se associar a ela, os problemas relacionados à corrosão eletroquímica, deterioração química, aparecimento de manchas, descoloração dos acabamentos do edifício, alterações de volume por inchaço, encolhimento, expansão, deformações e fissurações (STRAUBE, 2002).

À vista disso, as propriedades higrotérmicas que estão relacionadas com transferência de calor e umidade são importantes na caracterização das argamassas de revestimento, pois se referem à sua durabilidade, estanqueidade, degradação e desempenho térmico (SANTOS, 2009).

Relacionando esse fator, entende-se que as argamassas convencionais já apresentam estudos consolidados e resultados válidos para seus comportamentos. Em contrapartida, pouca produção sobre o assunto se encontra presente quando materiais não-convencionais são empregados às matrizes cimentícias.

Dentro deste contexto, o material inservível de estudo para incorporação não convencional nas argamassas de revestimento será a borracha de pneus, que é oriunda do processo mecânico de recauchutagem. Este processo, alimenta o setor

dos transportes, gera resíduos provenientes da raspagem dos pneus e sua destinação é amplamente discutida em busca obstinada por alternativas que evitem o impacto ambiental dos mesmos, com seu descarte.

Portanto, o trabalho engloba uma alternativa sustentável de destinação da borracha de pneus entendendo a necessidade de estudos cada vez mais intensificados e específicos sobre as influências e características dessa incorporação não convencional, buscando aplicá-lo no sistema construtivo, especificamente na produção de argamassas de revestimento.

1.1. OBJETIVOS

Para o esclarecimento dos objetivos do presente trabalho, foram estabelecidos os objetivos gerais e específicos, apresentados a seguir.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral foi realizar um estudo sobre o comportamento à água de argamassas mistas de revestimento incorporadas com duas granulometrias de borracha de pneus (#1,19 mm e #0,60 mm), estudadas segundo a vertente da substituição parcial da areia nos teores de 10 e 20%, em volume, sendo que os traços e materiais empregados foram os mesmos utilizados por Pagoto (2018), sendo assim uma continuação dos estudos sobre os desempenhos perante a água.

1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, teve-se:

- Estudar as características gerais sobre a incorporação de borracha de pneus em compósitos cimentícios;
- Confeccionar corpos de prova de argamassas mistas de revestimento com a incorporação do material inservível, conforme traço estabelecido por Pagoto (2018);

- Executar ensaios que promovessem análises no que diz respeito à influência do seu contato com a água, após curado: (1) densidade de massa; (2) absorção de água por imersão; (3) absorção de água por capilaridade; (4) secagem; (5) processos de umidificação e secagem com acompanhamento da termografia infravermelha; (6) verificação da umidade (umidímetro); e (7) absorção com tubos de Karsten;
- Analisar os resultados obtidos, segundo a vertente do comportamento à água nos compósitos produzidos.

1.2 JUSTIFICATIVA

O aperfeiçoamento no campo construtivo tem assumido importância cada vez maior, uma vez que busca melhorar suas características, equacionando fatores como, qualidade, produtividade e redução de custos, juntamente com estratégias ecológicas e sustentáveis. O setor das argamassas constitui significativo interesse nos estudos de inovações, tanto em materiais quanto em novos processos, visto que é um dos principais produtos empregados no mercado da construção civil mundial.

Um dos exemplos de inovações no setor das argamassas é a utilização de novos materiais ditos como não-convencionais em sua confecção. Este fato está relacionado à realidade dos grandes centros, que com o esgotamento das jazidas de areia natural nas proximidades, o aumento do valor de transporte e a entrega do material, fomentam os estudos de busca de novas alternativas de substituição dos agregados às matrizes cimentícias (REVISTA AREIA E BRITA, 2019). Logo, a incorporação de novos materiais alimenta o viés sustentável, porque diminui a utilização de agregado miúdo natural e também porque busca substituí-lo por produtos inservíveis na sociedade. Um dos exemplos, e que é produto de estudo no presente trabalho, é o resíduo de borracha de pneus.

Com sua aplicação cada vez mais recorrente na construção civil, a borracha de pneu tem sua origem no processo mecânico de recauchutagem, que promove a

reforma e reconstituição de pneus usados por meio da substituição da banda de rodagem. Essa reforma produz o resíduo inservível do material e uma das preocupações incidentes sob este rejeito se dá pela quantidade de material para descarte (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2013). De acordo com a Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus – ABR, em 2017, mais de 11 milhões de pneus foram reformados, incluindo pneus provenientes de caminhões, ônibus, automóveis e maquinários agrícolas e industriais. Com todo esse setor gerando renda e ciclo de vida para o material de rolamento, o que também se gera com seu sucesso é uma maior quantidade de resíduos de borracha, provenientes de sua reforma. Acredita-se que mais de 16% da quantidade de pneus que são recauchutados tornam os denominados resíduos de borracha após a realização do processo. Este fator pode ser analisado por meio das informações obtidas por Pecnik (2008), em que apresenta em números as entradas e saídas do processo de recauchutagem, mostrando assim que dos 1147,2 kg de pneus, 188,7 kg de resíduos de borracha são gerados (Tabela 1).

Tabela 1. Entradas e saídas do processo de recauchutagem de pneus.

Entradas	Saídas	Quantidades	Unidades
Pneus usados	--	1000	kg
Borracha natural	--	11,3	kg
Borracha sintética	--	124,5	kg
Elettricidade	--	1859773,6	kJ
Negro de carbono	--	11,3	kg
Gás natural	--	12,6	kg
Plastificante (óleo lubrificante)	--	67,9	kg
Outros materiais	--	18,9	kg
--	Pneus recauchutados	1147,2	kg
--	Resíduos de borracha	188,7	kg

Fonte: Adaptado de Pecnik (2008)

Assim, o procedimento apesar de aumentar a durabilidade do produto de rolagem, gera a raspa de borracha, resíduo inservível para o sistema. Sua destinação é mundialmente discutida, uma vez que, a maioria dos produtos

derivados da borracha pós-consumo ainda são descartados como lixo, enterrados em aterros sanitários ou incinerados (MEDINA *et. al.*, 2018).

Logo, além da quantidade de material, seu correto descarte merece atenção por se tratar de um material que requer muitos anos para se degradar naturalmente. Diante do exposto, apresenta grande potencial de causar graves problemas ambientais, como a proliferação de doenças, risco de incêndios pelo seu alto poder calorífico e liberação de gases extremamente prejudiciais à saúde se não descartado corretamente. Por essas razões, seu impacto no meio ambiente se tornou foco de estudo para que se busque aplicações do mesmo em outros setores (FEIO, 2013; SILVA *et. al.*, 2019).

Pagoto (2018) cita algumas das aplicações dos resíduos de borracha de pneus na construção civil que podem servir como dreno, contenção, defesa da ação das mares nas praias, concreto de baixo desempenho, aplicação nas argamassas e concretos e pavimentação asfáltica, entre outros.

Especificamente se tratando da incorporação de borracha nas argamassas de revestimento, o que se pode notar, com os estudos sobre o tema, é que ela apresenta como vantagem principal os quesitos relacionados a queda na solicitação estrutural das edificações, consequência da baixa densidade da borracha e a melhora na trabalhabilidade (MENEGUINI, 2003). Outra vantagem constatada é o aumento da tenacidade e da capacidade de absorver energia de impacto, além de aumento na resistência a flexão (SHU; HUANG, 2014). Como desvantagem pode-se citar uma interação desfavorável com a matriz cimentícia, pelo seu caráter hidrofóbico, resultando em uma fraca adesão entre o material e a pasta de cimento. Essa característica se dá pelo fato da borracha ser feita de polímeros orgânicos de baixa energia superficial, causando uma interação hidrofílica-hidrofóbica desfavorável (MUNDO; PETRELLA; NOTARNICOLA, 2018).

Assim, focando nessa característica de baixa energia superficial de suas partículas que, por mais que diminua a adesão à pasta, pode por consequência, inibir a absorção de água dos compósitos e trazer vantagens se considerados que, uma vez que se tem uma menor absorção de água, por sua vez também acarreta numa maior durabilidade para a matriz cimentícia. Essa durabilidade pode ser exemplificada em casos de sua aplicação em locais de congelamento e descongelamento, também por sua capacidade de autolimpeza e resistência a pinturas e grafites (WEISHEIT *et. al.*, 2016). Neste sentido, Mundo, Petrella e Notarnicola (2018) apresentaram possibilidades desse caráter da borracha trazer vantagens para a argamassa de revestimento, mas que ela ainda necessita de trabalhos complementares para a sua aplicação. Logo, conforme Pagoto (2018), é necessário ampliar os conhecimentos das argamassas de revestimento quanto a sua melhoria ou declínio nas questões do comportamento à água.

A condição térmica, além da absorção de água por umidade, é outro fator de relevância para os estudos de incorporação de um novo material nos revestimentos de argamassa, uma vez que a maioria das manifestações patológicas dos elementos construtivos acontecem pela variação de temperatura. Ligada a isso, as argamassas de revestimento devem compor um estudo higrotérmico, que toma como base as relações do novo material com o calor e a água, pois trabalham fazendo a vedação da construção como um todo e a protege dos agentes externos (BARREIRA, 2004).

Pelo exposto, esse trabalho busca por meio de duas vertentes basear sua justificativa: a primeira pelo viés sustentável, pois busca com a pesquisa o incentivo à redução de utilização de recursos naturais, especificamente a areia natural e também estimular a utilização dos resíduos provenientes do processo de recauchutagem de pneus, que é um processo já consolidado; e a segunda diz sobre o comportamento à água das argamassas de revestimento incorporadas de borracha de pneus, visto que a borracha apresenta caráter hidrofóbico e entendendo que a literatura ainda pouco explorou o tema com clareza de resultados.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi desenvolvido baseando-se em normas vigentes e procedimentos técnicos, a fim de atingir os objetivos propostos. Dessa maneira cinco capítulos foram desenvolvidos.

Iniciando pelo capítulo dois, a revisão bibliográfica apresenta a base teórica do tema do trabalho, buscando referências nacionais e internacionais atualizadas sobre os revestimentos argamassados que utilizam a borracha de pneus, juntamente com todo histórico do material e características analisadas de aplicações desses resíduos nos compósitos cimentícios e estudos sobre o comportamento à água do material.

O capítulo três apresenta toda parte metodológica do trabalho, ou seja, quais materiais e métodos foram utilizados para que o objetivo pudesse ser atingido.

O capítulo quatro apresenta os resultados dos ensaios realizados e as discussões dos mesmos, para que no capítulo cinco se apresente as conclusões obtidas a partir de todas as análises feitas.

2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

2.1 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

2.1.1 Breve histórico

Por mais que os documentos iniciais de utilização da argamassa na construção civil datem de 10.000 anos, na pré-história (EUROPEAN MORTAR INDUSTRY ORGANIZATION – EMO, 2013), seu emprego como revestimento apareceu somente na Idade Média. As alvenarias eram utilizadas como vedação e elementos estruturais e eram revestidas com argamassa feita pela mistura de cal e areia. Essa mistura pode ser considerada proveniente do Egito, uma vez que os estudos apontam para os primórdios de um tipo de argamassa com adição de cal e/ou gesso. Esta pasta, conforme Ceotto, Banduk e Nakakura (2005), passou por evoluções com a invenção do cimento Portland, em que com sua adição, as argamassas passaram a ter mais resistência e mais aderência.

Pelo fato de antigamente, as paredes serem estruturais, todas as cargas eram distribuídas uniformemente em todo o conjunto de alvenaria/revestimento, mas com o surgimento do concreto e do concreto armado vieram as vigas e os pilares, e com seu uso, novas particularidades manifestaram, uma vez que as cargas passaram a ser desviadas horizontalmente, pelas vigas, até os pilares. Logo, novas características de resistência, trabalhabilidade e durabilidade foram sendo estudadas para o material (CEOTTO; BANDUK; NAKAKURA, 2005).

Estudos mostram que para parte da Grécia e para os romanos, a preparação para os revestimentos era feita de misturas compostas de cal, areia e água, ou ainda adicionavam gesso e o pó de mármore (BOLTSHAUER, 1963 *apud* SELMO, 1989).

No Brasil, já no início da colonização, os revestimentos argamassados eram frequentemente empregados com materiais de barro ou cal. Outro material utilizado,

que acreditava-se funcionar como aglomerante para a confecção de argamassa para assentamento, era o óleo de baleia (FILOMENO, 1993).

As argamassa sofreram evoluções, mas Barros e Sabbatini (2001) afirmaram que, no Brasil, o subconjunto de conhecimentos empíricos relativos à execução de argamassas era extenso, contraditório, inconcluso e não estava sistematizado, e que estes conhecimentos encontravam-se dispersos e eram geralmente transmitidos de forma oral entre os operários e técnicos que atuavam nos canteiros de obras. Logo, como todo conhecimento não sistematizado, ele se degrada, perdendo qualidade, sendo alterado pelos “ruídos” da comunicação oral, e sofrendo desgastes considerados importantes no seu conteúdo como decorrência natural da degradação na qualificação dos trabalhadores com estuque.

Sobre esse mesmo tema, Alves (2009) relatou, mais tarde, que apesar do desenvolvimento científico e tecnológico da engenharia, o preparo e a dosagem das argamassas de revestimento ainda são, em muitos casos, predominantemente baseados no empirismo e na tentativa, caracterizando o não surpreendente subdesenvolvimento do processo.

2.1.2 Definição

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT pela NBR 13529:2013 define os revestimentos de argamassa 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”.

O revestimento de argamassa compõe os edifícios e é utilizado para revestir alvenarias e lajes, e comumente ganham acabamentos que incluem não só a pintura, mas também revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros. É necessário que ele, através de suas propriedades, cumpra as suas funções e

auxiliar na vedação e proteção do edifício como um todo (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; CARASECK, 2017).

2.1.3 Funções

Maciel, Barros e Sabbatini (1998), destacaram as principais funções dos revestimentos de argamassa, são elas:

- Proteção da edificação: essa função é a de preservação dos elementos de vedação e da estrutura da edificação. Assim, assegura uma melhor proteção contra a deterioração dos elementos estruturais e das vedações, aumentando a durabilidade e vida útil;
- Vedação: ou seja, auxiliar a vedar o edifício pela sua capacidade de bloquear a água e estanqueidade ao ar, além de vedação térmica e acústica e funções de segurança contra ação do fogo. Caraseck (2010) apresenta valores dessa função de isolamento térmico em 30%, isolamento acústico em torno de 50% , estanqueidade à água de 70 a 100%;
- Regularização da superfície: função de proporcionar uma base regular e plana para que os novos revestimentos atuem de forma adequada;
- Acabamento final: proporcionando acabamento esteticamente agradável para os usuários.

2.1.4 Propriedades

Para o cumprimento adequado das funções expostas, o sistema de revestimento em argamassas deve apresentar um conjunto de propriedades específicas. Para isso, o material deve ser analisado tanto em seu estado plástico quanto no endurecido, para determinação de seu comportamento durante o uso. As principais propriedades a serem analisadas dentro do sistema, para o estado plástico são: massa específica; teor de ar; trabalhabilidade; retenção de água;

aderência inicial; e retração na secagem. Já para o estado endurecido as propriedades importantes são: aderência; capacidade de absorver deformações; resistência mecânica; e durabilidade (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998).

A massa específica diz respeito à relação entre a massa da argamassa e seu volume, podendo ser denominada de absoluta ou específica. A diferença entre elas é que na absoluta os vazios são desconsiderados no volume total de argamassa. Já o teor de ar está inversamente relacionado à massa específica. Assim, quanto maior seu valor menor a massa específica. Ele diz respeito à quantidade de ar existente na matriz cimentícia (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998).

A trabalhabilidade é outra propriedade de grande relevância. Ela apresenta valores positivos quando contem menor massa específica e maior teor de ar incorporado, o que confere características que ajudam no manuseio e sua aplicação nas construções (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998). Para Caraseck (2017) a trabalhabilidade diz respeito à facilidade com que as argamassas serão incorporadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em condições homogêneas e está diretamente ligada à outras propriedades, como: consistência; plasticidade; retenção de água; coesão; exsudação; densidade de massa; e adesão inicial.

A retenção de água é a capacidade do material reter água de amassamento contra a sucção da base que foi aplicada ou contra a evaporação muito acelerada. Alguns materiais incorporados à massa podem promover o retardo dessa perda de água, e por conseguinte promover uma cura otimizada (SANTOS, 2009).

Aderência inicial é outra propriedade de destaque para as argamassas de revestimento, pois promove a ancoragem da mesma na base, decorrente de superfícies porosas que permitem sua entrada nas pequenas aberturas. Com isso, a aderência depende de fatores como outras características da argamassa no estado fresco, características da base a ser aplicada, condições de limpeza, entre outros

(MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998). A aderência no estado endurecido também é relevante, já que é a propriedade que permitirá o revestimento absorver tensões normais e/ou tangenciais na superfície de interface com a base (SELMO, 1989 *apud* TERRA, 2001).

Retração da secagem diz respeito às reações causados nos aglomerantes, com relação à perda de água de amassamento, causando retração das argamassas. Pode provocar fissuras nos revestimentos durante esse processo (SANTOS, 2008).

Maciel, Barros e Sabbatini (1998) descreveram, dentro das propriedades, a permeabilidade. Essa propriedade deve ter destaque, visto que está relacionada ao caminho que a água faz pelo revestimento de argamassa, que, por ser um material poroso, possibilita o trânsito da mesma, estando ela no estado líquido ou na forma de vapor. Esta propriedade está intimamente relacionada à base em que o revestimento foi aplicado. Assim, um revestimento de melhor qualidade é aquele que é estanque à água, ou seja, impede sua percolação entre o sistema. Em contrapartida é recomendável que ele seja permeável ao vapor, pois favorece sua secagem com mais rapidez. O mesmo raciocínio é apresentado por Terra (2001), que também considera que os revestimentos argamassados de fachada devem evitar a penetração da água, mas permitir a eliminação por evaporação da água infiltrada.

Capacidade da argamassa de absorver de deformações é uma propriedade importante pois está sujeito a um considerável campo de solicitações e assim deverá absorvê-las sem sofrer fissurações ou deformações que possam prejudicar seu desempenho, sobretudo referente à sua aderência e estanqueidade (PENACHO, 2012).

A resistência mecânica das argamassas diz respeito à sua capacidade de resistir aos esforços na qual ela será solicitada, sendo esforços de tração, cisalhamento e/ou compressão. É uma propriedade importante para ser levada em

consideração no processo de produção para argamassas de revestimento, pois ela deve suportar as tensões no sentido de evitar a fissuração e outras manifestações patológicas (FREITAS, 201).

As argamassas também devem ser duráveis, ou seja, atender de forma efetiva suas funções, cumprindo as exigências de estanqueidade e proteção, sem apresentar deficiências durante sua vida útil (LUCAS, 2015).

2.1.5 Classificação

Segundo Carasek (2010), as argamassas podem ser classificadas:

Quanto a natureza do aglomerante:

- Argamassa aérea;
- Argamassa hidráulica.

Quanto ao tipo de aglomerante:

- Argamassa de cal;
- Argamassa de cimento;
- Argamassa de cimento e cal;
- Argamassa de gesso;
- Argamassa de cal e gesso.

Quanto a consistência da argamassa:

- Argamassa seca;
- Argamassa plástica;
- Argamassa fluída.

Quanto à plasticidade da argamassa:

- Argamassa pobre ou magra;
- Argamassa média ou cheia;
- Argamassa rica ou gorda.

Quanto a densidade de massa da argamassa:

- Argamassa leve;
- Argamassa normal;
- Argamassa pesada.

Quanto à forma de preparo ou fornecimento:

- Argamassa preparada em obra;
- Mistura semipronta para argamassas;
- Argamassa industrializada;
- Argamassa dosada em central.

2.1.6 Camadas constituintes

O sistema de revestimento pode ser composto por uma ou mais camadas, sendo elas: emboço e reboco ou camada única, aplicados sobre a base chapiscada. A seguir tem-se o detalhamento das camadas que comumente constituem o revestimento argamassado.

- Substrato

O substrato é composto pelo chapisco e emboço, sendo a superfície que receberá as camadas que constituem o revestimento propriamente dito. Essa camada pode ser executada de diversas maneiras, variando materiais e técnicas, mas sempre levando em consideração as solicitações calculadas anteriormente no projeto e que apresente as propriedades de resistência mecânica, capacidade de deformação, estanqueidade, resistência contra as ações do fogo e de textura superficial, compatibilizando estas características com o revestimento que será utilizado. Além de que, vale lembrar que o substrato é influenciado pela base em que será aplicado, assim, as características superficiais dos componentes da alvenaria ou do concreto devem ser analisadas juntamente com às condições de exposição do substrato (FLAIN, 1995 *apud* ROSCOE, 2008).

- Chapisco

Essa camada é o preparo da base, constituída de cimento, areia e aditivos, tem como função a redução ou auxílio na tendência do substrato de absorver água da camada de regularização, além de garantir maior ancoragem do emboço à base (ROSCOE, 2008).

- Emboço

O emboço é, na maioria das vezes, o constituinte mais espesso do revestimento, apresentando aderência e textura para a aplicação a nova camada seguinte (CANDIA; FRANCO, 1998). Segundo a ABNT NBR 13529:2013 o emboço é a *“camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou do chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada”*.

- Reboco

O reboco é a segunda camada de revestimento e é utilizada para cobrir o emboço. Favorece uma superfície lisa e plana para receber o acabamento final. Apresenta espessura para uma camada lisa contínua e de acabamento (ALVES, 2018).

2.1.7 Materiais componentes

Os revestimentos de argamassa são comumente executados a partir de um ou mais aglomerantes minerais (cimento Portland e cal), materiais inertes e eventualmente aditivos (TERRA, 2001). A seguir é apresentado um resumo sobre cada material componente nas argamassas de revestimento.

- Cimento

O cimento Portland pode ser descrito como um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece quando reage com a água e após sua cura, mesmo que volte a ter contato com a água, não se transforma mais.

Ademais, tem a característica de tomar formas e volumes de acordo com as necessidades (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP [entre 2015 – 2019]).

A ABCP ([entre 2015 – 2019]) também apresenta a composição do aglomerante cimento, sendo ela basicamente de clínquer e adições. O clínquer é o elemento principal deste material e está presente em todos os tipos de cimento. As adições para o material são incorporadas durante o processo de moagem e promovem novas características ao material.

Para Terra (2001) os cimentos usados para a confecção de argamassas de revestimentos apresentam a função de:

- Proporcionar ótimas resistências, associando assim à maiores durabilidades;
 - Apresentar características que dão maiores qualidades do que a cal aérea usada unicamente;
 - Ser um produto mais homogêneo e de fácil utilização.
- Cal

A cal era o aglomerante mais utilizado antes da descoberta e popularização do cimento (TERRA, 2001). Ela pode ser definida 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*”, de acordo com a ABNT NBR 7175:2003.

Em seu estado plástico proporciona maior trabalhabilidade e produtividade na execução do revestimento. Outrossim, sua adição promove a retenção de água e assim menor perda da mesma no material (CINCOTTO; CARNEIRO, 1999).

- Agregados

Os agregados representam 60 a 80% de todo volume da argamassa, por isso merecem destaque e atenção de escolha. Influenciam diretamente no comportamento da argamassa no estado plástico, bem como no desempenho do revestimento. O agregado mais comum para utilização é a areia natural adquirida por leitos de rios, com sua constituição de quartzo, na maioria das vezes (TEMP, 2014).

A ABNT NBR 9935:2011 define a areia usada na confecção de argamassas como um agregado miúdo originado de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou ainda proveniente de processos industriais.

Terra (2001) apresentou um conjunto de características que os agregados usados para confecção de argamassa de revestimento devem apresentar, são eles:

- Forma, dimensões extremas e granulometria adequada às utilizações previstas;
- Não apresenta alteração em contato ao ar, à água e a outros agentes externos;
- Compatibilidade química com o aglomerante e com outros constituintes da argamassa;
- Resistência mecânica adequada;
- Resistência mecânica à erosão;
- Sem a presença de substâncias nocivas (matéria orgânica, partículas moles, demasiado finas, entre outros).

Alves (2018) considera que a areia incorporada à argamassa apresenta como função formar um “*esqueleto sólido*” que evita uma parte das variações de volume em razão da secagem e assim, evitando possíveis fissurações da peça argamassada.

- Água

A água usada para o amassamento da argamassa não deve conter matéria orgânica e resíduos em suspensão. Se for armazenada deve ser mantida em caixas estanques e protegidas para evitar contaminação por substâncias externas. Toda água dita potável pode ser considerada adequada para o uso em argamassas (TEMP, 2001).

- Aditivos

Os aditivos devem ser usados somente se comprovadamente não exercerem nenhuma influência nociva sobre o revestimento, nem sobre os acabamentos e pinturas do mesmo. Orienta-se que estudos prévios sejam realizados para entender seu comportamento em relação aos outros materiais usados (ABNT NBR 7200:1998).

Os principais aditivos usados são os redutores de água, os plastificantes, os retentores de água, os retardadores de pega, os aceleradores de endurecimentos, os incorporadores de ar, os anticongelantes, os redutores de permeabilidade, fungicidas, bactericidas, inseticidas e os pigmentos (TERRA, 2001).

- Materiais não-convencionais

A emergente preocupação com a sustentabilidade e preservação ambiental levou um aumento de utilização de novos materiais ditos não-convencionais, que são resíduos inservíveis no seu ciclo e na sociedade (PITEIRA, 2015).

Neno (2010) afirmou que os efeitos gerados pelo homem à natureza são uma preocupação constante, e por esse motivo pesquisadores vêm estudando maneiras de incorporar os resíduos na construção civil, considerado um sistema que usa grande quantidade de material em todo o mundo.

Materiais não convencionais, entre outros, que podem ser exemplos de novas incorporações estudadas nas argamassas são:

- Fibra de polipropileno (CENTOFANTE; DAGOSTINI, 2014);
- Cinzas pesadas (SANTOS, 2006);
- Finos de vidro (PENACHO, 2012);
- Bagaço de cana-de-açúcar (MARTINS FILHO *et. al.*, 2019);
- Descarte da indústria cerâmica (COSTA, MARTINS, BALDO, 2007)
- Borracha de pneus (CANOVA; BERGAMASCO; NETO, 2007; NENO, 2010; PEDRO, 2011; CINTRA; PAIVA; BALDO, 2014; PINTO; FIORITI; AKASAKI, 2014; ANGELIN *et. al.*, 2015, PITEIRA, 2015; KURZ; PALIGA; TORRES, 2018; PAGOTO, 2018; PHAM; TOUMI; TURATSINZE, 2018; MUNDO; PETRELLA; NOTAMICOLA, 2018).

2.2 COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

2.2.1 Definição

O comportamento higrotérmico pode ser entendido como o conjunto de propriedades relacionadas à transferência de calor e umidade e determina o desempenho que as construções apresentarão quando sujeitas a ações oriundas do clima e condicionadas pelo envolvente (SANTOS, 2009).

Sua análise sob as argamassas de revestimento tem importância visto que relaciona diretamente com a durabilidade, a estanqueidade, a degradação e o desempenho térmico do sistema. Por conseguinte, sua compreensão é primordial para que se evite danos provocados pela presença de umidade e deficiências energéticas nas construções (SANTOS, 2006).

2.2.2 Transferência de umidade em materiais de construção

Segundo Thomaz (1989), os materiais de construção têm acesso à umidade desde seu processo de produção até a execução da obra e vida útil da construção. O autor divide essas vias de acesso de umidade uma vez que considera que durante a fabricação dos elementos construtivos, é necessário a adição de água para que as

reações químicas de hidratação ocorram, assim, ela permanece no interior dos componentes até evaporar e promover a contração do material. Na execução, o contato com a umidade acontece pela prática de se adicionar água para auxiliar no processo de cura das argamassas e concretos aplicados. Já na vida útil da edificação, o contato com a umidade acontece através da umidade do ar e do solo e ações de chuva.

Levando em consideração que a transferência de umidade ocorre durante toda a vida útil do material (BAROGHEL *et. al.*, 1999) e estando as argamassas expostas às condições climáticas, o estudo do comportamento da transferência de umidade de um material pode ser considerado um dos fatores que trará o entendimento do comportamento higrotérmico do mesmo (FREITAS, 1992).

Entende-se também que, estudos em revestimentos de paredes apresentam uma complexidade por estarem expostas a condições variáveis como umidade relativa do ar, temperatura, precipitações, radiação solar e vento. Mas basicamente, os mecanismos que regem o transporte da umidade numa parede ocorrerem tanto na forma de vapor como na fase líquida (FREITAS, 1992):

- Fase de vapor: ocorre a difusão e os movimentos convectivos no interior dos poros do material e condicionam o transporte da umidade;
- Fase líquida: nela a capilaridade, a gravidade e o efeito dos gradientes de pressão externas comandam a transferência de umidade.

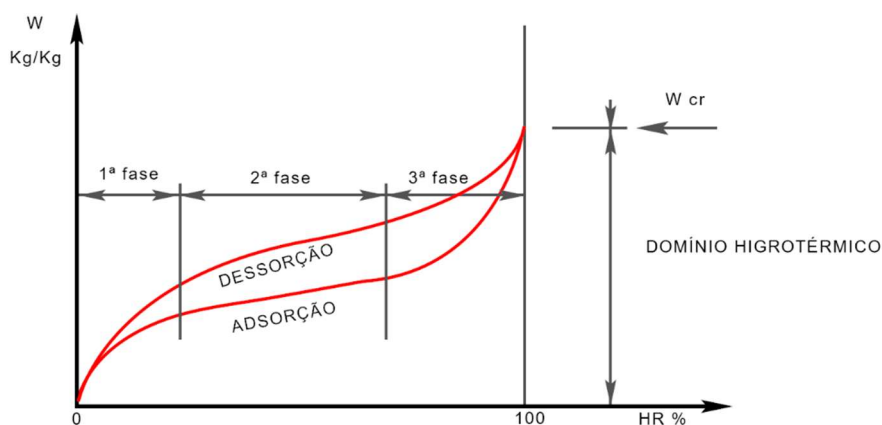
Além do transporte, os mecanismos de fixação dessa umidade no interior do material devem ser explanados pois permitem entender a variação do teor de umidade nos elementos porosos usados para revestimentos. São três tipos fundamentais de mecanismos de fixação de umidade: a adsorção, a condensação e a capilaridade (FREITAS, 1992).

- Adsorção

Neste processo o que se analisa é a capacidade de um material poroso variar o seu valor de umidade de acordo com a variação de umidade relativa existente no ar. Ou seja, nota-se que um aumento na umidade do material pela ação a umidade relativa, denomina-se adsorção. E quando ocorre sua diminuição, considera-se como fenômeno de dessorção (SANTOS, 2006).

Este fato é conferido pelas forças intermoleculares (forças de Van der Waals) que atuam na interface sólido-fluido no interior dos poros. A Figura 1 representa graficamente o fenômeno de adsorção e dessorção.

Figura 1. Variação do teor de umidade de um material poroso em função da umidade relativa do ar.

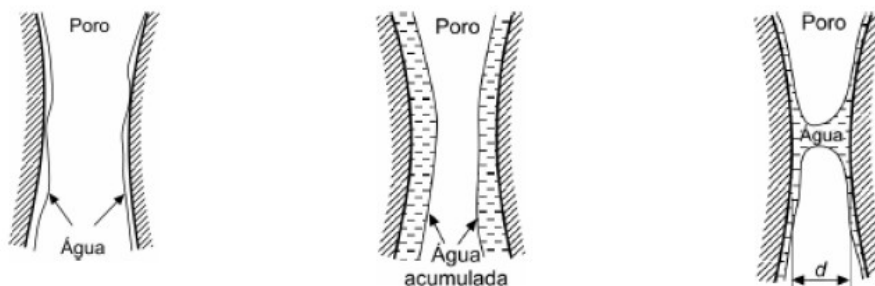


Fonte: Adaptado de Freitas (1992).

O que se entende é que a variação do teor de umidade de um material poroso (W) em função da umidade relativa do ar (HR) ocorre em três fases. Numa primeira fase o que acontece é a fixação de uma camada de moléculas de água superficialmente no interior dos poros (absorção molecular). Para a segunda fase, chamada de absorção plurimolecular, ocorre a deposição de várias camadas de moléculas. Quando o diâmetro dos poros é consideravelmente pequeno há a junção das camadas plurimoleculares, formando assim a terceira fase, denominada condensação capilar. Este fenômeno interno pode ser visualizado na Figura 2, em

que se apresenta as três fases de fixação de água ao nível de um poro (FREITAS, 1992).

Figura 2. Etapas da fixação de água por adsorção ao nível de um poro



Fonte: Ramos (2007)

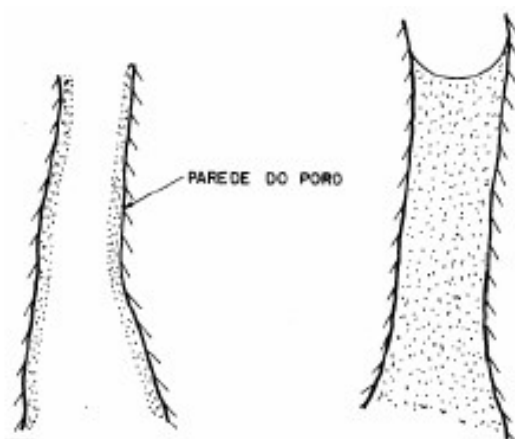
O que se entende é que o nível de higroscopicidade dos materiais de construção podem variar em vários graus, sendo, portanto, classificados em dois grupos (FREITAS, 1992):

- Materiais higroscópicos: quando o material apresenta uma quantidade considerável de água adquirida pela adsorção;
 - Materiais não higroscópicos: quando a sua massa é praticamente constante qualquer que seja a umidade relativa do ar. Ou seja, o processo de fixação da umidade por adsorção não ocorre.
- Condensação

A condensação pode ser compreendida pela forma adsorvida e pela capilar (Figura 3). A condensação adsorvida é a formação de camadas de moléculas uma vez que condensam sobre a superfície dos poros. Essa formação vai variar de acordo com a superfície específica do meio poroso e da afinidade entre o vapor d'água e a matriz sólida, além das condições higrotérmicas. Já a condensação

capilar é a fase continua de líquido, ou seja preencherá a totalidade do poro do meio analisado (SANTOS, 2009).

Figura 3. Modos de condensação: água adsorvida e água capilar, respectivamente.



Fonte: Fernandes (1990).

Fernandes (1990) por meio da análise destes dois modos de condensação em argamassas, verificou que existindo poros com dimensões que possibilitam a condensação capilar a partir de valores médios de umidade relativa, implicam em um aumento significativo de umidade, fazendo com que a argamassa apresente uma grande capacidade de reter água após curada.

Além destes dois mecanismos de fixação, os mecanismos de transporte da umidade nos materiais de construção também devem ser explanados. Para Nappi (2002) o transporte da umidade é caracterizado pela permeabilidade que é o fenômeno de movimentação da água pelo interior do material, através de seus poros, sendo assim, intimamente ligado ao grau de porosidade e fissuras existentes. Sentone (2011) classifica a permeabilidade como um fluido transportado por um meio poroso, sendo impulsionado por um gradiente de pressão entre material e meio externo e considera que ela é uma das principais referências para a durabilidade e vida útil dos materiais cimentícios, principalmente. A transferência da água pela

permeabilidade ocorre na fase líquida, pela capilaridade e na fase de vapor, pela difusão.

- Capilaridade

A capilaridade pode ser entendida como uma consequência de tensão superficial que é uma a tendência dos líquidos de subir pelas paredes de tubos capilares (tubos muito finos) (SANTOS, 2006). Ela ocorre quando um material é posto em contato com água em fase líquida. Este fenômeno resulta de propriedades particulares de umidificação das incorporações sólidas, gerando interfaces curvas entre o fluido (água) e o ar contido no interior dos poros (FREITAS, 1992).

Para Ouzit (1999) *apud* Paes (2004) a absorção por capilaridade é um fenômeno que se processa rapidamente e que, após penetrar por capilaridade até uma profundidade, a água só poderá continuar penetrando por difusão e não mais por absorção capilar. Diante do exposto, a capilaridade continuará caminhar se a pressão de sucção for suficiente para que haja difusão de água na região já saturada. Logo, uma estrutura de poros que tenha uma difusividade baixa acarretará num transporte controlado por difusão e não mais pela capilaridade.

- Difusão

É a tendência espontânea das moléculas migrarem de uma região de maior concentração para uma de menor concentração até o sistema entrar em equilíbrio. Este transporte só acontece se o destino estiver vazio e se os átomos migrantes tiverem energia para quebrar as ligações e causar o movimento de arraste (SENTONE, 2011).

Os mecanismos de secagem da umidade nos materiais diz respeito ao processo em que a água deixa o material poroso e numa escala macroscópica, pode ser

descrita como um processo trifásico (SHERWOOD, 1929, SCHERER, 1990 *apud* GONÇALVES 2007).

Estágio 1: no interior do material que está saturado ocorre o transporte da água líquida para a superfície externa (transporte pelos capilares), nesta superfície ocorre a evaporação até o material atingir uma taxa constante de distribuição homogênea de umidade.

Estágio 2: Quando o fluxo capilar que ocorre na primeira fase, deixa de fornecer água suficiente para compensar a evaporação que está ocorrendo na superfície, o material tende a recuar para o interior do material, caracterizando a segunda fase que se encerra quando a continuidade da água nos capilares finaliza pela evaporação.

Estágio 3: A difusão de vapor controla o transporte de umidade em todo o material para sua secagem que neste momento está praticamente seco, mas com alguns aglomerados de líquido nos poros menores.

2.2.3 Propriedades físicas e higrotérmicas

Para o estudo do comportamento a água, Santos (2006) apresentou algumas propriedades físicas e higrotérmicas que devem ser compreendidas e serão explanadas a seguir:

- Massa seca;
- Massa específica aparente;
- Porosidade aberta;
- Distribuição e tamanho dos poros;
- Cinética de secagem.

- Massa seca

A massa seca é uma investigação que tem forte dependência com o processo de secagem aplicado, logo, o estado “seco” é uma definição relativa ao método de secagem adotado. Além do mais, influi diretamente na determinação da massa específica aparente, da porosidade e do conteúdo de umidade.

- Massa específica aparente

Este parâmetro é relevante no estudo das argamassas, pelo fato de correlacionar seu valor com a condutividade térmica dos materiais cimentícios, com a porosidade e com o conteúdo de umidade na saturação.

- Porosidade aberta

A porosidade aberta de uma argamassa faz com que esteja suscetível à ação de agentes agressivos, afetando as propriedades de transporte e durabilidade das mesmas.

- Distribuição e tamanho dos poros

A distribuição e tamanho dos poros ditam as propriedades físicas dos materiais e a sua capacidade de permeabilidade. Assim, poros que formam capilares maiores que 50 nm são considerados mais prejudiciais ao transporte de massa, enquanto os menores que 50 nm interferem mais na retração e na fluência. Os poros isolados influenciam a resistência da argamassa, mas não a permeabilidade e a ação de penetração de agentes externos (SANTOS, 2006).

- Cinética de secagem

Para as argamassas de revestimento este fator tem grande importância, já que quando diretamente exposto à ação das chuvas e à alta presença de umidade nestes elementos construtivos propicia a degradação do material e aparecimento de anomalias.

2.3 PNEUS

2.3.1 Breve histórico

A Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP ([entre 2013-2017]) apresenta o histórico dos pneus, datados do século XIX e que passaram por inúmeras mudanças até chegar na tecnologia atual. Seu início se deu por Charles Goodyear, em 1830, quando descobre acidentalmente o processo de vulcanização da borracha, uma vez que confirmou que a borracha cozida em altas temperaturas e em contato com o enxofre, mantinha suas condições de elasticidade no frio e no calor. Mais tarde, em 1845, os irmãos Michelin patentearam o primeiro pneu para automóvel. A câmara de ar incorporada aos pneus, foi inserida dois anos depois, em 1847, pelo inglês Robert Thompson, patenteando assim o pneu pneumático.

No Brasil, as atividades da indústria pneumática tiveram início em 1936, com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha – Pneus Brasil, com sede no Rio de Janeiro. Entre 1938 a 1942, os maiores fabricantes mundiais, juntamente com empresas nacionais passaram a produzir e investir no material no país. Nos anos 1960, o Sindicato Nacional da Indústria de Pneumáticos, Câmaras de ar e Camelback – SINPEC e a ANIP foram fundadas. De 1970 a 1999, grandes empresas se associam e se instalam no país, resultado de uma crescente de uso do material. Pelo grande uso e descarte do material, em 1999, se inicia o Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis, em conformidade com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Resolução nº 416/2009. Atualmente o país conta com onze empresas associadas à ANIP, em torno de vinte fábricas, em sua maioria nas regiões Sul e Sudeste (ANIP, [entre 2013-2017]).

2.3.2 Definição

A Resolução do CONAMA nº 416/2009 define o pneu como um “*componente de um sistema de rodagem, constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais, que quando montado em uma roda de veículo é responsável por*

sustentar elasticamente a carga do mesmo e resistir à pressão provocada pela reação do solo”.

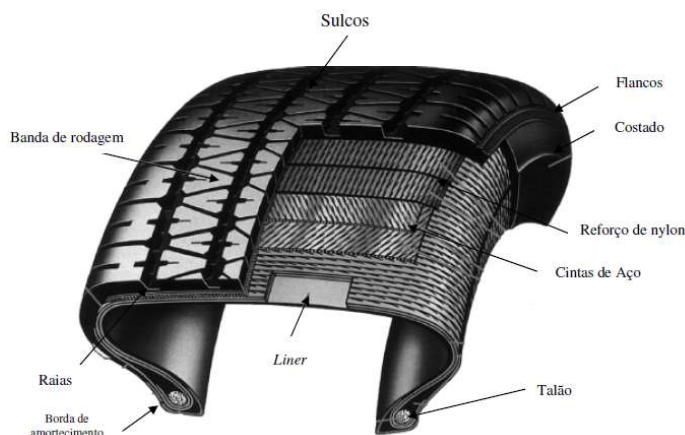
Essa mesma Resolução nº 416/2009 do CONAMA estabelece a diferença entre pneu novo, reformado e inservível:

- Pneu novo é aquele que não sofreu qualquer uso, reforma, dano ou envelhecimento;
- Pneu reformado é um pneu usado que passou por processo de reutilização da carcaça (recapagem, recauchutagem ou remodelagem);
- Pneu inservível é um pneu usado que possui danos irreparáveis e não atende mais as funções básicas.

2.3.3 Composição

O pneu é um composto de vários materiais com propriedades muito diferentes, e que exige uma fabricação de grande precisão. Para Lagarinhos (2011) a composição dos pneus é dividida entre: banda de rodagem, costado, ombros, talões, tecidos, cintas, amortecedores, liner, antifricção, cobre talão e sub-banda de rodagem (Figura 4). Estes componentes serão detalhados a seguir (LAGARINHOS, 2011):

Figura 4. Composição das camadas de um pneu



Fonte: Rodgers e Waddel (2005) *apud* Lagarinhos (2011).

- A banda de rodagem é a composição de uma mistura de copolímero de estirenobutadieno, borracha natural e borracha de polibutadieno, negro de fumo, sílica, óleos, aceleradores, pigmentos e outros produtos químicos. Ela é formada por blocos, raias, sulcos e lâminas. Os blocos são a parte do material que efetivamente tocam o solo no momento da rodagem e garantem a tração e a frenagem do pneu. As raias formam um conjunto de blocos longitudinais, responsáveis pelo sentido longitudinal do pneu. Os sulcos são canais entre as raias e trabalham principalmente com o resfriamento da peça;
- O costado é a parte do contorno do pneu, entre os talões e o ombro, e apresenta resistência à flexão, rachaduras, impactos, fricções e fadiga. Seu tecido é composto de nylon ou aramida;
- Os ombros são as partes superiores do costado, embaixo da borda da banda de rodagem. Suas dimensões e modelos afetam a transferência de calor;
- Os talões, ou seja, as cordoalhas de aço de alta resistência formadas em aros inextensíveis que têm a função de ancorar as lonas e prender o conjunto no aro da roda. Ele é revestido com uma borracha sintética, garantindo flexibilidade e resistência;

- Os tecidos são lonas que formam a camada e estendem de talão a talão, definindo a carcaça do pneu. Podem ser de poliéster e rayon, é calandrado e tem como função suportar a pressão interna e prender o pneu no aro;
- Cintas são camadas de cabo de aço de alta resistência impregnados com borracha, montadas abaixo da banda de rodagem do pneu. São menores em ângulo que as lonas da carcaça;
- Amortecedores em pneus de lona oblíqua parecem ser iguais as cintas, mas possuem quase o mesmo ângulo da carcaça. Sua função é acrescentar volume e amortecimento na área da banda de rodagem. Seu material é nylon;
- Liner é uma fina camada de borracha butílica. É usada em pneus sem câmara de ar e aplicado na parte interna para fazer vedação interior e evitar perda de ar;
- Antifricção é um conjunto de tiras estreitas colocadas na parte externa do talão para proteger a lona contra desgaste. Ajuda também a distribuir a flexibilidade acima do aro e impedir a penetração de umidade e sujeira dentro do pneu;
- Cobre talão é o tecido de reforço ao redor do arame do talão, utilizando para prendê-lo à carcaça;
- Sub-banda de rodagem fica localizada entre a parte externa dos sulcos e a interna da lona ou cinta superior.

2.3.4 Produção dos pneus

A produção de pneus consiste em seis processos básicos. Primeiramente ocorre a mistura dos polímeros, negros de fumo e outros componentes químicos utilizados. Após este processo ocorre a construção de tecidos de engenharia e arames de aço com cobertura de borracha. O próximo processo é a extrusão de bandas de rodagem, costados e outros componentes de borracha, ocorrendo logo após, a montagem dos componentes na máquina de construção de pneus. A vulcanização dos pneus sob temperatura e pressão ocorre concomitante à

montagem e sua finalização é feita por meio de inspeção, testes, estocagem e embarque dos pneus para distribuição (LAGARINHOS, 2011).

2.3.5 Legislação nacional

A legislação nacional que dispõe sobre os pneumáticos é a já citada Resolução do CONAMA nº 416/2009. Disponibilizada pelo Ministério do Meio Ambiente, diz respeito à destinação ambientalmente correta dos pneus inservíveis para que assim se evite a degradação ambiental com o descarte incorreto.

Para isso, a Resolução determina que os fabricantes e importadores de pneus novos devem coletar e destinar adequadamente os pneus inservíveis presentes dentro do território nacional. Para isso, eles devem incorporar pontos de coleta em municípios acima de 100 mil habitantes.

De acordo com a RECICLANIP – órgão da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos –, criada em 2007 para atender os requisitos da resolução do CONAMA, somente no estado de São Paulo são mais de 400 pontos de coleta de pneus, sendo um deles localizado na cidade de Presidente Prudente, no Distrito Industrial.

A Resolução do CONAMA nº 416/2009 também estabelece que para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras devem dar destinação adequada a um pneu inservível (relação 1:1). O cálculo da meta de destinação dos pneus comercializados é feito por meio da conversão em peso, considerando 30% de desconto, pelo fato de desgaste do pneu novo. Com isso, a conta para o mercado de reposição de pneus é resultante da seguinte Equação (1):

$$MR=(P+I) - (E-EO) \quad (1)$$

sendo: MR – Mercado de Reposição; P – Total de pneus produzidos; I – Total de pneus importados; E – Total de pneus exportados; EO – Total de pneus que equipam veículos novos.

2.3.6 Correta destinação

As tecnologias para a correta destinação que estão sendo praticadas pelas empresas, consideradas ambientalmente adequadas, são apresentadas no Relatório de Pneumáticos de 2017 do IBAMA (BRASIL, 2017), sendo:

- Coprocessamento: consiste em utilizar os inservíveis em fornos de clínquer como substituto parcial de combustíveis e fonte de elementos metálicos;
- Laminação: processo de fabricação de artefatos de borracha;
- Granulação: processo industrial de fabricação de borracha moída, em diferentes granulometrias, com separação e aproveitamento do aço;
- Pirólise: a partir do processo de decomposição térmica da borracha, conduzido na ausência ou baixa concentração de oxigênio para não causar combustão, gerando óleos, aço e negro de fumo.

O IBAMA (BRASIL, 2017), em seu relatório pneumático, apresenta as quantidades de pneus inservíveis destinados a cada tecnologia de existente. Os resultados de 2016 apontam que mais de 60% do produto é destinado ao coprocessamento, seguido pela granulação, laminação e pirólise. Os valores estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Tecnologia de destinação final e quantidade total de pneus inservíveis destinados (2016)

TECNOLOGIA	DESTINAÇÃO	PERCENTUAL/PAÍS
Coprocessoamento	297.168,80	60,23%
Granulação	133.940,43	27,15%
Laminação	56.945,41	11,54%
Pirólise	5.344,49	1,08%
Regeneração da borracha	Não utilizado	0,00%
Industrialização do xisto		0,00%
Total	493.399,13	100%

Fonte: Brasil (2017).

A meta de destinação para o ano de 2017 foi de cerca de 587 mil toneladas, sendo que 99,5% dessa meta foi atingida ou seja, cerca de 585 mil toneladas de pneus com correta destinação, apresentando uma crescente se comparada com os dados da Tabela 2, em que no ano anterior obteve o valor de 493 mil toneladas (SILVA *et. al.*, 2019).

2.3.7 Impactos no ambiente

Por mais que os pneus usados estejam relacionados a frota de veículos de cada país, o problema da destinação final do produto é mundial e se buscam soluções para esta adversidade. A grande questão intrínseca a este assunto é o custo elevado dos processos de destinação apresentados anteriormente. A Confederação Nacional da Indústria – CNI apresentou, em 2011, que os gastos no ano chegaram a mais de 63 milhões para as destinações dos resíduos pneumáticos, sendo aproximadamente 36 milhões para o transporte deste resíduos, 16 milhões para a trituração e valoração energética e cerca de 10 milhões para o processo de granulação, laminação e extração do aço (SILVA *et. al.*, 2018).

Como os pneus são constituídos essencialmente de borrachas (naturais e sintéticas), que passam pelo processo de vulcanização, tornam seu proveito

complexo pois impossibilita a reversão deste processo e dificulta a separação dos componentes restantes da matriz molecular criada (PEDRO, 2011).

Deste modo, devido ao alto custo das destinações corretas, a falta de interesse comercial na reciclagem e da quantidade de pneumáticos inservíveis que se produzem, seu descarte indevido originou grandes depósitos a céu aberto, tornando uma ameaça para o ambiente e para a saúde pública. Estes problemas estão relacionados a fatores como:

- Redução da vida útil dos aterros sanitários decorrentes da baixa compressibilidade dos pneus, quando enterrados inteiros e de sua degradação muito lenta (D'ALMEIDA; VILHENA, 2000; SNYDER, 1986);
- Possibilidade de armazenamento de gases em seu interior quando aterrados na sua forma inteira, podendo flutuar e provocar a exposição do aterro a micro e macrovetores, bem como possibilitar a expulsão de gases para a atmosfera e o vazamento de líquidos tóxicos (LUND, 1993);
- Sujeitos a queima acidental ou mesmo provocada, pelo seu alto poder calorífico, causando a liberação de gases e fumaça com alto teor de substâncias tóxicas (FIORITI, 2007);
- Além destes problemas, o descarte em terrenos baldios ou em locais sem a correta destinação podem deixar os pneus expostos a ação das chuvas, causando acúmulo de água e tornando um local propício para que vetores de doenças, como o *Aedes Aegypti* que é transmissor da dengue, se proliferem (FIORITI, 2007).

Pelo exposto, medidas devem ser tomadas para mitigar os impactos ambientais causados pela destinação final inadequada dos pneus. Assim, é necessário planejamento para gerenciar o produto e tecnologia de diminuição de impacto. Uma das opções para se diminuir a quantidade de pneus descartados seria sua reciclagem.

2.3.8 Recauchutagem como tecnologia para reutilização

A recauchutagem é tida como uma reconstrução de pneus. No Brasil, a reforma de pneus não é vista pela Resolução CONAMA nº 416/2009 como uma atividade de destinação adequada, sendo considerada apenas uma forma de aumentar a vida útil dos pneus. Consequentemente, os processos de reforma têm por finalidade constituir um pneu usado, por meio da substituição da banda de rodagem e até muitas vezes, a substituição da superfície lateral externa do pneumático.

A recauchutagem é um dos métodos de reforma que consiste fundamentalmente em aproveitar a estrutura resistente do pneu gasto, desde que apresente condições para seu proveito e assim incorporar uma nova borracha de piso, ou seja, uma nova banda de rodagem para que assim possa voltar a rodar de forma segura (Figura 5). Esta operação faz com que o pneu volte com os mesmos comportamentos de um pneu original a custos muito inferiores (FIORITI, 2007). Acredita-se que cerca de 75% de economia possa ser garantida com o processo, seja em matéria prima poupada como em ganho energético, e consequentemente em poupança econômica e ambiental (FIORITI; INO; AKASAKI, 2010).

Figura 5. Pneu preparado para receber a nova camada de borracha.



Fonte: Netresíduos (2007) *apud* Fioriti; Ino; Akasaki, (2010).

Conforme Lagarinhos e Tenório (2008), o processo de recauchutagem pode ser feito a frio (considerado o método mais eficiente) e a recauchutagem a quente (que demanda menos espaço e maior ganho de produtividade). No primeiro processo são utilizados componentes de reparo e união da carcaça com a nova banda de rodagem, como o uso de uma lâmina fina de borracha entre as camadas e um cordão de borracha para preencher furos e danos estruturais do pneu velho. Já no processo a quente uma manta de borracha é utilizada juntamente com um molde para que ela tome forma da banda de rodagem desejada.

Segundo a Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus – ABR ([entre 2015-2019]), o processo de recauchutagem de pneus no Brasil, é uma atividade tradicional, por ser utilizada há mais de 60 anos, sendo o segundo maior país a se valer da técnica, ficando atrás somente dos Estados Unidos.. A entidade também divulgou dados de economia, apontando que os recauchutados

proporcionam uma queda de 73% dos gastos, se comparado com a compra de um pneu novo, além de possuir um rendimento de quilometragem bem semelhante.

Como desvantagem do sistema, Fioriti (2007) apresentou que a recauchutagem de pneus é uma fonte de geração de resíduos de borracha que são obtidos durante este processo mecânico. Por conseguinte, a raspagem da banda de rodagem gasta faz com que se gere o resíduo e este causa impacto negativo à cadeia, uma vez que seu depósito a céu aberto traz os mesmos riscos da disposição incorreta dos pneus inservíveis, como risco de incêndios e desenvolvimento de vetores nocivos à saúde (Figura 6).

Figura 6. Processo de recauchutagem que produz resíduo de borracha



Fonte: SILVA *et. al.* (2018)

Uma das opções para que se diminua o volume de resíduo inservível produzido no processo de raspagem, é através de sua incorporação em misturas à base de cimento Portland, pois o que se sabe é que além de auxiliar numa redução de material descartado no meio ambiente, proporcionará também propriedades

adequadas ou até mesmo vantajosas aos compósitos cimentícios convencionais (PAGOTO, 2018).

2.3.9 Compósitos cimentícios com incorporação de materiais não convencionais

A construção civil, além de possuir um significativo potencial de geração de resíduos, consome grandes quantidades de recursos naturais não renováveis todos os anos. Dessarte, uma maneira de utilizar resíduos diversos, dando uma destinação que substitui o uso de recursos naturais, é incorporando-os em argamassas e concretos. Para que isso ocorra sem prejuízos consideráveis ao sistema, deve-se intensificar os estudos dos usos e das propriedades dos novos materiais incorporados.

Entre os inúmeros resíduos que vêm sendo incorporados na construção civil, os pneumáticos inservíveis já se destacam há alguns anos. O estudo de sua incorporação em concretos se iniciou em 1993 com Eldin e Senouci e Ali *et. al.* Para as argamassas, os primeiros trabalhos publicados datam do mesmo ano, por Lee *et. al.* No Brasil foram publicados os estudos mais significantes em 1999-com Segre, e com Meneguini em 2003 (CANOVA; BERGAMASCO; ANGELIS NETO, 2007).

Contudo, com mais de 20 anos de estudos sobre o tema, o que se constatou foi que a borracha de pneus fragmentada (entre 0,1 a 5 mm de espessura) apresenta uma variedade de aplicação na engenharia civil, principalmente nas misturas de asfalto, por sua ótima interação química com os componentes. Com relação às matrizes cimentícias ainda trazem uma interação considerada não tão favorável. O motivo dessa reação desfavorável pode estar ligado à matriz cimentícia se caracterizar principalmente por óxidos hidratados de metal/semimetal, sendo um material de alta energia superficial, de natureza hidrofílica, causando boa adesão entre os agregados convencionais, como quartzo e ou calcário, mas sua interação com a borracha, diferentemente dos agregados tradicionais, é feita de polímeros

orgânicos de baixa energia superficial, apresentando um caráter hidrofóbico. Essa interação hidrofílica na matriz com o caráter hidrofóbico das borrachas é desfavorável, pois resulta numa fraca adesão entre as partículas e a pasta, causando redução na resistência. Destarte, se comparado com a sua aplicação em pavimentos de asfalto, a aplicação nos compósitos cimentícios ainda é considerada pouco convincente por sua queda na eficiência (MUNDO; PETRELLA; NOTARNICOLA, 2018).

Medina *et. al.* (2018) apresentaram as oportunidades de aplicação dos compósitos com incorporação de borracha de pneus. Os autores acreditam que os resultados disponíveis na literatura são inconsistentes e muitos aspectos técnicos e práticos permanecem sem solução, evitando o uso rentável da borracha na indústria da construção e também que um entendimento das propriedades químicas, físicas e mecânicas da borracha, bem como uma caracterização adequada, são necessários para aproveitar ao máximo este material de alta qualidade. Os autores entendem que o comportamento da borracha depende fortemente da matriz que será incorporada para a fabricação e da porcentagem de material a ser usado. Expõem também a necessidade de caracterização da borracha que será usada na fabricação dos compósitos, posto que esses dados não são fornecidos pelos fabricantes de pneus e/ou recicladores e distribuidores do material, o que torna o processo dificultado e pouco animador. Além dessa desvantagem de uso, os autores apontam, assim como Mundo, Petrella e Notarnicola (2018), o caráter hidrofóbico das borrachas de pneus, causando com isso uma queda na sua ligação com a matriz e consequentemente uma queda nas resistências mecânicas e salientam que soluções como pré-tratamentos mecânicos e químicos para este resíduo, antes de sua utilização, aumentariam o custo de produção e trariam melhoras consideradas pouco significativas.

Além da alteração desvantajosa na resistência do novo compósito cimentício, outros atributos devem ser analisados para a correta aplicação do resíduo. Eldin e

Senouci (1993) investigaram características do concreto com incorporação de resíduos de pneus e concluíram que a tenacidade e a capacidade de absorver energia foram aumentadas significativamente, ou seja, a maior capacidade plástica. Shu e Huang (2014) também apresentaram estas mesmas características nas incorporações para as matrizes cimentícias, bem como melhora na resistência à flexão. Medina *et. al.* (2018) exibem que a incorporação acarreta em maior amortecimento dos compósitos de borracha e reduz o ruído em edifícios, se usados como revestimentos de fachada, por considerar o material um bom isolante térmico e acústico.

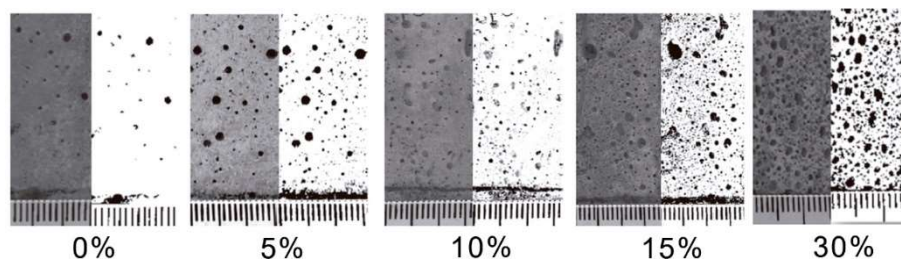
Interessante salientar que Mundo, Petrella e Notarnicola (2018) entendem que o caráter hidrofóbico da borracha também pode trazer vantagens como o melhoramento no desempenho higrotérmico das matrizes cimentícias. Levando em consideração que a deterioração e falhas progressivas nos sistemas construtivos estão ligados à penetração de água nos compósitos, e principalmente nos materiais porosos, consideram importante o emprego de ações para minimizar essa reação por meio de modificações da superfície, sobretudo dos revestimentos das fachadas.

Da mesma maneira, o comportamento à água e à temperatura são importantes, dado que a grande maioria das manifestações patológicas dos materiais e componentes da construção civil estão associadas à solicitação de temperatura e umidade. Logo, o foco de autores recentes vêm sendo, além das resistências mecânicas, os desempenhos higrotérmicos dos novos materiais (ANGELIN *et. al.*, 2015).

Angelin *et. al.* (2015) também relataram em seus estudos a variedade de referências sobre a influência da borracha nos chamados “cimentos emborrachados”, com relação aos quesitos de resistências mecânicas. Os autores estudaram o efeito dos resíduos de borracha de pneus em quatro traços de “argamassas emborrachadas”, em substituição do agregado miúdo. O cimento

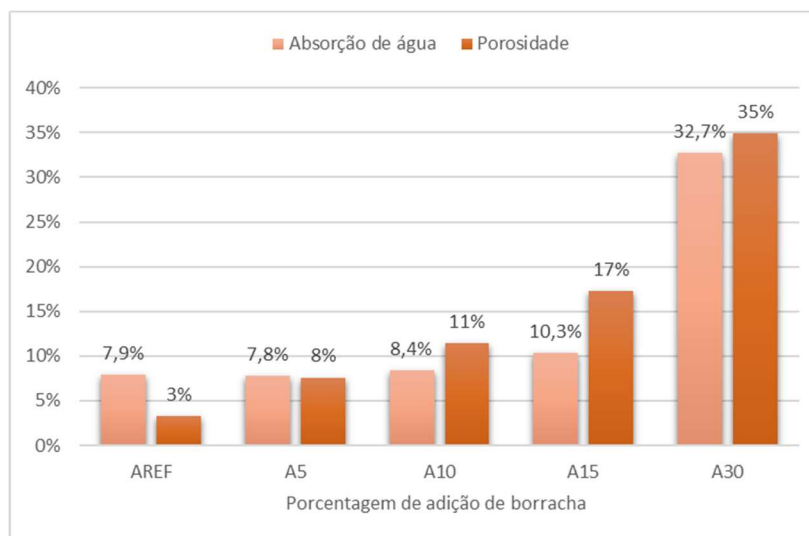
utilizado foi o ARI (alta resistência inicial), a razão água/cimento foi de 0,48 e as dimensões das partículas de borracha variaram entre 0,06 a 1,3 mm. As proporções de substituição da areia pela borracha variaram entre 0, 5, 10, 15 e 30% e os resultados para os ensaios de absorção de água, em função desses teores de borracha apresentaram uma relação de crescimento exponencial, sendo de 7,9; 7,8; 8,4; 10,3 e 32,7%, respectivamente. Os autores consideram que esses resultados estão ligados à estrutura dos poros, ou seja, quanto maior a quantidade de borracha, maior permeabilidade a argamassa apresentará. Nos ensaios de densidade de massa obteve-se uma relação inversa se comparada com os resultados da absorção, ou seja, mais leves 7; 17; 21 e 38% em comparação com o traço referência, respectivamente. Os autores responsabilizam esses resultados à substituição da areia (densidade de $2,65 \text{ g/cm}^3$) pela borracha (densidade de $1,16 \text{ g/cm}$). Com relação à porosidade ocorreu aumento dos valores em função do acréscimo de borracha nos traços. Os valores obtidos foram de 3,3; 7,6; 11,4; 17,3 e 34,9%, respectivamente. (Figura 7). Por fim, as conclusões foram que a porosidade e a absorção de água demonstraram tendências semelhantes com a incorporação de borracha, ou seja, os parâmetros aumentaram com o aumento de teor de borracha. Até a porcentagem de 15% de substituição a absorção de água e a porosidade variaram entre 10% e 20%. Para a porcentagem de 30% de substituição esses dois parâmetros aumentaram drasticamente, podendo trazer prejuízos ao material (Figura 8).

Figura 7. Variação da porcentagem de porosidade para cada teor de incorporação de borracha nas argamassas



Fonte: Adaptado de Angelin *et. al.* (2015)

Figura 8. Comparação da porcentagem de absorção de água com a porosidade por porcentagem de adição de borracha



Fonte: Adaptado de Angelin *et. al.* (2015)

Essa variação drástica para as argamassas contendo 30% de substituição do volume de areia por borracha pode ser analisada por outro estudo que também compara os efeitos da porosidade na absorção de água em argamassas com incorporação de borracha. Este estudo foi proposto por Angelin *et. al.* (2017) e seus ensaios de densidade e absorção de água foram realizados e apresentaram, como já esperado, uma maior permeabilidade nas amostras contendo partículas de borracha, sendo quatro vezes maior que a argamassa controle. A densidade da argamassa emborrachada apontou um valor 40% mais leve que a argamassa controle. Os autores explanam que o aumento das estruturas porosas causadas pela implementação da borracha permite maior permeabilidade e absorção de água.

Os autores Na e Xi (2017) também estudaram, entre outros ensaios, a permeabilidade em argamassas de revestimento, mas diferentemente de Angelin *et. al.* (2015) fez uso de pó de borracha de pneus. Foram utilizadas borrachas de dimensões 150 e 75 μm e aditivos para aumentar, entre outras coisas, a trabalhabilidade. A proporção água-cimento-areia usada foi de 0,8:1:2,5; e as taxas

de substituição foram de 0 a 90% de areia por borracha, em volume. Os resultados foram considerados pelos autores de importante identificação quando se pretende aplicar o material na parte externa da edificação. Apresentaram que ela depende da porosidade total do material e da conectividade dos poros, e que uma baixa permeabilidade aumenta a resistência do material à penetração de umidade e produtos químicos agressivos. Em linhas gerais, os autores acreditam que o pó de borracha de tamanho reduzido bloqueava a trajetória dos microporos e assim evitou suas ligações.

Do mesmo modo, Mundo, Petrella e Notarnicola (2018) estudaram os compósitos cimentícios com a incorporação de borracha de pneus em argamassas, em relação à penetração de água nesses materiais, uma vez que acreditam que este fator está ligado à deterioração das peças e suas falhas progressivas. Para os autores, a incorporação de borracha demonstra capacidade de desenvolvimento de argamassas com comportamento hidrofóbico. Diante do exposto, foram confeccionadas argamassas com porcentagens de substituição 50 e 100%, em volume, de areia por borracha, com a granulometria variando de 0,5 a 2 mm e outra faixa de granulometria com tamanhos menores que 0,5 mm. Os ensaios consistiram, além da caracterização mecânica, em análises de porosidade e penetração de água. Os resultados de porosidade apontaram a presença de vazios ao redor dos grãos de borracha, devido a adesão desfavorável entre a pasta e o material. Os vazios atingiram larguras de até 30 mm, sendo duas vezes maiores do que o traço referência, independente dos teores de incorporação e de faixa granulométrica utilizada. Para a penetração de água, o que se constatou foi que a incorporação de borracha diminuiu vigorosamente a penetração de pequenas gotas de água, visto que o valor de 100% para o traço referência passou para 3 a 5% de penetração de água para os traços emborrachados. Outra informação é que, para o caráter hidrofóbico, o que melhor se comportou foram as partículas mais finas de borracha e quando sua substituição foi de 100%, ou seja, a menor absorção de água ocorreu para o traço com substituição total da areia por borracha.

Pagoto (2018) focou seu trabalho no comportamento à água das argamassas de revestimento com borracha de pneus. A autora entende que os estudos sobre este caráter das novas argamassas ainda são pouco explorados. Seus traços incorporaram borracha variando de 0, 5, 10, 15 e 20% de substituição em volume do agregado miúdo, utilizando duas granulometrias (fina: passante na peneira de abertura de malha #0,6 mm e grossa: passante na peneira de abertura de malha #1,19 mm). Entre os diversos ensaios realizados destacam-se a densidade de massa aparente no estado fresco, retenção de água, permeabilidade ao vapor d'água e permeabilidade à água sob pressão. Os resultados para o ensaio de densidade no estado fresco mostraram que os compósitos com borracha apresentaram valores inferiores se comparados à referência. Para uma análise de granulometria, os compósitos que atingiram menores valores de densidade no estado fresco foram os de borracha fina. Analisando a porcentagem de incorporação, pode ser notado que a densidade diminuiu com o aumento da incorporação do material. Os resultados para o ensaio de retenção de água apontaram que a incorporação da borracha influenciou na propriedade, visto que seus valores foram menores que a referência para os compósitos de 5 e 10% de incorporação de borracha grossa e fina. Para as incorporações de 20% obteve-se um aumento do valor de retenção. A permeabilidade ao vapor também apresentou resultados semelhantes, em que as amostras de 5 e 10% apresentaram valores decrescentes e os teores de 15 e 20%, valores crescentes de permeabilidade ao vapor d'água. Os resultados do ensaio de permeabilidade à água sob pressão também apresentaram influência com a incorporação do material, tanto para 24 horas (em que todos os compósitos apresentaram valores de permeabilidade menores que o referência), quanto para 48 horas (em que apenas o traço de 5% de incorporação de borracha grossa apresentou um valor superior para a mesma comparação). A autora concluiu em seus estudos que o emprego de borracha fina proporcionou melhorias para os ensaios realizados, pois apresentaram os menores índices de absorção de água, e que os teores de borracha mais viáveis para a

aplicação em argamassas de revestimentos externos são os de 15 e 20%, enquanto que para os revestimentos internos os teores são de 10, 15 e 20%.

Do mesmo modo como Pagoto (2018), Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2015) estudaram a incorporação de borracha de pneus em argamassas de revestimento, mas diferentemente da primeira autora citada, usaram granulometria reduzida, resultando em pó da borracha. As proporções de material substituídos em volume de agregado foram de 6, 8, 10 e 12%. Além dos ensaios de resistências mecânicas, o trabalho focou nos ensaios de absorção de água por imersão. Os resultados revelaram que houve uma tendência de redução na absorção de água com o aumento dos teores de pó de borracha nas argamassas, diferentemente dos resultados obtidos nas granulometrias mais grossas estudadas por Pagoto (2018), concluindo que o pó de borracha causou redução no índice de vazios da massa e consequentemente fechou o pacote granulométrico das argamassas estudadas, assim como verificado por Mundo, Petrella e Notarnicola (2018).

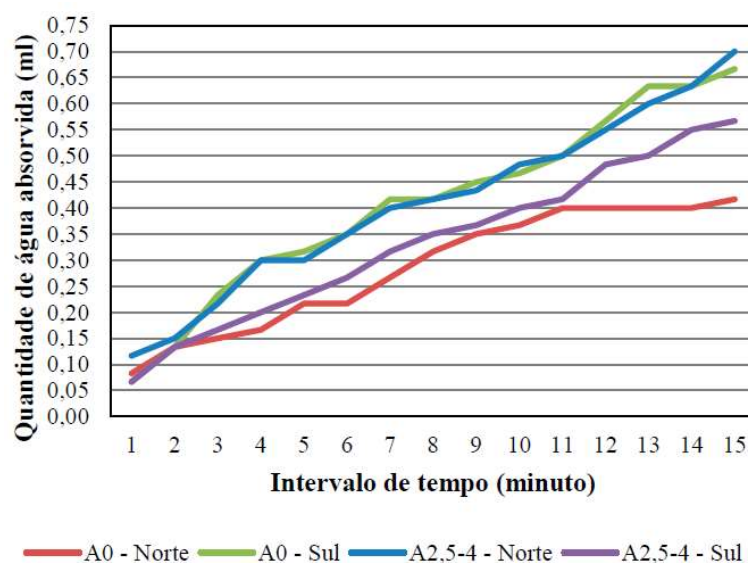
Outro autor recente que estudou a influência da incorporação de borracha de pneus em compósitos cimentícios com relação à sua durabilidade foi Sofi (2018). O autor apresenta um estudo de absorção e penetração de água em amostras de concreto com incorporação do material emborrachado, expondo suas influências se aplicados como substituição do agregado fino (fibra de borracha) e como substituição do cimento (pó de borracha), nas porcentagens de 0 a 20% em múltiplos de 2,5%. No ensaio de absorção de água em concretos atacados por ácido, o que se apresentou foi um aumento gradual de absorção com o aumento da porcentagem de borracha. Logo, a quantidade de água absorvida por todos corpos de prova com incorporação de borracha, em todas as idades analisadas (28, 56 e 84 dias), apresentaram maiores resultados do que o traço referência. Se analisou também que ao final do ensaio, aos 84 dias de absorção, os corpos de prova contendo maior porcentagem de borracha (20%) apresentaram maiores níveis de degradação, resultante da ocorrência de microporos ao redor da superfície da

borracha que possibilitou maior absorção de água e maior penetração de agentes de degradação.

Aliabdo, Elmaty e AbdElbaset (2015) investigaram a influência de incorporação da borracha em concreto com aplicações não estruturais na construção civil. Para o estudo, o programa experimental optou pela substituição do agregado miúdo em volume por borracha de pneu, numa granulometria de 0,42 a 2 mm e porcentagem de substituição de 0, 20, 40, 60, 80 e 100%. Os autores concluíram que a implementação no material não convencional melhora a propriedade de isolamento acústico, além de reduzir a densidade do material e aumentar a absorção de água com o aumento do teor de borracha.

Kurz *et. al.* (2018) realizaram estudos em protótipos de alvenaria com a aplicação de revestimentos em argamassa. A partir de estudos anteriores e outras características mecânicas, os autores concluíram por meio de dados estatísticos que a argamassa com 2,5% de substituição com granulometria mais grossa (#2,0 mm), apresentou melhor desempenho se comparada com todos os traços estudados. Logo, para os protótipos simulando uma aplicação real do material em revestimentos de fachada, foram comparados uma aplicação com argamassa convencional e a de melhor desempenho, ou seja, 2,5% de substituição com granulometria de 2,0 mm. Além da comparação entre os dois traços, duas orientações foram escolhidas para a confecção dos protótipos, simulando fachadas orientadas a norte e a sul. O ensaio aplicado nestes protótipos foi o ensaio de absorção pelo método do cachimbo (tubos de Karsten). Os resultados estão presentes na Figura 9 e mostram que a menor taxa de absorção ocorreu no traço referência na fachada norte. Em segundo, com menor nível de absorção de água, se obteve a fachada sul para o traço com borracha (2,5%). Por meio de análises estatísticas os autores entendem que não ocorreram diferenças significativas entre os resultados de absorção pelo método do cachimbo para os dois traços se comparados.

Figura 9. Resultados dos ensaios de absorção pelo método do cachimbo

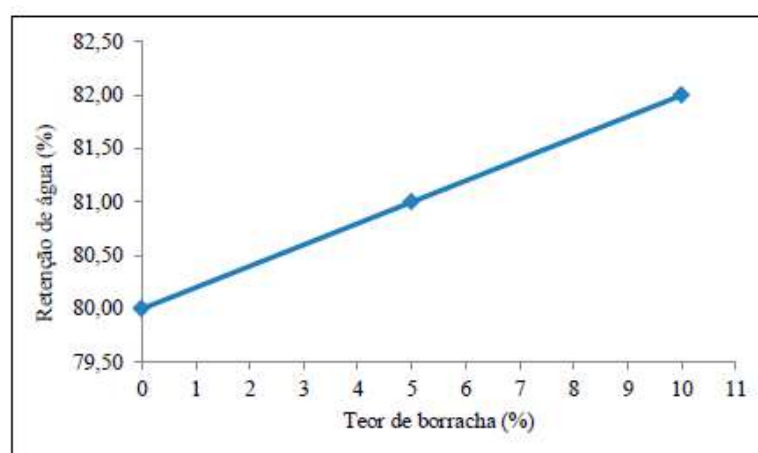


Fonte: Kurz *et. al.* (2018)

Choudhary, Khtai e Grover (2019) também tiveram como foco de estudo o efeito da água em argamassas com incorporação de borracha. Os autores optaram por variar a relação água cimento entre 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6, com uma única granulometria de borracha e variando suas porcentagens de incorporação, sendo elas de 2,5%, 5%, 7,5% e 10%. Para avaliação do efeito de retenção de água, os autores realizaram um teste a partir de um aparato confeccionado e concluíram que as argamassas referências retiveram menor porcentagem de água se comparadas com todos os traços de incorporação de borracha. Outra constatação dos autores foi que as argamassas de 5% de borracha apresentaram valores mais elevados entre todas as relações água: cimento e que para os compósitos com 10% de borracha mostraram a menores taxa de retenção depois do corpo de prova referência. Os autores concluíram que a substituição de areia por borracha fina nas argamassas afeta a retenção de água, e que para as adições até 5% esse impacto se faz mais drástico, pois com uma porcentagem maior que 5% a argamassa se mostrou mais eficaz.

Pcsieczek (2017) estudou as propriedades físicas e mecânicas de argamassas para revestimento, comparando incorporações de cinza volante e borracha de pneus incorporada à matriz cimentícia. Seu programa experimental analisou corpos de prova com substituição de areia por 5 e 10% de pó de borracha. Para a autora, o material apresentou resultados satisfatórios tanto no estado fresco quando para o endurecido. Um dos ensaios analisados foi a determinação da retenção de água dos compósitos, baseada na NBR 13277 (ABNT, 2005c) que consiste na sucção de uma bomba de vácuo em um funil de filtragem. Os resultados mostraram que para 5% e 10% de incorporação, a borracha apresentou um ganho na retenção de água, se comparadas com o traço referência, sem borracha, trazendo assim uma maior trabalhabilidade por mais tempo (Figura 10). Além disso, o estudo mostra que a retenção aumentou conforme o aumento de porcentagem do material emborrachado na matriz cimentícia. Estas constatações são importantes para as argamassas pois, uma vez que o material precisa ficar hidratado por mais tempo possível, a maior retenção possibilita uma cura gradativa, aumentando a resistência, a capacidade de absorver deformações e maior durabilidade ao sistema.

Figura 10. Variação da retenção de água das argamassas com a quantidade de borracha.



Fonte: Pcsieczek (2017).

Para os resultados de absorção de água por imersão nota-se que o aumento de teor de borracha indicou maiores valores de absorção, e a autora considerou que este fator ocorreu devido a absorção de água está associada ao índice de vazios presentes na matriz cimentícia, determinando a permeabilidade da argamassa. Como o ensaio de índice de vazios apresentou, como esperado, maiores valores para os corpos de prova com incorporação de borracha, concluiu-se que quanto maior o teor de borracha adicionado na massa maior será seu índice de vazios e assim, maior permeabilidade (PCZIECZEK, 2017).

O Quadro 1 apresenta uma síntese dos autores analisados, para comparação de estudos. Entende-se que atualmente a maioria dos trabalhos com incorporação da borracha de pneus foque em aplicações não estruturais na construção civil, uma vez que o esclarecimento sobre a queda nas resistências mecânicas das matrizes cimentícias emborrachadas já seja assunto explanado suficientemente. Por isso, os programas experimentais dão mais foco para produção de argamassas e utilizações com baixa solicitação. Além disso, as referências mostram uma tendência de aplicação do material como substituto parcial em volume do agregado miúdo na matriz e que estas incorporações acontecem numa gama de porcentagem bem vasta (0 a 100%), tendo como justificativa a economia de recursos naturais não renováveis e também o viés sustentável de retirar o resíduo de borracha do meio ambiente. Por meio das análises, entende-se que substituições maiores que 30% se fazem pouco eficazes e podem trazer características negativas à matriz, como um aumento de absorção de água e maior porosidade do material.

Quadro 1. Síntese dos autores analisados.

Referências	Programa experimental	Substituição em volume (%)	Granulometria	Objetivos
ALIABDO, ELMATY, ABDELBASET (2015)	Concreto	20; 40; 60; 80; 100	0,42 mm, 1 mm, 2 mm	Isolamento térmico; isolamento acústico
ANGELIN <i>et. al.</i> (2015)	Argamassas	5; 10; 15; 30	0,06 a 1,3 mm	Relação força x porosidade
ANGELIN <i>et. al.</i> (2017)	Argamassas	30	0,02 a 0,06 mm; 1,7 a 2,1 mm	Porosidade x resistência mecânica x absorção
CANOVA, BERGAMASCO, ANGELIS NETO (2015)	Argamassa de revestimento	6; 8; 10; 12	< 0,5 mm	Incidência de fissuras
CHOUDHARY; KHATTI, GROVER (2019)	Argamassa	2,5; 5; 7,5; 10	não especificada	Retenção de água
KURZ <i>et. al.</i> (2018)	Argamassa	2,5; 5; 10; 15	0,3 mm; 0,6 mm; 1,19 mm; 2 mm	Potencialidades físicas e mecânicas
MUNDO, PETRELLA, NOTARNICOLA (2018)	Argamassa	50; 100	< 0,5 mm; 0,5 a 2 mm	Comportamento hidrofóbico
NA, XI (2017)	Argamassa de revestimento	50; 70; 90	75 µm; 150 µm	Durabilidade e propriedades mecânicas
PAGOTO (2018)	Argamassa de revestimento	5; 10; 15; 20	0,6 mm; 1,19 mm	Comportamento à água
PCZIECZEK (2017)	Argamassa de revestimento	5; 10	Até 0,71 mm	Potencialidades físicas e mecânicas

Fonte: Próprio autor.

Com relação à granulometria, os estudos abrangem dimensões que vão desde o pó da borracha a partículas maiores de aproximadamente 2 mm. Não há uma tendência linear dos resultados de granulometria e os trabalhos trazem pouca consistência de resultados, sendo eles influenciados pela porcentagem de incorporação. Por isso entende-se a necessidade de uma comparação de mais de uma granulometria, sendo uma mais grossa e outra mais fina, para posterior uso da porcentagem que trabalha melhor o tipo de material compósito. Entende-se também

a necessidade de aplicar dimensões de borracha que estejam mais acessíveis no processo de recauchutagem, economizando assim algum novo processo mecânico de beneficiamento desse resíduo que pode não ser viável economicamente.

Pelo Quadro 2 pode-se analisar os objetivos e quais ensaios foram realizados pelas referências estudadas. Os objetivos visam entender as influências da incorporação do material, principalmente em sua aplicação nas argamassas. Assim, relações entre porosidade, absorção, isolamento, durabilidade e potencialidades dos compósitos são estudados atualmente sob o viés, na medida do possível, de ensaios normatizados no Brasil e no mundo, como exemplo: absorção, índice de consistência, resistências mecânicas, entre outros.

Quadro 2. Síntese dos autores analisados com trabalhos em argamassas – objetivos e ensaios.

Referências	Objetivos	Ensaio
ALIABDO, ELMATY, ABDELBASET (2015)	Isolamento térmico; isolamento acústico	Densidade; absorção; resistência compressão e flexão; impacto; ductilidade;
ANGELIN <i>et. al.</i> (2015)	Relação força x porosidade	Resistências mecânicas, porosidade, absorção de água, densidade
ANGELIN <i>et. al.</i> (2017)	Porosidade x Resistência mecânica x Absorção	Densidade; absorção; resistência compressão e flexão.
CANOVA, BERGAMASCO, ANGELIS NETO (2015)	Incidência de fissuras	Índice de consistência, massa específica, teor de ar, retenção de água, resistências, imersão.
CHOUDHARY; KHATTI, GROVER (2019)	Retenção de água	Retenção de água por aparelho; compressão.
KURZ <i>et. al.</i> (2018)	Potencialidades físicas e mecânicas	Resistência mecânica; capilaridade; absorção de água
MUNDO, PETRELLA, NOTARNICOLA (2018)	Comportamento hidrofóbico	Porosidade; penetração de água; resistência compressão e flexão.
NA, XI (2017)	Durabilidade e propriedades mecânicas	Compressão; retenção de água, permeabilidade, ataque de cloreto
PAGOTO (2018)	Comportamento à água	Densidade de massa, retenção de água, consistência, capilaridade, secagem, imersão, permeabilidade
PCZIECZEK (2017)	Potencialidades físicas e mecânicas	Trabalhabilidade, consistência, plasticidade, retenção de água, retração, resistência mecânica, ataque a sulfatos

Fonte: Próprio autor.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental foi desenvolvido a fim de atingir os objetivos propostos pelo presente trabalho. Dessa maneira, os ensaios foram elaborados visando analisar o comportamento à água de argamassas mistas de revestimento com incorporação de borracha de pneus, utilizando percentuais e granulometrias distintos.

Na sequência serão apresentados os materiais e os procedimentos experimentais adotados no trabalho. Cabe ressaltar que os traços adotados foram os mesmos utilizados por Pagoto (2018), bem como os materiais provenientes do mesmo lote. Sendo que este corrente trabalho pode ser considerado uma extensão do desenvolvido por Pagoto (2018), que também teve seu foco para o comportamento à água de argamassas mistas com incorporação de borracha de pneus, oportunidade em que foi utilizado um programa experimental com técnicas distintas dos aqui empregados.

3.1 MATERIAIS

- Cimento

O cimento utilizado foi o CP II Z-32, fornecido pelo fabricante Ciplan. De acordo com suas propriedades, o material atende desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, assim como outras aplicações.

O processo de caracterização foi realizado pelo fabricante, de acordo com a ABNT NBR 11578:1997, e os resultados estão apresentados na Tabela 3 (CIPLAN [entre 2015-2019]).

Tabela 3. Ensaio médios físicos de referência do cimento CP II Z-32.

Resistência 1 dia	Resistência 3 dias	Resistência 7 dias	Resistência 28 dias	Blaine	Início de pega	Fim de pega
15 MPa	23 MPa	28 MPa	33 MPa	5000	195 min	270 min

Fonte: CIPLAN, [entre 2015-2019].

Basicamente composto de clínquer e gesso, o cimento Portland adiciona outros materiais normatizados, dependendo da finalidade que se deseja. O CP-II Z-32 é um cimento que apresenta adição de pozolana entre 6 e 14% e até 10 % de material carbonático (CIMENTO.ORG, 2010).

Sua massa específica absoluta está entre 2,8 e 3,2 g/cm³ e sua massa específica unitária, entre 0,9 a 1,2 g/cm³, todas a 20°C. Outras características do material são pH em solução aquosa entre 12 e 14 e solubilidade em água até 1,5 g/L a 20°C, todas as informações de acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ, pela ABNT NBR 14725-4:2014 disponibilizada pelo fabricante (CIPLAN, 2019).

- Cal hidratada

A cal hidratada utilizada foi fornecida pela Votorantim Cimentos, do tipo CH – III. Sua composição de hidróxidos de cálcio e magnésio é indicada para confecção de argamassas para assentamento, chapisco e reboco, tanto interno quanto externo. O material, a partir de sua classificação, apresenta adição de até 13% de carbonatos na sua composição principal.

De acordo com o fabricante Votorantim Cimentos ([entre 2015-2019]), o material apresenta pH de 12,4 a 25°C, solubilidade de 0,185 g/L a 0°C e de 0,071 g/L a 100°C. Sua caracterização de massa específica, massa unitária, finura e índice de retenção de água foram todos obtidos segundo as normas, respectivamente, ABNT

NBR 16605:2017, ABNT NBR NM 45:2006, ABNT NBR 9289:2000 e ABNT NBR 9290:1996. Seus resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Ensaios médios de referência da Cal hidratada CH-III.

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	0,9	0,35	13	87

Fonte: Pagoto (2018).

- Areia

A areia utilizada foi a fina de origem natural, classificada de acordo com ABNT NBR NM 248:2003. Os resultados da sua caracterização granulométrica são apresentados na Tabela 5.

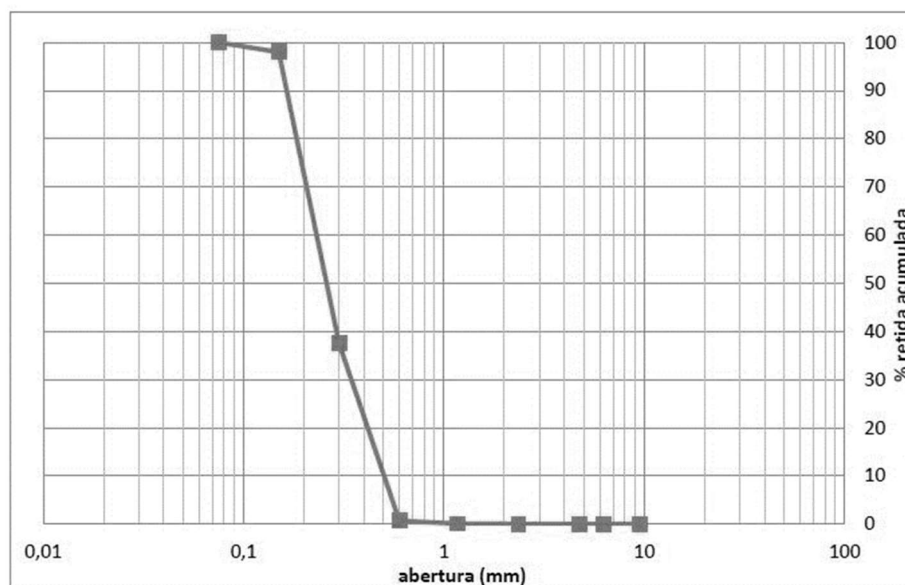
Tabela 5. Composição granulométrica da areia.

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
0,6	7,21	0,61	0,67	99,33
0,3	434,42	36,83	37,49	62,51
0,15	713,35	60,74	97,97	2,03
fundo	24	2,03	100	0
Σ	1179,60	100		

Fonte: Pagoto (2018)

A curva granulométrica da areia foi obtida a partir da Tabela 5 e está representada na Figura 11.

Figura 11. Curva granulométrica da areia



Fonte: Pagoto (2018).

A partir das normas ABNT NBR NM 52:2009, ABNT NBR NM 45:2006 e ABNT NBR NM 46:2003, foram estabelecidos os valores de massa específica absoluta em $2,62 \text{ g/cm}^3$, da massa unitária em $1,61 \text{ g/cm}^3$, sua dimensão máxima característica em $0,60 \text{ mm}$, seu módulo de finura em $1,36$ e o pulverulento em $0,2\%$ (PAGOTO, 2018).

- Borracha de pneus

O material alternativo alvo do trabalho foi a borracha de pneus fornecida pela empresa Do Vale Prudente Pneus e Recapagens Ltda, situada em Presidente Prudente – SP, que a partir do processo de recauchutagem dos pneus de caminhões promove a reforma da banda de rodagem. Os resíduos provenientes desse método foram selecionados e caracterizados em faixas granulométricas distintas.

O primeiro passo para a caracterização foi o processo de peneiramento do material, com o auxílio de um agitador de peneiras mecânico. Após esse processo, o material foi coletado das peneiras e separado em sacos plásticos. Duas granulometrias foram escolhidas para serem utilizadas, a passante nas peneiras de abertura de malha #1,19 mm e #0,60 mm, doravante denominadas de grossa e fina, respectivamente (Figura 12). Essas granulometrias foram escolhidas pelo fato de apresentarem maior porcentagem de retenção, podendo-se fazer maior uso do volume de resíduos de recauchutagem obtido (PAGOTO, 2018).

Figura 12. Amostra de borracha sem peneirar, granulometria #0,6 mm e #1,19 mm.



Fonte: Próprio autor.

Após a separação o material passou por ensaios de caracterização, em que por meio da ABNT NBR NM 45:2006 obteve-se o valor de massa unitária de 0,39 g/cm³ para a borracha denominada grossa, e 0,32 g/cm³ para a borracha fina. Sua massa específica absoluta foi definida a partir do Teorema de Arquimedes, utilizando álcool etílico ao invés da água e seu resultado foi de 1,15 g/cm³ (PAGOTO, 2018).

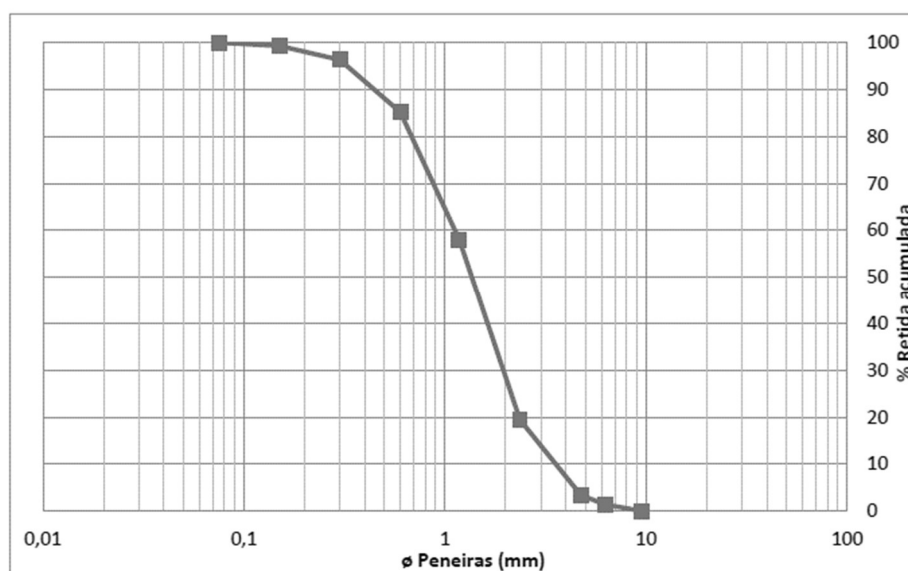
Sua composição granulométrica foi realizada de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003, obtendo o módulo de finura de 3,63. Seus resultados estão apresentados na Tabela 6 e Figura 13, respectivamente.

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	16	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	0
Σ	250	100		

Fonte: Pagoto (2018)

Figura 13. Curva granulométrica da borracha.



Fonte: Pagoto (2018).

- Água

A água utilizada nas misturas dos compósitos foi obtida de rede pública de abastecimento de Ilha Solteira – SP, sendo potável e isenta de contaminação.

3.1.1 Traço da argamassa

No Brasil a composição das argamassas, em sua maioria, é feita com base em traços (massa ou volume) descritos e especificados por normas internacionais e nacionais, como exemplos temos a ABNT, o Instituto de Pesquisas Técnicas – IPT e cadernos de encargos. A partir de algumas referências a Tabela 7 foi elaborada para apresentar as 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)

Fonte: Construção Mercado, 2012¹; Thomaz, 2001² e Isaia, 2007³.

Como já mencionado, o traço utilizado foi o mesmo de Pagoto (2018), que trabalhou com o traço em volume de materiais secos (cimento: cal: areia) 1:1:5, equivalente em massa em 1: 0,86: 7,67.

Quanto aos teores de borracha de pneus incorporados nos compósitos cimentícios foi considerada sua baixa massa específica e característica físicas, além de resultados obtidos por estudos anteriores das referências estudadas, como Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2015), Pinto e Fioriti (2016), Cintra, Paiva e Baldo (2014), Canova, Bergamasco e Angelis Neto (2009), Fioriti (2007), Pedro (2011), Covaes (2018), Ferreira (2009), Song *et. al.* (2018) e Pagoto (2018), que utilizaram teores médios de borracha variando entre 2,5% e 20% (em volume) em suas composições cimentícias. Diante disso, os valores adotados para este estudo foram as porcentagens de 10 e 20% de borracha, em volume, em substituição ao agregado miúdo.

O plano experimental foi formado pela execução de cinco traços de argamassa mista, sendo um traço referência – parâmetro de comparação, dois utilizando borracha fina (10 e 20%) e dois utilizando borracha grossa (10 e 20%). As denominações escolhidas para os traços foram:

- AREF (argamassa de referência, sem borracha);
- A10G (argamassa com incorporação de 10% de borracha grossa);
- A20G (argamassa com incorporação de 20% de borracha grossa);
- A10F (argamassa com incorporação de 10% de borracha fina);
- A20F (argamassa com incorporação de 20% de borracha fina);

As Tabelas 8 e 9 apresentam a composição dos materiais e os parâmetros dos traços das argamassas mistas produzidas, respectivamente, por Pagoto (2018) que foram reproduzidas também para o presente estudo.

Tabela 8. Traços das argamassas mistas de revestimento.

Materiais	AREF		A10		A20	
	kg/m ³	%vol.	kg/m ³	%vol.	kg/m ³	%vol.
Cimento	178,50	7,69	178,50	7,29	178,50	6,90
Cal	153,51	56,66	153,51	48,90	153,51	41,14
Areia	1369,10	13,90	1246,20	13,18	1109	12,46
Borracha	—	—	53,99	10	114,25	20
Água	348,08	21,75	348,08	20,62	348,08	19,50
Σ	2049,2	100	1980,30	100	1903,40	100

Fonte: Adaptado de Pagoto (2018).

Tabela 9. Parâmetros de proporção das argamassas mistas.

Traços	Relação água/materiais secos (massa)	Relação água/cimento (massa)	Relação água/aglomerante (massa)	Relação agregado/aglomerante (massa)
AREF	0,205	1,95	1,05	4,12
A10	0,213	1,95	1,05	3,75
A20	0,224	1,95	1,05	3,34

Fonte: Adaptado de Pagoto (2018).

A confecção dos corpos de prova foi realizada seguindo os mesmos procedimentos de Pagoto (2018), que consistiu na mistura dos materiais em argamassadeira, e primeiramente com a adição e mistura da água e aglomerantes, seguido da areia, totalizando 4 minutos e 30 segundos todo o processo. Para os traços em que a borracha foi incorporada, esta foi adicionada por último, logo após a areia (Figura 14).

Figura 14. Processo de mistura dos materiais para confecção das argamassas mistas.



Fonte: Próprio autor.

Logo após a mistura dos compósitos o material foi colocado em fôrmas de madeira com dimensões de 30 x 20 x 7 cm, baseado em Ferreira (2016). Esse volume do corpo de prova foi utilizado para que houvesse uma maior área de abrangência nos ensaios propostos, especialmente quando envolveu o recurso termográfico. Posteriormente ao preenchimento das fôrmas as mesmas foram levadas à mesa vibratória para que houvesse o adensamento do material.

Os corpos de prova produzidos permaneceram em câmara úmida por 21 dias para cura do material. Posteriormente os corpos de prova foram levados à estufa (temperatura de 105°C) por 24 horas para eliminar toda a umidade presente. Retirados da estufa, os mesmos foram mantidos em temperatura ambiente até o início dos ensaios do programa experimental (idade $\geq$ 28 dias).

3.1.2 Equipamentos e aparatos para a realização dos ensaios

- Câmera termográfica

A câmera utilizada para a realização das medições foi o Termovisor Flir E40, que possui as seguintes especificações técnicas: faixa de temperatura: -20 °C a 650 °C; precisão de ± 2 °C ou $\pm 2\%$ de leitura; sensibilidade térmica (NETD) < 0,05 °C; tamanho do display colorido de 3.5" (320 x 240) LCD touchscreen; resolução detector (pixels) de 160 x 120; foco manual; zoom de 2 x digital contínuo; mira laser; iluminador de alvo; resolução câmera visual de 3.1 MP; frame rate de 60 Hz; pontos móveis 3; gravação de vídeo MPEG4; anotação na imagem feita por voz (60 seg)/comentários de texto; áreas móveis 3; peso de 825 g. A Figura 15 apresenta o modelo de câmara utilizado no trabalho.

Figura 15. Modelo de câmera termográfica (Flir E40) utilizada no trabalho.



Fonte: FLIR (2020).

A termografia infravermelha é uma técnica que trabalha convertendo a radiação térmica emitida por um determinado objeto em uma imagem visual, originando os chamados termogramas. Isso se dá pelo princípio de todos os

materiais, estando eles acima do zero absoluto (- 273 °C), emitirem energia na forma de calor. Desse modo, a câmera detecta milhares de pontos de radiação emitidos pelo corpo e a transforma em imagem térmica (SILVA, 2007).

Normas técnicas, nacionais ou internacionais, sobre o tema da termografia para utilização na construção civil é pouco explorado até o presente momento. As normas técnicas nacionais em vigência se apresentam no Quadro 3 sendo possível perceber que são destinadas atualmente para a área de eletricidade.

Quadro 3. Normas técnicas nacionais em vigência sobre termografia.

ABNT NBR 16554:2016 Ensaios não destrutivos – Termografia – Medição e compensação da transmitância de um meio atenuante utilizando câmeras termográficas

ABNT NBR 15424:2016 Ensaios não destrutivos – Termografia – Terminologia

ABNT NBR 16485:2016 Ensaios não destrutivos – Termografia – Medição e compensação da emissividade utilizando câmeras termográficas ou radiômetros

ABNT NBR 16292:2014 Ensaios não destrutivos — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas

ABNT NBR 15572:2013 Ensaios não destrutivos — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos

ABNT NBR 15866:2010 Ensaio não destrutivo — Termografia — Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos

ABNT NBR 15763:2009 Ensaios não destrutivos – Termografia – Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência

ABNT NBR 15718:2009 Ensaios não destrutivos — Termografia — Guia para verificação de termo visores

Fonte: Adaptado de ABNT.

Como a técnica aplicada a construção civil ainda não é normatizada, sua utilização se baseará em ensaios e procedimentos contidos em referências mundiais que apresentam algum avanço em relação ao tema.

Foram realizadas duas categorias de ensaios termográficos, a denominada passiva e a ativa. A passiva é caracterizada pela não ativação térmica por meios artificiais, sob o objeto de estudo; dessa maneira a diferença térmica entre ele e o

meio a qual está inserido é natural e o único equipamento necessário é a câmera termográfica. Já a termografia ativa utiliza um estímulo externo para gerar diferenças relevantes de temperatura entre o corpo de estudo e o meio que está inserido; sendo que este estímulo pode ser feito por lâmpadas, flashes, jatos de ar quente, radiação infravermelha, micro-ondas, entre outros, podendo estar posicionada do mesmo lado da câmara termográfica, correspondendo a uma inspeção por reflexão ou localizada do lado oposto ao equipamento, estabelecendo-se assim um fluxo térmico por transmissão (BARREIRA, 2004).

A técnica da termografia infravermelha, por mais simples que se aplique, pode apresentar falsos resultados se algumas precauções antes e durante sua aplicação não forem tomadas. Os fatores de maior interferência são (BARREIRA, 2004):

- Condições do ambiente antes e durante o ensaio;
- Presença de condições externas (sombras, reflexões, superfícies de diferentes acabamentos);
- Condições de calibração do equipamento (emissividade do material de análise, temperatura do ar, distância).

Destarte, para a utilização da técnica medidas foram adotadas para evitar essas interferências e leituras incorretas. Com isso as condições do ambiente foram monitoradas, dado que todos os ensaios foram realizados em um mesmo ambiente e buscando controle de temperatura (entre $21 \pm 3^{\circ}\text{C}$) e supervisão da umidade relativa do ar. As interferências externas também foram sanadas com a utilização de fundo e base em madeira MDF (*Medium Density Fiberboard*), para se evitar interferências de reflexões por diferentes superfícies.

A emissividade do equipamento foi calibrada pelo método que Barreira (2004) apresentou utilizando fita isolante. O procedimento é dividido em 5 etapas, a primeira consiste em aplicar uma fita isolante de cor preta em uma pequena área a superfície do corpo de prova que se quer descobrir a emissividade. A segunda é a

calibração da câmera termográfica, regulando o valor de emissividade nela para 0,95, que é o valor próximo a unidade da fita isolante. Aguarda-se alguns minutos para que haja estabilização das temperaturas dos materiais (fita-corpo de prova). Após este tempo, a terceira etapa é a medição da temperatura superficial na região da fita com a câmera termográfica, ou seja, enquadra-se apenas a área da fita isolante colada no corpo de prova e um termograma é tirado, toma-se nota a temperatura que o equipamento aponta. Em seguida, a quarta etapa é a realização de uma nova medição, que é feita desta vez, fora da região do material aplicado, somente no corpo de prova sem a fita e toma-se nota dessa nova temperatura apontada nessa área. A quinta fase consiste em realizar ajustes na emissividade da câmera (aumentando ou diminuindo-a) até que se encontre um valor de emissividade que faça a temperatura do corpo de prova se igualar à temperatura apresentada anteriormente na medição da área com a fita isolante. Na apresentação dos resultados do programa experimental têm-se os valores obtidos para este procedimento.

- Aparato de ativação

O aparato utilizado para a aplicação da técnica de termografia ativa foi por meio de lâmpadas infravermelho. As lâmpadas possuem potência individual de 250W, e foram utilizadas para o aquecimento dos corpos de prova. Dessa forma, para a simulação da incidência de luz solar nas argamassas de revestimento produzidas, duas lâmpadas (totalizando 500W) foram instaladas em aparato fechado para que os corpos de prova ficassem posicionados sob a fonte de calor, aquecendo e consequentemente acelerando o processo de secagem (Figura 16).

Figura 16. Aparato de ativação com duas lâmpadas infravermelho.



Fonte: Própria autora.

- Umidímetro digital

O equipamento umidímetro digital, da marca Instrutherm MU-100, tem por função medir a umidade dos materiais por meio de dois eletrodos, com base no princípio de condutividade. Dessa maneira, o valor se converte em porcentagem de conteúdo de umidade. A escala de medição para a madeira varia entre 6 e 40% e para concreto e derivados entre 0 e 100% de umidade. Sua precisão varia entre 5% e sua taxa de amostragem é de aproximadamente 0,8 segundos. O modelo utilizado está apresentado na Figura 17.

Figura 17. Imagem do medidor de umidade usado no trabalho.



Fonte: Instrutherm (2020).

O equipamento permite a aplicação tanto em laboratório, quanto *in situ*. Pelo seu tamanho e agilidade, proporciona um mapeamento rápido da umidade da superfície do elemento em análise. E assim como a câmera termográfica, o umidímetro também é uma técnica não-destrutiva de ensaio.

- Termo higrômetro

Instrumento portátil, da marca Minipa Mt -242 que conta com a apresentação simultânea da temperatura interna, externa (entre 0 a 50 °C) e umidade relativa do ar em porcentagem (entre 20 a 90%). Sua precisão de leitura é de 1 °C para temperaturas até 40 °C, e 2 °C para temperaturas entre 40 e 50 °C (Figura 18).

Figura 18. Imagem do termo higrômetro utilizado no trabalho.

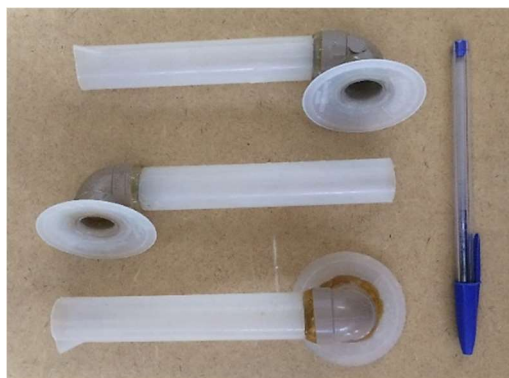


Fonte: Minipa (2020).

- Tubos de Karsten adaptados

Os tubos utilizados para a técnica de permeabilidade pelo método do cachimbo uma adaptação dos tubos de Karsten, que é um método considerado simples, utilizado em laboratório ou *in situ*, que determina a quantidade de água absorvida por um determinado material, sob baixa pressão, ao longo de um determinado tempo. Diante do exposto, o que se almejou com a aplicação foi medir a permeabilidade à água líquida de modo simplificado e não-destrutivo para o compósito analisado. A Figura 19 apresenta os modelos de tubos utilizados no trabalho.

Figura 19. Tubos de Karsten utilizados nos ensaios.

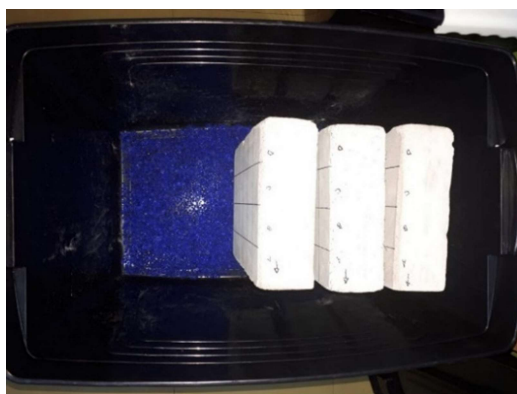


Fonte: Próprio autor.

- Caixa de armazenamento dos corpos de prova

O armazenamento dos corpos de prova secos, entre a execução dos ensaios, foi feito baseado em Ferreira (2016) por meio de uma caixa plástica devidamente tampada com adição de 1 kg de sílica gel azul de granulometria variando de 4 a 8 mm, com o intuito de evitar a absorção de umidade do ambiente pelos corpos de prova (Figura 20).

Figura 20. Caixa de armazenamento dos corpos de prova com a sílica gel azul no fundo.



Fonte: Próprio autor.

3.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Inicialmente cabe informar que para todos os ensaios realizados no programa experimental foram utilizados um corpo de prova por compósito produzido. Isso pode ser justificado tanto pelo uso de corpos de prova com dimensões elevadas (quando comparado aos espécimes convencionais) como pelas técnicas de ensaios empregadas, que objetivaram simular a aplicação das argamassas de revestimento produzidas.

3.2.1 Densidade de massa aparente no estado endurecido

O ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido foi realizado baseado na ABNT NBR 13280:2005 que estabelece o método para determinação da densidade de massa aparente de argamassas de revestimento, no estado endurecido.

a) Procedimento de ensaio

Moldagem dos corpos de prova, que após curados passaram por medição de volume com auxílio de uma régua metálica graduada, determinando a altura, largura e o comprimento de cada corpo de prova. Após a medição foi realizada sua pesagem com auxílio de balança de precisão digital.

b) Resultados

Os resultados foram obtidos por meio da Equação 2:

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m}{v} \times 1000 \quad (2)$$

Em que:

$\rho_{m\acute{a}x}$ = densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m³);

m = massa (g) proveniente da pesagem;

v = volume (cm³) do corpo de prova calculado.

3.2.2 Absorção de água por imersão

A partir da ABNT NBR 9778:2009, se baseou o ensaio de absorção de água por imersão-nas argamassas produzidas.

a) Procedimento de ensaio

Os corpos de prova (com idade superior a 28 dias) foram secos em estufa com capacidade de manter a temperatura interna em 105°C ($\pm 5^\circ\text{C}$), até constância de massa. Em seguida foi realizada a pesagem e o registro da massa inicial das amostras. Após esse procedimento os corpos de prova foram imersos em água e mantidos durante 24 h nessa condição. Seguiu o procedimento com a retirada dos mesmos, remoção do excesso de água com pano úmido e determinação das massas finais (M_f).

b) Resultados

A taxa de absorção de água foi calculada pela Equação 3:

$$A = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

A = coeficiente de absorção de água por imersão;

M_i = massa inicial de prova (g);

M_f = massa final do corpo de prova (g).

3.2.3 Absorção de água por capilaridade

Baseando-se na ABNT NBR 9779:2012 estabeleceu-se o método para a determinação da absorção de água por ascensão capilar das argamassas produzidas.

a) Procedimento de ensaio

Os corpos de prova, após curados, permaneceram em estufa com capacidade de manter a temperatura interna em 105 °C ($\pm 5^\circ\text{C}$), até constância de massa (duas pesagens num período de 2 h que não excedeu 0,5% do menor valor obtido). Após

essa etapa os corpos de prova foram deixados resfriar em temperatura ambiente e depois foi determinada a massa seca (m_s) individual, em balança de precisão digital.

Em temperatura ambiente os corpos de prova foram posicionados em recipiente com lâmina d'água de $5 (\pm 1 \text{ mm})$, acima das faces inferiores. Mantendo sempre a lâmina constante, determinou-se a massa saturada (m_{sat}) dos corpos de prova com 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h, contadas a partir do primeiro contato com a água (Figura 21).

Figura 21. Procedimento do ensaio de absorção por capilaridade.



Fonte: Próprio autor.

b) Resultados

Os resultados foram obtidos por meio da Equação 4:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{s} \quad (4)$$

Em que:

C = absorção de água por capilaridade, expressa em g/cm^2 ;

m_{sat} = massa saturada do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, expressa em gramas (g);

m_s = massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

S = área da seção transversal, expressa em cm^2 .

3.2.4 Ensaio de secagem

Utilizou-se como base os procedimentos descritos por Penacho (2012) e utilizados com adaptação por Pagoto (2018), uma vez que tal ensaio não se encontra normatizado. O ensaio analisa a capacidade de secagem das argamassas em condições atmosféricas e se inicia logo após a realização da absorção de água por capilaridade, utilizando-se os corpos de prova nas condições que se encontravam no seu término.

a) Procedimento de ensaio

A última determinação de massa do ensaio de capilaridade serve para o ensaio de secagem como massa inicial, sendo que o recipiente com a lâmina d'água usado na capilaridade foi esvaziado e os corpos de prova foram posicionados no mesmo recipiente para acompanhamento do processo de secagem completa (Figura 22).

Figura 22. Procedimento do ensaio de secagem.



Fonte: Próprio autor.

Este acompanhamento consistiu em determinação de suas massas em períodos de tempo de 30 min, 60 min, 90 min, 270 min, 450 min e 1440 min, após a massa inicial.

b) Resultados

A água evaporada “ ΔM ” (g) foi calculada pela Equação 5:

$$\Delta M = M_{2880} - M_t \quad (5)$$

Em que:

M_{2880} = massa do corpo de prova (g) na leitura de 2880 min do ensaio de capilaridade, massa inicial de cada corpo de prova;

M_t = massa do corpo de prova (g) na leitura de “t” min (variando de 0 a 1440 min).

O percentual de água evaporada “ $P\Delta M$ ” (%) foi baseado em Pereira e Bauer (2013) e calculado pela Equação 6:

$$P\Delta M = \left[1 - \left(\frac{M_t}{M_{2880}} \right) \right] \times 100 \quad (6)$$

3.2.5 Processo de umidificação e secagem

Os ensaios de umidificação e secagem foram a base para o acompanhamento de comportamento à água dos corpos de prova. Tais ensaios foram realizados em duas etapas, em que a primeira consistiu em umidificação e secagem passiva dos corpos de prova, e a segunda com o processo de secagem auxiliado pela fonte de calor, ou seja, umidificação e secagem ativa dos corpos de prova. Cabe informar que o processo de umidificação das duas etapas foi o mesmo, separados em três tempos de contato na água: 1 min, 1 h e 24 h. O Quadro 4 esquematiza os processos de modo resumido.

Quadro 4. Resumo dos ensaios de umidificação e secagem.

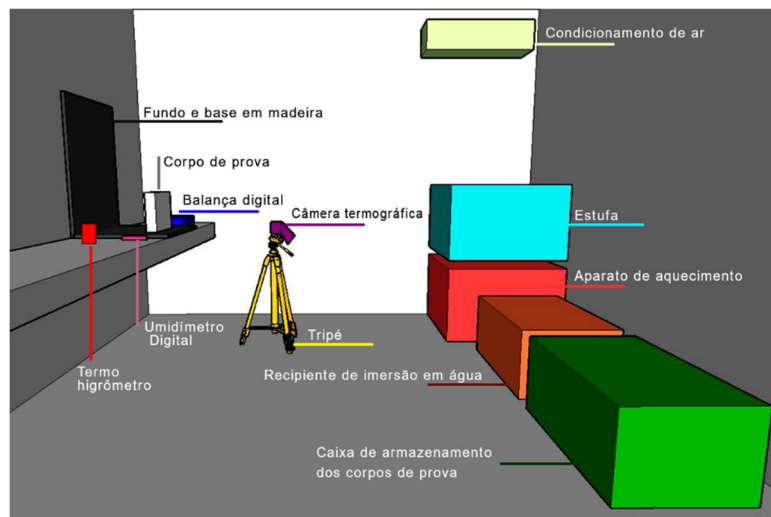
	Umidificação/secagem passiva	Umidificação/secagem ativa
Fonte calor	Não	Sim
Tempo de contato com água	1 min; 1 h; 24 h	
Tempo de ensaios	Antes do contato 1 min 5 min 15 min 30 min 1 h 2 h 3 h 6 h 12 h 24 h 36 h 48 h	Antes do contato 5 min 15 min 30 min 1 h 2 h 3 h
Tipos de ensaios	Controle de massa Ensaio termográfico Aferição de umidade superficial	

Fonte: Próprio autor.

Diante do exposto no Quadro 4, cada corpo de prova teve treze momentos de ensaios no período de 48 horas, para o processo passivo; enquanto no processo ativo tiveram sete momentos de ensaios durante o período total de 3 horas.

O local de realização dos ensaios foi adaptado, afim de agilizar os processos e diminuir o tempo de contato do operador com o corpo de prova. A Figura 23 mostra esquematicamente a perspectiva do ambiente dos ensaios.

Figura 23. Imagem ilustrativa do local dos ensaios.



Fonte: Próprio autor.

Diante disso, os ensaios para acompanhamento do processo de umidificação e secagem consistiram em: controle de massa, ensaio termográfico e aferição de umidade superficial; em que alguns procedimentos foram baseados no trabalho de Ferreira (2016). A seguir, os detalhes de cada ensaio:

- Controle de massa: a pesagem, assim com os outros ensaios, foi realizada a cada momento pré-estabelecido. A balança utilizada apresenta precisão de no mínimo 0,025% do peso do corpo de prova, e se manteve próxima dos mesmos para que a pesagem fosse agilizada. Além disso, para o manuseio da amostra, foi utilizado luvas térmicas que evitaram trocas de calor da pele do operador com os corpos de prova.

a) Procedimento de ensaio

O procedimento consistiu em realizar pesagem nos momentos estabelecidos, logo após a umidificação dos corpos de prova produzidos, ou logo após a umidificação e aquecimento (nos casos de ensaios ativos).

b) Resultados

Os resultados de cada pesagem foram expressos em gramas (g) e serão visualizados por meio de gráficos de ganhos e perdas massa por tempo, sendo para os ganhos a relação do peso inicial seco dos corpos de prova e o valor da primeira pesagem após o contato com a água (1 minuto para o passivo e 5 minutos para o ativo) e para as perdas a relação do peso inicial seco dos corpos de prova e o valor da última pesagem (48 horas para o passivo e 3 horas para o ativo).

- Ensaio termográfico: possibilitou a obtenção de imagens termográficas dos corpos de prova no momento de cada tempo pré-estabelecido.

a) Procedimento de ensaio

Após a pesagem, o corpo de prova de cada compósito produzido foi posicionado sobre a base de MDF, localizada a 0,70 m de distância da câmera termográfica. Essa distância foi utilizada tomando como critério o melhor enquadramento, levando em consideração as dimensões das amostras estudadas (Figura 24).

Foi realizado o acionamento da câmera, já calibrada nas condições de emissividade do material, pela técnica da fita isolante. Este procedimento se repetiu de acordo com os tempos de ensaio propostos; ou seja, treze vezes (antes do contato, 1 min, 5 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h, 36 h e 48 h) para os corpos de prova, na técnica passiva, e sete vezes (antes do contato, 5 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h) para a ativa.

Figura 24. Execução do ensaio de termográfico.



Fonte: Próprio autor.

b) Resultados

Os resultados obtidos foram imagens termográficas (termogramas) apresentadas juntamente com as imagens digitais dos corpos de prova, mostrando um gradiente de temperatura da imagem.

Posteriormente esses termogramas passaram por tratamento no software *Flir Tools+*, em que foram calculadas as médias de temperatura de cada imagem. Essas médias foram utilizadas para a confecção de gráficos de temperatura por tempo.

- Aferição de umidade superficial: foi realizada utilizando o umidímetro digital.

a) Procedimento de ensaio

O procedimento deu início com a confecção de uma malha auxiliar nas superfícies dos corpos de prova, com caneta permanente. A malha foi dividida com 5 cm de espaçamento, formando uma trama de 25 áreas aferidas pelo umidímetro.

Figura 25. Aferição de umidade do corpo de prova com a malha auxiliar.



Fonte: da autora, 2020.

Conforme cada período de tempo pré-estabelecido, logo após a pesagem e o termograma ter sido realizado, as 24 áreas compostas pela malha foram aferidas pelo umidímetro (Figura 25).

b) Resultados

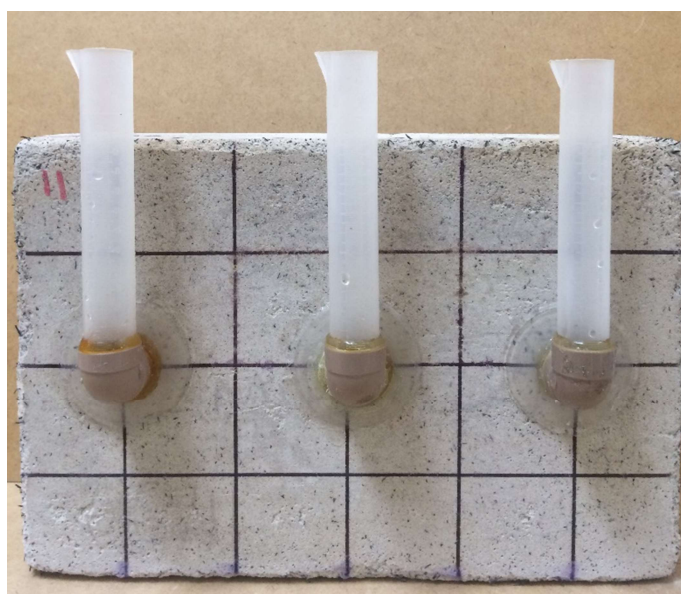
Os 24 resultados, de cada corpo de prova utilizado, foram anotados e posteriormente levados para tratamento de dados no software *Excel*. O tratamento de dados consistiu na elaboração de gráficos de área da umidade superficial dos corpos de prova nos momentos de ensaio.

3.2.6 Absorção com tubos de Karsten

A técnica de ensaio com o tubo de Karsten (Figura 26), método do cachimbo, tem como principal objetivo avaliar a absorção de água de um revestimento a uma determinada pressão em uma zona não fissurada, simulando uma ação de chuva e vento durante um intervalo de tempo. O ensaio possibilita a aferição da absorção de água numa pressão inicial de 92 mm de coluna d'água e atua numa ação estática de

vento com velocidade de 140 km/h, aproximadamente. Para a realização deste ensaio foram necessários os seguintes materiais: silicone acético; recipiente dosador de água e cronômetro.

Figura 26. Utilização dos tubos de Karsten adaptados em corpo de prova.



Fonte: Próprio autor.

a) Procedimento de ensaio

O procedimento de ensaio foi baseado no proposto pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC, 1982) e pela Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions (RILEM, 1982). Definido do seguinte modo: inicialmente foi coberto silicone acético a superfície do bordo dos três tubos utilizados em cada corpo de prova, que ficaram em contato com a argamassa, evitando excessos, de modo que não diminuiu a área efetiva de contato entre o revestimento e a água; depois ocorreu a fixação dos tubos às zonas dos corpos de prova; posteriormente foi deixado o silicone secar durante cerca de 4 horas à temperatura ambiente; e por fim foi realizado o enchimento dos

tubos até ao valor 0 cm³ e efetuou-se a leitura da diminuição do nível da água em cm³, até que se completem 15 minutos de ensaio.

Este ensaio exigiu atenção a eventual ocorrência de fugas de água devido a um mau isolamento da superfície de contato entre o tubo e o corpo de prova. Em caso de ocorrência de fuga o ensaio não é considerado válido e deve ser repetido.

a) Resultados

Os resultados apresentados foram as absorções dos 3 cachimbos, fazendo a subtração entre a leitura atual e a anterior (de minuto em minuto) e com esses dados realizou-se o cálculo das taxas de absorções dos 3 aparatos e também a média entre eles, resultando na taxa média de absorção.

Assim, taxa de absorção (ml/min) é resultado da média de absorção entre os 15 minutos (Equação 7):

$$Ta = \frac{\sum ab_{0-15}}{t} \quad (7)$$

Sendo:

Ta = taxa de absorção (ml/min);

$\sum ab_{0-t}$ = somatório da absorção nos 15 minutos de ensaio;

t = 15 minutos.

A partir disso, calculou-se a taxa de absorção média (ml/min) entre os três cachimbos (Equação 8):

$$Tam = \frac{\sum ta}{3} \quad (7)$$

Sendo:

T_{am} = taxa de absorção média (ml/min);

$\sum ta$ = somatório da taxa de absorção dos três cachimbos.

3.2.7 Planejamento e síntese dos ensaios do programa experimental

Pelo exposto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o comportamento à água de argamassas mistas de revestimento com a incorporação de resíduos de borracha de pneus, dando uma continuidade nos estudos já iniciados por Pagoto (2018).

Logo, considerando os ensaios já realizados pela citada autora, que foram: 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, e permeabilidade à água sob pressão; escolheu-se por reproduzir apenas o mesmo procedimento no ensaio de absorção de água por imersão e densidade de massa aparente. Para o ensaio de absorção por capilaridade outro procedimento foi empregado, pois Pagoto (2018) utilizou a EN 1015-18 (2002) e o presente trabalho foi baseado na ABNT NBR 9119: 2012. O ensaio de secagem, embora tenha seguido os mesmos procedimentos de Pagoto (2018), a partir de Penacho (2012), teve condições iniciais diferentes da autora base, uma vez que a secagem se inicia após o ensaio de capilaridade e este apresentou método distinto entre os dois trabalhos. O Quadro 5 apresenta um digrama com a relação dos dois trabalhos.

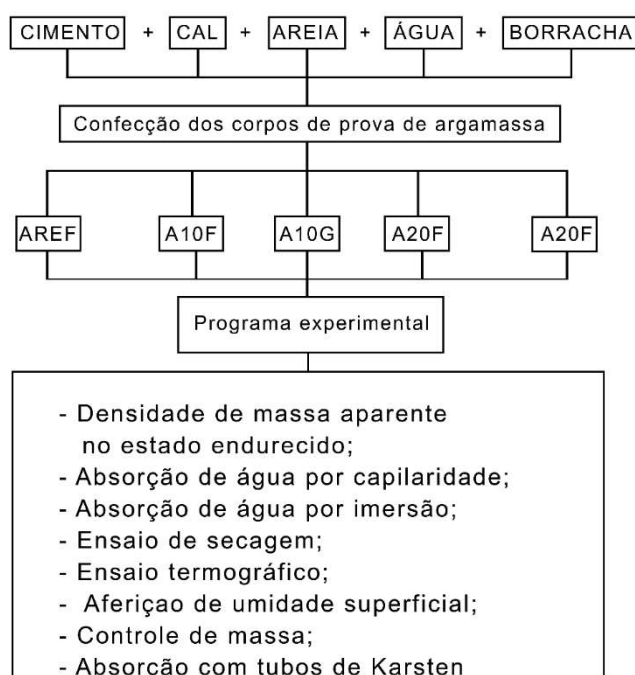
Quadro 5. Relação do presente trabalho com o de Pagoto (2018).

PROGRAMA EXPERIMENTAL		PAGOTO (2018)	AUTORA
Ensaio de verificação de traço	Densidade de massa aparente no estado endurecido	NBR 13280 (ABNT, 2005)	
	Absorção de água por imersão	NBR 9778 (ABNT, 2009)	
Absorção de água por capilaridade		EN 1015-18 (2002)	NBR 9779 (ABNT, 2012)
Ensaio de secagem		Penacho (2012), com condições iniciais distintas	
Processo de umidificação e secagem	Ensaio termográfico	-	Não normatizado
	Aferição de umidade superficial	-	Não normatizado
	Controle de massa	-	Não normatizado
Absorção com tubos de Karsten adaptados		-	CSTC (1982) e RILEM (1982)

Fonte: Próprio autor.

Pelo exposto, a síntese das atividades experimentais que constituem este trabalho está representada na Figura 27.

Figura 27. Síntese das atividades experimentais.



Fonte: Próprio autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos, conforme os ensaios propostos no programa experimental.

4.1. DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO

Os resultados de densidade de massa aparente no estado endurecido estão expostos na Tabela 10, que apresenta os valores de massa (g) provenientes da pesagem, os valores de densidade de massa aparente (kg/m^3) obtidos no presente trabalho e os valores médios de Pagoto (2018).

Tabela 10. Resultados de densidade de massa aparente no estado endurecido.

Compósitos	Corpos de Prova	Mi (g)	ρ máx (kg/m^3) Autora	ρ máx (kg/m^3) Pagoto (2018)
Referência	AREF	7490	1783,33	1738,28
10% borracha grossa	A10G	6910	1645,24	1665,04
10% borracha fina	A10F	6590	1569,05	1591,80
20% borracha grossa	A20G	6468	1540,00	1582,03
20% borracha fina	A20F	6100	1452,38	1411,13

Fonte: Próprio autor.

O que se pode analisar é que com o aumento do teor de incorporação de borracha, houve redução da densidade de massa dos compósitos, que ocorreu independente da granulometria do material emborrachado, quando comparados à referência. Logo, o maior valor apresentado foi pelo corpo de prova referência (AREF) sendo de $1783,33 \text{ kg/m}^3$ seguido pelos compósitos de 10% borracha e por último, pelos de 20% de borracha. Com relação à granulometria, a fina diminuiu a densidade da argamassa se consideradas as mesmas porcentagens. Diante disto,

A10F apresentou menor valor que A10G, da mesma forma que A20F foi menor que A20G.

A Tabela 10 também apresenta os valores adquiridos por Pagoto (2018) em seus estudos, sendo esses as médias das densidades de massa aparentes de seus compósitos. A comparação com os ensaios mostra que, como esperado, os resultados foram similares, tendo o mesmo comportamento, sendo inversamente proporcional a porcentagem de borracha e densidade aparente. Para Pagoto (2018) os resultados foram entre 1738,28 kg/m³ (AREF) e 1411,13 kg/m³ (A20F), sendo uma variação de 18,82%, porcentagem similar à adquirida no presente trabalho, em virtude que os resultados variaram de 1783,33 kg/m³ (AREF) a 1452,38 kg/m³ (A20F), resultando em 18,55% de porcentagem de redução.

Com relação a outros autores os resultados seguiram o mesmo padrão. Shu e Huang (2014) mesmo que estudando aplicação em concretos, também apresentaram valores reduzidos de densidade nos corpos de prova com a incorporação de borracha, sendo que os que continham maior porcentagem do material (30%) apresentaram o menor valor quando comparados com os de menor percentual (15%). O mesmo padrão foi observado para Angelin *et. al* (2015) e Pinto, Fioriti e Akasaki (2014), ambos em trabalhos utilizando argamassas.

A redução nas densidades de massa aparente no estado endurecido pode ser compreendida devido ao valor de massa unitária da borracha incorporada ser menor do que o valor de massa do agregado miúdo substituído. Como já exposto, para a borracha grossa, o valor de massa unitária é de 0,39 g/cm³ e para borracha fina de 0,32 g/cm³, sendo estes entre quatro e cinco vezes menor do que o valor da areia natural utilizada. A partir destes números, entende-se a razão pela qual a maior porcentagem de substituição apresentou os menores resultados de densidade e a justificativa da granulometria fina também apresentar valores diminutos. Estas particularidades podem trazer vantagens para a argamassa, posto que tendem a

reduzir a sobrecarga permanente da estrutura. Para Angelin *et.al.* (2017) essa característica permite o uso de argamassas com incorporação de borrachas em elementos não estruturais, como por exemplo: aplicação em paredes externas e blocos asfálticos.

4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão estão contidos na Tabela 11, que apresenta os valores de massa inicial (Mi) e massa final (Mf) (após 24 horas imersos), bem como a taxa de absorção calculada (em porcentagem) e sua comparação com os resultados obtidos por Pagoto (2018).

Tabela 11. Resultados de absorção de água por imersão.

Compósitos	Corpos de Prova	Mi (g)	Mf (g)	Absorção (%) Autora	Absorção (%) Pagoto (2018)
Referência	AREF	7490,00	8483,00	13,26	13,56
10% borracha grossa	A10G	6910,00	7944,00	14,96	14,67
10% borracha fina	A10F	6590,00	7506,00	13,90	13,50
20% borracha grossa	A20G	6468,00	7456,00	15,28	15,13
20% borracha fina	A20F	6100,00	6984,00	14,49	14,89

Fonte: Próprio autor.

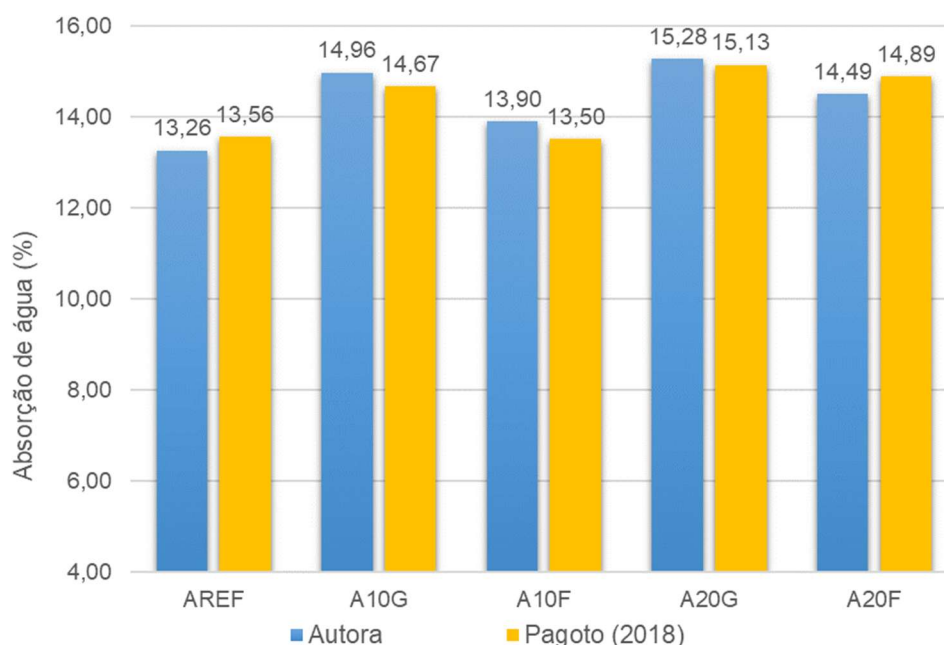
Pela Tabela 11 se analisa que para os resultados obtidos de massa inicial (Mi), o corpo de prova que apresentou menor valor antes do processo que imersão foi o A20F, seguindo do A20G, A10F, A10G, e por último o corpo de prova referência (AREF). Após a imersão em água por 24 horas e pesagem dos corpos de prova, a ordem de valores obtidos continuou a mesma. Destarte, os corpos de prova que apresentaram menores valores quando secos continuaram a apresentar valores

reduzidos depois de saturados. Por conseguinte, foi constatada a tendência de corpos de prova com maior teor de incorporação de borracha (20%) apresentar menores valores de massa quando comparados aos corpos de prova com menores teores de incorporação (10%), e o corpo de prova referência (AREF) apresentou o maior valor de massa quando comparados para as duas incorporações.

Para as taxas de absorção foi notado que os corpos de prova que mais absorveram água durante o processo foram os que apresentaram granulometria grossa em sua composição. Desse modo, A20G foi o traço que obteve o maior valor (15,28%), seguido do A10G (14,96%), tendo uma variação de 2,09% entre eles. Posteriormente tem-se os traços com borracha fina, como A20F que obteve o valor de 14,49% e A10F com valor de 13,90%, sendo a variação entre eles de 4,07%, quase o dobro dos compósitos de borracha grossa. Com menor absorção o traço AREF obteve valor de 13,26%, sendo este 4,6% menor que A10F (que apresentou o menor valor para os compósitos com borracha), apresentando a maior variação de queda.

Para uma análise comparada dos resultados de taxa de absorção com os obtidos por Pagoto (2018), a Figura 28 foi elaborada com o gráfico dos seus valores. percebe, como esperado, que os resultados tenderam a proximidade. A pequena variação dos valores pode ser explicada pela diferença de dimensões dos corpos de prova utilizados nos dois trabalhos.

Figura 28. Gráfico da taxa de absorção por imersão comparados com Pagoto (2018).



Fonte: Próprio autor.

Pode ser entendido pela Figura 28 que o traço que atingiu maior porcentagem de absorção foi o A20G, tanto para o presente trabalho quanto para Pagoto (2018). Também foi notada a tendência de os compósitos com substituição de borracha grossa apresentarem taxa de absorção maiores quando comparados com os de borracha fina, independentemente da porcentagem incorporada. A variação entre os resultados obtidos neste programa experimental e por Pagoto (2018) foi para o traço AREF de 2,21%, para A10G de 1,93%, para A10F de 2,87%, para A20G de 0,98% e para A20F de 2,68%, apresentando nos mesmos oscilações sutis de resultados.

Kurz *et. al.* (2018), também se baseando na ABNT NBR 9778:2005, apresentaram resultados próximos dos obtidos neste trabalho, pois seus valores de absorção aumentaram conforme a taxa de substituição de areia por borracha

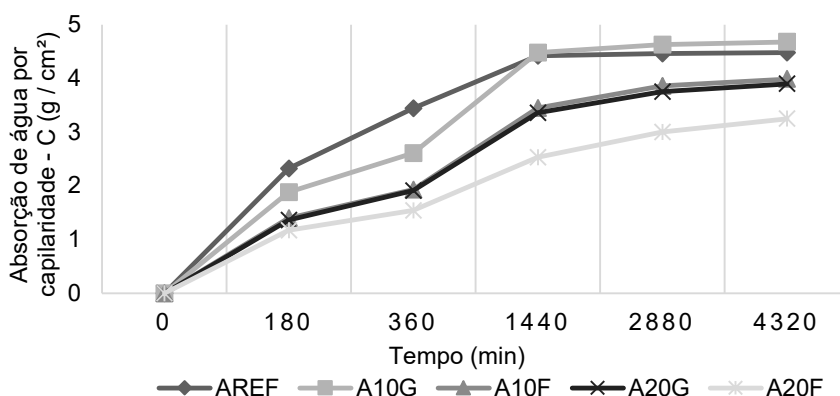
aumentou. Variando as granulometrias e porcentagens de substituição entre 2,5 a 15%, apenas os traços de 2,5% de borracha apresentaram resultados inferiores ao traço referência. Para os traços de 10% de borracha, com a granulometria que mais se aproxima do presente estudo, tem-se o resultado de absorção em torno de 14% para a mais grossa e de aproximadamente 15% para a mais fina, mostrando assim uma tendência divergente da encontrada, em que as granulometrias mais grossas absorveram menos que as finas, diferentemente do apresentado neste trabalho. Vale ressaltar a não utilização da cal na composição dos traços de Kurz *et. al.* (2018).

Angelin *et. al.* (2017) apresentaram que para os ensaios de imersão o aumento do valor absorvido está ligado à estrutura dos poros na argamassa emborrachada. Logo, os índices de vazios têm relação direta com a permeabilidade e absorção dos compósitos. Pczieczek (2017) analisando esta característica para argamassas com incorporação de borracha, conclui que a adição do novo material à matriz cimentícia proporciona aumento significativo no índice de vazios e que quanto maior a porcentagem aplicada, maior será este o índice. Silva (2019) cita que o fato da borracha apresentar o caráter hidrofóbico, como já analisado, faz com que tenha tendência a apresentar maior índice de vazios, por este motivo as incorporações de borracha apresentaram maiores absorções para este ensaio.

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A Figura 29 apresenta os resultados obtidos por meio do ensaio de absorção por capilaridade, levando em consideração a área da seção transversal dos corpos de prova de 210 cm². O apêndice M apresenta o resultado completo do ensaio.

Figura 29. Gráfico da absorção de água por capilaridade (g/cm^2).



Fonte: Próprio autor.

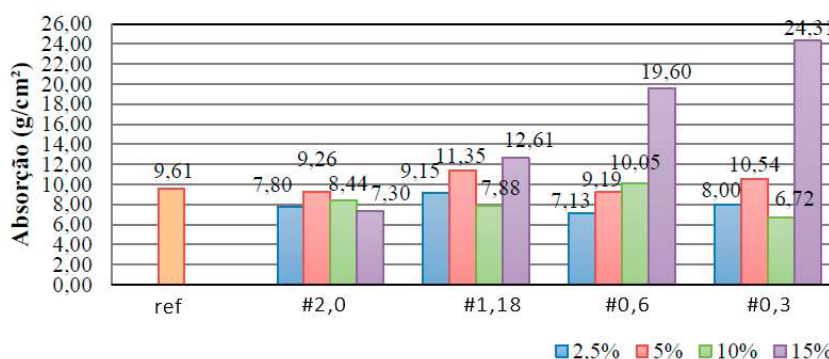
A análise apresenta que a incorporação de borracha de pneus traz novas características à argamassa. Já na primeira medição após o contato com a lâmina de água, aos 180 minutos, foi notada uma queda de absorção em todas as amostras emborrachadas se comparadas com o traço referência (AREF), chegando a diferença de 50% entre este e o traço A20F. Para a segunda medição, aos 360 minutos, a absorção de AREF continuou sendo significativamente superior aos demais compósitos. As medições seguintes mostraram uma tendência a estabilização de absorção para o traço AREF, atingindo $4,42 \text{ g}/\text{cm}^2$ aos 1440 minutos e mantendo um valor bem próximo até o fim do ensaio, aos 4320 minutos. O traço A10G superou a absorção de AREF na terceira medição, sendo o traço que mais absorveu água no ensaio de capilaridade, numa porcentagem de aproximadamente 4,3% maior que o traço AREF. Os traços A10F e A20G tiveram comportamentos similares até a terceira pesagem, após os 1440 minutos, a diferença entre eles foi de $0,09 \text{ g}/\text{cm}^2$, sendo que A10F atingiu o maior valor entre eles. A20F foi o traço que menos absorveu água durante todo o procedimento de ensaio, totalizando uma queda de aproximadamente 27,4% se comparada com AREF. Com relação à influência da granulometria, pode-se considerar que os traços incorporados com borracha grossa tiveram valores de absorção mais altos do que os de borracha fina, se comparados na mesma porcentagem.

Canova *et. al.* (2012) em seu trabalho sobre as propriedades de argamassas mistas com adição de pó de borracha de pneus, se basearam na mesma norma para realizar o ensaio de capilaridade nos corpos de prova contendo 6, 8, 10 e 12% de adição de borracha em volume de agregado. O procedimento de ensaio também foi adaptado e os resultados apontaram similaridade com o presente trabalho, uma vez que todos os traços com borracha trouxeram menores absorções por capilaridade. Os autores apontam que a redução observada ocorreu devido a menor porosidade do material, posto que com a adição do pó de borracha aumentou a quantidade de agregados finos, e reduziu a relação água cimento da massa, causando fechamento dos poros e capilares.

Kurz *et. al.* (2018) estudaram, como já exposto, a influência da borracha de pneus em argamassas com substituição variando de 2,5 a 15%, e diversificando também em quatro frações granulométricas distintas (passantes nas peneiras de abertura de malha #2,00; #1,19; #0,60 e #0,3 mm). Para o ensaio de capilaridade, os autores também usaram a ABNT NBR 9779:2012 e os resultados mostraram que a menor absorção foi obtida pelo traço de substituição de 10% com a granulometria mais fina (#0,3 mm), que obteve o valor de 6,72 g/cm². O traço que obteve maior absorção por capilaridade foi o que se utilizou da mesma granulometria (#0,3 mm), com 15% de substituição, apresentando valor de 24,31 g/cm³. Foi notado que dos dezesseis traços analisados em relação ao traço referência, apenas seis obtiveram absorção superior à ela, foram eles: 5 e 15% com granulometria de #1,19 mm; 10 e 15% com granulometria de #0,6 mm; 5 e 15% com granulometria de #0,3 mm (Figura 30). Levando em consideração que menores absorções trazem melhores desempenhos para as argamassas de revestimento, os traços que se apresentaram vantajosos para esta aplicação foram os de 10% de substituição com granulometria de #0,3 mm, e o traço de 2,5% de substituição com granulometria de #0,6 mm. Já a absorção por imersão não seguiu o mesmo padrão obtido nos ensaios de capilaridade, pois os resultados mostraram que os únicos traços que apresentaram absorção inferior ao traço referência foram os com 2,5% de substituição,

independente da granulometria aplicada. Todos os demais traços seguiram uma tendência de crescimento com a Acréscimo de substituição de areia por borracha. Com isso, os maiores resultados de absorção foram atingidos pelos traços de substituição maior (15%).

Figura 30. Resultados dos ensaios de absorção por capilaridade de Kurtz *et al.* (2018).



Fonte: Adaptado de Kurtz *et al.* (2018).

Comparando os valores dos traços referência e com 10%, aos 4320 minutos de ensaio, Kurtz *et al.* (2018) atingiram um valor de absorção de capilaridade para o traço referência de 9,61 g/cm², enquanto o traço com borracha de granulometria #1,18 mm atingiu 7,88 g/cm² e o com #0,6mm atingiu 10,05 g/cm². Há uma divergência de seus resultados com os valores encontrados no presente trabalho, visto que para os autores citados, a granulometria de #0,6 mm absorveu mais do que a granulometria de #1,18 mm, sendo maior até do que para o traço referência. E como já apresentado, o presente trabalho exibiu queda significativa entre a borracha fina com relação à grossa. A Tabela 12 apresenta numericamente a diferença dos resultados.

Tabela 12. Comparação dos resultados dos ensaios de capilaridade com Kurtz *et al.* (2018).

Absorção de água por capilaridade – C (g/cm ²)			
Ensaio	AREF	A10G	A10F
Autora (2020)	4,48	4,68	3,99

Kurz *et. al.* (2018) 9,61 7,88 10,05

Fonte: Próprio autor.

Pagoto (2018), diferentemente de Kurz *et. al.* (2018), apresenta valores mais próximos dos encontrados no presente trabalho, mesmo utilizando norma europeia para realização dos estudos sobre capilaridade. A Tabela 13 apresenta uma comparação com os resultados encontrados por Pagoto (2018) aos 2880 minutos de ensaio. Este tempo foi determinado para a comparação por ser o mais longo entre os dois procedimentos. Na norma utilizada por Pagoto (2018) foi feito o uso de cera de abelha para vedar as laterais dos corpos de prova, esperando que seus resultados apontassem valores reduzidos. O que se está comparando então não são valores quantitativos, mas sim uma análise de proporções entre os compósitos.

Tabela 13. Comparação da absorção de água por capilaridade aos 2880 minutos com Pagoto (2018).

Absorção de água por capilaridade - C (g/cm ²) – 2880 minutos					
Ensaio	AREF	A10G	A10F	A20G	A20F
Autora (2020)	4,46	4,63	3,86	3,75	3,00
Pagoto (2018)	1,94	1,93	1,72	1,80	1,42

Fonte: Próprio autor.

A similaridade dos resultados pode ser observada, dado que para ambos autores, A20F apresentou a menor absorção entre todos os traços. Além disso, os compósitos de borracha fina apresentaram valores menores do que os de borracha grossa nos dois procedimentos. O traço A10G apresentou grande aproximação com o resultado de AREF nos dois ensaios, principalmente para Pagoto (2018), em que AREF supera A10G por apenas 0,01 g/cm². O presente trabalho apresenta A10G com o maior resultado de absorção, como já apresentado, mas o valor é próximo de AREF, variando apenas 0,17 g/cm².

Para Pagoto (2018) o resultado completo do ensaio também mostrou uma tendência de retardo de absorção de água pelos compósitos com borracha de

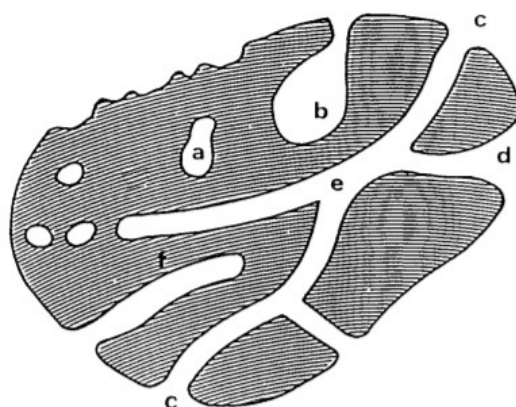
pneus, ou seja, assim como para o presente trabalho a incorporação fez com que a velocidade de absorção fosse reduzida nos momentos iniciais.

Bernardi (2019) que também estudou a avaliação do comportamento das argamassas de revestimento com a incorporação de pó de borracha de pneus, com substituição de 5, 15 e 30% em volume do agregado, mostrou em seu estudo sobre capilaridade, baseado na ABNT NBR 15259:2005, que também sela as laterais dos corpos de prova como o procedimento usado por Pagoto (2018), que todos os seus traços com inclusão de borracha tiveram as absorções reduzidas se comparadas com o traço referência. Além disso, as maiores porcentagens de substituição obtiveram menores valores de absorção, concluindo que a incorporação pode ser positiva em casos de aplicação em argamassas de revestimento.

Logo, por meio dos resultados adquiridos pelo ensaio e pelo referencial teórico estudado, entende-se que a incorporação de borracha de pneus reduz a absorção de água pela capilaridade, além de diminuir a velocidade que essa água caminha pela argamassa. As explicações para os resultados podem estar ligadas ao aumento do teor de ar no compósito com a inserção do material não-convencional e com o fato da borracha praticamente não absorver água, tornando assim o caminho de fluxo de água pelos capilares mais dificultada, mesmo que sua incorporação cause insatisfatória compactação na massa e consequentemente maior porosidade, como explanado no resultado do ensaio de imersão. Ademais, como Nakakura e Cincotto (2004) apresentaram, a existência de poros interligados ou não, além da diferença de diâmetros, pode influenciar na permeabilidade, isso significa que ela será alta se também houver grande quantidade de poros na matriz, e que estes estejam interligados contribuindo para o fluxo, característica chamada de porosidade aberta. Se a porosidade é descontínua, mesmo sendo elevada, ela não apresentará um alto nível de absorção de capilaridade, denominada porosidade fechada (Figura 31).

Outrossim da porosidade contínua, outro fator que auxilia no processo de absorção por capilaridade é o tamanho dos poros, Silva (2006) exhibe que quanto menor o raio dos capilares formados pelos poros da massa, maior será a altura que a água atingirá no corpo de prova e maiores as taxas de absorção. Logo, considerando os resultados obtidos, pode-se criar como hipótese que o aumento da porcentagem de borracha ocasionou maior quantidade de poros e que estes não proporcionaram um fluxo de capilaridade tão contínua quanto para o corpo de prova referência ou que a incorporação de borracha diminuiu o teor de material fino da massa (por ser o agregado fino substituído parcialmente pela borracha) ocasionando aumento do raio de capilaridade pela ação hidrofóbica do material emborrachado.

Figura 31. Seção transversal esquemática de um material poroso: "a" poro fechado "b", "c", "d", "e" e "f" poro aberto.



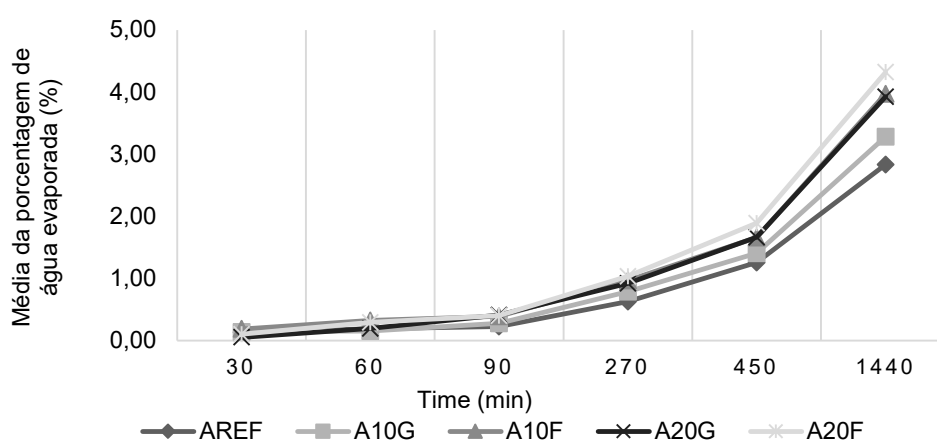
Fonte: Adaptado de Rouquerol, J. *et al.* (1974).

4.4 ENSAIO DE SECAGEM

O resultado completo do ensaio de secagem está apresentado no Apêndice N. Pela Figura 32 pode-se analisar o gráfico das médias do percentual de água evaporada, que levam em consideração o valor da massa inicial de cada corpo de prova referente ao final do ensaio de capilaridade e a massa correspondente à pesagem durante o tempo de secagem.

Os dados do gráfico (Figura 32) mostram que para os 60 primeiros minutos as maiores percentagens de evaporação foram obtidas pelo traço com 10% de incorporação de borracha fina e após 90 minutos de secagem, este mesmo compósito juntamente com os de 20% de incorporação (A20G e A20F) apresentavam os valores mais altos de evaporação, tendência que se estendeu até o final do ensaio aos 1440 minutos.

Figura 32. Gráfico do percentual de água evaporada pelo ensaio de secagem.



Fonte: Próprio autor.

Relacionando o ensaio de capilaridade e o ensaio de secagem, pode-se afirmar que os dois traços que mais absorveram água (AREF e A10G) foram os que menos perderam no ensaio de secagem. O inverso também se faz verdadeiro, uma vez que A20F apresentou a menor absorção por capilaridade e a maior taxa de secagem (Tabela 14). Pagoto (2018) em seu ensaio capilaridade e secagem também apresentou a mesma tendência para os compósitos de borracha grossa com 20% de incorporação e de borracha fina com incorporação de 5, 10, 15 e 20%, exibindo que estes obtiveram maiores percentuais de água evaporada, ou seja, aumentaram a capacidade de secagem da argamassa, mas a mesma conclusão não pode ser constatada para os compósitos de borracha grossa com 5 e 10% de

incorporação, pois para a referida autora os dois traços apresentaram redução da capacidade de secagem.

Tabela 14. Comparação do resultado de capilaridade e secagem.

Ensaio	AREF	A10G	A10F	A20G	A20F
Capilaridade	4,46	4,63	3,86	3,75	3,00
Secagem	2,83	3,28	3,97	3,93	4,32

Fonte: Próprio autor.

O ensaio de secagem mostrou que para o tempo analisado, os compósitos de borracha fina tiveram os melhores resultados, dado que uma maior porcentagem de evaporação para a argamassa de revestimento, traz benefícios e evita o surgimento de manifestações patológicas no sistema. Para os traços com borracha grossa, a maior taxa de secagem foi obtida pela maior porcentagem de incorporação de borracha (20%), e todos os traços analisados secaram mais rapidamente do que o traço referência (AREF).

Relacionando o que foi concluído para a capilaridade, entende-se que os traços que menos permitiram a absorção por capilaridade eram os que supostamente apresentavam poros fechados e/ou de dimensões que não propiciavam a ascensão da água no material. Logo, provavelmente os compósitos que tiveram menor ascendência de água, secaram em maiores proporções por apresentaram menos umidade interna e mais superficialmente.

4.5 PROCESSO DE UMIDIFICAÇÃO E SECAGEM

Os resultados dos ensaios realizados no processo de umidificação e secagem serão apresentados divididos entre passiva e ativa, e dentro destes subdivididos entre os três tempos de contato com a água (1 min, 1 h e 24 h), e por fim entre os ensaios realizados: controle de massa, ensaio termográfico e aferição da umidade.

4.5.1 Passiva – 1 min

Para os ensaios de umidificação e secagem passiva com 1 minuto de contato com a água teve-se os seguintes resultados:

a) Controle de massa

O controle de massa de todos os corpos de prova com 1 minuto de contato com a água está apresentado na Tabela 15, contendo os respectivos valores de massa anterior à umidificação (antes) e durante o processo de secagem até 48 horas.

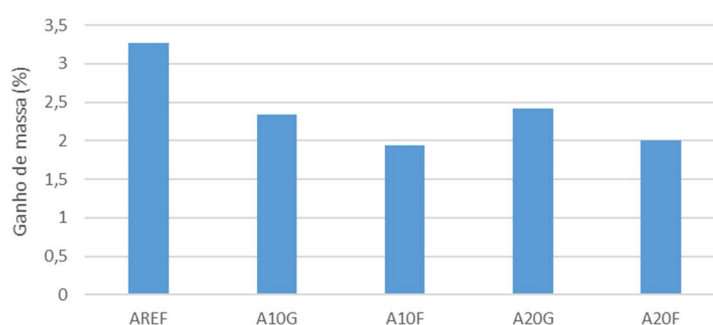
Tabela 15. Resultados de controle de massa passiva de 1 minuto de contato com a água.

	Passivo 1 min – massa (g)												
	Antes	1 min	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h
AREF	7430	7673	7673	7669	7668	7665	7658	7634	7634	7609	7562	7562	7552
A10G	6909	7071	7071	7069	7066	7063	7055	7047	7030	7010	6990	6974	6974
A10F	6588	6716	6714	6710	6709	6706	6701	6694	6688	6667	6649	6637	6635
A20G	6426	6581	6581	6577	6576	6571	6567	6560	6542	6518	6498	6484	6477
A20F	6095	6217	6213	6213	6212	6206	6198	6192	6181	6157	6142	6132	6130

Fonte: Próprio autor.

A Figura 33 expõe a relação de ganho de massa antes e após 1 minuto de contato com água.

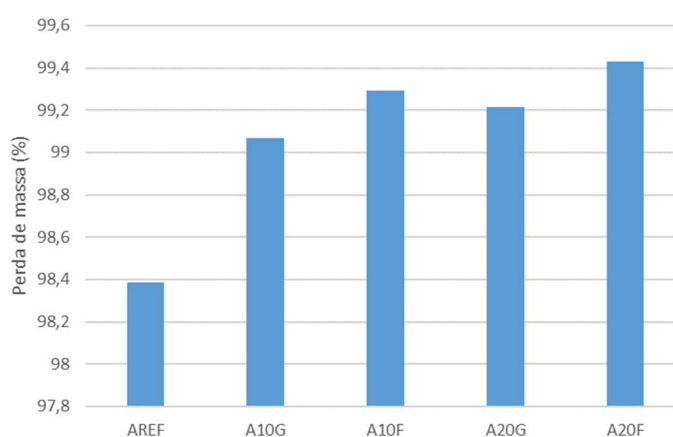
Figura 33. Porcentagem de ganho de massa após 1 minuto de contato com a água.



Fonte: Próprio autor.

Com foco na secagem dos corpos de prova, a Figura 34 apresenta a comparação das taxas de perda de massa entre antes de 1 minuto de contato com a água e após 48 horas do processo de secagem.

Figura 34. Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem.



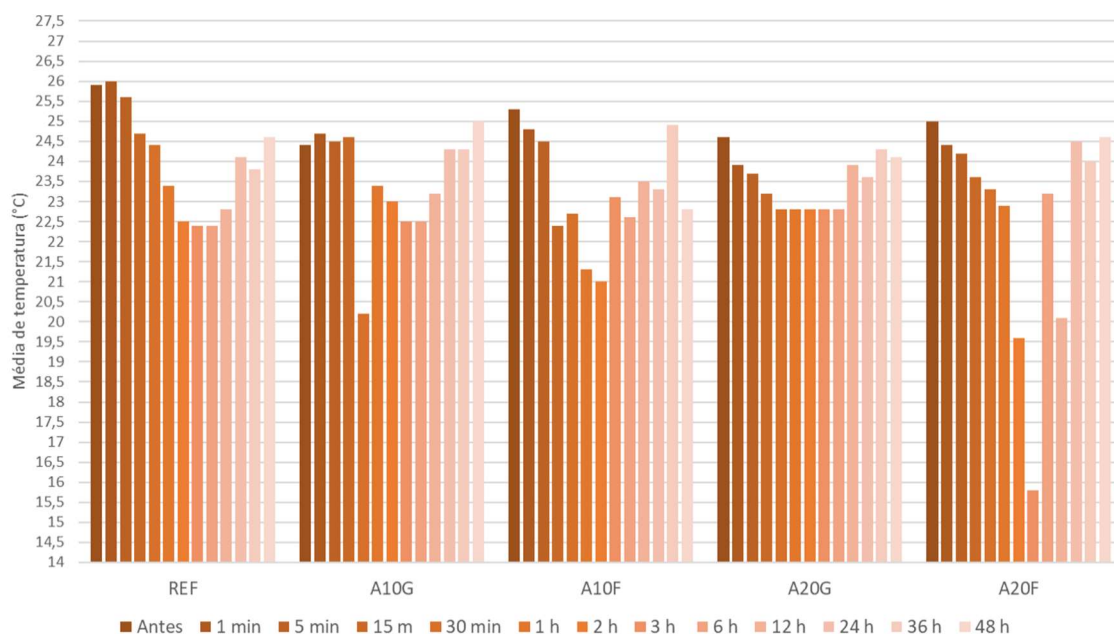
Fonte: Próprio autor.

b) Ensaio termográfico

O ensaio termográfico consistiu na geração de imagens com a utilização de câmera termográfica, durante momentos preestabelecidos. Para a etapa passiva os períodos de tempo variaram de 1 minuto a 48 horas, acompanhando o processo de secagem, totalizando 13 termogramas. Os resultados completos dos ensaios termográficos de 1 minuto de contato com a água estão expostos no Apêndice A.

A Figura 35 apresenta o gráfico com as temperaturas médias obtidas por meio dos termogramas que foram tratados pelo software *Flir Tools*. Com o auxílio da ferramenta foi possível fazer o tratamento das imagens térmicas e o cálculo das médias de temperatura somente na superfície dos corpos de prova, eliminando possíveis áreas externas enquadradas na imagem.

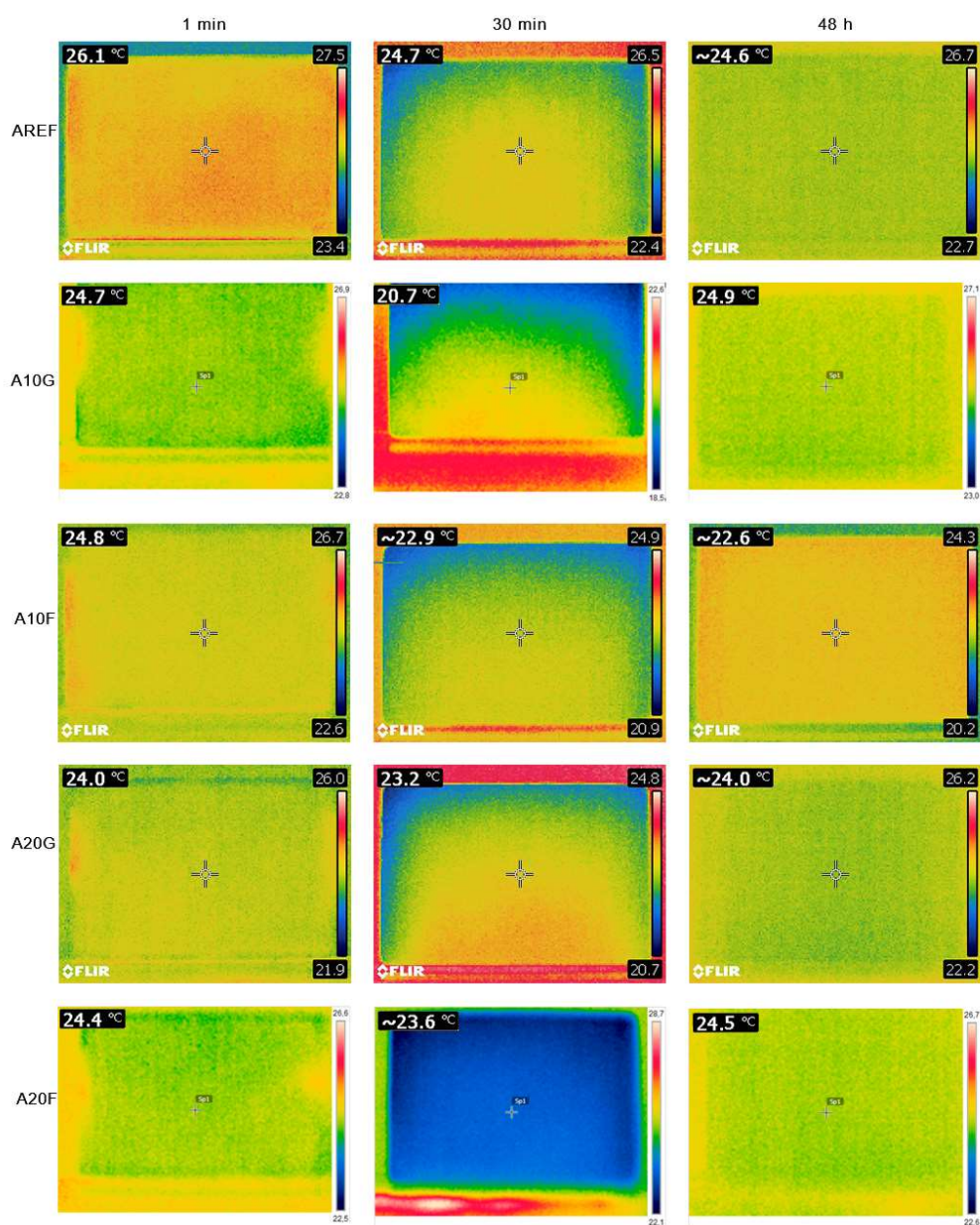
Figura 35. Gráfico com a médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 1 minuto de contato.



Fonte: Próprio autor.

Os ensaios termográficos foram analisados em três momentos distintos, 1 minuto, 30 minutos e 48 horas após sua imersão total de 1 minuto em água, e apresentados na Figura 36.

Figura 36. Termogramas em 1 minuto, 30 minutos e 48 horas durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 1 minuto de contato.



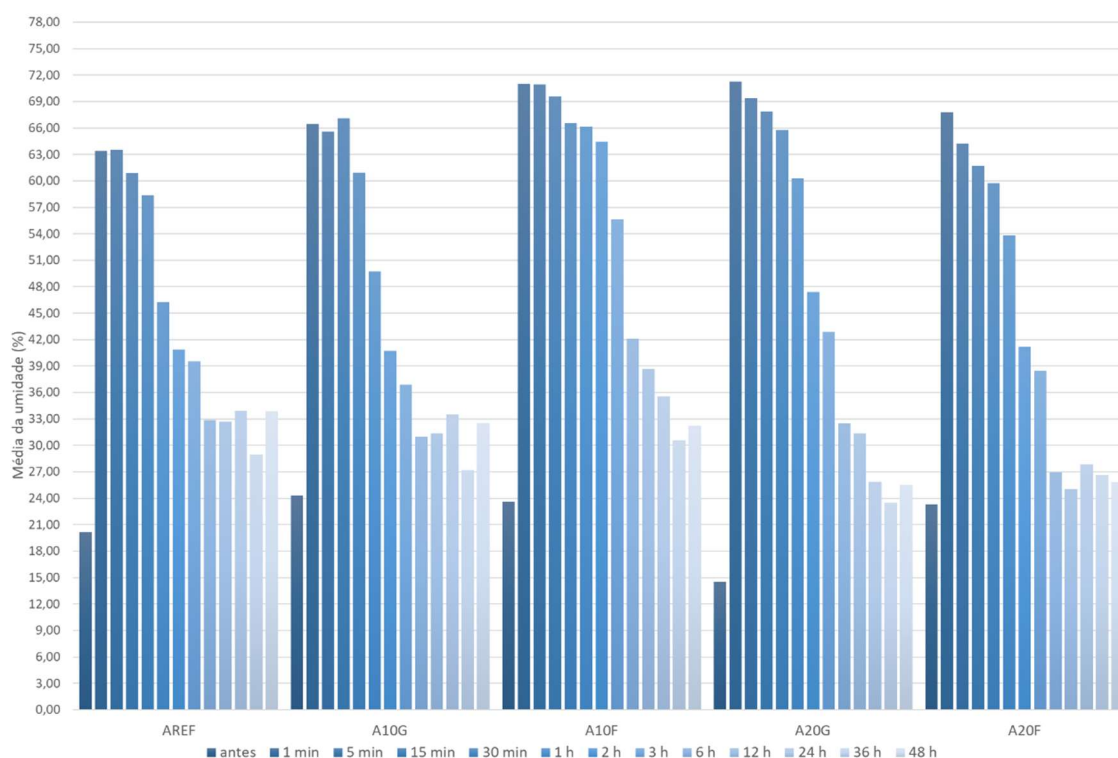
Fonte: Próprio autor.

c) Aferição de umidade

Com o auxílio da malha confeccionada sobre os corpos de prova dos compósitos cimentícios, foi realizado um gráfico de área com os valores e cálculos das médias e desvios-padrão pelo software *Excel*.

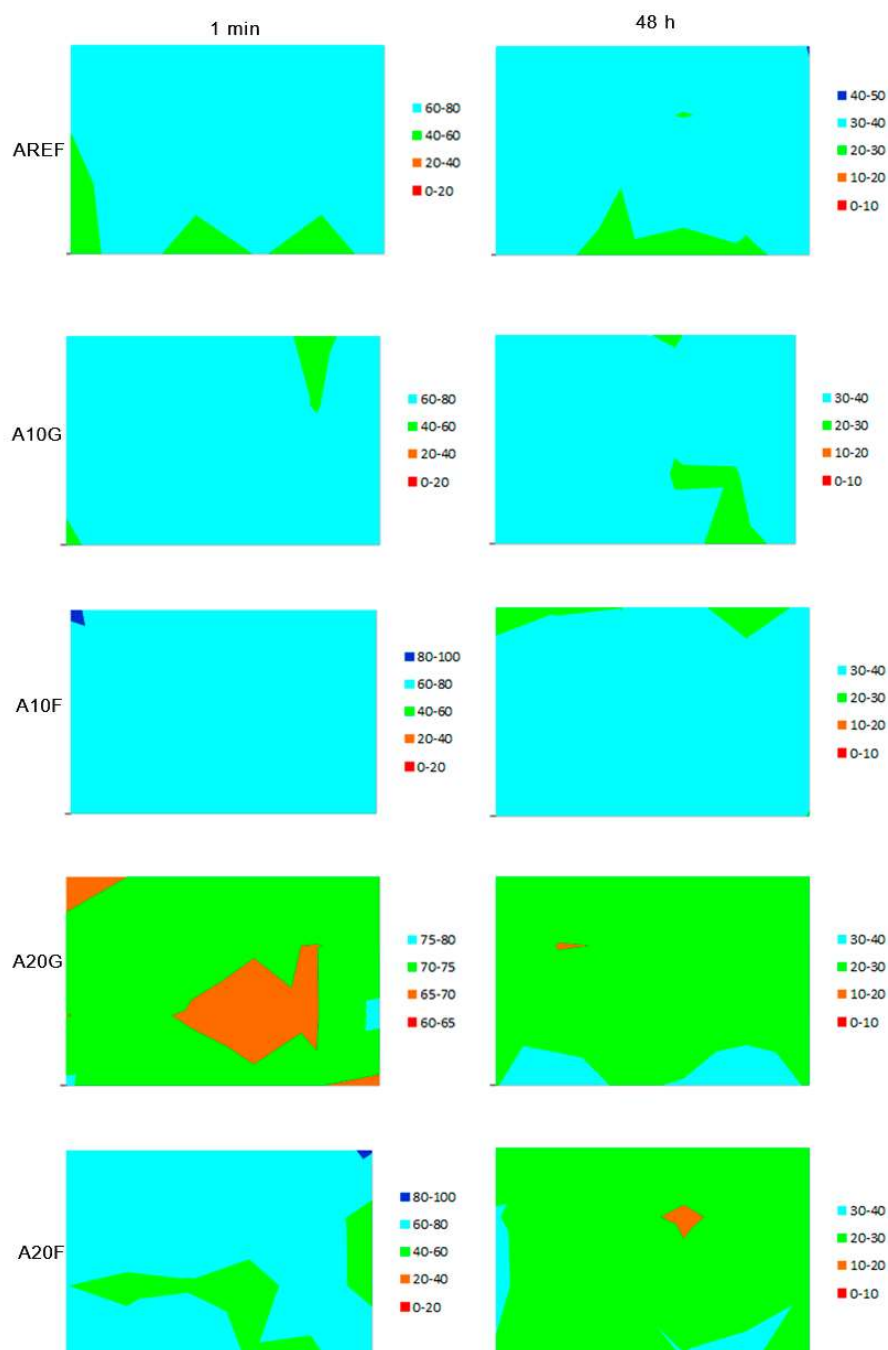
Para os ensaios de 1 minuto de contato com água no processo de secagem passiva, os resultados de umidade estão expostos no Apêndice B. A Figura 37 apresenta o gráfico dos resultados médios de todos os compósitos produzidos. Já a Figura 38 apresenta os gráficos de área confeccionados com os valores de umidade nos 24 pontos da malha dos corpos de prova.

Figura 37. Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (1 minuto).



Fonte: Próprio autor.

Figura 38. Gráficos de umidade com 1 minuto e 48 horas de secagem.



Fonte: Próprio autor.

d) Avaliação dos ensaios

Os três ensaios realizados para o procedimento de umidificação e secagem passiva com 1 minuto de contato foram apresentados de forma separada, mas aconteceram simultaneamente. Esta informação também vale para os demais períodos de tempo a serem apresentados posteriormente, tanto nas etapas passivas como nas ativas. Dessa maneira, pretende-se a partir de suas explicações trazer uma análise conjunta dos resultados.

O controle de massa teve como resultado entre todos os traços a queda de seus valores conforme a realização do ensaio. Fator que não se pode relacionar com as variações de temperatura, pois elas não apresentaram padrões constantes como a massa. Analisando o gráfico de perdas da Figura 34, o traço AREF apresentou maior quantidade de água acumulada em seu interior se comparado com os traços com borracha, fator que não foi possível analisar nos termogramas de 48 horas exibidos na Figura 36, em que todos os traços apresentam praticamente a mesma tendência visual.

Analisando o controle de massa e a aferição de umidade, entende-se que para 1 minuto de ensaio o gráfico de ganhos (Figura 33) apresentou que AREF obteve a maior taxa de massa, ou seja, maior absorção durante o tempo de contato com a água. Para os gráficos de umidade (Figura 38), o momento de 1 minuto não apresentava o traço AREF como sendo o testemunho mais úmido entre todos os analisados, mesmo sendo o que mais absorveu água. Curiosamente, o corpo de prova que apresentou os maiores percentuais de umidade foi o do traço A10F, que justamente menos absorveu água. Diante do exposto, possivelmente o contato com 1 minuto de imersão em água fez com que o traço A10F, embora não tenha apresentado elevada quantidade de água absorvida em seu interior quando comparado aos demais traços com borracha, acumulou mais água em sua superfície.

4.5.2 Passivo – 1 hora

Para os ensaios de umidificação e secagem passiva com 1 hora de contato com a água, teve-se os seguintes resultados:

a) Controle de massa

O controle de massa de todos os corpos de prova com 1 hora de contato com a água está apresentado na Tabela 16, mostrando o valor de massa anterior à umidificação (antes) e durante o processo de secagem até 48 horas.

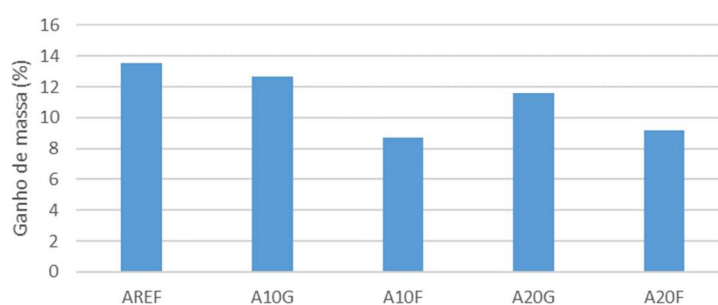
Tabela 16. Resultados de controle de massa passivo de 1 hora de contato com a água.

	Antes	Passivo 1 h - massa (g)											
		1 min	5 min	15 m	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h
AREF	7426	8432	8427	8422	8420	8415	8403	8389	8350	8281	8202	8107	8044
A10G	6915	7789	7777	7773	7772	7764	7754	7743	7718	7668	7603	7521	7463
A10F	6592	7168	7166	7163	7161	7154	7143	7135	7106	7043	6974	6916	6885
A20G	6425	7171	7166	7165	7162	7159	7152	7144	7124	7091	7027	6956	6902
A20F	6100	6661	6655	6655	6648	6648	6641	6633	6606	6542	6471	6411	6380

Fonte: Próprio autor.

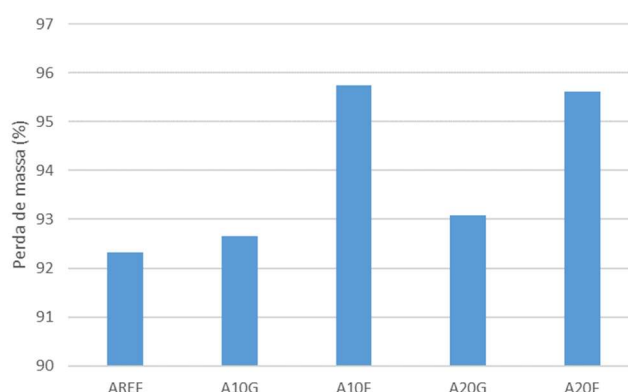
Na sequência, para a análise de ganhos e perdas, apresenta-se os gráficos de ganhos (Figura 39) e perdas (Figura 40) de massa referentes ao processo de umidificação e secagem.

Figura 39. Porcentagem de ganho de massa após 1 hora de contato com a água.



Fonte: Próprio autor.

Figura 40. Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem.



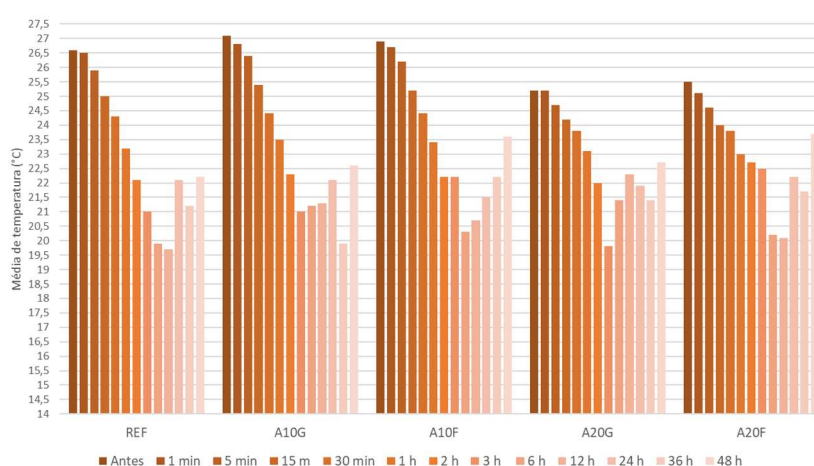
Fonte: Próprio autor.

b) Ensaio termográfico

Para o ensaio passivo estes tempos variaram de 1 minuto a 48 horas, acompanhando o processo de secagem, totalizando 13 termogramas. O resultado completo do ensaio está exposto no Apêndice C.

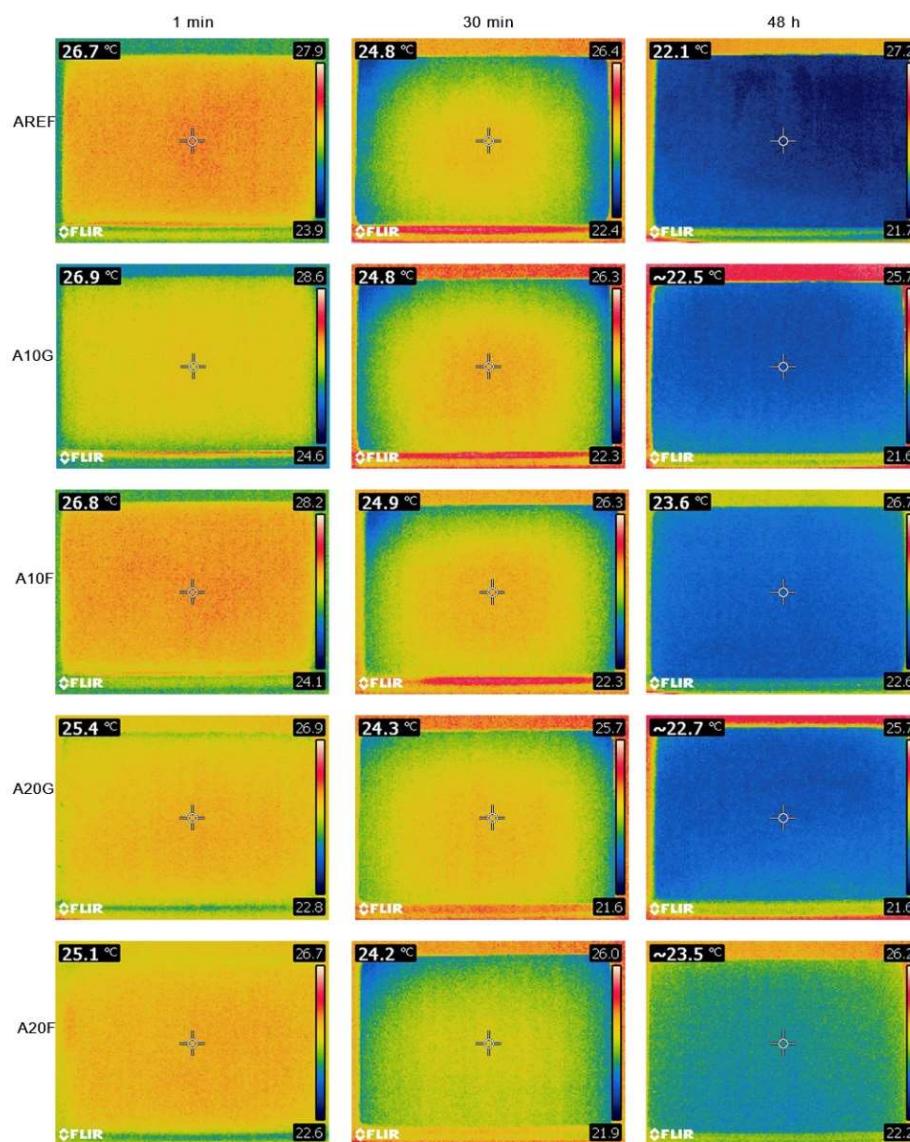
A Figura 41 apresenta o gráfico com as temperaturas médias obtidas por meio dos termogramas que foram tratados pelo software *Flir Tools*.

Figura 41. Gráfico com as médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 1 hora de contato.



Fonte: Próprio autor.

Figura 42. Termogramas em 1 minuto, 30 minutos e 48 horas durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 1 hora de contato.



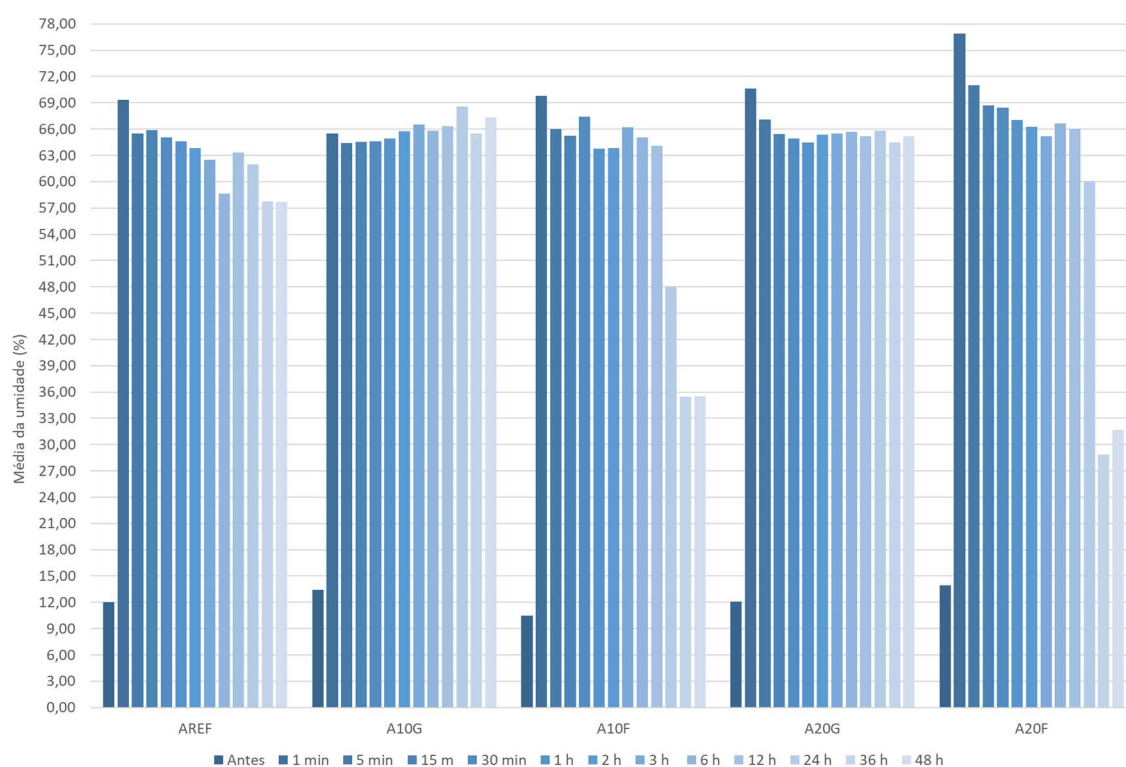
Fonte: Próprio autor.

A Figura 42 apresenta os resultados dos ensaios em 1 minuto, 30 minutos e 48 horas de secagem passiva.

c) Aferição de umidade

Para a análise da aferição de umidade em 1 hora no processo passivo, a Figura 43 apresenta o gráfico com as médias dos resultados e os dados detalhados do ensaio estão exibidos na Apêndice D.

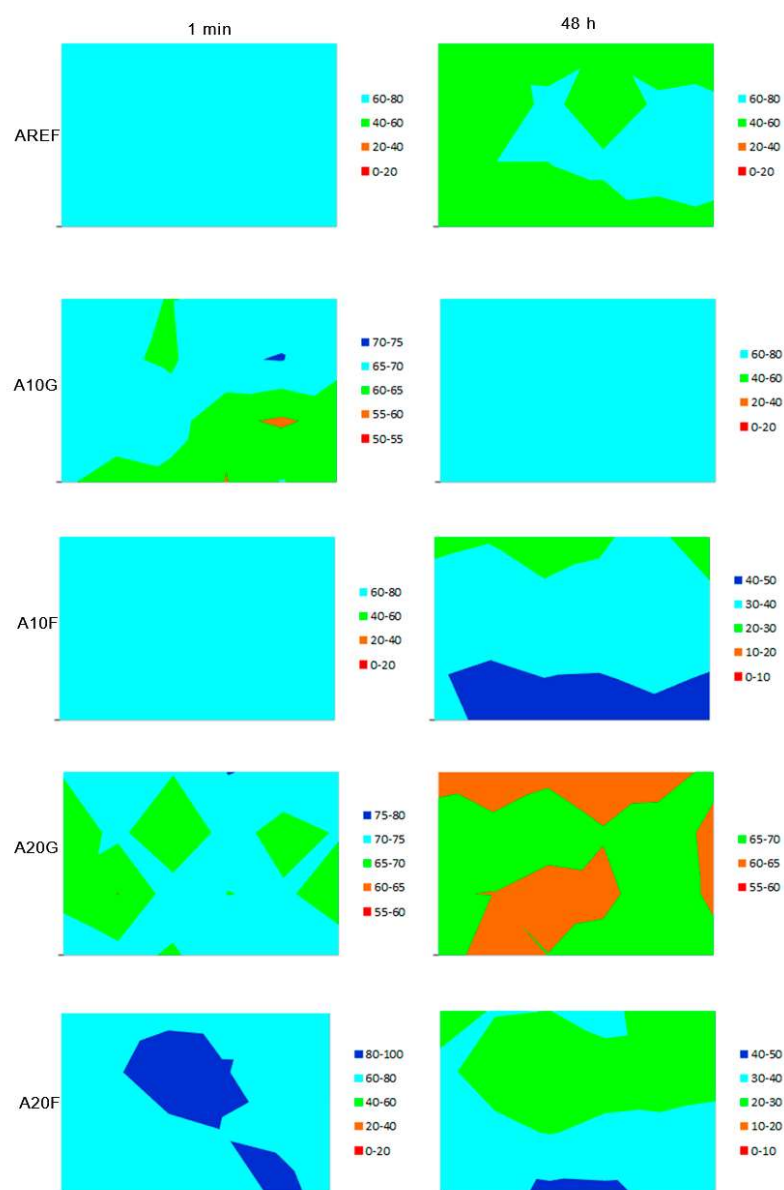
Figura 43. Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (1 hora – secagem passiva).



Fonte: Próprio autor.

A Figura 44 apresenta os gráficos de área relativos às umidades superficiais para 1 minuto e 48 horas do processo de umidificação, e secagem passiva com 1 hora de contato com a água.

Figura 44. Gráficos de umidade com 1 minuto e 48 horas de secagem.



Fonte: Próprio autor.

d) Avaliação dos ensaios

Sobre o controle de massa, o traço AREF apresentou maior taxa de ganho, seguido pelos compósitos de borracha grossa e depois pelos de borracha fina. Comparando estes resultados com as temperaturas obtidas em 1 minuto de ensaio, nota-se que não há padrão que as relacionem, pois nelas os maiores valores foram obtidos pelos traços A10G e A10F e os mais baixos por A20G e A20F. Relacionando com as imagens termográficas entende-se que em 1 minuto e em 30 minutos, não há relação que diferencie os corpos de prova que absorveram mais ou menos quantidade de água. Já para os ensaios de 48 horas os termogramas podem se relacionar com o gráfico de perdas, presente na Figura 40, pois os corpos de prova com mais perdas, ou seja, mais secos, apresentaram tons de azul mais claros e tons amarelados, e o AREF foi o traço com menos perda de água e consequentemente mais água em seu interior, apresentando tons de azul escuro e algumas manchas mais escuras.

Referente ao ensaio de 48 horas, as maiores perdas de massa foram alcançadas pelos corpos de prova de borracha fina, sendo que o traço AREF e os compósitos de borracha grossa apresentaram taxa de perda aproximadas entre si e mais baixas que os traços A10F e A20G. Estes dados são analisados também pelas médias de umidade dos corpos de prova no tempo de 48 horas (Figura 43), em que A10F e A20F mostraram valores de umidade superficial média bem mais baixos do que os demais compósitos. Os gráficos de umidade da Figura 44 também apresentaram que os traços A10F e A20F obtiveram valores de umidade mais baixos nas extremidades superiores e mais altos nas inferiores. Comparando estes dados com as imagens termográficas (Figura 42) o que se pode afirmar é que o traço A20F apresenta o termograma com maior gradiente de cores, sendo suas extremidades bem mais amareladas.

4.5.3 Passivo – 24 horas

Para os ensaios de umidificação e secagem passiva com 24 horas de imersão em água, teve-se os seguintes resultados:

a) Controle de massa

O controle de massa de todos os corpos de prova com 24 horas em contato com a água está apresentado na Tabela 17, mostrando o valor de massa anterior à umidificação (antes) e depois de 24 horas de submersão, acompanhando o processo de secagem, que durou 48 horas.

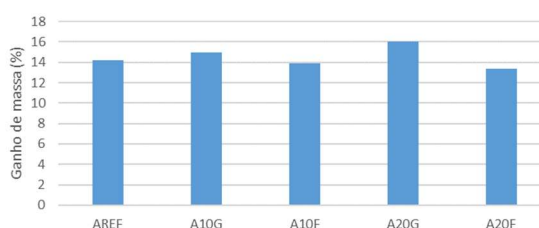
Tabela 17. Resultados de controle de massa passivo de 24 horas de contato com a água.

	Passivo 24 h - massa (g)												
	Antes	1 min	5 min	15 m	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h
AREF	7430	8483	8480	8475	8474	8469	8465	8454	8428	8367	8278	8170	8072
A10G	6910	7944	7941	7936	7935	7928	7923	7916	7900	7858	7776	7701	7619
A10F	6590	7506	7502	7501	7495	7490	7489	7481	7463	7419	7338	7243	7165
A20G	6425	7456	7454	7450	7446	7438	7433	7422	7402	7357	7274	7205	7099
A20F	6100	6914	6909	6906	6904	6899	6890	6881	6859	6808	6706	6603	6523

Fonte: Próprio autor.

A Figura 45 apresenta a taxa de ganho de massa, comparando a massa inicial (antes da imersão), e 1 minuto após ser retirado do contato com a água durante 24 horas.

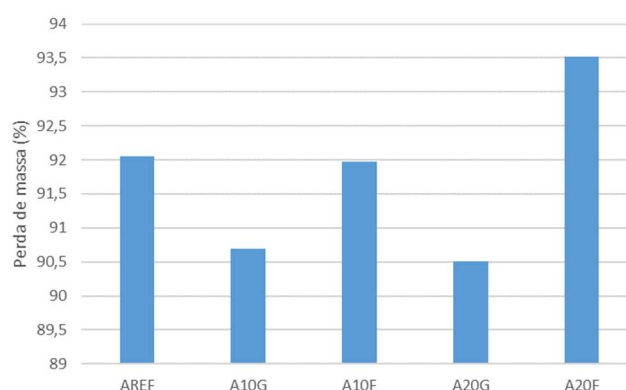
Figura 45. Porcentagem de ganho de massa após 24 horas de contato com a água.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 46 temos o gráfico com as perdas de massa durante o processo de secagem passiva dos corpos de prova que estiveram submersos durante 24 horas, ela faz uso dos valores de massa antes da imersão e após 48 horas do processo de secagem dos corpos de prova, relacionando-os numa porcentagem de perda de massa.

Figura 46. Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem.



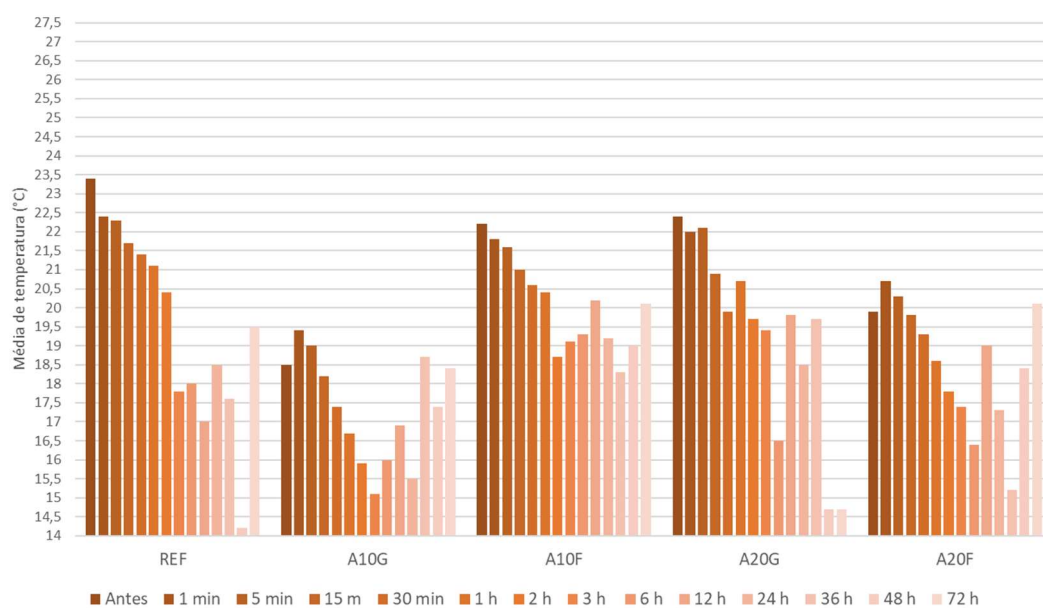
Fonte: Próprio autor.

b) Ensaio termográfico

Para o ensaio passivo estes tempos variaram de 1 minuto a 48 horas, acompanhando o processo de secagem, totalizando 13 termogramas. O resultado completo do ensaio está exposto no Apêndice E.

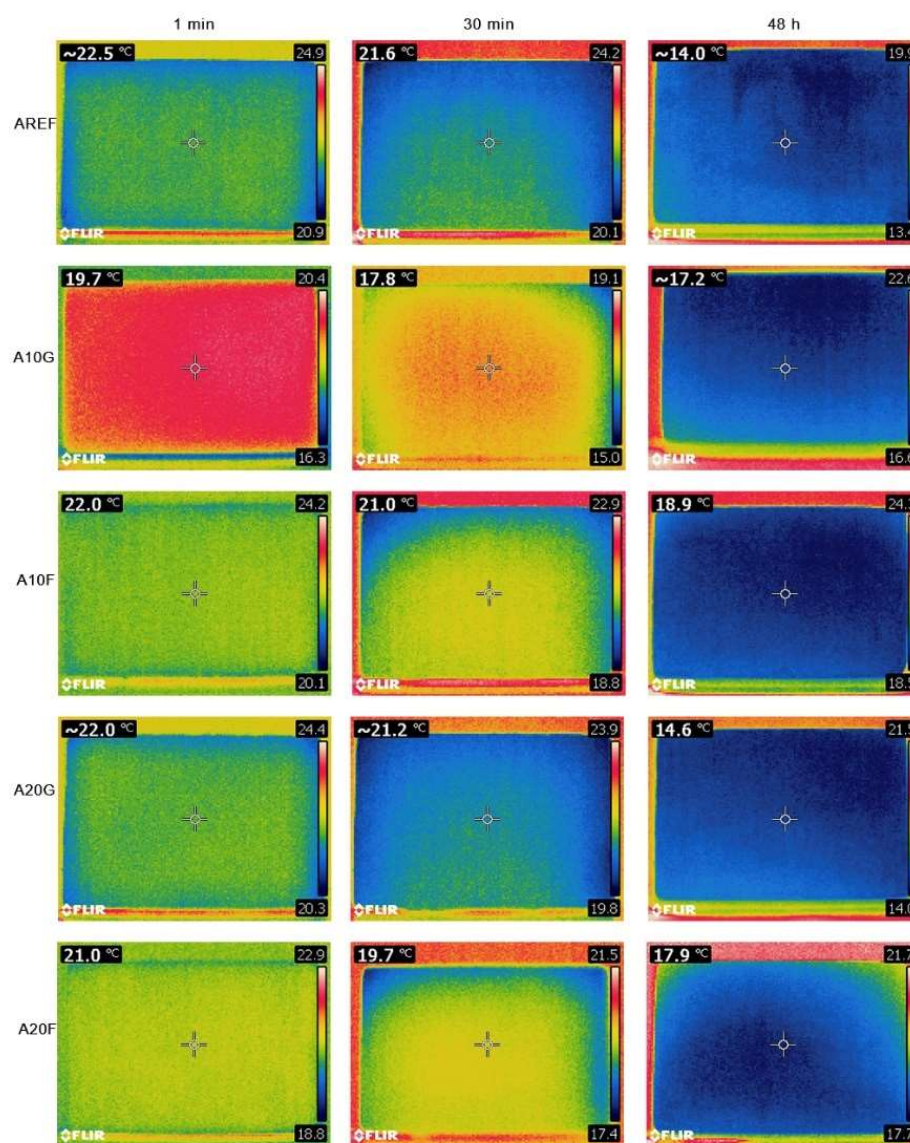
A Figura 47 apresenta o gráfico com as temperaturas médias obtidas por meio dos termogramas que foram tratadas pelo software *Flir Tools*. E a Figura 48 exibe os termogramas referentes a 1 minuto após a imersão, 30 minutos e 48 horas.

Figura 47. Gráfico das médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 24 horas de contato.



Fonte: Próprio autor.

Figura 48. Termogramas em 1 minuto, 30 minutos e 48 horas durante o ensaio de umidificação e secagem passiva – 24 horas de contato.

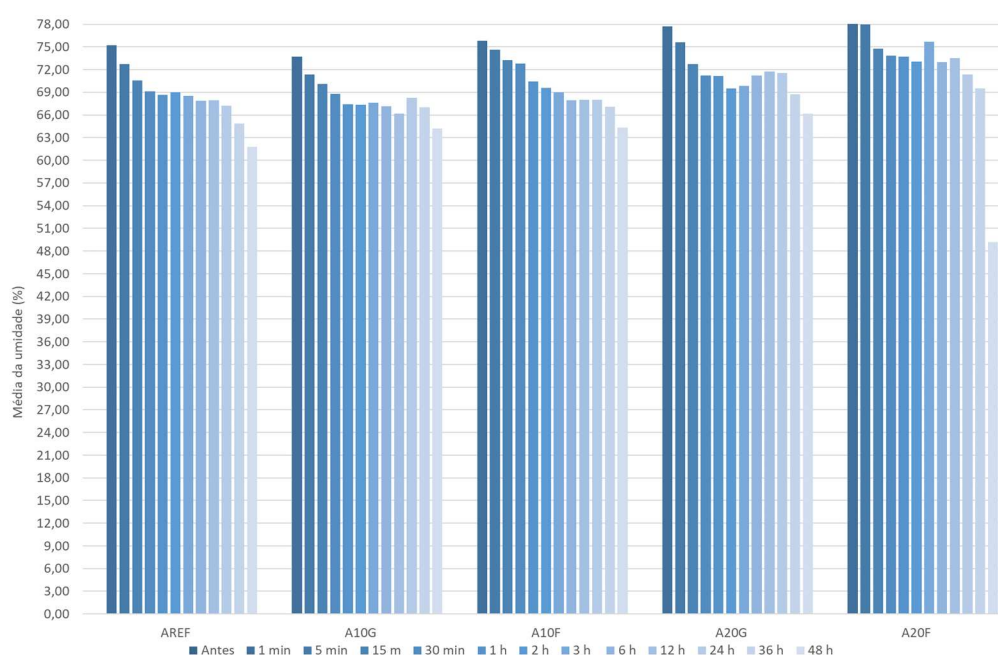


Fonte: Próprio autor.

c) Aferição de umidade

Para a análise da aferição de umidade em 24 horas no processo passivo a Figura 49 apresenta o gráfico com as médias dos resultados, sendo que os dados detalhados estão exibidos na Apêndice F.

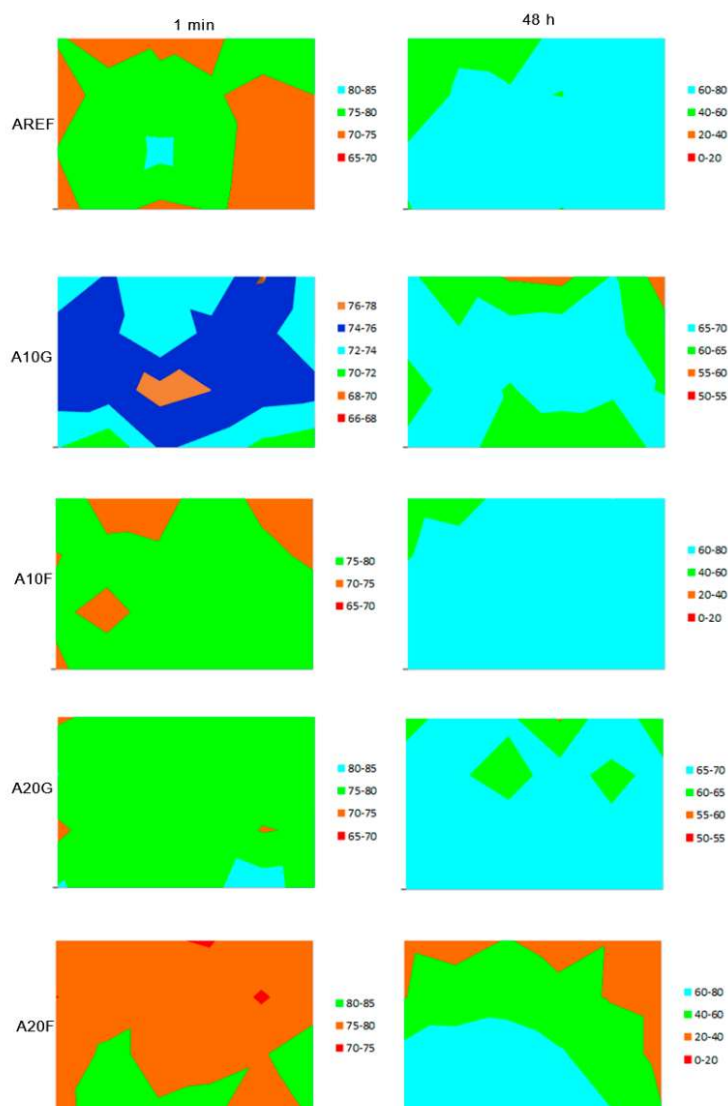
Figura 49. Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (24 horas – secagem passiva).



Fonte: Próprio autor.

A Figura 50 apresenta os gráficos de área relativos às umidades superficiais para 1 minuto e 48 horas do processo de umidificação, e secagem passiva com 1 hora de contato com a água.

Figura 50. Gráficos de umidade com 1 minuto e 48 horas de secagem.



Fonte: Próprio autor.

d) Avaliação dos ensaios

Analisando o controle de massa em 24 horas ficou evidente que para os ganhos exibidos na Figura 45 não há diferença entre os traços AREF, A10F e A20F, pois todos eles apresentam praticamente o mesmo valor de taxa de ganho de massa. Os compósitos com borracha grossa apresentaram valores mais elevados,

mas com aumento pouco significativo. Comparando estes fatores com o ensaio termográfico em 1 minuto (Figura 48) entende-se que estando em contato com a água durante 24 horas, os corpos de prova apresentaram maior quantidade de água e assim não diferenciaram em suas imagens superficiais. Todos os termogramas de 1 minuto exibiram centros mais quentes do que as extremidades. Relacionando com o ensaio de aferição de umidade em 1 minuto de ensaio (Figura 49) foi notado que a maior umidade superficial média foi atingida pelos traços A20F e A20G, e que imagens gráficas da Figura 50 não diferenciaram os corpos de prova que absorveram mais ou menos quantidade de água.

Analisando as 48 horas pelo gráfico de médias de umidade superficial, foi notório que o traço A20F apresentou o menor valor e que seu gráfico da Figura 49 pode ser relacionado com seu termograma da Figura 48, pois os dois apresentaram as extremidades superiores com diferenças de cor, com relação ao restante do corpo de prova. Correlacionando as duas imagens se percebe que há tendência dos termogramas apresentarem temperaturas mais elevadas em locais com maior porcentagem de umidade.

4.5.4 Ativo – 1 minuto

Para os ensaios de umidificação e secagem ativa com 1 minuto de contato com a água, teve-se os seguintes resultados:

a) Controle de massa

O controle de massa pode ser acompanhado por meio da Tabela 18, que apresenta os valores antes do contato com a água e durante o processo de secagem ativa (aquecimento com aparato de ativação). O processo foi acompanhado durante 3 horas após a imersão.

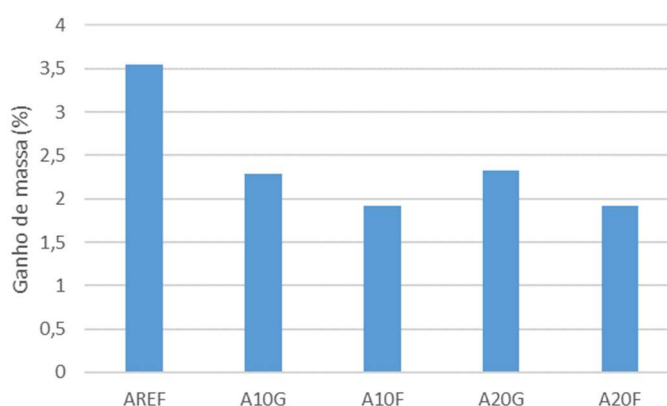
Tabela 18. Resultados de controle de massa ativo de 1 min de contato com a água.

	Ativo 1 min – massa (g)						
	Antes	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h
AREF	7426	7689	7685	7669	7647	7595	7554
A10G	6934	7093	7085	7072	7046	7001	6977
A10F	6607	6734	6724	6706	6683	6647	6617
A20G	6436	6586	6576	6563	6533	6502	6472
A20F	6110	6227	6212	6198	6170	6136	6111

Fonte: Próprio autor.

A Figura 51 apresenta a porcentagem de ganho de massa comparando o valor antes do contato de 1 minuto com a água e o valor da pesagem, após retirar da imersão e da permanência dos corpos de prova no aparato de ativação durante 5 minutos.

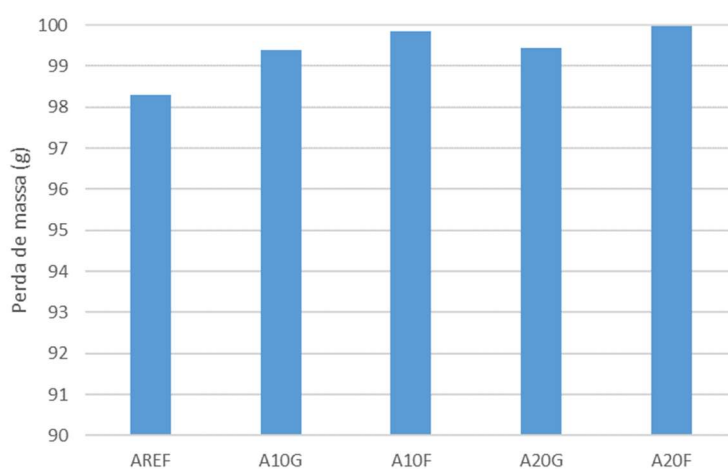
Figura 51. Porcentagem de ganho de massa após 1 minuto de contato com a água e 5 min dentro do aparato de ativação.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 52 pode ser visualizado o gráfico com a taxa de perda de massa referente aos valores de pesagem antes do contato com a água, e após 3 horas de secagem dentro do aparato de ativação.

Figura 52. Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem.

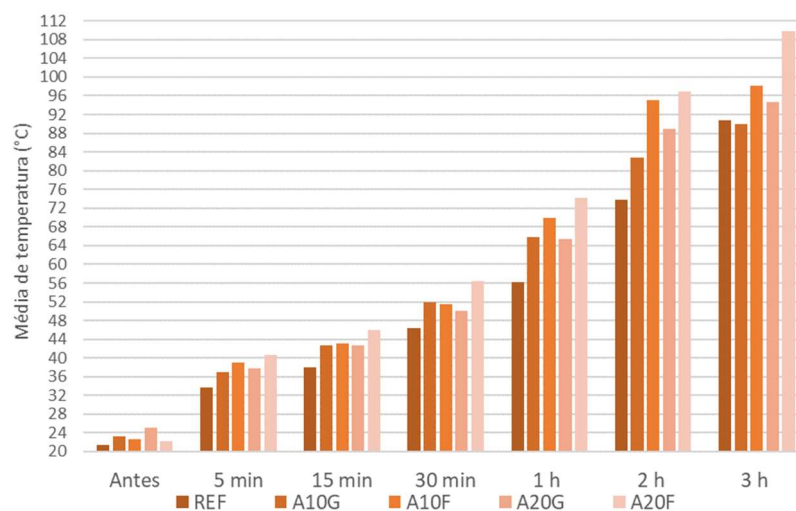


Fonte: Próprio autor.

b) Ensaio termográfico

Para o ensaio ativo os tempos variaram de 5 minutos a 3 horas acompanhando o processo de secagem, além do termograma antes da imersão, totalizando sete imagens termográficas. O resultado completo do ensaio está exposto no Apêndice G. A Figura 53 apresenta o gráfico com as temperaturas médias obtidas por meio dos termogramas que foram tratadas pelo software *Flir Tools*.

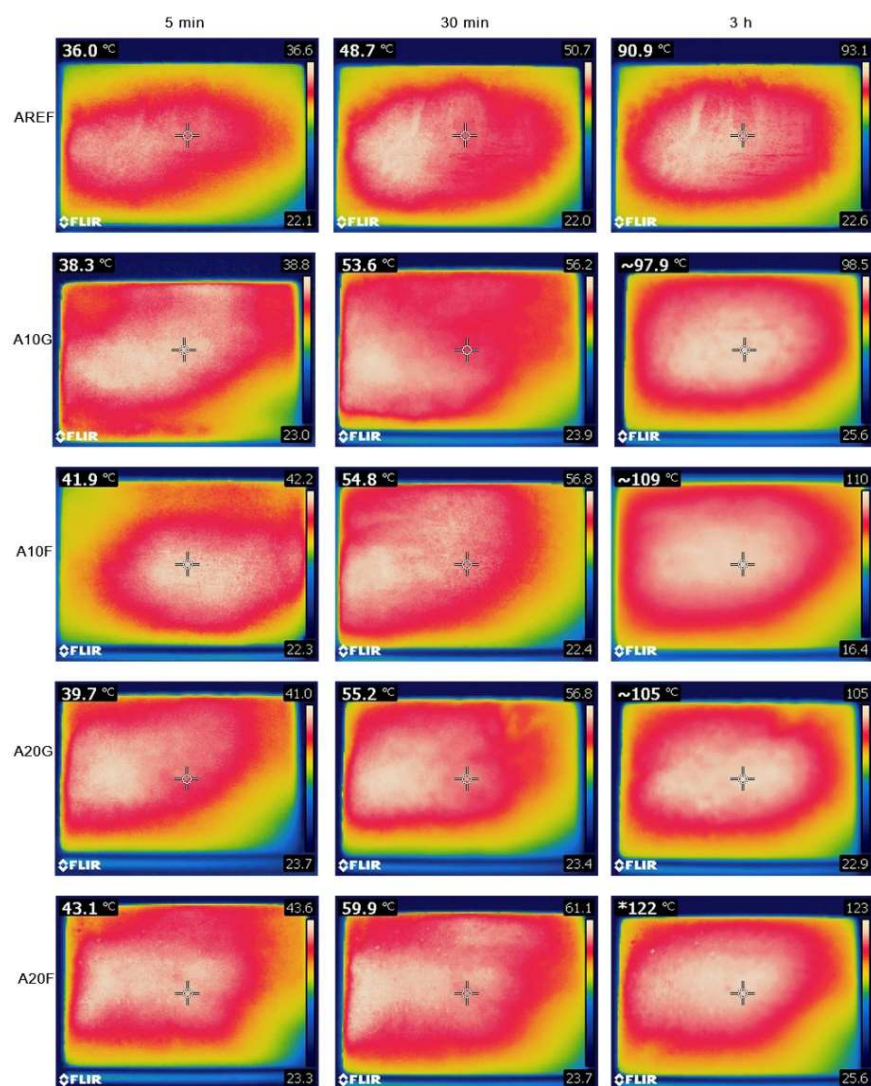
Figura 53. Gráfico das médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 1 minuto de contato.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 54 poderá ser visualizado os resultados dos termogramas de todos os traços analisados para os tempos de 5 minutos, 30 minutos e 3 horas do ensaio de secagem ativa com 1 minuto de contato com a água.

Figura 54. Termogramas em 5 minutos, 30 minutos e 3 horas durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 1 minuto de contato.

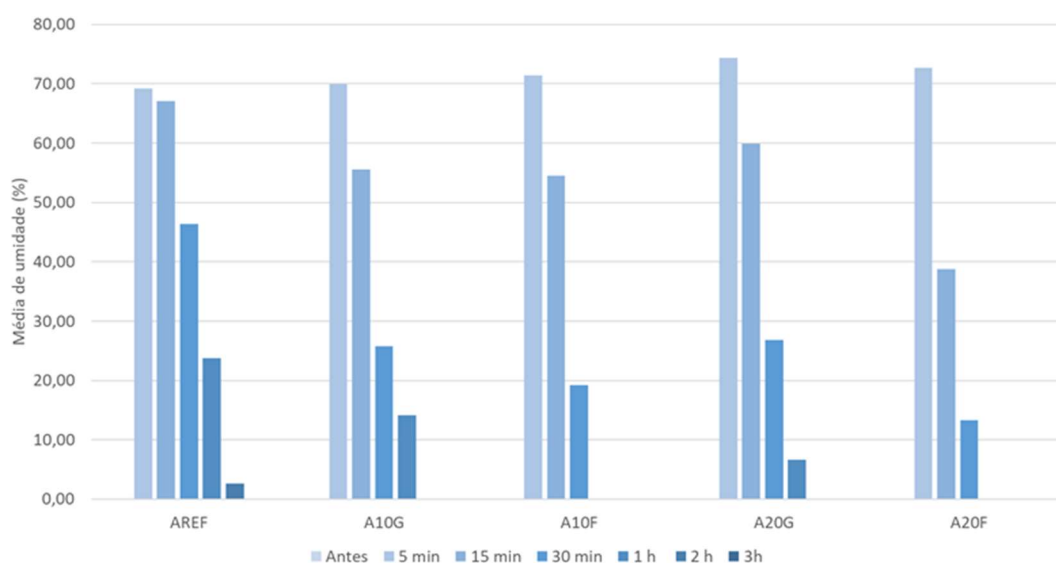


Fonte: Próprio autor.

c) Aferição de umidade

Para a análise da aferição de umidade em 1 minuto no processo ativo, a Figura 55 apresenta o gráfico com as médias dos resultados, e os dados detalhados estão exibidos na Apêndice H.

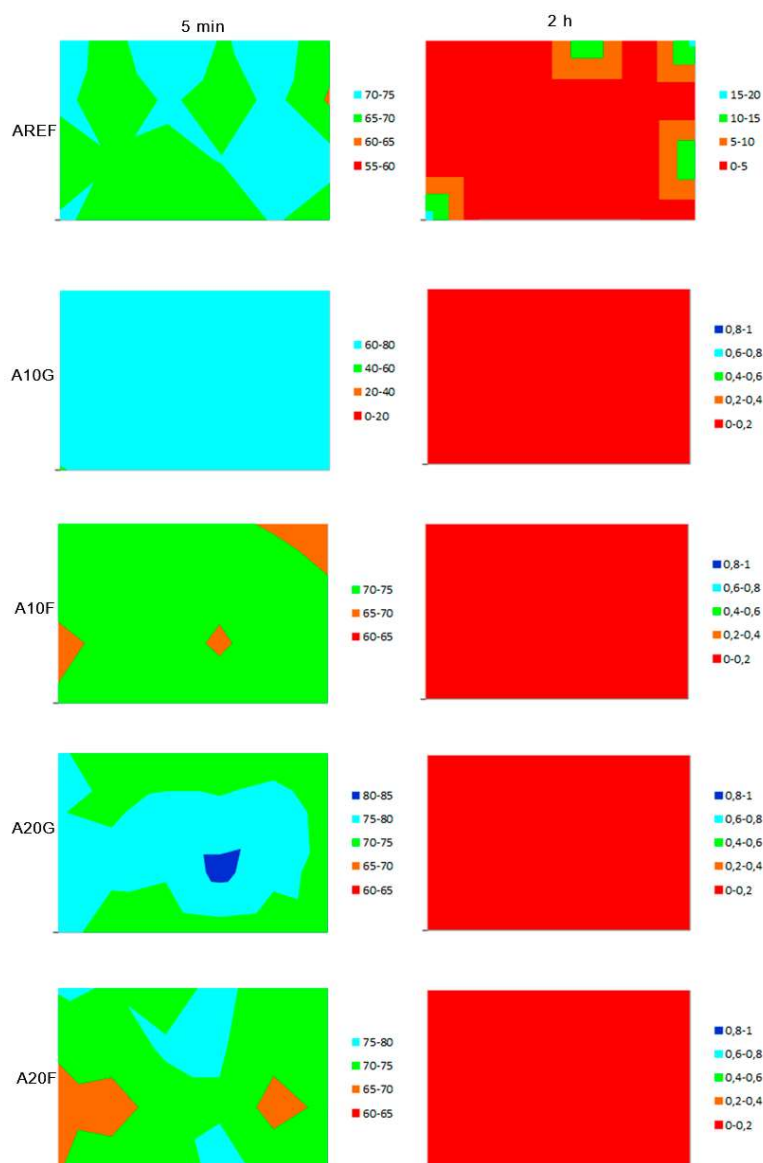
Figura 55. Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (1 minuto – secagem ativa).



Fonte: Próprio autor.

Os gráficos presentes na Figura 56 apresentam os valores de umidade superficial dos corpos de prova, durante 5 minutos e 1 hora de ensaio ativo. Optou-se por analisar os resultados da primeira aferição de umidade logo depois do contato com a água e a aferição de 2 horas, pois em todos os ensaios o último gráfico (3 horas) apresentava os mesmos resultados (0%), não possibilitando maiores análises durante o processo.

Figura 56. Gráficos de umidade com 5 minutos e 2 horas de secagem.



Fonte: Próprio autor.

d) Avaliação dos ensaios

Para controle de massa nota-se que a sequência de pesagem antes do contato com a água segue durante toda a secagem, após ser submergido em água por 1 minuto, sendo ela decrescente com os traços AREF, A20G, A10G, A10F e A20G.

Observou-se também que o traço AREF apresenta um significativo ganho de massa se comparado com os outros traços. Comparando estes resultados com o ensaio termográfico em 5 minutos, percebe-se que as maiores médias de temperatura foram obtidas pelos corpos de prova com menor ganho de massa (A10F e A20F) e que o AREF apresentou a menor temperatura, além de ter apresentado a maior absorção. Pelos termogramas, no período de 5 minutos, o traço AREF apresentou área com menor gradiente de cor, caso este relacionado diretamente com a quantidade de água maior em seu interior. Avaliando a aferição de umidade também para 5 minutos de ensaio, ela mostrou que o traço A20G apresentou maior valor de umidade superficial, seguido dos dois corpos de prova de borracha fina (que menos absorveram água). O traço AREF ganhou mais massa com a absorção, mostrou menor média de umidade superficial aos 5 minutos de ensaio, e a partir do minuto 15 superou todos os corpos de prova até o final do procedimento.

Com relação as perdas entendem-se que todos os traços atingiram altas taxas de perda de massa, apresentando valores acima de 98%. Neste quesito, o traço A20F se destacou por ser o corpo de prova que mais secou durante as 3 horas analisadas, chegando à 99,98% de perda de massa. Comparando estes resultados com os ensaios termográficos em 3 horas, nota-se que o traço A20F, além de ter perdido mais massa, foi o corpo de prova que atingiu maior valor de temperatura chegando à 109°C. O traço A10F que foi o segundo corpo de prova que mais perdeu massa, também atingiu o segundo lugar para as médias de temperaturas. Este fator relacionado com os ganhos mostra que quanto maior água presente no objeto estudado, menor sua temperatura para o ensaio termográfico. Para a aferição de umidade em 3 horas, todos os corpos de prova já apresentavam 0% de umidade superficial. Assim, relacionando as 2 horas de ensaio, nota-se que apenas o traço AREF apresentava valores diferentes de zero em suas medições de umidade, principalmente em suas extremidades, sendo este corpo de prova o que mais demorou para perder massa durante o período de tempo atribuído no ensaio.

4.5.5 Ativo – 1 hora

Para os ensaios de umidificação e secagem ativa com 1 hora de contato com a água, teve-se os seguintes resultados:

a) Controle de massa

O controle de massa pode ser acompanhado por meio da Tabela 19, que apresenta os valores antes do contato com a água e durante o processo de secagem ativa (aquecimento com aparato de ativação). O processo foi acompanhado durante 3 horas após a imersão.

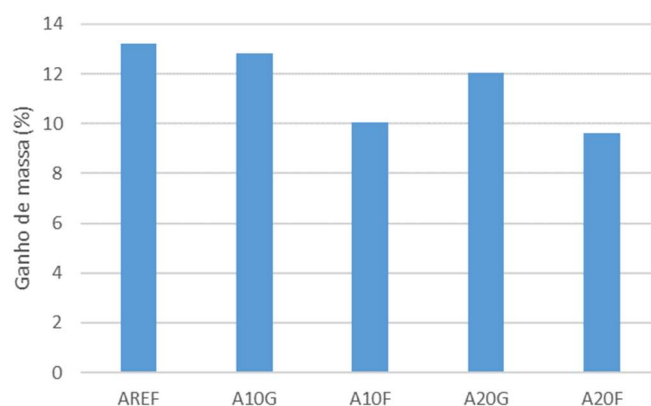
Tabela 19. Resultados de controle de massa ativo de 1 hora de contato com a água.

	Ativo 1 h – massa (g)						
	Antes	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h
AREF	7426	8409	8399	8385	8341	8212	8080
A10G	6916	7802	7793	7779	7729	7602	7489
A10F	6593	7255	7242	7221	7163	7032	6961
A20G	6456	7235	7229	7213	7155	7018	6930
A20F	6107	6694	6683	6663	6598	6473	6396

Fonte: Próprio autor.

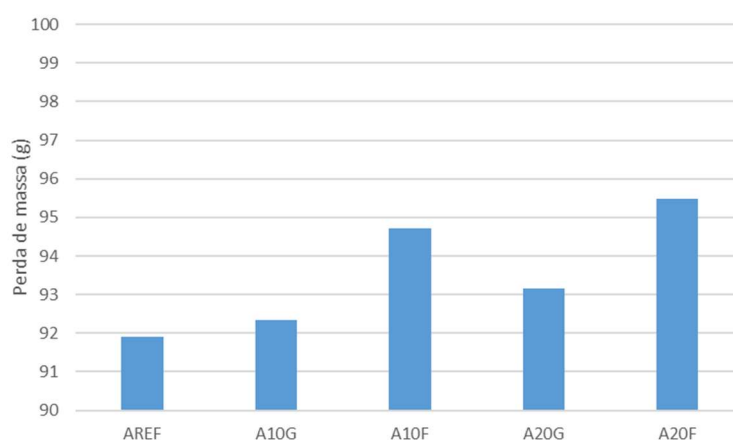
Para uma análise de ganhos de massa a Figura 57 apresenta o gráfico com as porcentagens de ganho entre os corpos de prova secos e após o processo de imersão durante 1 hora, e permanência no aparato de ativação por 5 minutos. A Figura 58 apresenta o gráfico com a taxa de perda de massa referente aos valores de pesagem antes do contato com a água e após 3 horas de secagem, dentro do aparato de ativação.

Figura 57. Porcentagem de ganho de massa após 1 hora de contato com a água e 5 minutos dentro do aparato de ativação.



Fonte: Próprio autor.

Figura 58. Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem.



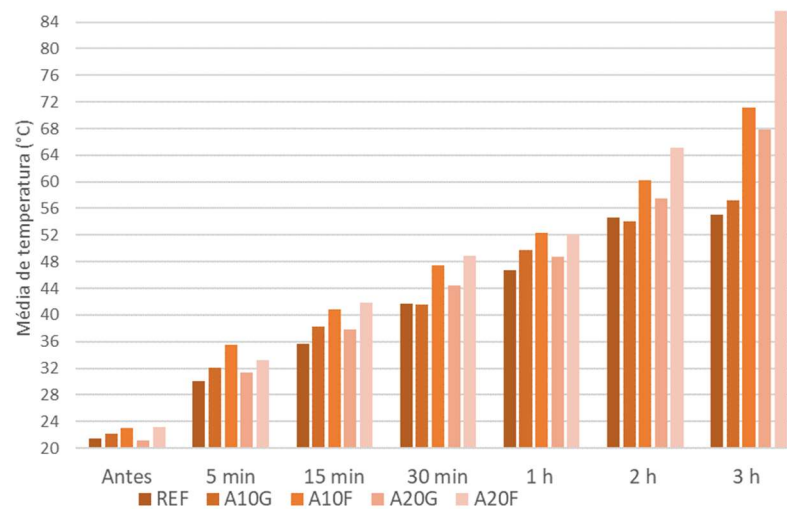
Fonte: Próprio autor.

b) Ensaio termográfico

Para o ensaio ativo os tempos variaram de 5 minutos a 3 horas, acompanhando o processo de secagem, além do termograma antes da imersão, totalizando sete imagens termográficas. O resultado completo do ensaio está exposto no Apêndice I.

A Figura 59 apresenta o gráfico com as temperaturas médias obtidas por meio dos termogramas que foram tratados pelo software *Flir Tools*.

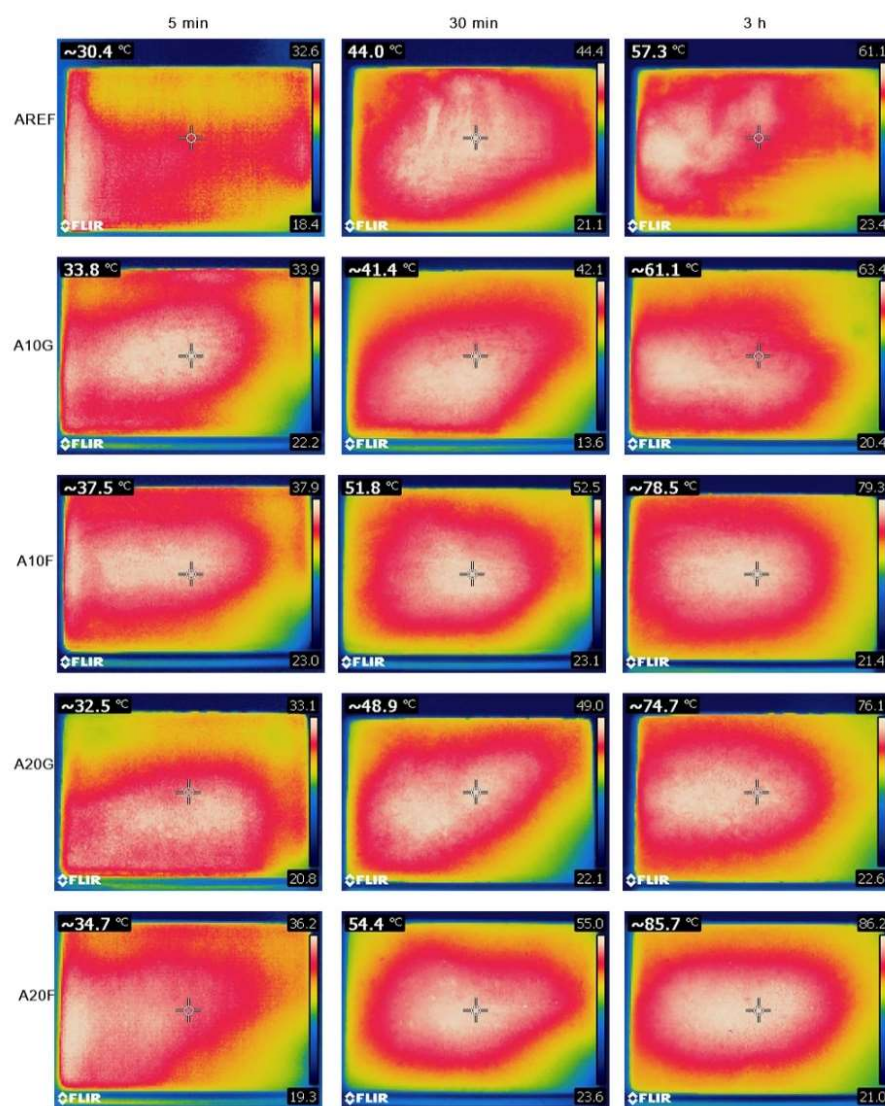
Figura 59. Gráfico das médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 1 hora de contato.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 60 exibe os resultados dos termogramas de todos os traços analisados para os tempos de 5 minutos, 30 minutos e 3 horas do ensaio de secagem ativa com 1 hora de contato com a água.

Figura 60. Termogramas em 5 minutos, 30 minutos e 3 horas durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 1 hora de contato.

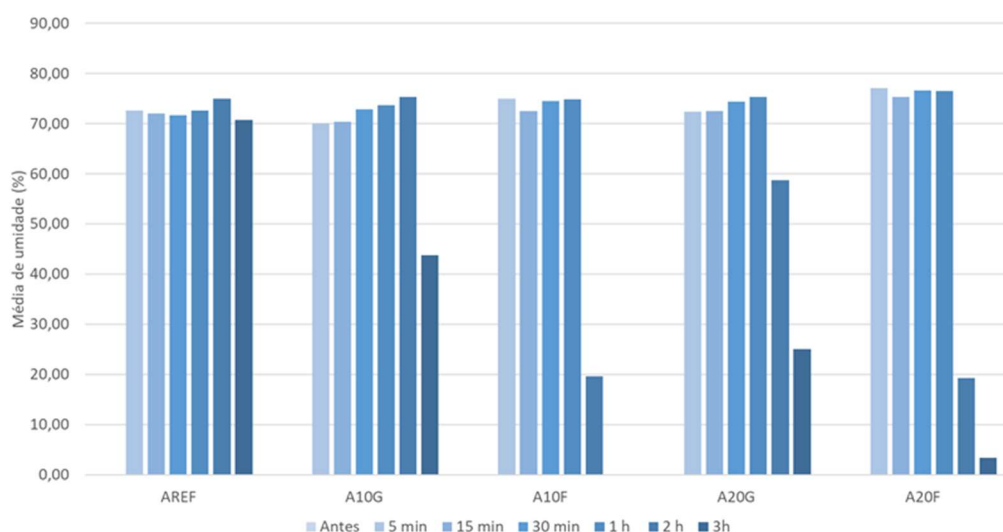


Fonte: Próprio autor.

c) Aferição de umidade

Para a análise da aferição de umidade em 1 hora no processo ativo a Figura 61 apresenta o gráfico com as médias dos resultados, já os dados detalhados estão exibidos na Apêndice J.

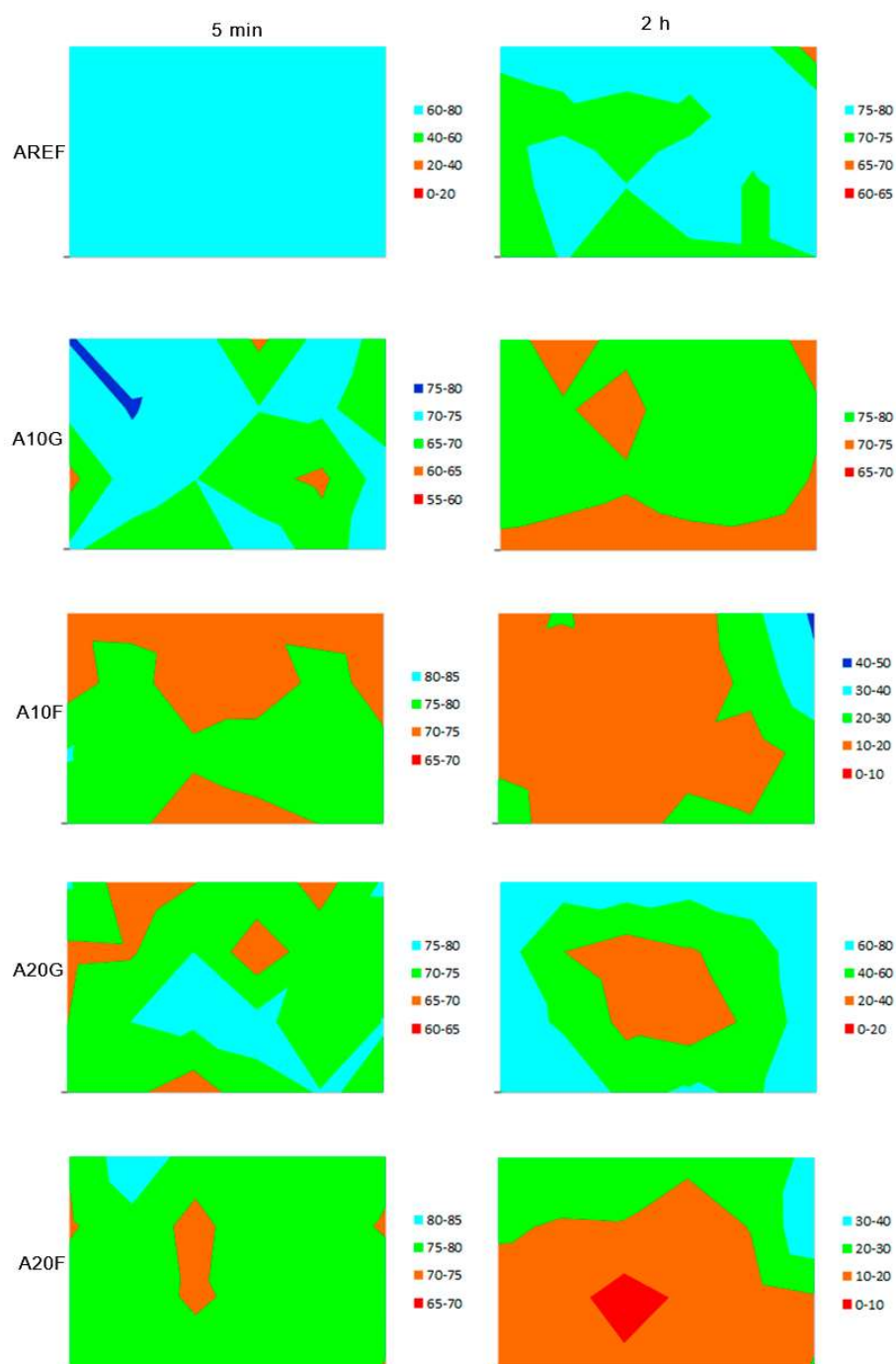
Figura 61. Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (1 hora – secagem ativa).



Fonte: Próprio autor.

A Figura 62 apresenta os gráficos de área de umidade dos corpos de prova durante o processo de 1 hora de umidificação e secagem, nos momentos 5 minutos e 2 horas dentro do aparato de ativação.

Figura 62. Gráficos de umidade com 5 minutos e 2 horas de secagem.



Fonte: Próprio autor.

d) Avaliação dos ensaios

Para o controle de massa entende-se que os maiores ganhos em 5 minutos foram obtidos pelos traços AREF, A10G e A20G seguidos pelos menores obtidos pelos compósitos de borracha fina (A10F e A20F). Comparando este ensaio com o ensaio termográfico avalia-se que os compósitos de borracha fina apresentaram em 5 minutos as maiores temperaturas, tendência que seguiu até o final do ensaio. Para os termogramas em 5 minutos, também se pode notar que o traço AREF apresentou uma imagem termográfica com um gradiente de cores mais frias que os demais corpos de prova. Para os traços A10G e A20G que também exibiam grandes valores de absorção de água neste período, não mostraram termogramas que os diferenciasssem dos corpos de prova que absorveram menos (A10F e A20F). Relacionando estes fatores ao ensaio de aferição de umidade, em 5 minutos os corpos de prova que apresentavam maiores valores de umidade média foram os compósitos com borracha fina, contraditoriamente os mesmos que absorveram menos água pelo ensaio de controle de massa. O traço A10G exibiu a menor média de umidade em 5 minutos, com um valor de 69,9%, mesmo sendo o segundo corpo de prova que mais absorveu água com 1 hora de contato com a água. Nos gráficos de área nota-se que o traço AREF apresenta homogeneidade dos resultados, diferentemente dos outros compósitos.

O traço A20F apresentou maior taxa de eliminação da água absorvida em 3 horas de ensaio, seguido pelo outro corpo de prova de borracha fina (A20F). Os traços A20G, A10G e AREF apresentaram as menores perdas, em ordem crescente. Correlacionando estas análises com o ensaio termográfico em 3 horas, pode-se afirmar que as maiores médias de temperatura foram obtidas pelos corpos de prova que mais perderam massa durante o processo de secagem ativa. Assim, os traços A20F e A10F mostraram valores térmicos elevados, seguidos por A20G, A10G e AREF, sendo a mesma sequência analisada no ensaio de perda de massa. Analisando as imagens termográficas em 3 horas, o corpo de prova AREF apresenta manchas, provavelmente pela maior presença de água em sua superfície. O corpo de prova A10G também apresenta um termograma menos intenso quando

comparado com os outros corpos de prova que estavam mais secos. Esta análise se confrontada com o ensaio de aferição de umidade mostram que como previsto no termograma, o corpo de prova referência apresentava alto valor de umidade superficial, comprovado pelo ensaio com o umidímetro, apresentando valor de 70,7% de umidade. O mesmo ocorreu com A10G que apresentava pequena diferença com relação aos outros termogramas e pela aferição de umidade exibiu um valor de 43,7%. O traço A10F foi o segundo que mais perdeu massa, em 3 horas já havia zerado sua umidade superficial.

4.5.6 Ativo – 24 horas

Para os ensaios de umidificação e secagem ativa com 24 horas de contato com a água, teve-se os seguintes resultados:

a) Controle de massa

O controle de massa pode ser acompanhado por meio da Tabela 20, que apresenta os valores antes do contato com a água e durante o processo de secagem ativa (aquecimento com aparato de ativação). O processo foi acompanhado durante 3 horas após a imersão.

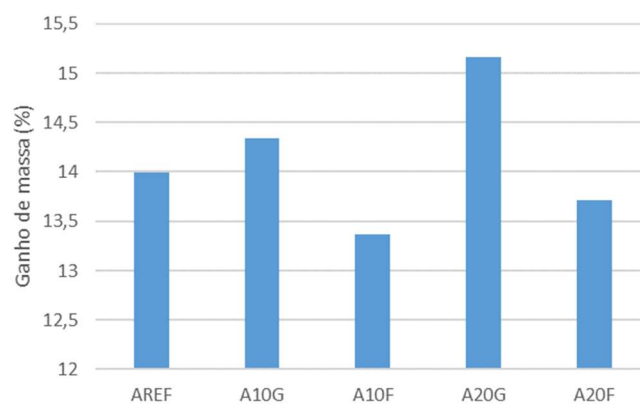
Tabela 20. Resultados de controle de massa ativo de 24 horas de contato com a água.

	Ativo 24 h – massa (g)						
	Antes	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h
AREF	7426	8465	8456	8444	8410	8293	8166
A10G	6915	7907	7899	7886	7835	7719	7588
A10F	6592	7473	7465	7440	7395	7254	7132
A20G	6422	7396	7392	7379	7338	7209	7079
A20F	6096	6932	6923	6906	6851	6707	6577

Fonte: Próprio autor.

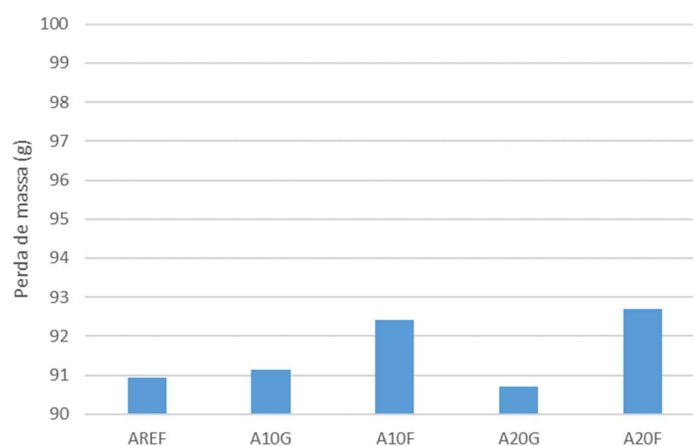
Para uma análise de ganhos e perdas, as Figura 63 e Figura 64 serão apresentadas a seguir.

Figura 63. Porcentagem de ganho de massa após 24 horas de contato com a água e 5 minutos dentro do aparato de ativação.



Fonte: Próprio autor.

Figura 64. Porcentagem de perda de massa durante o processo de secagem.



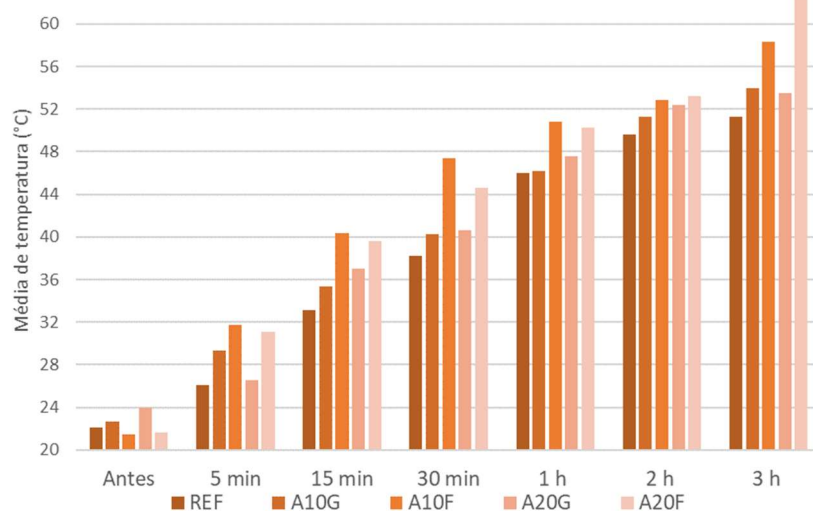
Fonte: Próprio autor.

b) Ensaio termográfico

Para o ensaio ativo os tempos variaram de 5 minutos a 3 horas, acompanhando o processo de secagem, além do termograma antes da imersão, totalizando sete imagens termográficas. O resultado completo do ensaio está exposto no Apêndice K.

A Figura 65 apresenta o gráfico com as temperaturas médias obtidas por meio dos termogramas que foram tratados pelo software *Flir Tools*.

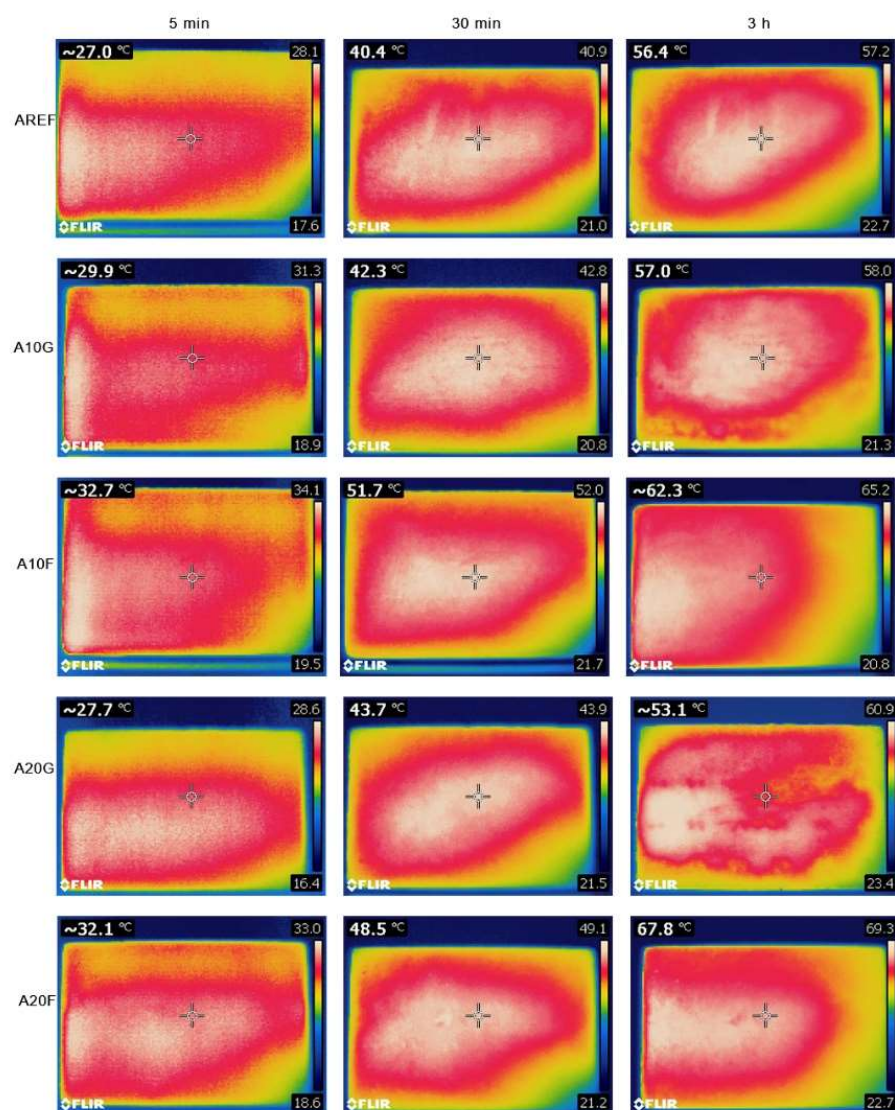
Figura 65. Gráfico das médias de temperatura durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 24 horas de contato.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 66 exibe os resultados dos termogramas de todos os traços analisados para os tempos de 5 minutos, 30 minutos e 3 horas do ensaio de secagem ativa com 24 horas de contato com a água.

Figura 66. Termogramas em 5 minutos, 30 minutos e 3 horas durante o ensaio de umidificação e secagem ativa – 24 horas de contato.

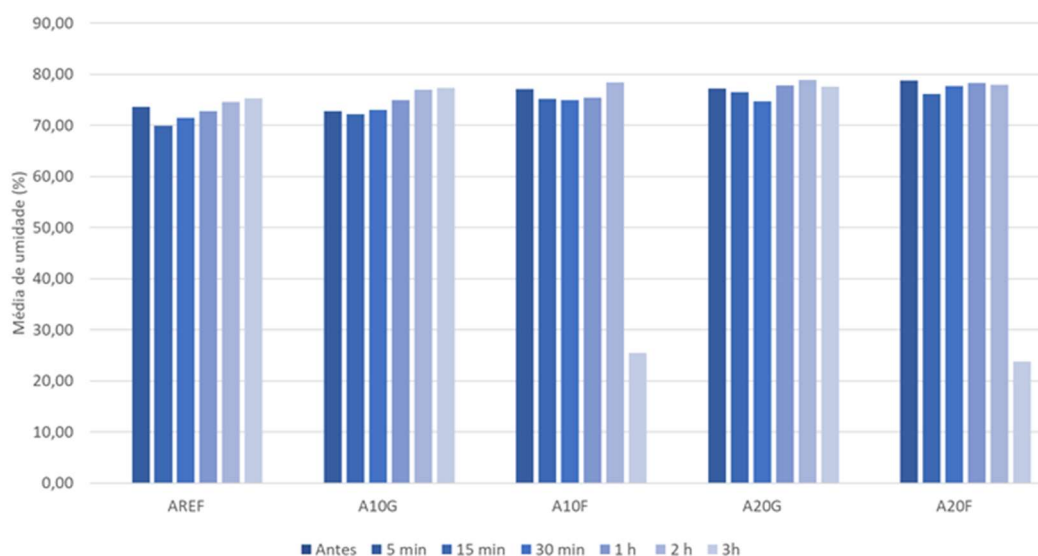


Fonte: Próprio autor.

c) Aferição de umidade

Para a análise da aferição de umidade em 24 horas no processo passivo a Figura 67 apresenta o gráfico com as médias dos resultados, e os dados detalhados estão contidos no Apêndice L.

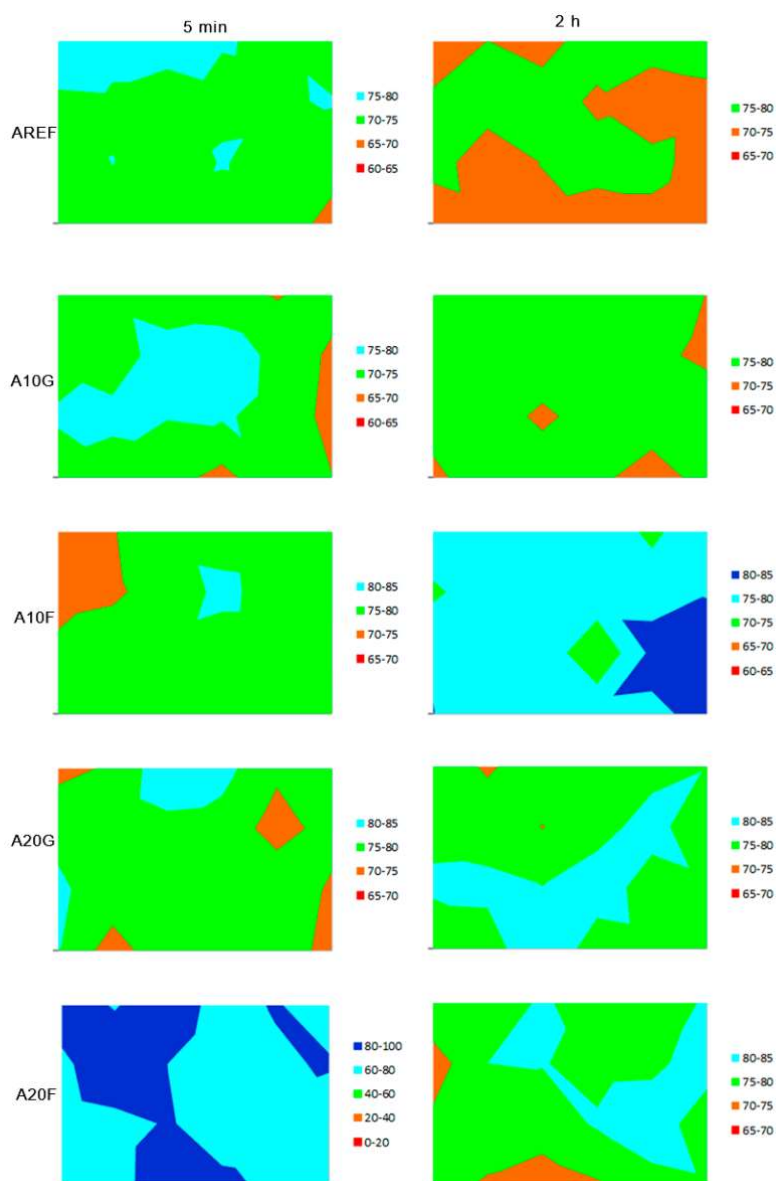
Figura 67. Médias de umidade analisadas pelo ensaio de aferição de umidade (24 horas – secagem ativa).



Fonte: Próprio autor.

Para uma análise dos gráficos de área optou-se por apresentar os referentes a 5 minutos (primeira aferição após 24 horas imerso e 5 minutos dentro do aparato de ativação) e 2 horas dentro do aparato, acompanhando assim a secagem ativa (Figura 68).

Figura 68. Gráficos de umidade com 5 minutos e 2 horas de secagem.



Fonte: Próprio autor.

d) Avaliação dos ensaios

Para o controle de massa os resultados apontaram que assim como para os outros tempos, A20F foi o corpo de prova com menor massa, seguido por A20G, A10F, A10G e AREF. Esta sequência se repetiu independente do momento do

ensaio analisado. Com relação aos ganhos, A20G foi o compósito que mais absorveu água pelo contato com as 24 horas na água (15,16%), seguido pelo outro compósito de borracha grossa. O AREF veio na sequência com resultados acima dos traços de borracha fina, em que A10F exibiu a menor taxa de ganho, cerca de 13%. Relacionando estes resultados com os ensaios termográficos, nota-se que para os cinco minutos os corpos de prova que mostraram menor ganho de massa foram os que apresentaram maior temperatura média no primeiro termograma realizado após a retirada da água. Os corpos de prova de borracha grossa exibiram valores intermediários e AREF apresentou o menor valor térmico no momento analisado. Pouca relação pode ser feita destas análises com os termogramas de 5 minutos, já que eles apresentam pouca variação visual entre si. Correlacionando com as aferições de umidade elas mostraram que A20F, A20G e A10F apresentaram as maiores médias de umidade em 5 minutos de ensaio, não havendo relações claras com os resultados de ganhos.

Para as perdas de massa, relacionando antes do contato com a água e 3 horas do processo de secagem ativa, pode ser notado que os corpos de prova que menos absorveram água foram os que mais perderam, sendo eles os compósitos de borracha fina. Já os traços A10G e AREF atingiram valores bem aproximados, enquanto A20G exibiu a menor taxa de perda de massa, ou seja, durante o ensaio de 3 horas, perdeu menos massa, mesmo apresentando a maior taxa de ganho durante o processo de umidificação. Estes resultados se comparados com os ensaios termográficos mostram que em 3 horas os corpos de prova que exibiam as maiores temperaturas médias (A20F e A10F) eram os mesmos que perderam mais água durante a secagem. Os compósitos de borracha grossa praticamente igualaram seus resultados, variando 0,5 °C entre si, estando acima de AREF que apresentou a menor temperatura não somente em 3 horas, mas em todo o ensaio se comparado a todos os outros traços. Confrontando estes resultados com as imagens termográficas em 3 horas, nota-se que A20G apresenta o termograma com mais manchas de cores, podendo estar conectado ao fato deste corpo de prova ter sido o

que mais absorveu água durante as 24 horas de contato com a água, mas também o que menos eliminou esta umidade durante a secagem. Logo, no último termograma realizado este compósito era o que apresentava maior taxa de água interna, o que provavelmente possibilitou o surgimento das manchas no termograma. Em A10G este fator também pode ser analisado, pois sua imagem termográfica exibe menor homogeneidade que os outros corpos de prova, dado que ele apresentou a segunda maior taxa de absorção de água e a terceira menor perda dela durante o processo. Esta mesma associação pode ser feita para a aferição de umidade, em que os corpos de prova que mais ganharam massa na absorção, menos perderam na secagem e apresentaram menores temperaturas médias em 3 horas também foram os que apresentaram maiores umidades médias. Sendo assim, A20G, A10G e AREF mostraram valores de umidade relativamente altos (76% aproximadamente) se comparados com os traços de borracha fina que em 3 horas já exibiam valores em torno de 24% de umidade.

4.5.7 Relação dos resultados dos ensaios passivos e ativos

Pretende-se neste tópico realizar uma análise dos resultados de todos os ensaios passivos e ativos para os três momentos: 1 minuto, 1 hora e 24 horas. A partir dos resultados de ganhos de massa para os ensaios passivos e ativos, o que se pode constatar é que o traço AREF apresentou maior taxa de absorção de água para 1 minuto e 1 hora de contato com a água. Já para 24 horas os traços com incorporação de borracha grossa foram os que superaram a porcentagem de ganho de massa. Entende-se que os compósitos com substituição de borracha apresentaram uma tendência a demorar mais para absorver água do que se comparados com o traço referência. Estes resultados podem ser comparados com os estudos de Mundo, Petrella e Notarnicola (2018), que analisando o tempo de penetração de água em argamassas convencionais, argamassas com substituição total de areia por borracha e argamassas com 50% de areia e 50% de borracha, mostraram que os traços sem adição do material emborrachado apresentaram

absorção quase que imediata das gotas de água, resultando numa porcentagem de absorção da gota muito maior se comparado com os compósitos com metade do material. As argamassas com substituição de 100% foram as que menos absorveram água para o mesmo intervalo de tempo analisado.

Em face às perdas de massa, os ensaios de 1 minuto, 1 hora e 24 horas para o procedimento de secagem passiva e ativa mostraram que para a 1 minuto de contato com a água as diferenças de perdas são pouco significativas para as análises, visto que todos os corpos de prova perderam mais de 98% da quantidade de água que haviam absorvido. Para 1 hora os ensaios apresentam maior clareza, pois exibem as deficiências das argamassas de referência, sendo o corpo de prova que mais absorveu água e o que menos perdeu durante as 48 horas para o ensaio passivo e as 3 horas para o ensaio ativo. A mesma análise pode ser feita para o ensaio de 24 horas, em que A20G absorveu maior quantidade de água, mas perdeu menos umidade durante todo o ensaio. Relacionado a estes fatores, Piteira (2015) apresentou que o ideal comportamento para as argamassas frente à água é que elas absorvam menos água e que a liberem mais rapidamente num fluxo constante. Sendo assim, por esta visão, tanto para 1 hora quanto para 24 horas de contato com a água, as argamassas que obtiveram melhor desempenho foram as de incorporação de borracha fina, sendo de 10 ou 20%. Para 1 minuto como já explanado, a diferenças entre os resultados se mostraram pouco significativas.

A partir do Quadro 6, pode-se analisar o resumo dos resultados adquiridos pelo processo de umidificação e secagem, no ensaio de controle de massa, relacionando ganhos e perdas, organizados em ordem crescente de valores. Deste modo, entende-se que os compósitos com 10 e 20% de borracha com granulometria de #0,6 mm atingiram as características preferíveis para uma argamassa de revestimento, apresentando menor absorção e também propiciando uma secagem mais eficiente. Estes resultados são idênticos aos alcançados pelos ensaios de capilaridade e secagem, expostos anteriormente.

Quadro 6. Resumo dos resultados de controle de massa do processo de umidificação e secagem em ordem crescente.

Passivo – Relação crescente						
Ganhos	1 min	A10F	A20F	A10G	A20G	AREF
Perdas		AREF	A10G	A20G	A10F	A20F
Ganhos	1h	A10F	A20F	A20G	A10G	AREF
Perdas		AREF	A10G	A20G	A20F	A10F
Ganhos	24h	A20F	A10F	AREF	A10G	A20G
Perdas		A20G	A10G	A10F	AREF	A20F
Ativo – Relação crescente						
Ganhos	1 min	A20F	A10F	A10G	A20G	AREF
Perdas		AREF	A10G	A20G	A10F	A20F
Ganhos	1h	A20F	A10F	A20G	A10G	AREF
Perdas		AREF	A10G	A20G	A10F	A20F
Ganhos	24h	A10F	A20F	A10G	AREF	A20G
Perdas		A20G	AREF	A10G	A10F	A20F

Fonte: Próprio autor.

Analisando os resultados termográficos de 1 minuto, 1 hora e 24 horas para o procedimento de umidificação e secagem passiva, entende-se que a termografia permite analisar o processo de secagem, desde que examinados uma sequência de termogramas durante o tempo de ensaio e não apenas uma imagem termográfica isolada. As imagens termográficas obtiveram uma tendência de apresentação durante a secagem para todos os ensaios, sendo possível definir aproximadamente pela análise visual dos termogramas, os tempos aproximados de secagem dos corpos de prova, pois quando a variação superficial dos gradientes de cores se tornava pouco significativa, visualizando uma homogeneização das cores, superficialmente o corpo de prova poderia ser considerado praticamente seco. Esta característica é capaz ser visualizada nos termogramas dos Apêndices A, C e E que apresentam os resultados completos dos ensaios passivos de 1 minuto, 1 hora e 24 horas de contato com a água para todos os corpos de prova. Neles é possível analisar que o gradiente de cor varia conforme o acompanhamento da secagem do corpo de prova. Logo, nos primeiros termogramas, é possível constatar que os corpos de prova apresentam temperatura superficial homogênea, sem manchas e

cor uniforme. A partir de 5 minutos de secagem, as extremidades dos corpos de prova vão diminuindo a temperatura, exibindo tons dispares da margem ao centro, aumentando conforme o tempo de ensaio progride. Logo, foi possível definir aproximadamente pela análise visual dos mesmos, os tempos aproximados de secagem dos corpos de prova, pois quando a variação superficial dos gradientes de cores se tornava pouco significativa, visualizando uma homogeneização das cores, superficialmente o corpo de prova poderia ser considerado praticamente seco. Esta tendência pôde ser vista em todos os traços analisados no processo passivo e também nos estudos de Barreira e Freitas (2004) que apresentaram a viabilidade de se utilizar a termografia para o processo de umidificação e secagem, pois consideram que a diferença de temperatura causada pela evaporação das águas superficiais dos corpos de prova úmidos se torna visível nos termogramas. Apesar disso, as autoras entendem que a técnica avalia apenas a presença da umidade superficial, podendo assim ser limitada.

A última imagem termográfica do ensaio passivo de 1 minuto, 1 hora e 48 horas referente à 48 horas de ensaio mostram que para o tempo de contato de 1 minuto, o corpo de prova apresentava temperatura mais elevada do que para os tempos de 1h e 24h assim como uma superfície mais homogênea, significando provavelmente menor presença de umidade superficial uma vez que a presença de umidade diminui a temperatura superficial do corpo de prova (BARREIRA, FREITAS, 2004).

Nos ensaios ativos, constata-se maior dificuldade de identificação do processo de secagem apenas pelos termogramas, pois eles apresentam pouca variação durante a secagem (Apêndice G, I e K). Pode-se analisar que, exceto os termogramas antes do contato com a água, todas as imagens termográficas tiveram a tendência apresentar maiores temperaturas no centro, apresentando tons do vermelho ao branco e suas extremidades com temperaturas menores, exibindo tons entre o amarelo, verde e azul, dificultando a identificação da perda de umidade

apenas pela análise visual dos termogramas, pois dissemelhantemente do processo passivo, essa característica não tendeu a homogeneização conforme o ensaio avançava. Esta característica foi constante nos 5 corpos de prova do processo ativo.

Entende-se que a possibilidade de visualização das possíveis áreas úmidas e secas acontece devido à dois fenômenos físicos que ocorrem na área analisada: o processo de resfriamento/condensação evaporativa nesta região com a presença da água e o aumento da capacidade de armazenamento de calor do material úmido (KIRIMTAT, KREJCAR, 2018). Logo, o processo passivo possibilitou melhor visualização do que o ativo. Além disso, sabe-se que os resultados obtidos entre ensaios passivos e ativos acontece pois normalmente a termografia passiva é um teste qualitativo, logo, objetiva simplesmente a análise visual dos termogramas com a identificação e localização da diferenciação térmica, sendo assim comumente usada na identificação de processos como perdas e ganhos de calor e análise de isolamento térmico de edifícios (KYLILI, *et. al.* 2014).

Além da análise visual, o ensaio termográfico apresentou a possibilidade de observação das temperaturas médias dos corpos de prova. Com isso, nota-se que os ensaios passivos (Figura 35, 41 e 47) mostraram que as temperaturas médias não seguiram um padrão constante durante a secagem, logo, por mais que visualmente, como exposto anteriormente, o ensaio passivo proporcionou a visualização da secagem, as médias de temperatura superficiais não se relacionam com o processo. Já para o procedimento ativo (Figuras 53, 59 e 65) obteve-se maior regularidade das respostas obtidas com a médias, pois para todos os ensaios, tanto de 1 minuto, 1 hora ou 24 horas de contato com a água, as temperaturas mostraram variar conforme os ganhos e perdas de massa aconteciam. Esta maior regularidade térmica observada para o ensaio ativo se dá pelo uso de fontes artificiais para excitação térmica que ajuda a proporcionar um ambiente mais controlado para a secagem e para a transferência de calor (GARRIDO, *et. al.* 2019). Logo, para o procedimento ativo, quanto mais água os corpos de prova detinham, menor valor

médio de temperatura manifestavam e as maiores temperaturas representaram os traços com menos água em seu interior. Estes resultados podem ser vistos nos estudos de Oliveira (2013), que apresenta potencialidades da termografia para diagnosticar umidade nos elementos da construção civil. O autor também analisa que para os termogramas, as áreas com maior presença de água irão apresentar menores valores térmicos.

Relacionando os resultados com o apresentado por Santos, Rocha e Póvoas (2019), entende-se que a análise termográfica pode ser útil na identificação de umidade desde que existam valores significativos de gradientes entre áreas secas e úmidas, além disso, materiais porosos como o revestimento de argamassa apresentam visualizações significativas de áreas de umidade devido a maiores valores de gradientes térmicos provenientes da evaporação de água. Por isso, é possível considerar utilizar a técnica não destrutiva como caráter complementar de outros métodos, principalmente por sua limitação em detectar apenas umidade superficial na secagem (BARREIRA, FREITAS, 2004).

Para os resultados obtidos pelo ensaio de aferição de umidade, comparando-os com os ganhos de massa na absorção e com as perdas na secagem, pode-se notar que nos ensaios passivos houve pouca relação entre eles, sendo possível afirmar que com apenas o ensaio de aferição de umidade não seria viável tirar conclusões dos resultados sem uma correlação com os ensaios de termografia e controle de massa. Para os ensaios ativos, há maior similaridade entre as umidades e os valores de ganhos e perdas de água durante o acompanhamento de secagem.

A aferição de umidade pode mostrar que por mais que o traço AREF seja um dos que mais absorveu água em todos os ensaios realizados, para a aferição de umidade este traço não apresentou os maiores valores. Outra percepção foi que para os ensaios de 1 hora e 24 horas de contato com a água no processo ativo e passivo, A20F exibiu os maiores valores de umidade superficial, mesmo sendo o

traço de menos ganhou massa com a absorção, depois de A10F. A20F também tem a particularidade de ter sido o traço que mais perdeu massa entre todos os ensaios analisados, e quando este fator é comparado com as leituras finais de umidade, entende-se que ele apresenta as leituras mais baixas. Logo, fazendo um paralelo com as conclusões retiradas nos resultados de capilaridade e secagem expostos nos itens 4.3 e 4.4 desse trabalho, todas as decorrências apontam para a tendência dos traços com incorporação de borracha absorverem água superficialmente, desse modo, os ensaios de aferição de umidade apresentam altos valores, mesmo que internamente, pelos ensaios de termografia e controle de massa os resultados apontem que não há grande porcentagem de água armazenada. Esta característica é mais visível para os traços com incorporação de borracha de granulometria mais fina.

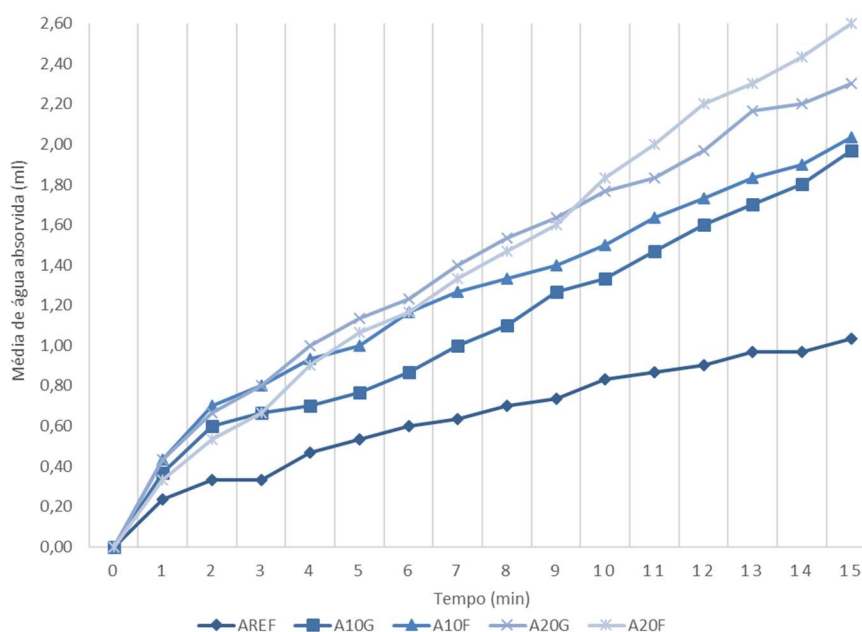
Logo, o que se pode avaliar com as relações estabelecidas é que absorção de água para os traços com incorporação de borracha de pneus apresenta resistência à penetração de água, principalmente se o contato com a água acontecer de forma rápida. Na e Xi (2017) também apresentaram que a permeabilidade das argamassas emborrachadas exibia valores baixos, dado que a borracha poderia bloquear as trajetórias dos poros e microporos, principalmente as borrachas com granulometrias mais finas. Além disso, Na e Xi (2017) mostraram a partir de imagens em microscopia eletrônica de varredura que os traços com a substituição de borracha apresentaram alta porosidade na vizinhança da borracha, por seu caráter hidrofóbico já apresentado no trabalho. Este fator possivelmente pode se relacionar ao fato de que no presente estudo, com maior tempo de contato com a água, os traços de borracha grossa terem absorvido quantidade relativamente alta de água, por conter grandes áreas de vazios internos.

4.6 ABSORÇÃO COM TUBOS DE KARSTEN

O resultado completo do ensaio de absorção com tubos de Karsten pode ser visto no Apêndice O. A Figura 69 apresenta o gráfico com as médias das taxas de

absorção, durante os 15 minutos de ensaio dos 5 compósitos analisados. A partir de Miranda Jr (2011) entende-se que quanto mais agudo é o ângulo das retas, significa que menores são as absorções de água ao longo do tempo, assim, o que se pode analisar é que, já a partir do primeiro minuto de ensaio, os compósitos com incorporação de borracha apresentavam ângulos maiores que o traço referência, mostrando assim uma tendência de absorver mais água e de forma similar entre eles. A partir do terceiro minuto de ensaio, A10G mostrou movimento mais lento de absorção, comparado com os outros traços emborrachados. Essa característica também pode ser observada para A10F a partir do sétimo minuto, tendo assim resultados aproximados entre os dois compósitos com 10% borracha até o final do ensaio, aos 15 minutos. O traço A20F apresentou o ângulo de reta menos agudo e manteve durante todo ensaio uma absorção crescente, atingindo o maior valor de absorção média de 2,6 ml aos 15 minutos, sendo aproximadamente 60% maior do que o valor alcançado por AREF. A20G apresentou valores de absorção média maiores do que os atingidos por A20F até o nono minuto, reduzindo a partir deste momento sua tendência de absorção até o décimo terceiro minuto de ensaio quando volta a aumentar a porcentagem, finalizando o ensaio com um valor apenas 11% mais baixo que o traço A20F.

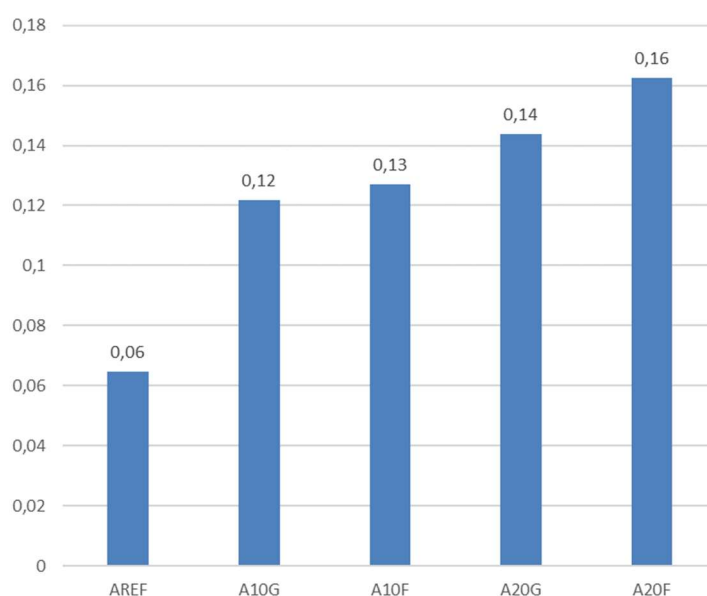
Figura 69. Gráfico da média de água absorvida no ensaio de absorção com tubos de Karsten.



Fonte: Próprio autor.

Pela Figura 70 pode-se analisar a taxa média de absorção (ml/min) dos 3 tubos adaptados nos 5 compósitos estudados, isso significa que os valores são referentes a todas as medições durante os 15 minutos de ensaio dos 3 tubos e feito uma média desses valores. A partir dela, nota-se que o traço AREF apresentou o menor valor se comparado com os traços com incorporação de borracha, sendo duas vezes menor do que o segundo valor mais baixo, alcançado por A10G com 0,12 ml/min. Os compósitos com incorporação de 10% tiveram valores menores do que se comparados com os de 20% de borracha. Além disso, foi notado que com relação à granulometria, os traços que obtinham o material na sua forma mais grossa absorveram menos água pelo “método do cachimbo” do que os de borracha fina.

Figura 70. Gráfico da taxa média de absorção (ml/min) com tubos de Karsten.



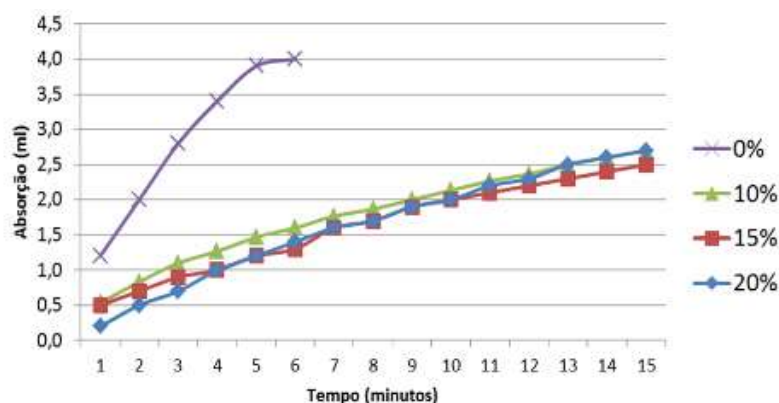
Fonte: Próprio autor.

Massola *et. al.* (2012) também realizaram o ensaio de absorção com tubos de Karsten em argamassas emborrachadas, variando a porcentagem de substituição entre 10, 15 e 20% de borracha de pneus em volume de areia, utilizando granulometria passante na peneira de abertura de malha #2,0 mm. Além da diferença na granulometria utilizada, sendo maior do que a intitulada grossa no presente trabalho. Outra discrepância de metodologia entre os trabalhos foi que os autores não utilizaram cal para a confecção das argamassas, fator este que pode ter influenciado negativamente nos resultados adquiridos. Entretanto, foi observado que o comportamento das argamassas com incorporação de borracha ficou extremamente melhor se comparado com o traço referência, posto que aproximadamente aos 6 minutos de ensaio a argamassa referência já apresentava valor de 4,0 ml de absorção, enquanto as argamassas com borracha exibiam valores próximos de 1,5 ml de água absorvida. Os autores entendem que não houveram grandes variações de absorção se comparados todos os traços com borracha, e que todas elas ao final atingiram valores entre 2,5 e 3,0 ml. Comparando estes

resultados com o do presente trabalho, entende-se que Massola *et. al.* (2012) atingiram valores de absorção maiores para o traço referência e também para os demais traços com borracha, dado que para o presente trabalho os compósitos de borracha atingiram entre 1,97 ml a 2,6 ml (Figura 71).

Diante do exposto, considerando que valores inferiores à 4 ml durante os 15 minutos de ensaio são classificados como resultados positivos para as argamassas de revestimento (DIAS, CARASEK, 2003), a incorporação de borracha nos corpos de prova propostos no programa experimental de Massola *et. al.* (2012), foram significativamente importantes para uma melhora nas condições de permeabilidade de água pelo tubo de Karsten em seus traços. Julga-se a partir dessa comparação que a argamassa usada por Massola *et. al.* (2012), que apresentou característica de não adicionar cal e com relação água/cimento de 1,72, aumentou as taxas de absorção nas matrizes cimentícias comparadas com o presente trabalho. Esse aumento foi mais significativo para o traço referência, mas pode-se constatar, mesmo que baixa, uma influência para os traços emborrachados.

Figura 71. Resultados dos ensaios de absorção pelo método do cachimbo.

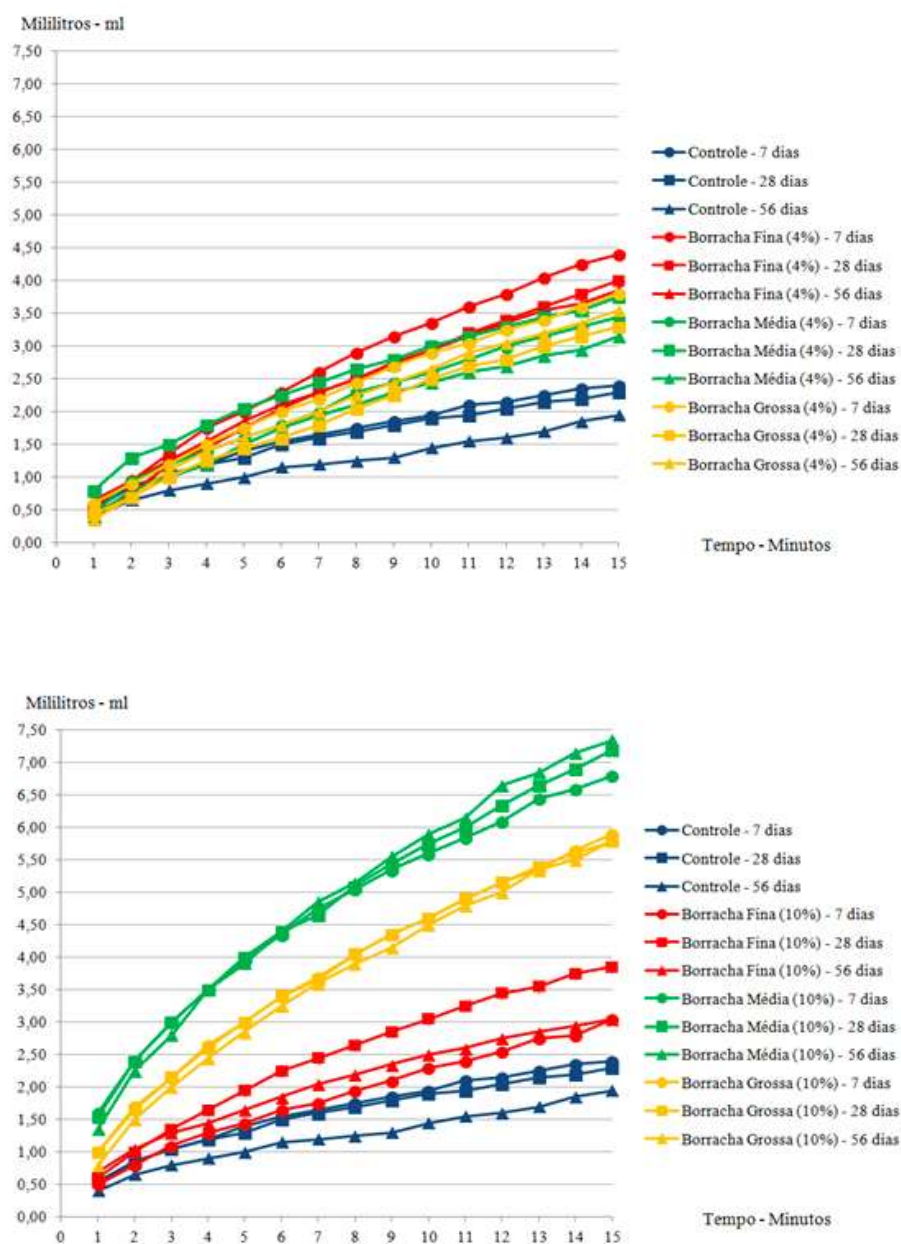


Fonte: Massola *et. al.* (2012).

Pinto, Fioriti e Akasaki (2014) também estudaram argamassas de revestimento produzidas com borrachas provenientes do processo de recauchutagem de pneus. Os autores apresentaram um programa experimental de

argamassas mistas de cimento, cal e areia, e o foco do trabalho se baseou na comparação de três granulometrias distintas, fina (#0,075 mm), média (#1,19 mm) e grossa (#2,38 mm), além da comparação de duas porcentagens de substituição do agregado miúdo, sendo de 4 e 10%, em volume. Os ensaios foram realizados sob painéis de alvenaria moldados simulando a aplicação do produto. Para os ensaios relacionados a ação da água nos compósitos, o método de absorção pelo cachimbo foi o escolhido para análise de permeabilidade e determinação da estanqueidade do material aplicado no sistema de vedação. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 72, sendo distintos dos resultados obtidos por Massola *et. al.* (2012), pois os autores já citados Pinto, Fioriti e Akasaki (2014) chegaram a resultados de absorção pelo tubo de Karsten maiores para os traços com borracha, assim como o presente trabalho. Cabe também mencionar que os resultados mostraram uma tendência de maior permeabilidade à água conforme o aumento do percentual e da granulometria utilizada. Além disso, as argamassas com 10% de borracha com granulometrias médias e grossas apresentaram maior taxa de absorção de água, quando comparadas a todas as argamassas de 4 e 10% com a granulometria fina.

Figura 72. Resultados dos ensaios de permeabilidade (tubos de Karsten) de Pinto, Fioriti e Akasaki (2014).



Fonte: Adaptado de Pinto, Fioriti e Akasaki, (2014).

Por meio dos resultados de Pinto, Fioriti e Akasaki (2014), pode ser feito um paralelo com os resultados do presente trabalho nos valores obtidos pelo traço com incorporação de 10% de borracha e #1,19 mm de granulometria. A diferença de

resultados apresentados foi significativa, uma vez que para os citados autores o valor de absorção aos 15 minutos para este compósito foi de aproximadamente 7,2 ml, valor que representa aumento de aproximadamente 70% se comparado com o resultado atingido pelo mesmo compósito no presente trabalho. Também comparando o resultado da argamassa referência, nota-se que o valor atingido no estudo de Pinto, Fioriti e Akasaki (2014) foi aproximadamente duas vezes maior do que o alcançado neste trabalho.

Segundo Araújo Jr. (2004) os ensaios de capilaridade e absorção com tubos de Karsten estão relacionados às características superficiais dos poros, por isso para o citado autor deve haver semelhança entre os resultados dos dois ensaios. O que pode ser analisado sobre este tema nos resultados obtidos no presente trabalho é que há uma grande discrepância de valores entre os dois ensaios de absorção. Enquanto para a capilaridade os traços com incorporação de borracha atingiram valores menores do que se comparados com o traço referência, exceto A10G, para o ensaio com tubos de Karsten houve aumento significativo para todos os traços emborrachados, sendo todos eles maiores do que AREF (Referência) (Figura 73). Santana e Aleixo (2017) explanaram que a diferença pode ocorrer, pois no ensaio com tubos de Karsten há uma pequena pressão de coluna de água, o que não ocorre para o ensaio de capilaridade.

Figura 73. Comparação dos resultados da taxa de absorção por tubos de Karsten e absorção por capilaridade.



Fonte: Próprio autor.

4.7 Cenário de redução de disposição final de borracha de pneus

Os resultados analisados apontam a possibilidade de utilização da borracha em argamassas de revestimento. Os melhores comportamentos com relação à água foram atingidos pela incorporação de borracha com granulometria de #0,6 mm, nos percentuais de 10 e 20% de substituição em volume de agregado. Logo, pode-se simular uma estimativa de consumo se o material inservível fosse utilizado no revestimento:

- **10% de borracha incorporada:**

Será necessário aproximadamente 0,80 kg de borracha de pneus na produção de 1,0 m² de argamassa de revestimento (considerando a espessura de 1,5 cm). Diante disso, com a incorporação de 10% (em volume) teríamos um consumo de

borracha de aproximadamente 180,0 kg em uma habitação social de 40 m² (composta de 5 cômodos), e considerando que a habitação fosse reproduzida 200 vezes em um conjunto habitacional, teríamos um consumo em torno de 36.000 kg de borracha de pneus de recauchutagem na produção dessas habitações de interesse social.

- **20% de borracha incorporada:**

Será necessário aproximadamente 1,70 kg de borracha de pneus na produção de 1,0 m² de argamassa de revestimento (considerando a espessura de 1,5 cm. E seguindo o raciocínio anterior, com a incorporação de 20% (em volume) teríamos um consumo de borracha em torno de 315 kg em uma habitação social de 40 m², e considerando que a habitação também fosse reproduzida 200 vezes em um conjunto habitacional, teríamos um consumo em torno de 63.000 kg de borracha de pneus de recauchutagem na produção das 200 casas.

A estimativa de consumo indica uma significativa redução de material inservível descartado no meio ambiente, dando a ele uma possível destinação na construção civil, bem como poderá contribuir na economia de utilização de materiais não-renováveis, como é o caso da areia natural, posto que há uma porcentagem de substituição.

5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos foi possível identificar que a borracha de pneus pode promover novas características às argamassas de revestimento, principalmente nos quesitos relacionados ao comportamento à água, favorecendo com isso a diminuição do consumo de fontes naturais não renováveis, dado que substitui uma porcentagem de agregado miúdo da matriz cimentícia, além de proporcionar a implementação de um material residual não convencional, propiciando a este uma nova utilização e suprimindo-o de possíveis danos ao meio ambiente.

Destarte, diante do programa experimental proposto, bem como das condições de realização dos ensaios propostos, as considerações finais obtidas com o desenvolvimento do trabalho estão apresentadas na sequência do texto.

(1) O ensaio de densidade de massa no estado endurecido apresentou redução das densidades para os traços emborrachados:

- Sobre a granulometria: os traços com utilização de granulometrias mais finas obtiveram valores de densidade menores do que os de granulometria mais grossa;
- Sobre a porcentagem de incorporação: os traços com maior parcela de borracha em sua composição apresentaram menores densidades.

(2) A absorção de água por imersão apresentou que as incorporações de borracha absorveram maior porcentagem de água, do que se comparados com o resultado da argamassa referência:

- Sobre a granulometria: os traços com aplicação de granulometrias mais grossas absorveram mais água durante o ensaio;

- Sobre a porcentagem de incorporação: os traços com maior percentual de borracha exibiram maiores taxas de absorção. Deste modo, comparando para as mesmas granulometrias, os compósitos com 20% de material emborrachado obtiveram maiores absorções.

(3) Para o ensaio de absorção de água por capilaridade, ficou compreendido que a incorporação de borracha reduz os valores de absorvência da argamassa se comparados com o traço referência, e que a velocidade com que a água caminha pelo material também diminuiu:

- Sobre a granulometria: os traços com inserção de borracha fina apresentaram melhores resultados com relação à absorção por capilaridade, se comparados com os de borracha grossa;
- Sobre a porcentagem de incorporação: os traços com 20% de borracha diminuíram a absorção por capilaridade se comparados com os de 10% das mesmas granulometrias.

(4) Pelo ensaio de secagem ficou compreendido que a borracha ajudou no processo de eliminação da água presente nos compósitos, se comparados com a matriz cimentícia sem incorporação de borracha:

- Sobre a granulometria: os melhores resultados foram obtidos com os traços dotados de granulometrias mais finas, que proporcionaram maior porcentagem de água eliminada durante o ensaio;
- Sobre a porcentagem de incorporação: o menor percentual de inclusão de borracha nas argamassas facultou em melhores resultados pra o ensaio.

(5) Para o processo de umidificação e secagem, tanto para o procedimento ativo quanto o passivo, os resultados apresentaram o traço referência (AREF) obtendo os maiores valores de ganhos de massa pela absorção,

independentemente do tempo de contato com a água. Foi notado também que essa absorção de água acontece para AREF de forma rápida, se saturando com maior agilidade se comparado os traços com incorporação de borracha. Logo, como analisado para o ensaio de capilaridade, possivelmente a borracha bloqueia os poros da massa, dificultando a penetração da água. Os traços com borracha também mostraram uma maior facilidade de perder água, mostrando por meio das umidades superficiais que a maior parte da água absorvida por eles estaria na parte superficial do compósito, propiciando assim uma perda de água muito mais agilizada que a argamassa referência. Quanto a termografia infravermelha, cabe mencionar que o procedimento passivo apresentou melhores resultados de visualização de secagem, presente nos corpos de prova, do que o processo passivo. E que o procedimento ativo apresentou vantagens para a análise entre as médias de temperatura com o processo de perda de água. Todavia:

- Sobre a granulometria: para todos os ensaios do processo de umidificação e secagem, tanto passiva quanto ativa, a granulometria mais fina atingiu os melhores resultados independentemente do tempo de contato com a água analisados;
- Sobre a porcentagem de incorporação: para o processo de umidificação a porcentagem que apresentou melhores resultados foi a de 10% de inserção de borracha, e para o processo de secagem os 20%, se comparados na mesma granulometria.

(6) No ensaio de absorção por tubos de Karsten, o que se obteve foram resultados similares ao ensaio de absorção por imersão, mostrando que o compósito referência (AREF) teve uma absorvência menor do que se comparado com os traços emborrachados:

- Sobre a granulometria: a granulometria mais grossa obteve resultado mais satisfatórios do que a fina, se comparados para as mesmas porcentagens de incorporação;
- Sobre a porcentagem de incorporação: todos os traços com 10% de inserção de borracha apresentaram melhores resultados do que os traços com 20%.

Relacionando com o estudo de Pagoto (2018) tem-se uma complementação de resultados, posto que para os dois trabalhos a incorporação de borracha na granulometria de #0,6mm apresentou melhorias para a argamassa de revestimento, na maioria das características analisadas.

Isto posto, conclui-se que os melhores traços para a aplicação da argamassa em revestimentos seriam os compostos por granulometria da borracha passante na peneira de abertura de malha #0,6 mm, visto que os dois traços, tanto de 10% (A10F) quanto de 20% (A20F), apresentaram resultados que não destoaram e/ou melhores que o traço referência (AREF). Esta conclusão corrobora os com os resultados adquiridos por Pagoto (2018), visto que sob a ótica de diferentes procedimentos de ensaios, a referida autora também considerou a granulometria fina como a de melhor desempenho, e destacou as porcentagens de 10, 15 e 20% de incorporação como satisfatórias.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Levando em consideração a complexidade da efetivação da incorporação da borracha de pneus nas argamassas, pela necessidade de análise de outras propriedades além das analisadas pelo presente trabalho, sugere-se novos temas para trabalhos futuros, sendo eles:

- Ensaios que analisem a relação da incorporação de borracha em argamassa de revestimento externo com odores exalados pela mesma com a incidência solar.

- Comportamento térmico das argamassas para revestimento externo.

REFERÊNCIAS

ALIABDO, A. A.; ELMOATY, A. E. M. A.; ABDELBASET, M. M. Utilization of waste rubber in non-structural applications. **Construction and Buildings Materials**, Amsterdam, v. 91, p. 195-207, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.080>.

ALVES, B. P. **Avaliação de casos de retração em argamassas de revestimento devido ao uso de “cal líquida”**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

ANGELIN, A. F.; ANDRADE, M. F. F.; BONATTI, R.; LINTZ, R. C. C.; GACHET-BARBOSA, L. A.; OSÓRIO, W. R. Effects of spheroid and fiber-like waste-tire rubbers on interrelation of strength-to-porosity in rubberized cement and mortars. **Construction and Buildings Materials**, Amsterdam, v. 95, p. 525-536, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.166>.

ANGELIN, A. F.; ANDRADE, M.F.F.; BONATTI, R.; LINTZ, R.C.C. The effects of porosity on mechanical behavior and water absorption of an environmentally friendly cement mortar with recycled rubber. **Construction and Buildings Materials**, Amsterdam, v.151, p.534-545, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.061>

ARAÚJO JR, J.M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. 2004. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Básico sobre cimento**. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento/>. Acesso em: 02 mar. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13280**: 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 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

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 DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas: requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

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 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 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 NM 248**: Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

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 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 DO SEGMENTO DE REFORMA DE PNEUS – ABR. São Paulo, [entre 2013-2019]. Disponível em: <http://www.abr.org.br/>. Acesso em: 6 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS – ANIP. Site. Brasília, DF, [entre 2013-2017]. Disponível em: <http://www.anip.com.br/>. Acesso em: 1 ago. 2019.

BAROGHEL-BOUNY, V.; MAINGUY, M.; LASSABATERE, T.; COUSSY, O.; Characterization and identification of equilibrium and transfer moisture properties for ordinary and high-performance cementitious materials. **Cement and Concrete Reserch**, [s. l.], v. 29, p. 1225-1238, 1999.

BARREIRA, E. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios**. 2004. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2004.

BARREIRA, E. FREITAS, V. P. Importance of thermography in the study of etics finishing coatings degradations due to algae and mildew growth. *In*: 10DBMC INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS - CSTB, 2005, Lyon. **Proceedings** [...] Lyon: [s. n.], 2005.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: Diretrizes básicas. **Relatório Técnico**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BERNARDI, T.M. **Avaliação do comportamento de argamassas de revestimento com incorporação de pó de borracha de pneu**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019.

BRASIL. **Relatório de Pneumáticos**: Resolução Conama nº416/09 2017 (ano-base 2016).77p. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº416, de 30 de setembro de 2006**. Destinação final de forma ambientalmente adequada e segura de pneumáticos. Publicado no D.O.U. de 01 outubro 2009.

CANDIA, M. C. FRANCO, L. S. Contribuição ao Estudo das técnicas de preparo da base do desempenho dos revestimentos de argamassa. **Boletim Técnico da escola Politécnica da USP**. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo – SP, 1998.

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.

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

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; ANGELIS NETO, G; GLEIZE, P.J.P. Comparative analysis of the proprieties of composite mortar with addition of rubber powder from worn tires. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 257-267, 2012.

CARASEK, H. Argamassas. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Instituto Brasileiro do Concreto. Cap. 28, 2017.

CENTOFANTE, G.; DAGOSTINI, C. M. Análise das propriedades de argamassas de revestimento com adição de fibras de polipropileno. **UNOESC & Ciência – ACET**. - Edição Especial, p. 7-16, 2014

CEOTTO, L.H.; BANDUK, R.C.; NAKAKURA, E. H. Revestimentos de Argamassas. Boas práticas em projetos, execução e avaliação. **Recomendações Técnicas Habitare**, [s. l.], v. 1, p. 1-96, 2005.

CHOUDHARY R.; KHATTI J., GROVER K. S. Effect on Water Retention of Different Mortar Mix with Different Percentage of Fine Crumb Rubber. **International Conference on Advancements in Computing & Management**. Jagannath University, Jaipur, India, 2019.

CIMENTO.ORG. *Site*. 2010. Disponível em: <https://cimento.org/cp-ii-z-32-cimento-portland-composto-com-pozolana/>. Acessado em: 10 mar. 2019.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. Estudo da influência da distribuição granulométrica nas propriedades de argamassas dosadas por curva granulométrica. **Anais [...]** Vitória: PPGE/ANTAC, 1999.

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.

CIPLAN CIMENTO. Site [entre 2013- 2019]. Disponível em: <http://www.ciplan.com.br>. Acessado em: 09 mar. 2019.

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. 2019.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; MORICONI, G. Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles. **Materials and Design**, Surrey, v. 32, p. 1646-1650, 2011. Elsevier BV. doi:10.1016/j.matdes.2010.10.013.

COSTA, J. S.; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. Análise térmica da argamassa reciclada com agregado produzido pelo descarte da indústria cerâmica. In: Congresso Brasileiro de cerâmica, 51., 2007, Salvador. **Anais** [...] Salvador, 2007.

COVAES, V. H. **Comparação de argamassa com fibra de borracha com argamassa convencional: características mecânicas da microestrutura**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) Faculdade de Tecnologia, Universidade estadual de Campinas. Campinas, 2018.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. São Paulo: CEMPRE/IPT, 2000. 370 p.

DIAS, L. A.; CARASEK, H. Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimento de argamassa pelo método do cachimbo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA EM ARGAMASSAS: **Anais** [...] São Paulo, 2003.

ELDIN, N. N.; SENOUCI, A. B. Rubber Tire Particles as Concrete Aggregate. **Journal of Materials in Civil Engineering**, New York, v. 5, n. 4, p. 478-496, 1993.

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

FEIO, M. I. A. **Avaliação da viabilidade ambiental do processo de reciclagem criogênica e da recauchutagem de pneus usados**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

FERNANDES, C. P. **Estudo dos processos de condensação e migração de umidade em meios porosos consolidados. Análise experimental de uma**

argamassa de cal e cimento. 1990 Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990.

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

FERREIRA, J. P. B. **A termografia de infravermelhos na avaliação dos fenómenos de humidificação e secagem.** 2016. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016.

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. 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.; 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, Cleverson de; **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba - Propriedades no estado fresco e endurecido.** 2010. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FREITAS, V. M. A. P. **Transferência de humidade em paredes de edifícios.** 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 1992.

GARRIDO, I. LAGUELA, S. SFARRA, S. MADRUGA, F.J. ARIAS, P. Automatic detection of moistures in different construction materials from thermographic images. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 138, p. 1649-1668, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08264-y>

GONÇALVES, T. D. **Salt crystallization in plastered or rendered walls**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2007.

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

KIRIMTAT, A. KREJCAR, O. A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects. **Energy & Buildings**, Lausanne, v.176, p. 390-406, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.052>

KURZ, M.; BRANDELLI, T. M.; PALIGA, C. M.; TORRES, A. S.; Estudo do teor de substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha em argamassa de cimento e cal. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 278-291, 2018.

KYLILI, A. FOKAIDES, P.A., CHRISTOU, P. KALOGIROU, S.A. Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. **Applied Energy**, London, v. 134, p. 531-549, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.005>

LAGARINHOS, C. A. F. **Reciclagem de pneus**: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

LAGARINHOS, C. A. F. TENÓRIO, J. A. S. Tecnologias Utilizadas para a Reutilização, Reciclagem e Valorização Energética de Pneus no Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 106-118, 2008.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Logística reversa dos pneus usados no Brasil. **Polímeros**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 49-58, 2013.

LUCAS, J.C.P. **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos de resíduos de loiça sanitária**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Técnico Lisboa, Lisboa, 2015.

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

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.

MARTINS FILHO, S. T.; CANOVA, J. A.; KLEIN, N. S.; PEIXOTO, V. P. Utilização de resíduos da construção civil e cinza do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de argamassa de revestimento. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.12, n. 2, p. 633-678, abr/jun 2019. DOI: 10.17765/2176-9168.2019v12n2p663-678.

MASSOLLA, D. A. O.; SÁ, M. R. T.; VALLE, R. M.; BASTOS, P. K. Estudo do uso de resíduos de borracha proveniente da recauchutagem de pneus em argamassas de revestimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 24., 2012, Juiz de Fora. **Anais eletrônicos** [...] Juiz de Fora, UFJF, 2012.

MEDINA, N. F.; GARCIA, R.; HAJIRASOULIHA, I.; PILAKOUTAS, K.; GUADAGNINI, M.; RAFFOUL, S. Composites with rubber aggregates: Properties and opportunities in construction. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 188, p. 884-897, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.069>.

MENEGUINI, E. C. A. **Comportamento de argamassa com o emprego de pó de borracha**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

MIRANDA, JÚNIOR, P. S. **Avaliação da absorção de água por imersão e da permeabilidade em argamassa reciclada**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

MUNDO, R.; PETRELLA, A.; NOTARNICOLA, M. Surface and bulk hydrophobic cement composites by tyre rubber addition. **Construction and Buildings Materials**, Amsterdam, v. 172, p. 176-184, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.233>.

NA, O.; XI, Y. Mechanical and durability properties of insulation mortar with rubber powder from waste tires. **Journal of Material Cycles Waste Management**, [s. l.], v. 19, p. 763-773, 2017. DOI 10.1007/s10.

NAKAKURA, E.H.; CINCOTTO, M.A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. (Boletim técnico) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

NAPPI, S.C. B. **Uma solução alternativa para prorrogação da vida útil dos rebocos com salinidade em edifícios históricos**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

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

OLIVEIRA, G. F. P. **Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias associadas à humidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimento de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação**. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

PAGOTO, L. M. **Estudo do comportamento à água em argamassas de revestimento incorporadas com borracha de pneus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018.

PCZIECZEK, A. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017.

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.

PHAM, N. P.; TOUMI, A.; TURATSINZE, A. Rubber aggregate-cement matrix bond enhancement: Microstructural analysis, effect on transfer properties and on mechanical behaviours of the composite. **Cement and Concrete Composites**, [s.l.], v. 94, p. 1-12, 2018. Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.08.005>.

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.

PITEIRA, R. M. V. B. **Argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de borracha da recauchutagem de pneus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2015.

RAMOS, N. M. **A Importância da Inércia Higroscópica no Comportamento Higtotérmico dos Edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2007.

RECICLANIP – Órgão da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. **Pontos de coleta**. Disponível em: <http://www.reciclanip.org.br/pontos-de-coleta/coleta-no-brasil/>. Acessado em: 06 jan. 2020.

REVISTA AREIA E BIRITA. **Areia de brita para construção. Evolução de processos e mudanças estruturais nos grandes centros urbanos favorecem utilização do produto para o mercado**. Ano 22, Edição 73, 2019. Disponível em: <https://www.anepac.org.br/publicacoes/revista-areia-e-brita>. Acessado em: 05 jul 2019.

ROSCOE, M. T. **Patologia em revestimento cerâmico de fachada**. Monografia apresentada as Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte – MG, 2008.

ROUQUEROL, J. et al. Recommendations for the characterization of porous solids. **Pure and Applied Chemistry**, 37, n. 3, 1974. 423-436.

SANTANA, B.V. ALEIXO, I.V. **Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas para revestimento com diferentes aditivos impermeabilizantes**. Relatório (Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica) Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2017.

SANTOS, C.F. ROCHA, J.H.A., PÓVOAS, Y.V. Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade de focos em paredes internas de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 105-127, jan./mar. 2019.

SANTOS, F. I. G. **Avaliação de propriedades higrotérmicas das argamassas: estudo de caso com cinzas pesadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SANTOS, G. H. **Transferência de calor, ar e umidade através de elementos porosos de edificações**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 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.

SENTONE, D.T. **Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SHU, X.; HUANG, B. Recycling of waste tire rubber in asphalt and Portland cement concrete: An overview. **Construction and Buildings Materials**, [s.l.], v.67, p.217-224, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.027>.

SHU, X.; HUANG, B. Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 67, p. 217-224, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.027>.

SILVA, D. D. S. **Diagnóstico de Patologias em Fachadas utilizando termografia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012.

SILVA, L. S.; MOUTA, J. R.; COSTA, M. C. B.; GOMES, L. G. **Concreto com borracha de recauchutagem de pneu para uso em pavimentação de baixo tráfego**. Revista Matéria. 2019, vol. 24, n. 02.

SILVA, L. S.; NASCIMENTO, F. R.; NOGUEIRA, M. H. P.; LIMA, G. K. M.; ROCHA SOBRINHO, D. C. R. Utilização de resíduos de borracha de recauchutagem de pneus na composição de asfalto. **Revista de ciência tecnologia**, v. 4, n. 7, 2018.

SILVA, N.G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, R. N. T. **Estudo da termografia por infravermelho: aplicações na engenharia e determinação de parâmetros termofísicos e geométricos de**

materiais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2007.

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.

SOFI, A. Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete - A review. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 9, p. 2691-2700, 2018. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.08.007>.

SONG, W. J.; QIAO, W. G.; YANG, X. X.; LIN, D. G.; LI, Y. Z. Mechanical proprieties and constitutive equations of crumb rubber mortars. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 172, p. 660-669, 2018. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.263>.

STRAUBE, J. F. Moisture in buildings. *Ashrae Journal*. 2002. p 15-19. **Asharae Journal**, v. 44, n. 1, p. 15–19, 2002.

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.

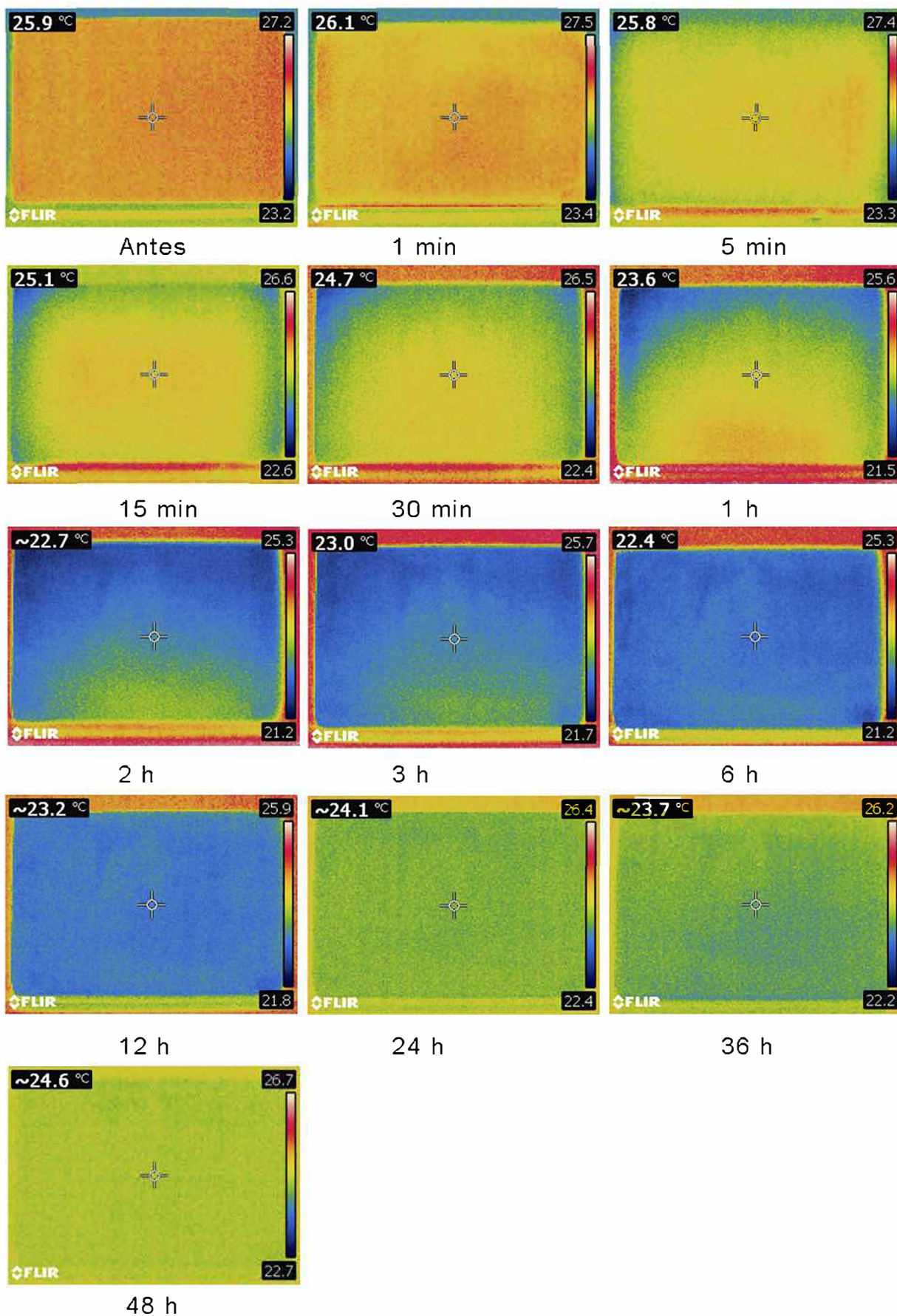
TERRA, R. C. **Levantamento de manifestações patológicas em revestimentos de fachada das edificações da cidade de Pelotas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios – causas, prevenção e recuperação.** 1ª Edição, Reimpressão: janeiro 1990. São Paulo: IPT : EPUSP : Editora Pini, 1989. 194p.

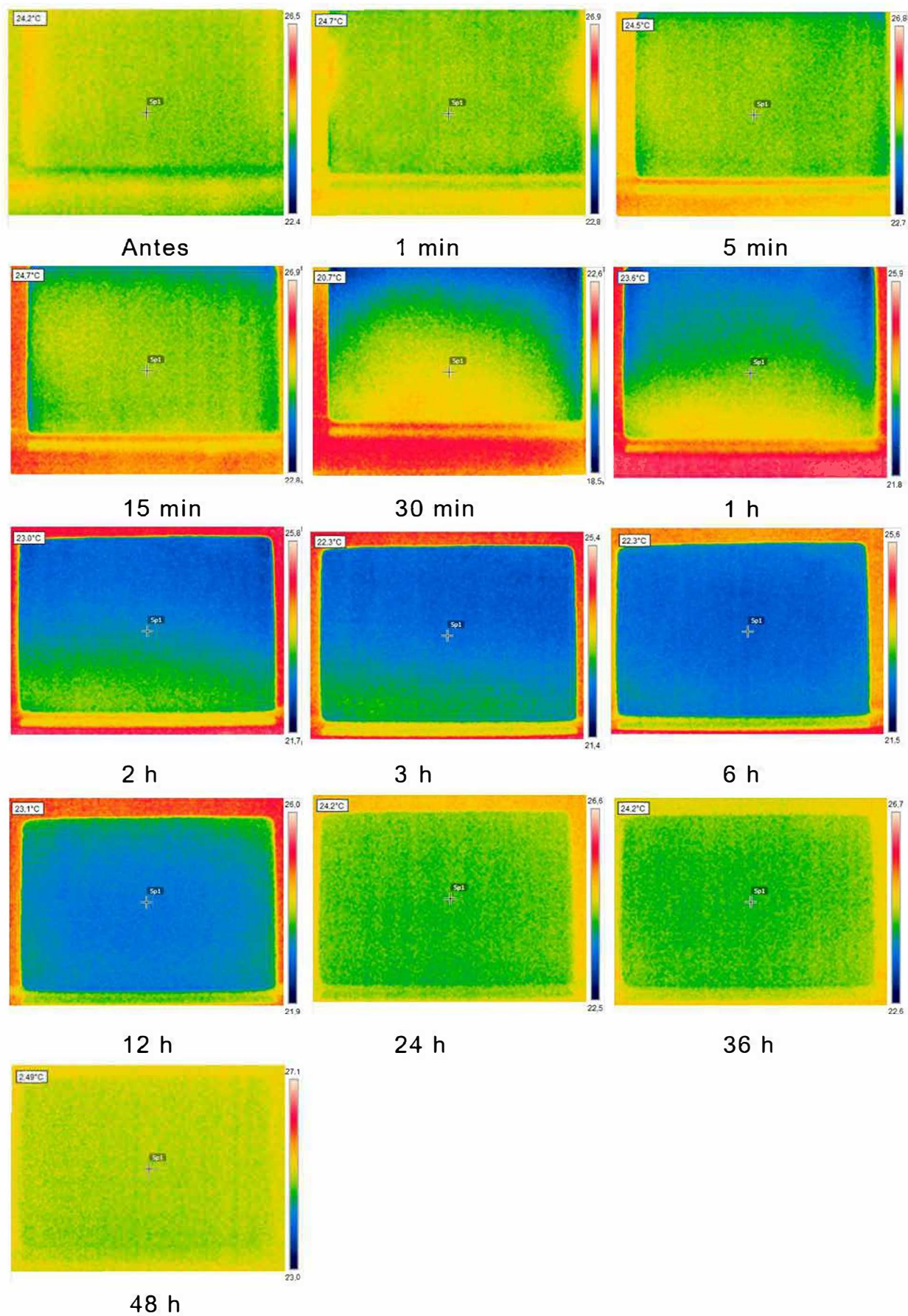
THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção.** São Paulo: PINI, 2001. 449 p.

WEISHEIT, S.; UNTERBERGER, S.H.; BADER, T.; LACKNER, R. Assessment of test methods for characterizing the hydrophobic nature of surface-treated High-performance Concrete. **Construction and Buildings Materials**, [s.l.], v.110, p.145-153, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.010>.

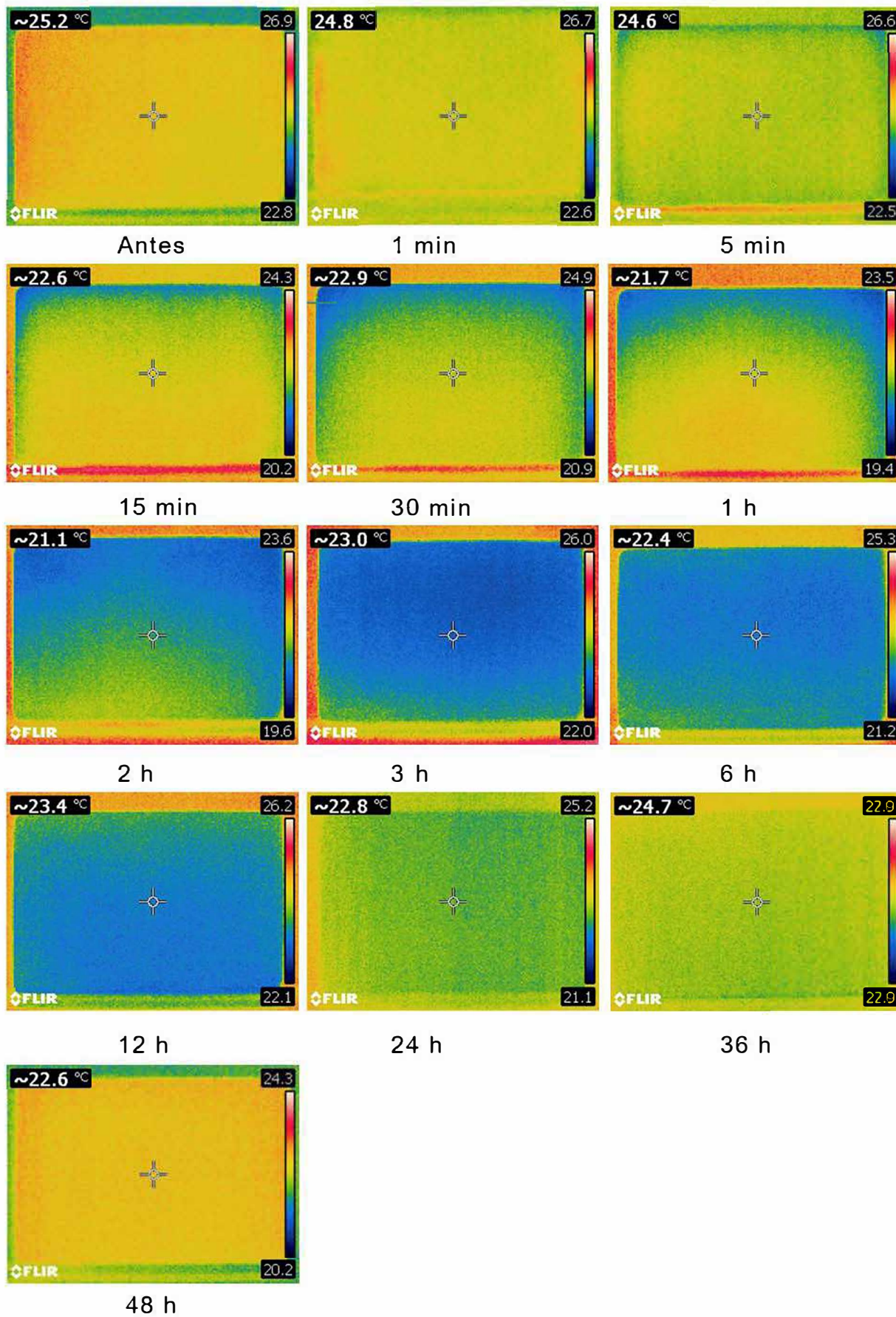
APÊNDICE A - Ensaio passivo - 1 min de contato - AREF



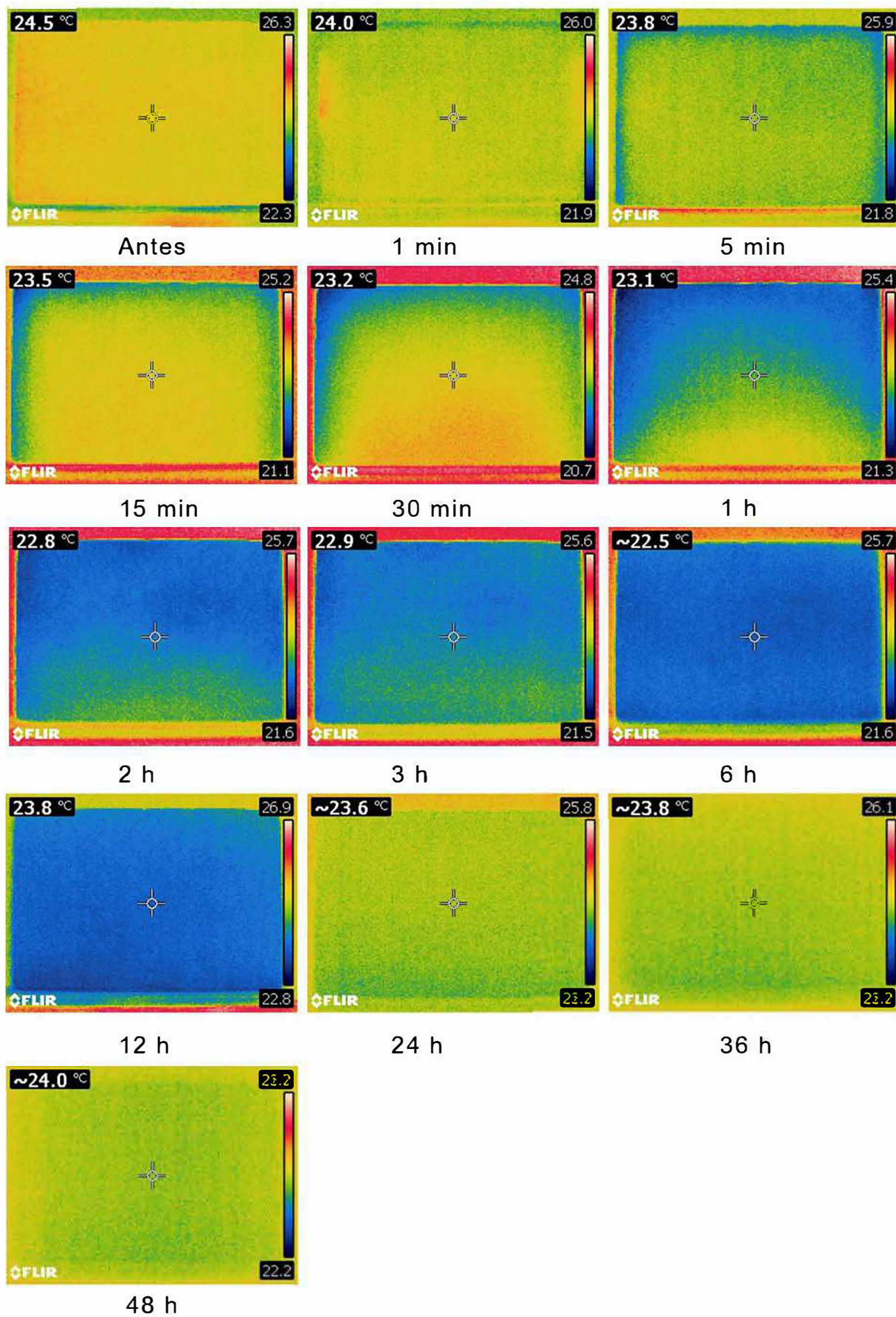
Ensaio passivo - 1 min de contato - A10G



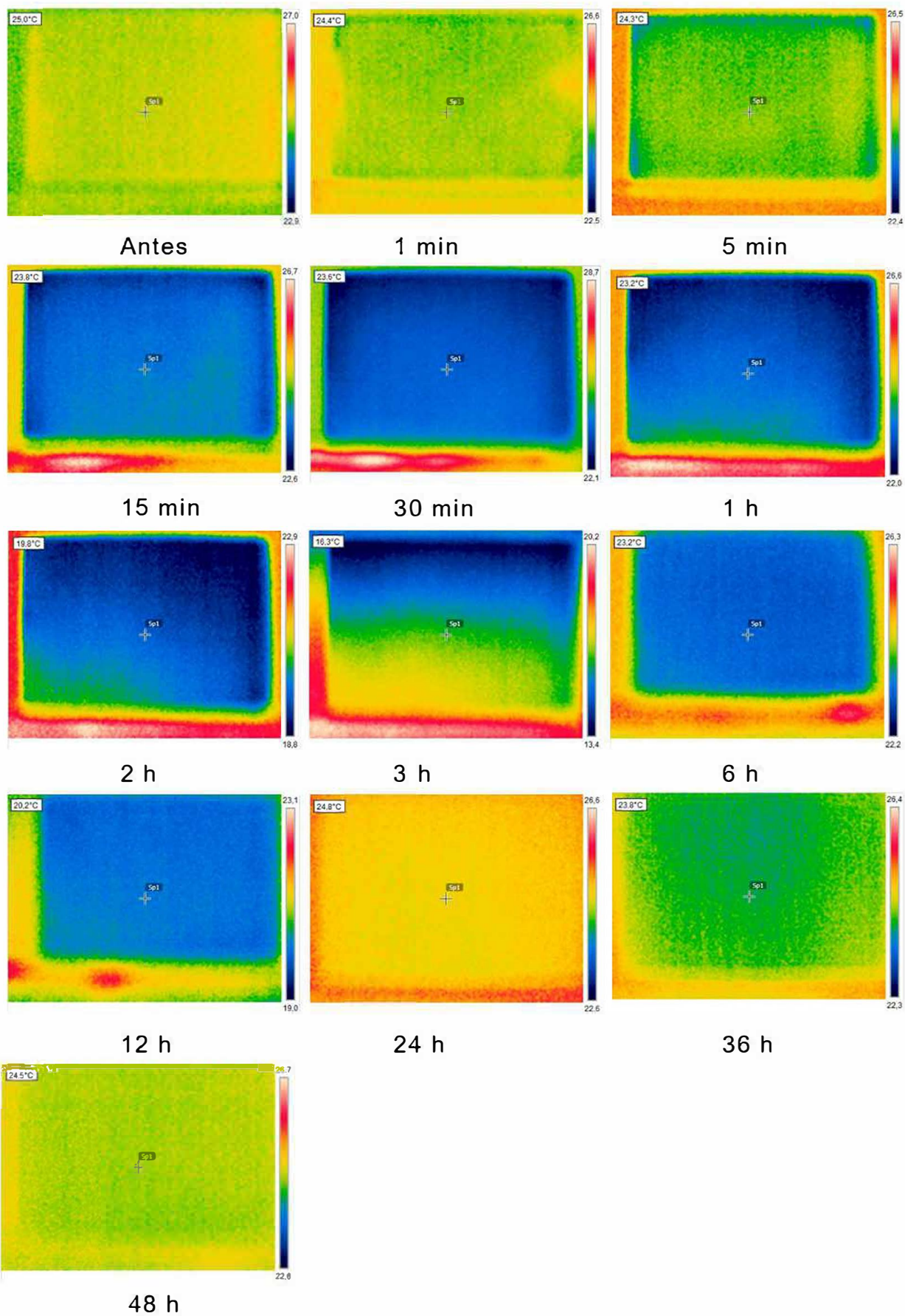
Ensaio passivo - 1 min de contato - A10F



Ensaio passivo - 1 min de contato - A20G



Ensaio passivo - 1 min de contato - A20F

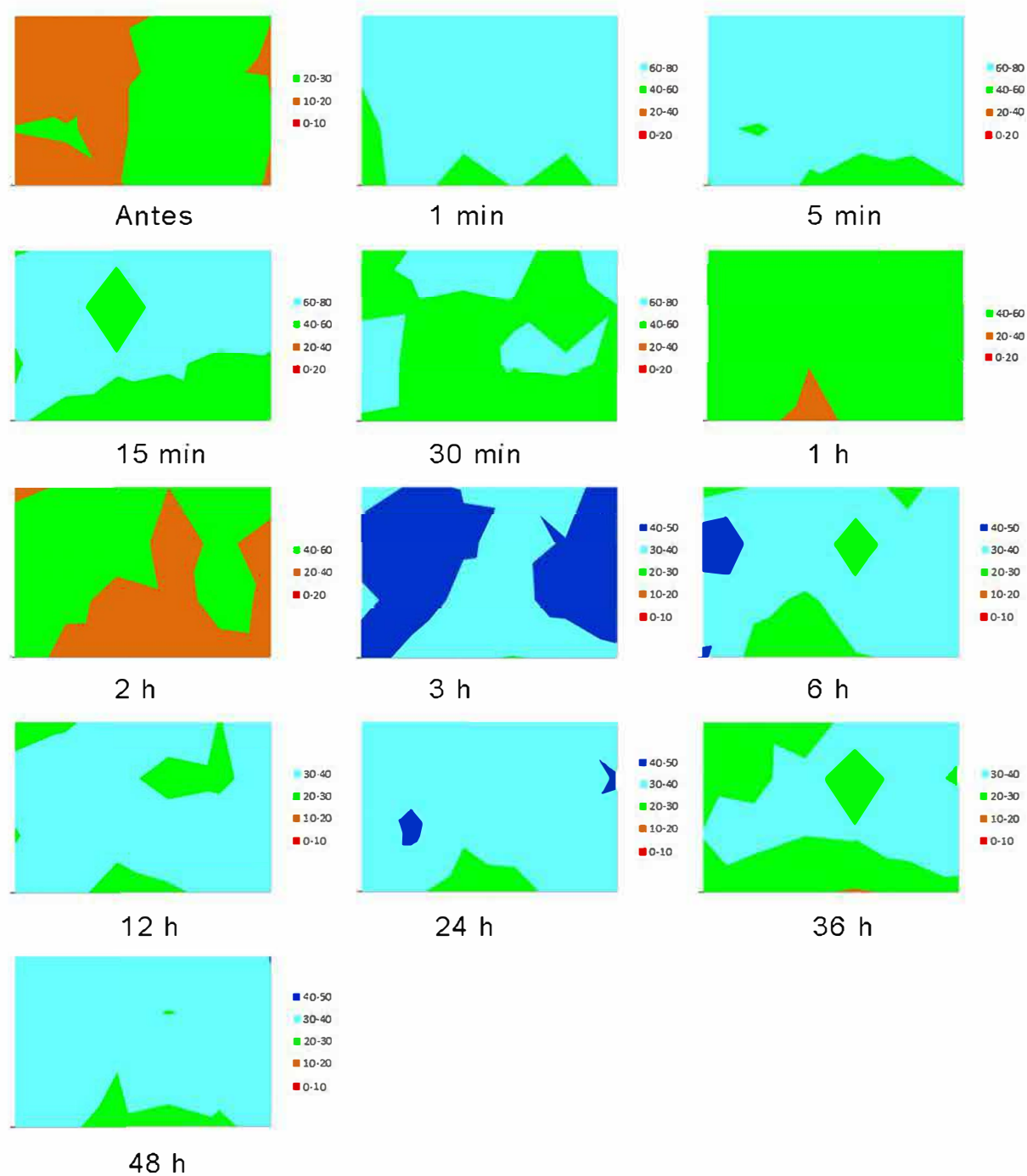


Ensaio termográfico - Passivo 1 min - Médias de temperatura

	Passivo 1 min - Temperatura (°C)												
	Antes	1 min	5 min	15 m	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h
REF	25,9	26	25,6	24,7	24,4	23,4	22,5	22,4	22,4	22,8	24,1	23,8	24,6
A10G	24,4	24,7	24,5	24,6	20,2	23,4	23	22,5	22,5	23,2	24,3	24,3	25
A10F	25,3	24,8	24,5	22,4	22,7	21,3	21	23,1	22,6	23,5	23,3	24,9	22,8
A20G	24,6	23,9	23,7	23,2	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	23,9	23,6	24,3	24,1
A20F	25	24,4	24,2	23,6	23,3	22,9	19,6	15,8	23,2	20,1	24,5	24	24,6

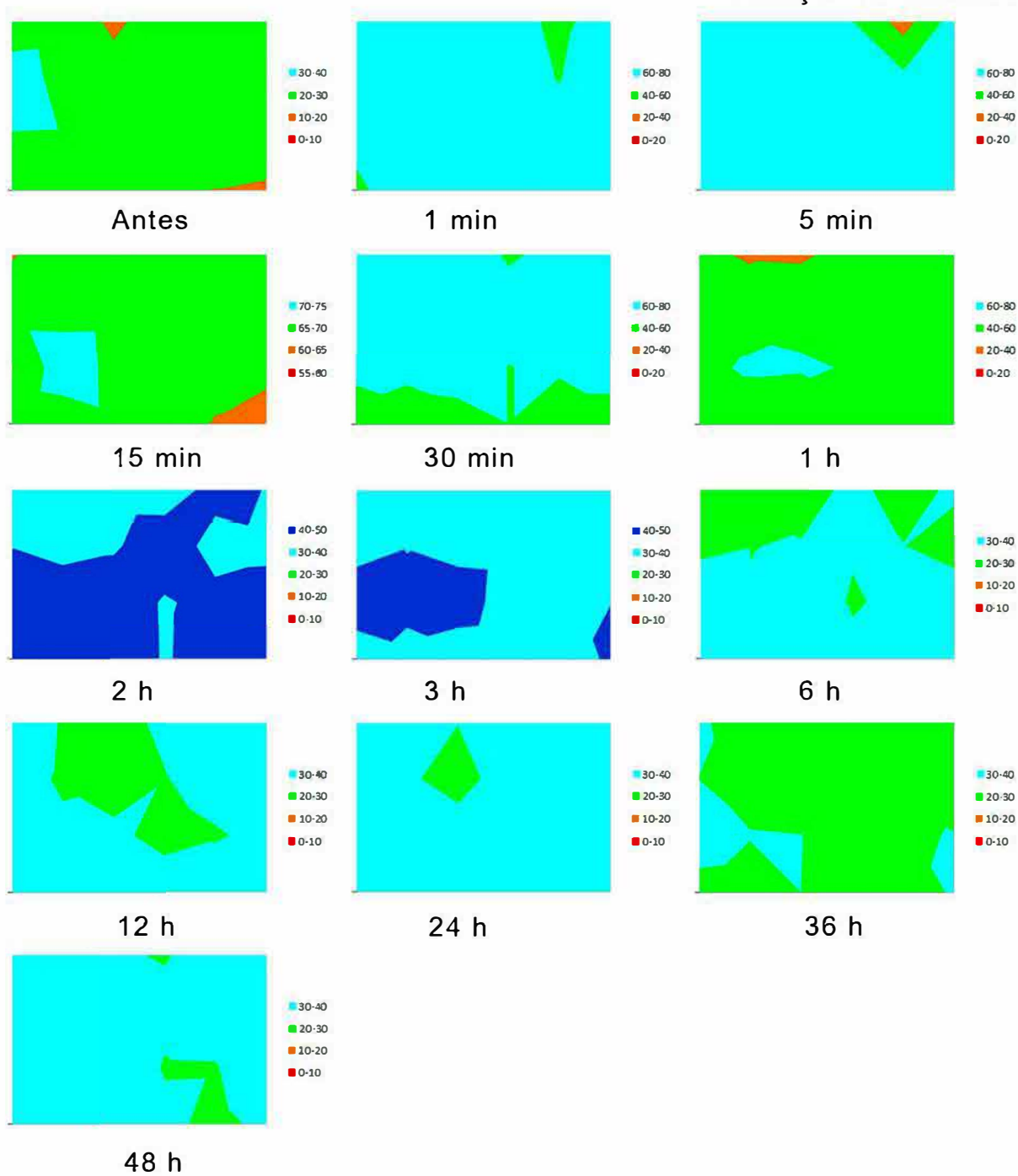
APÊNDICE B - Ensaio passivo - 1 min de contato - AREF

Aferição de umidade

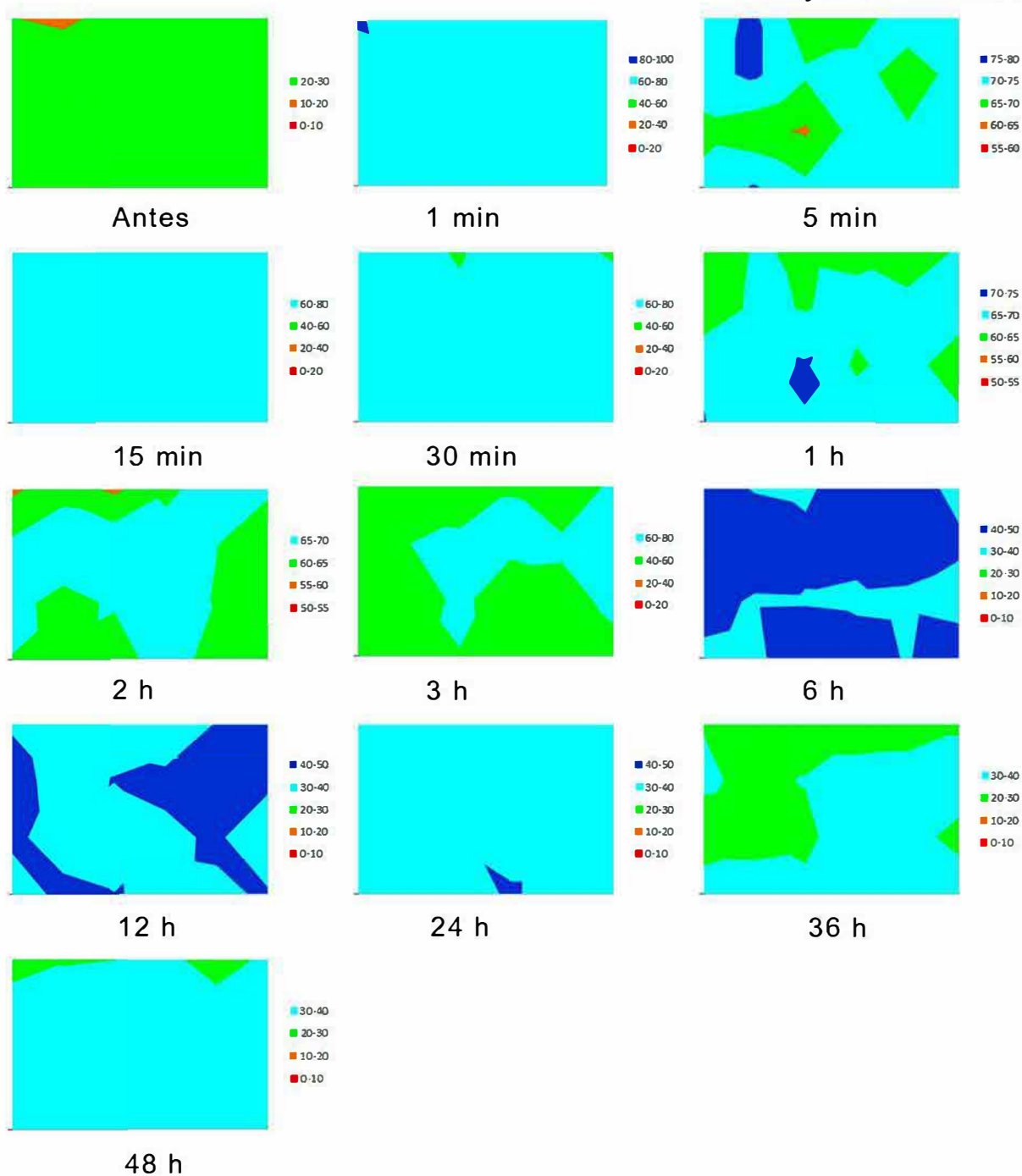


Ensaio passivo - 1 min de contato - A10G

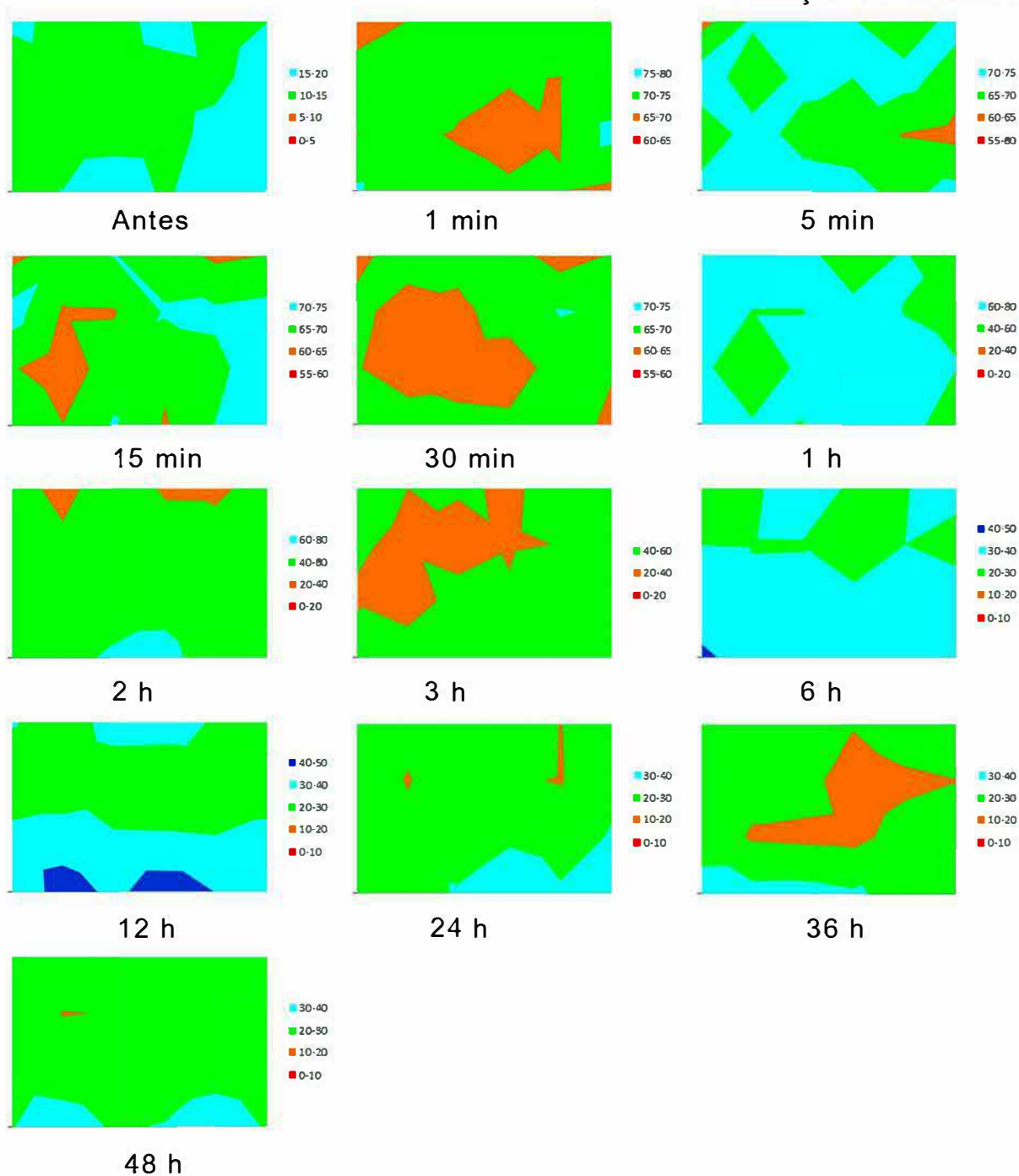
Aferição de umidade



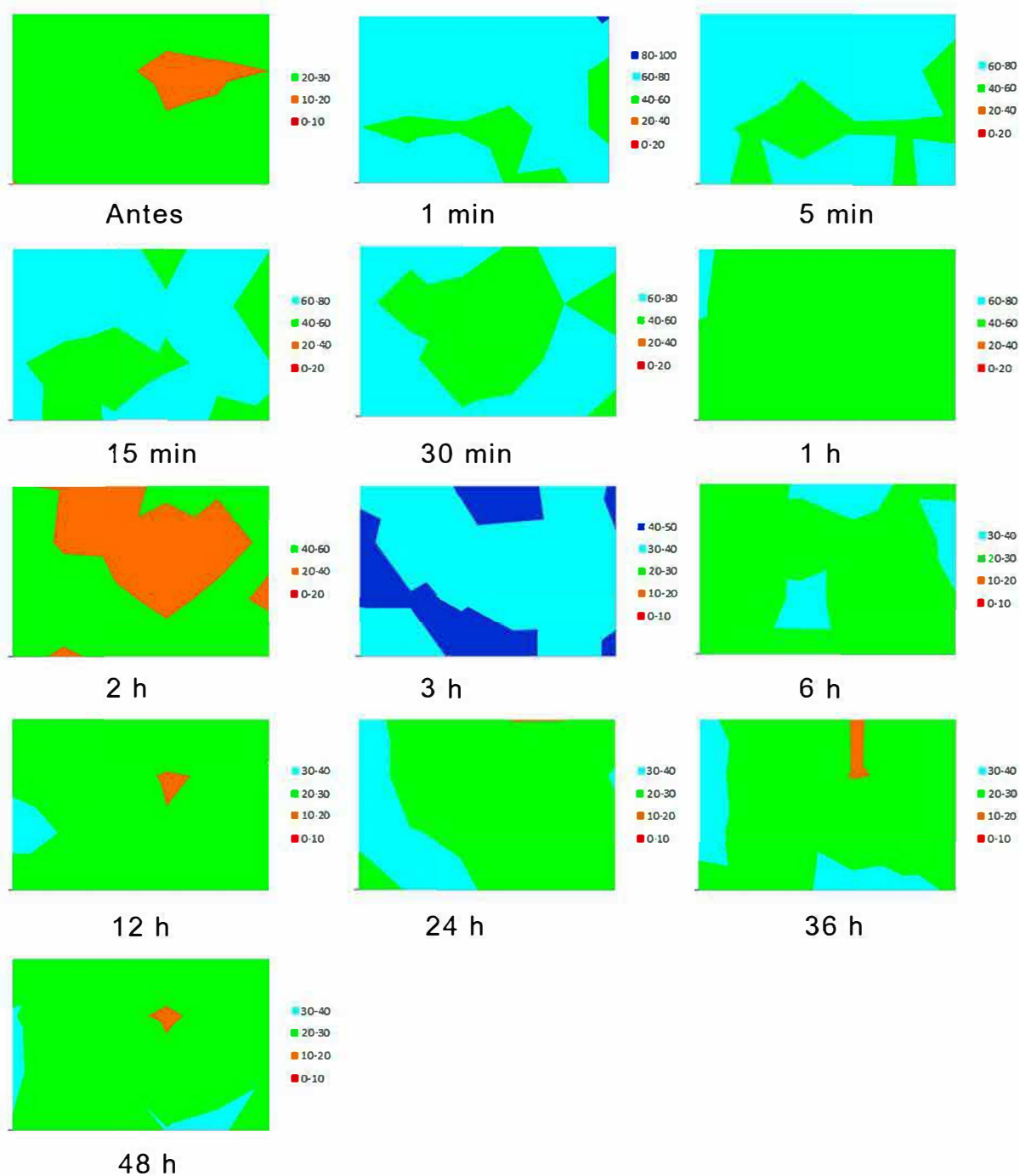
Ensaio passivo - 1 min de contato - A10F
Aferição de umidade



Ensaio passivo - 1 min de contato - A20G
Aferição de umidade



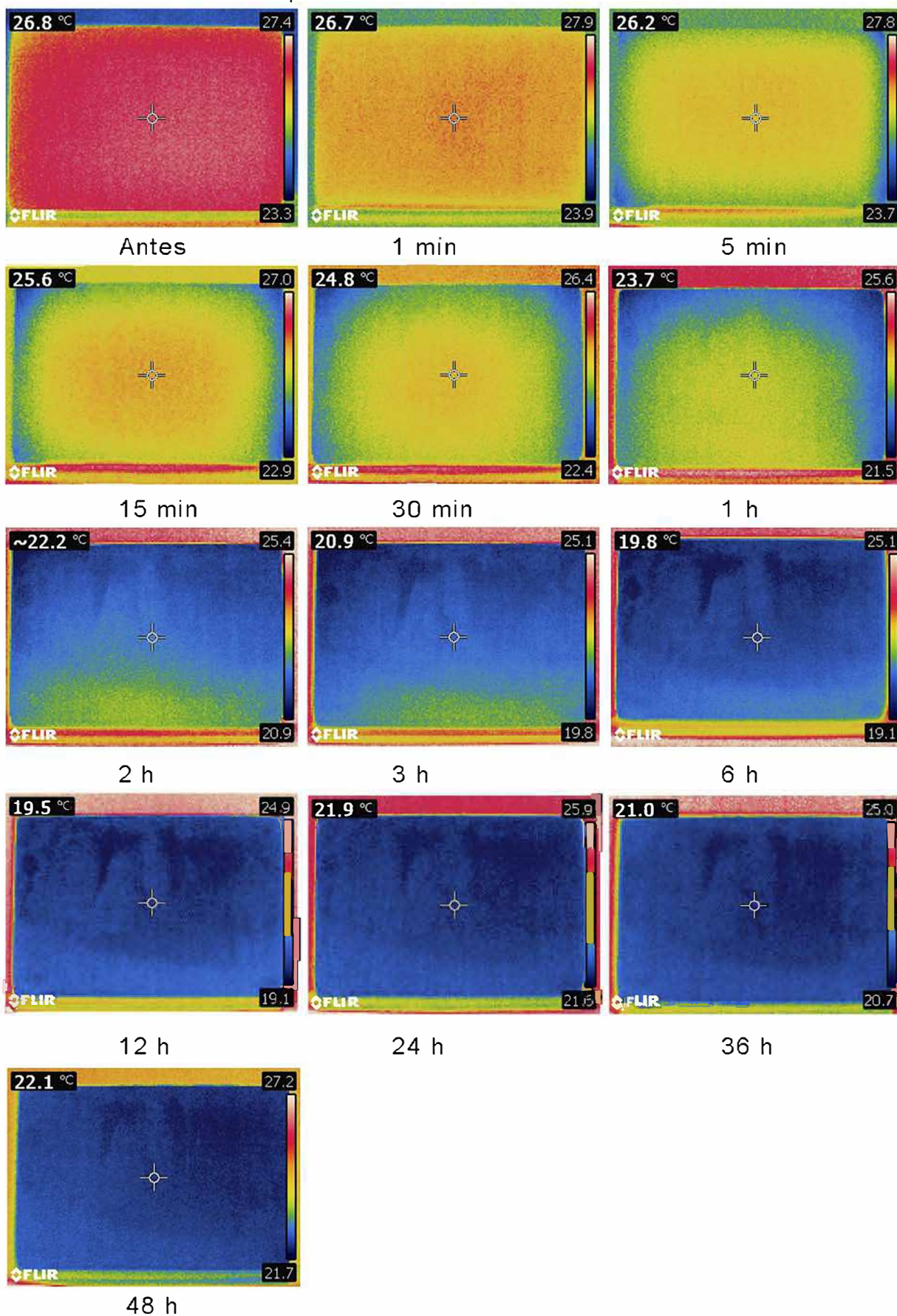
Ensaio passivo - 1 min de contato - A20F
Aferição de umidade



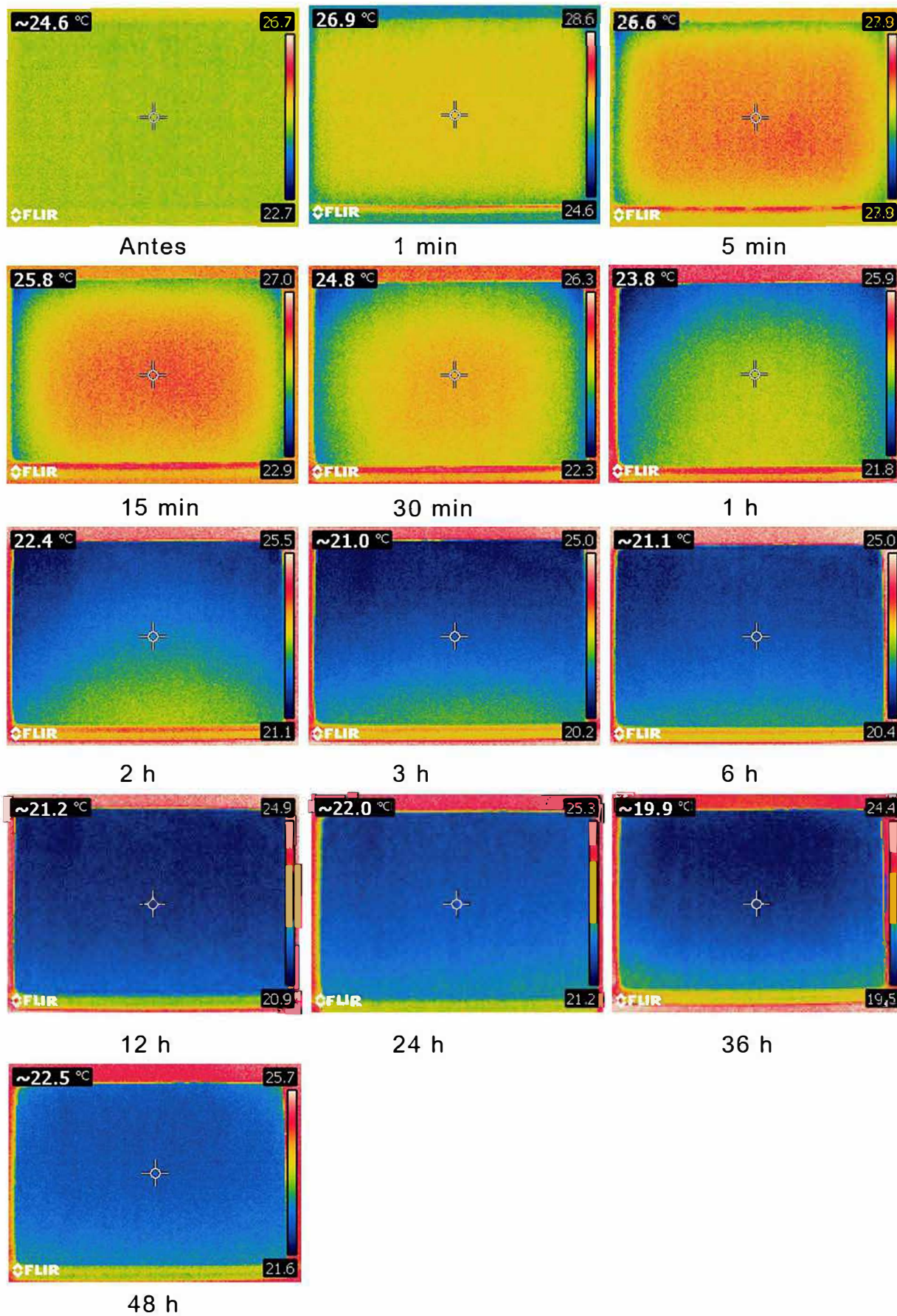
Ensaio de aferição de umidade - Passivo 1 minuto - Médias e Desvios Padrão

		Passivo 1 min - Umidade (%)												
		Antes	1 min	5 min	15 m	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h
AREF	Média	20,15	63,36	63,54	60,85	58,38	46,24	40,85	39,50	32,84	32,65	33,90	28,97	33,84
	Desv. Pad.	4,03	5,24	4,30	4,59	4,78	4,90	6,47	5,08	5,78	4,14	4,05	4,76	4,11
A10G	Média	24,30	66,50	65,59	67,13	60,92	49,74	40,75	36,86	30,95	31,34	33,46	27,18	32,54
	Desv. Pad.	4,39	4,86	7,91	2,15	5,74	7,41	4,33	4,01	3,69	2,97	2,99	3,46	2,83
A10F	Média	23,60	70,99	70,96	69,58	66,56	66,14	64,49	55,63	42,12	38,65	35,58	30,61	32,24
	Desv. Pad.	2,47	4,14	3,04	3,57	3,56	3,14	3,07	7,00	4,53	3,24	3,03	4,15	2,55
A20G	Média	14,53	71,27	69,40	67,85	65,78	60,33	47,41	42,85	32,50	31,37	25,86	23,50	25,51
	Desv. Pad.	2,68	2,42	2,91	3,27	2,79	3,12	7,05	5,07	4,72	6,28	5,39	5,21	4,62
A20F	Média	23,26	67,77	64,20	61,71	59,75	53,82	41,17	38,43	26,95	25,05	27,83	26,63	25,81
	Desv. Pad.	3,10	9,43	7,69	7,30	6,14	5,66	4,76	3,72	4,32	3,85	3,88	4,54	3,57

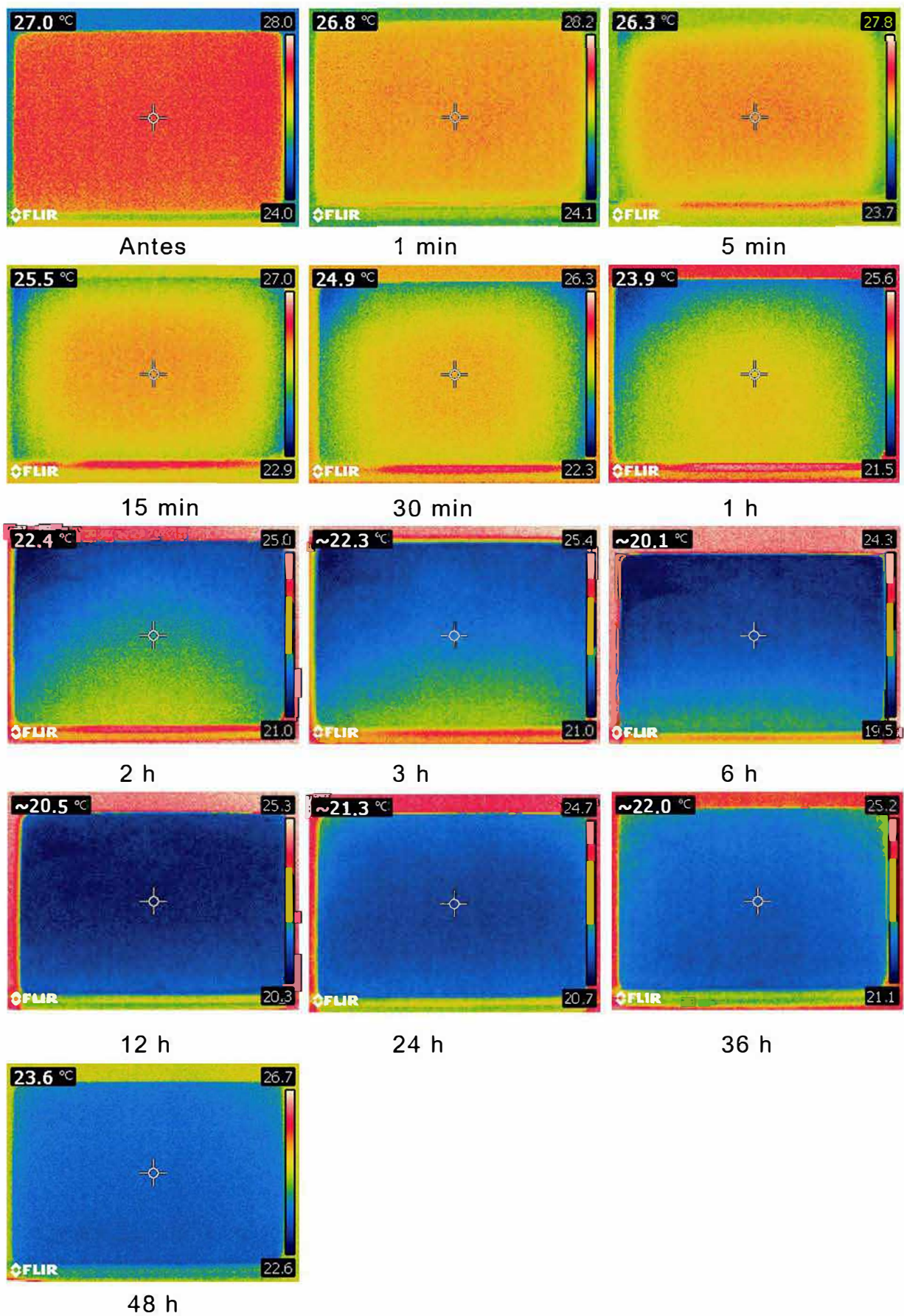
APÊNDICE C - Ensaio passivo - 1 h de contato - AREF



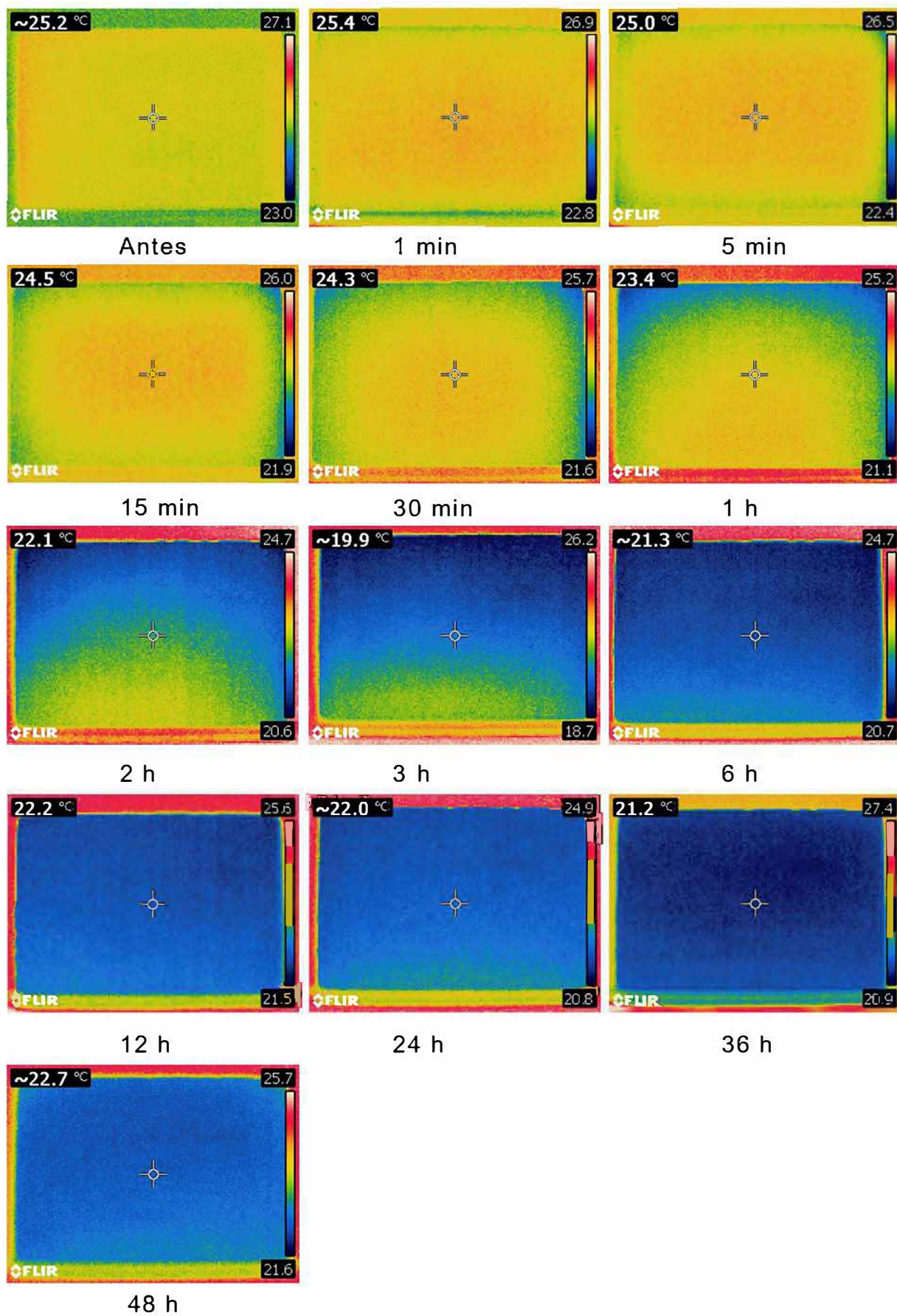
Ensaio passivo - 1 h de contato - A10G



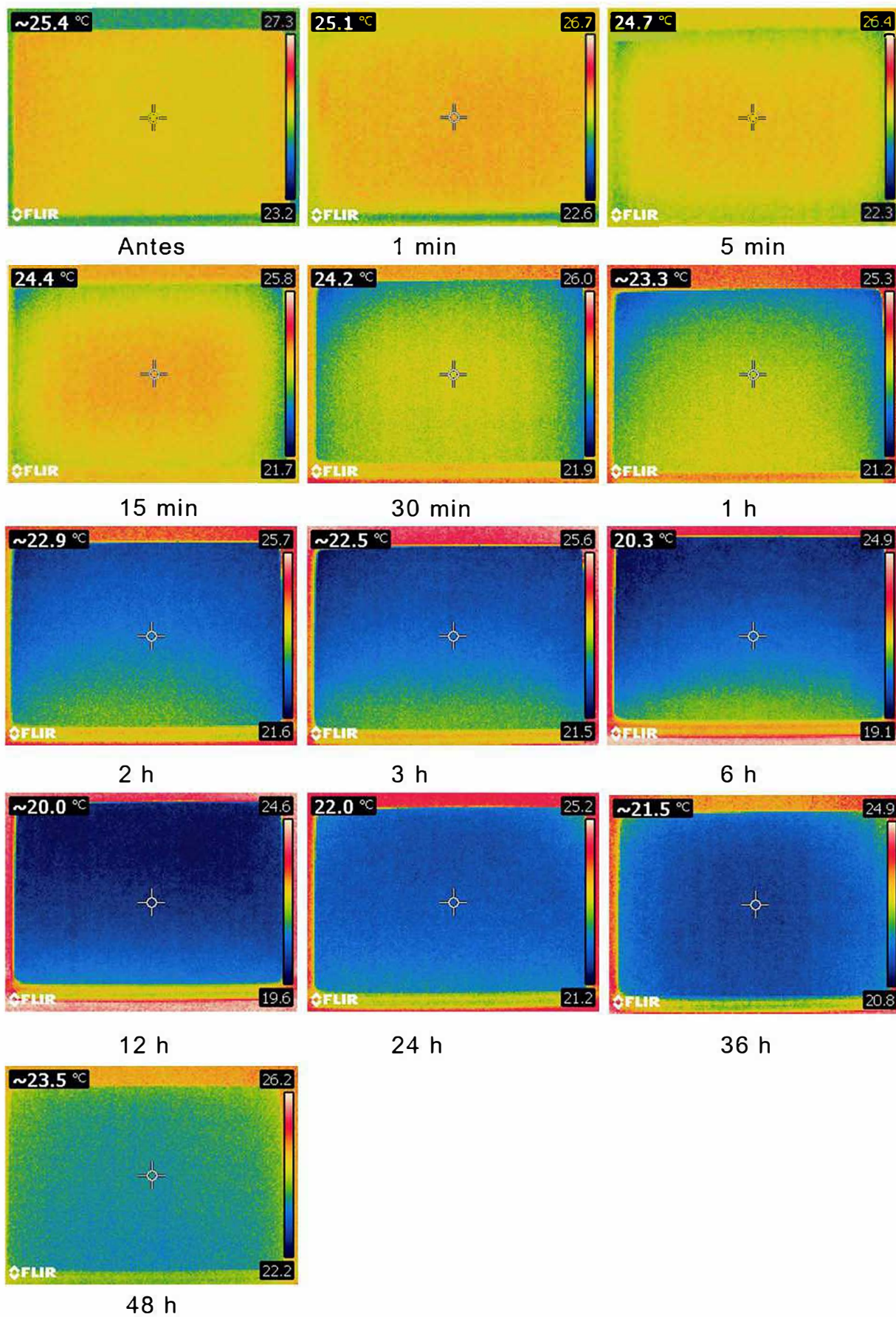
Ensaio passivo - 1 h de contato - A10F



Ensaio passivo - 1 h de contato - A20G



Ensaio passivo - 1 h de contato - A20F

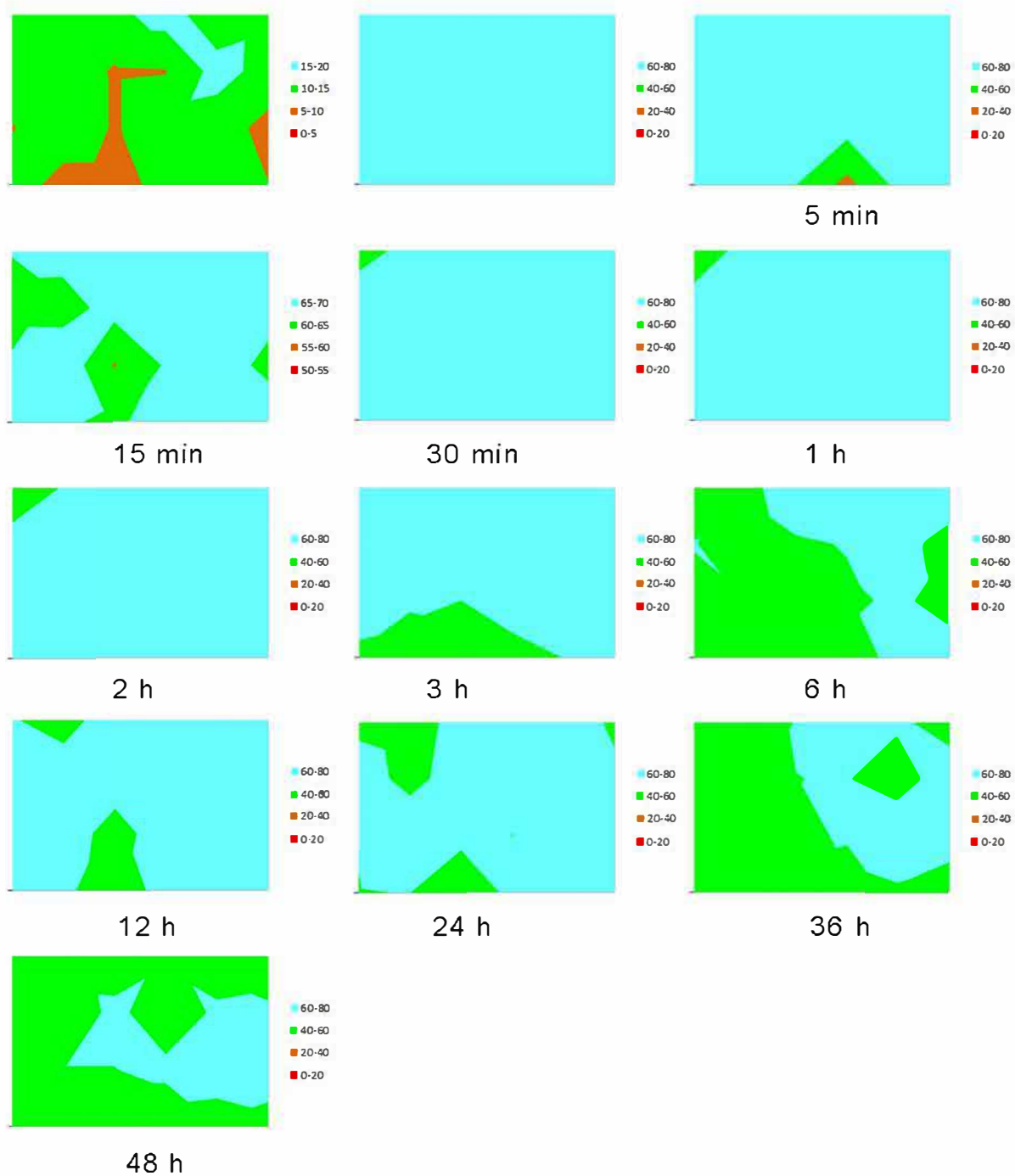


Ensaio termográfico - passivo 1 hora - Médias de temperatura

	Passivo 1 h - Temperatura (°C)												
	Antes	1 min	5 min	15 m	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h
REF	26,6	26,5	25,9	25	24,3	23,2	22,1	21	19,9	19,7	22,1	21,2	22,2
A10G	27,1	26,8	26,4	25,4	24,4	23,5	22,3	21	21,2	21,3	22,1	19,9	22,6
A10F	26,9	26,7	26,2	25,2	24,4	23,4	22,2	22,2	20,3	20,7	21,5	22,2	23,6
A20G	25,2	25,2	24,7	24,2	23,8	23,1	22	19,8	21,4	22,3	21,9	21,4	22,7
A20F	25,5	25,1	24,6	24	23,8	23	22,7	22,5	20,2	20,1	22,2	21,7	23,7

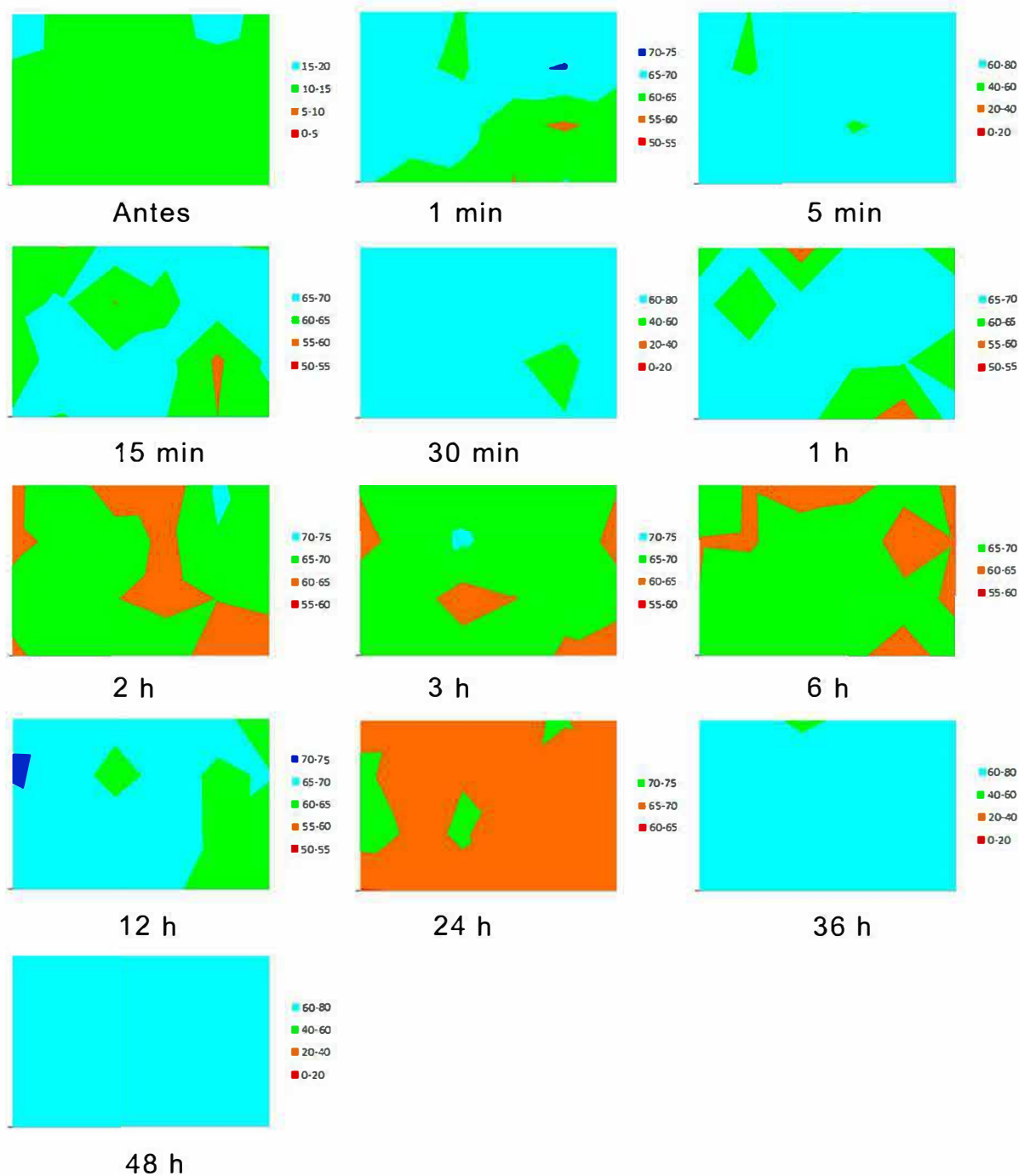
APÊNDICE D - Ensaio passivo - 1 h de contato - Aref

Aferição de umidade



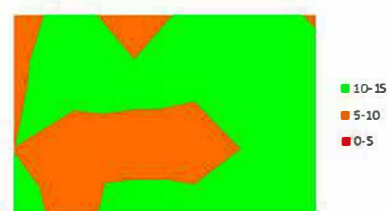
Ensaio passivo - 1 h de contato - A10G

Aferição de umidade



Ensaio passivo - 1 h de contato - A10F

Aferição de umidade



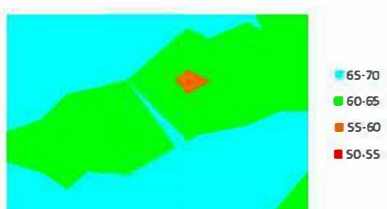
Antes



1 min



5 min



15 min



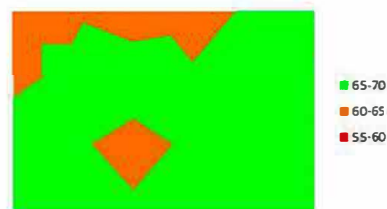
30 min



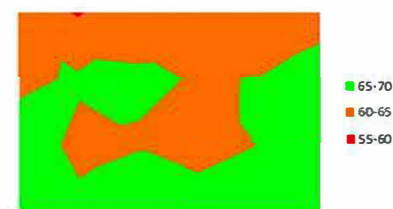
1 h



2 h



3 h



6 h



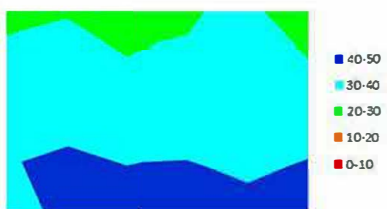
12 h



24 h



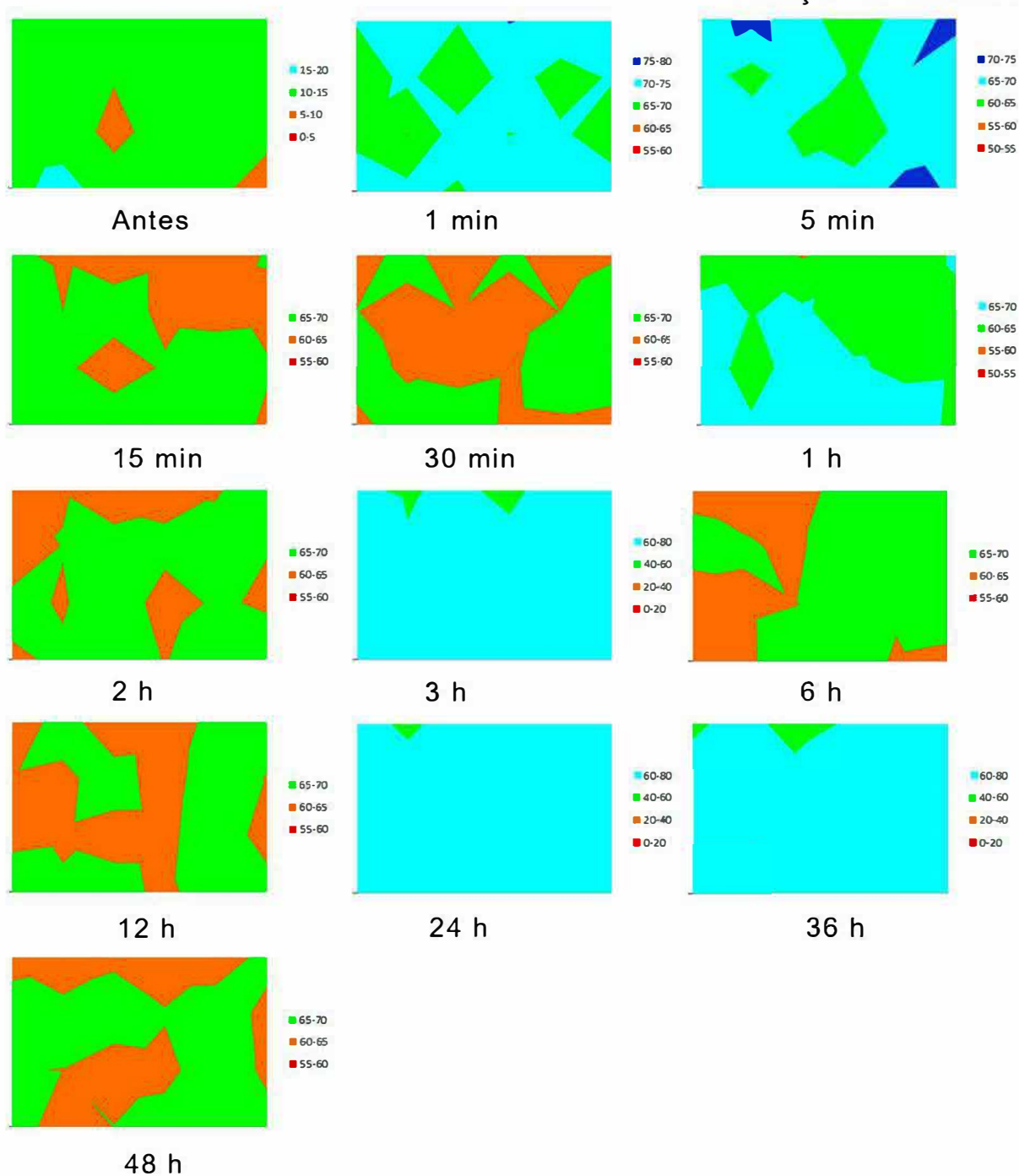
36 h



48 h

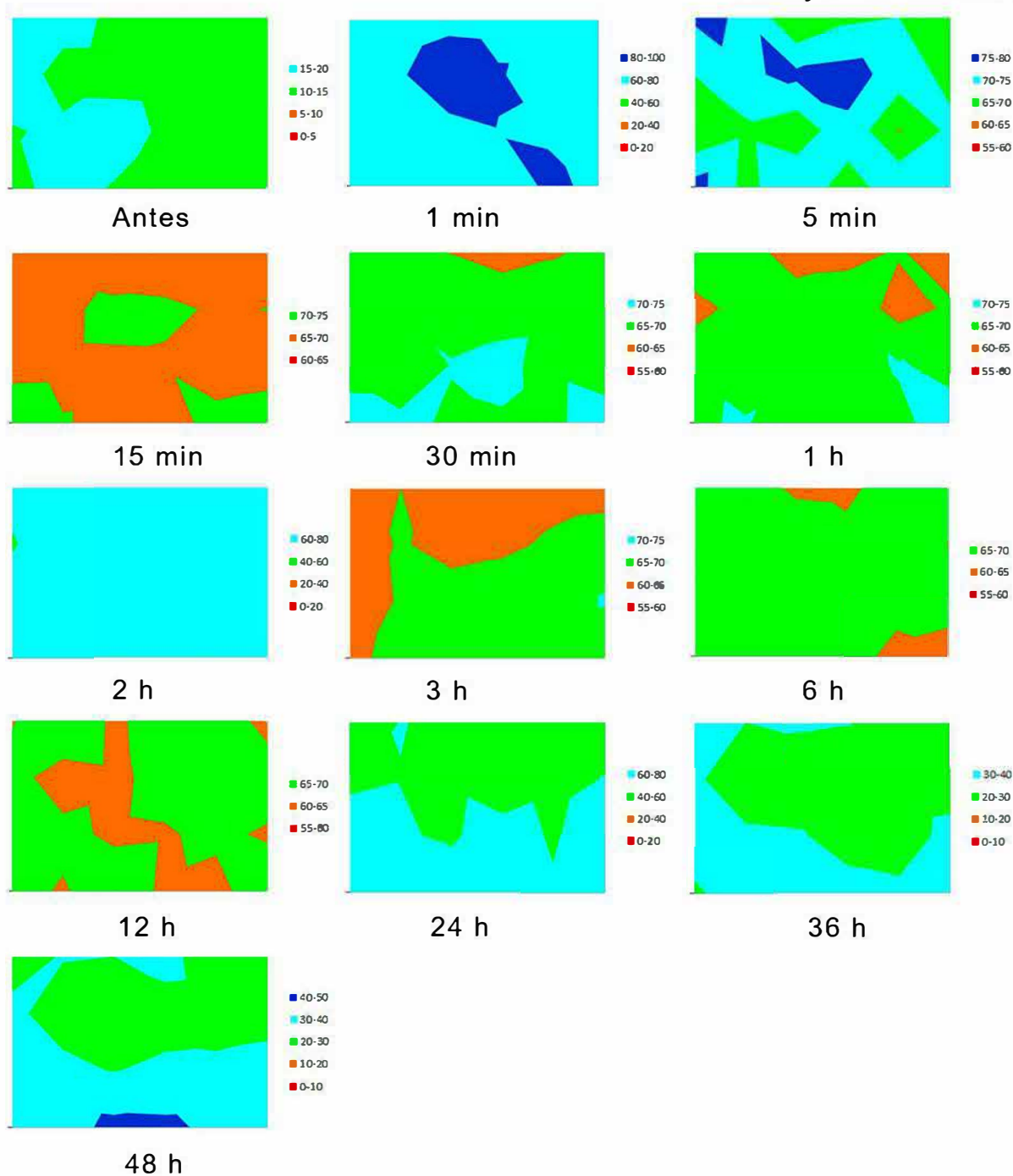
Ensaio passivo - 1 h de contato - A20G

Aferição de umidade



Ensaio passivo - 1 h de contato - A20F

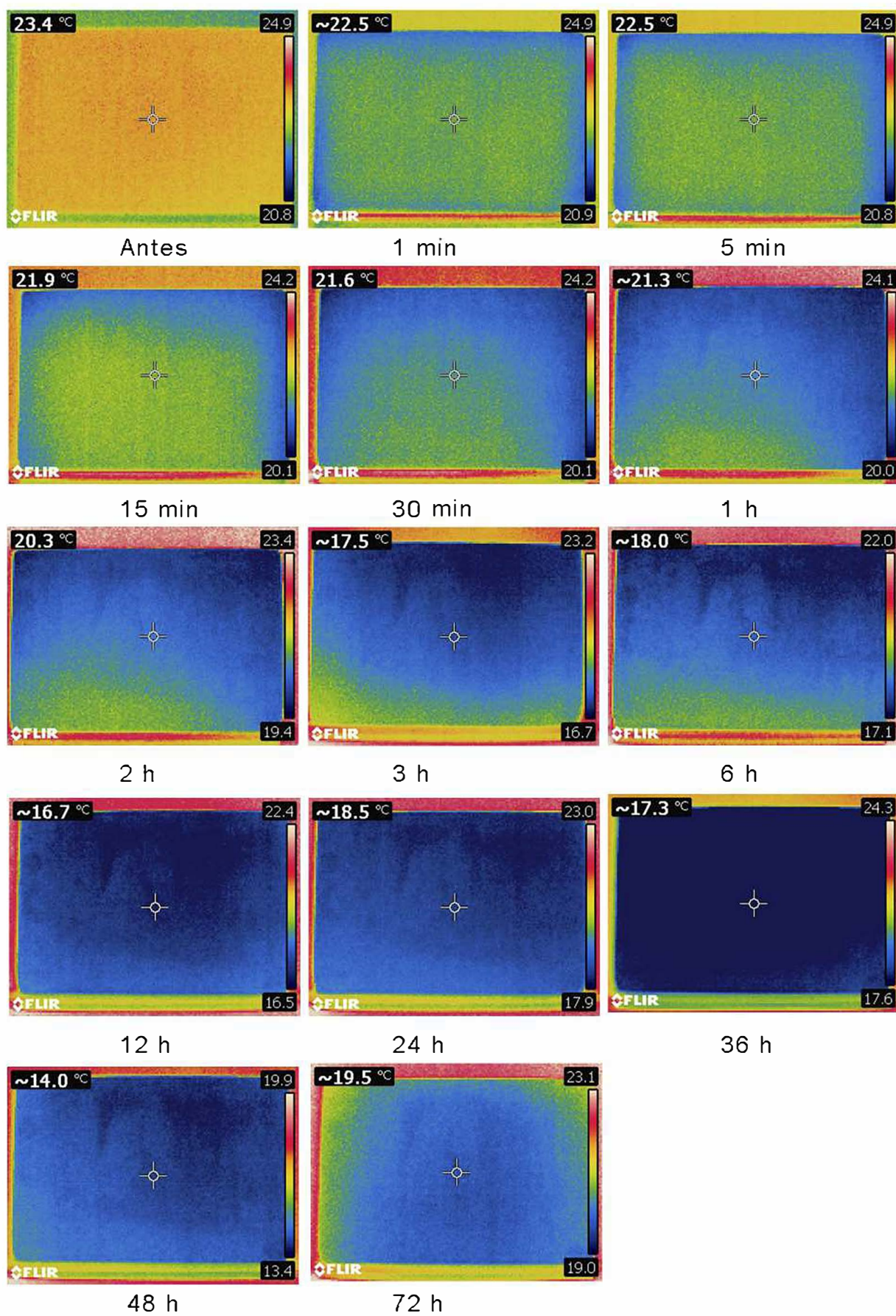
Aferição de umidade



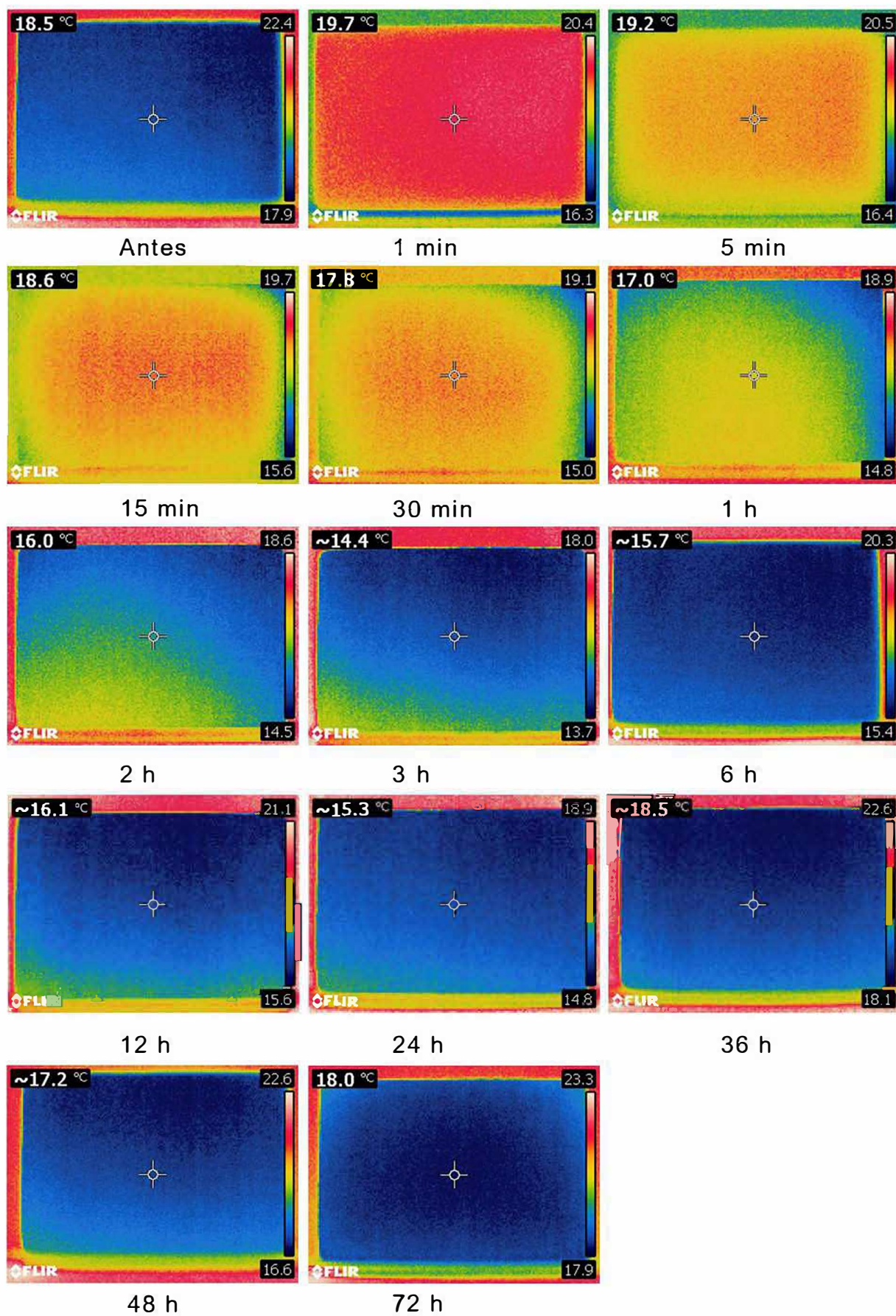
Ensaio de aferição de umidade - Passivo 1 hora - Médias e Desvios Padrão

Passivo 1 h - Umidade (%)														
		Antes	1 min	5 min	15 m	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h
AREF	Média	12,00	69,36	65,49	65,91	65,05	64,62	63,82	62,48	58,62	63,35	61,95	57,74	57,69
	Desv. Pad.	2,56	2,64	7,12	2,11	2,94	3,11	3,93	3,99	4,88	3,61	3,81	5,19	4,11
A10G	Média	13,40	65,50	64,38	64,53	64,59	64,91	65,75	66,51	65,83	66,31	68,56	65,47	67,37
	Desv. Pad.	1,48	3,19	3,51	2,79	3,26	2,92	2,94	2,38	2,21	3,03	1,83	2,75	3,26
A10F	Média	10,51	69,77	66,02	65,24	67,43	63,74	63,85	66,22	65,03	64,10	48,04	35,45	35,53
	Desv. Pad.	2,15	3,74	3,40	2,58	3,36	4,10	3,44	2,36	2,25	4,09	9,71	7,12	6,56
A20G	Média	12,08	70,63	67,08	65,45	64,90	64,46	65,40	65,51	65,72	65,17	65,79	64,45	65,18
	Desv. Pad.	2,06	2,67	2,84	2,40	2,59	2,71	2,30	3,48	2,57	2,59	2,81	3,18	3,12
A20F	Média	13,93	76,90	71,01	68,72	68,45	67,03	66,27	65,15	66,68	65,98	60,08	28,86	31,68
	Desv. Pad.	2,51	3,49	4,13	2,45	2,33	2,66	3,32	2,77	1,94	2,26	5,65	4,48	5,23

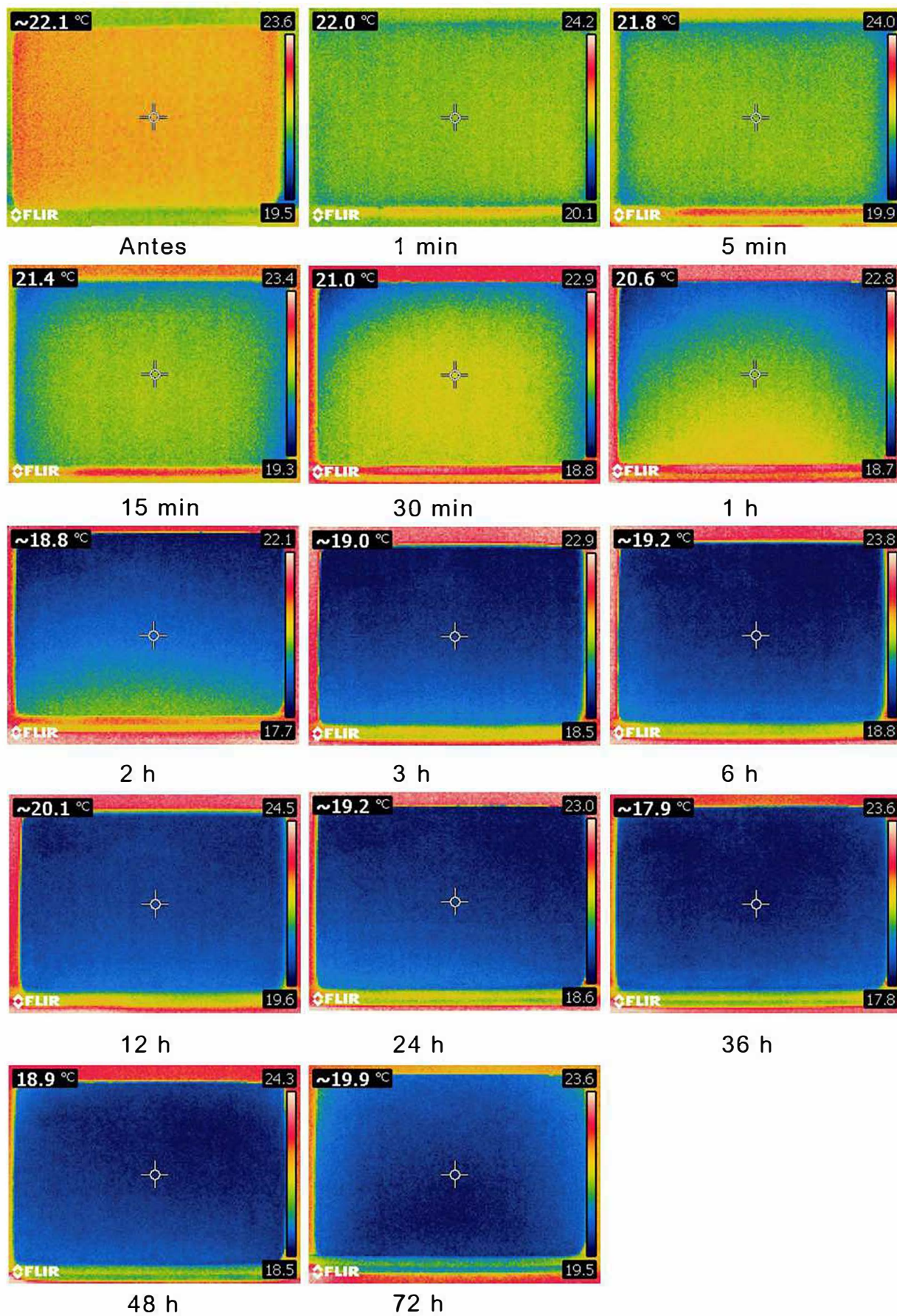
APÊNDICE E - Ensaio passivo - 24 h de contato - Aref



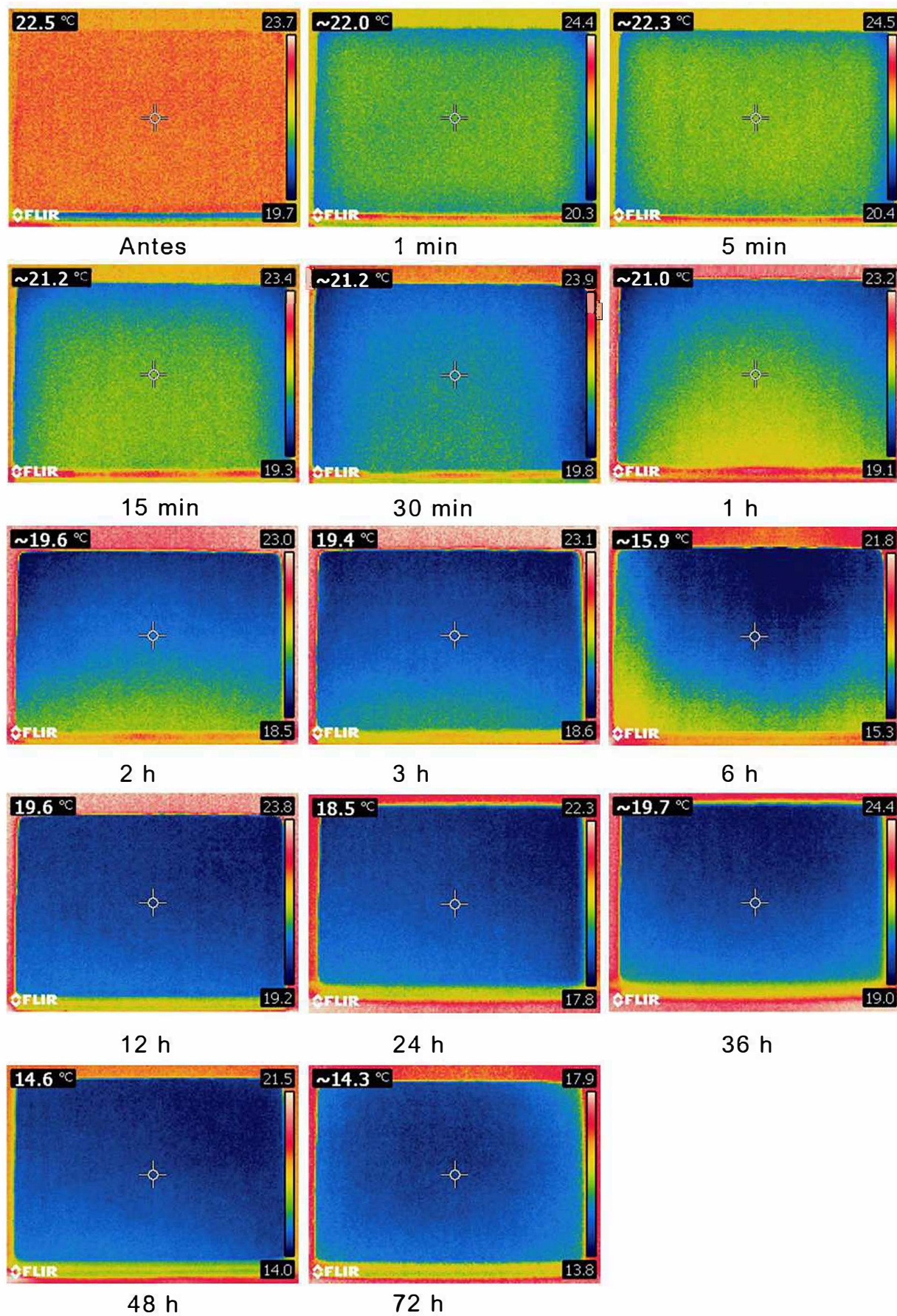
Ensaio passivo - 24 h de contato - A10G



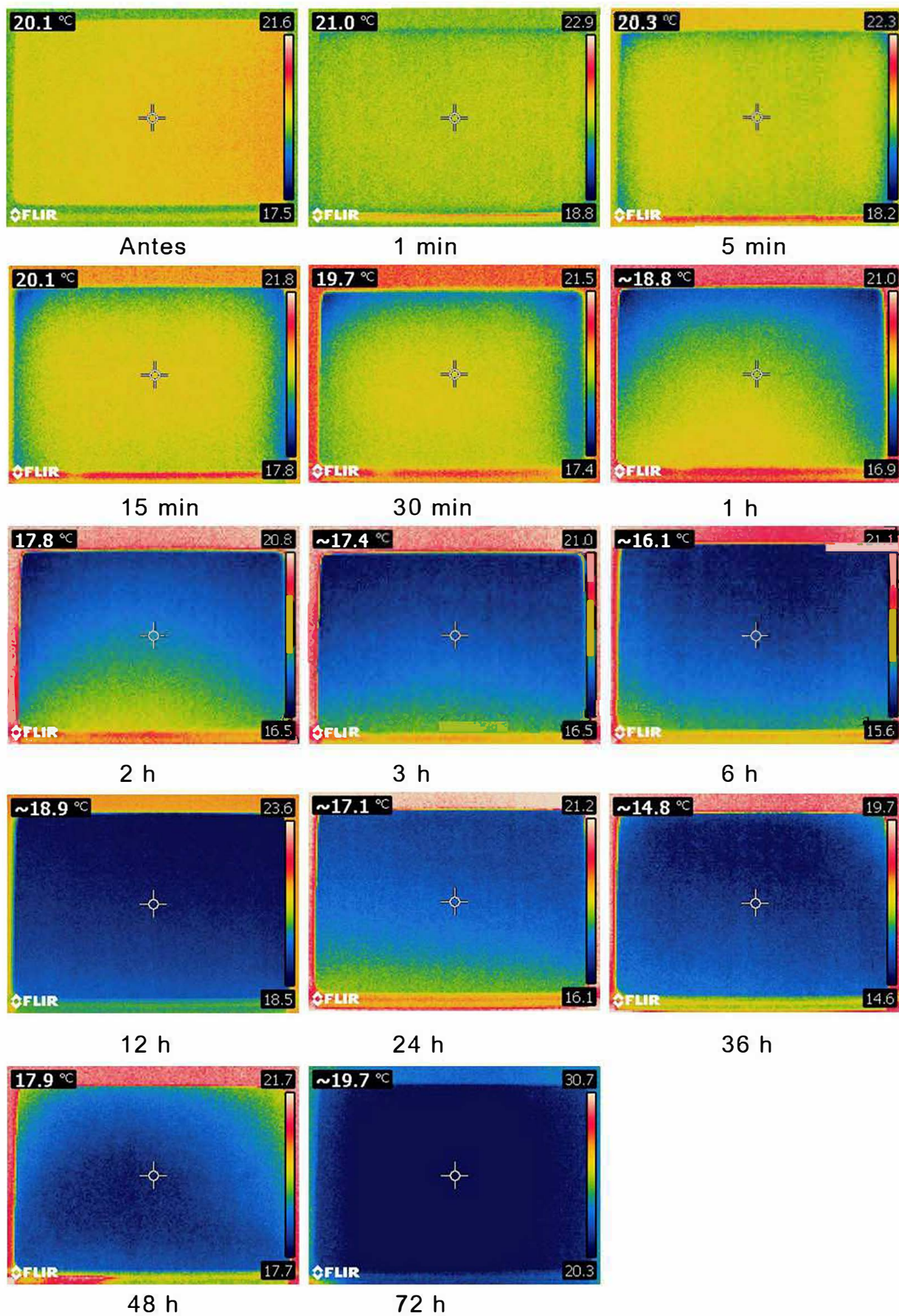
Ensaio passivo - 24 h de contato - A10F



Ensaio passivo - 24 h de contato - A20 G



Ensaio passivo - 24 h de contato - A20F

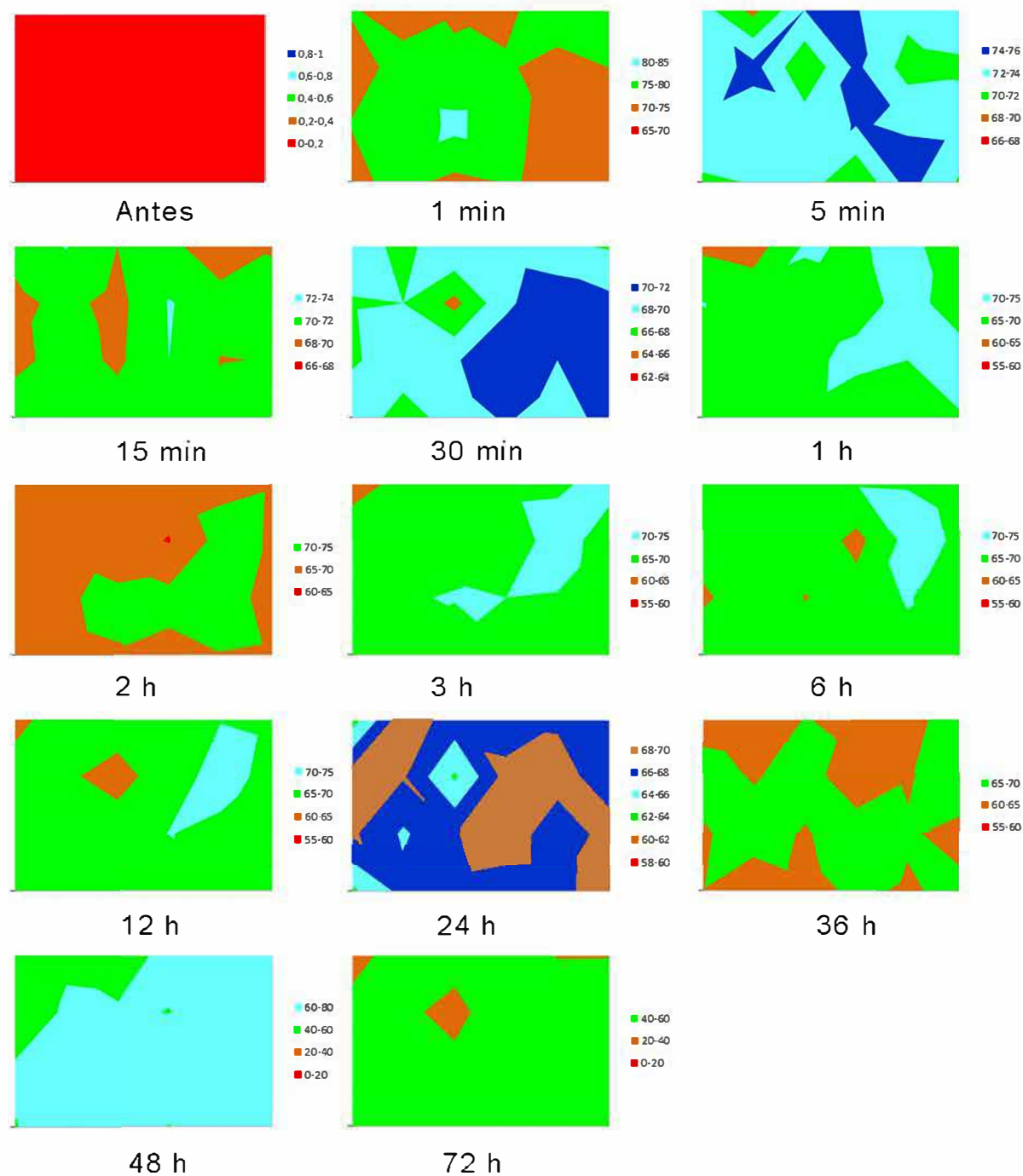


Ensaio termográfico - passivo 24 horas - Médias de temperatura

	Passivo 24 h - Temperatura (°C)													
	Antes	1 min	5 min	15 m	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	72 h
REF	23,4	22,4	22,3	21,7	21,4	21,1	20,4	17,8	18	17	18,5	17,6	14,2	19,5
A10G	18,5	19,4	19	18,2	17,4	16,7	15,9	15,1	16	16,9	15,5	18,7	17,4	18,4
A10F	22,2	21,8	21,6	21	20,6	20,4	18,7	19,1	19,3	20,2	19,2	18,3	19	20,1
A20G	22,4	22	22,1	20,9	19,9	20,7	19,7	19,4	16,5	19,8	18,5	19,7	14,7	14,7
A20F	19,9	20,7	20,3	19,8	19,3	18,6	17,8	17,4	16,4	19	17,3	15,2	18,4	20,1

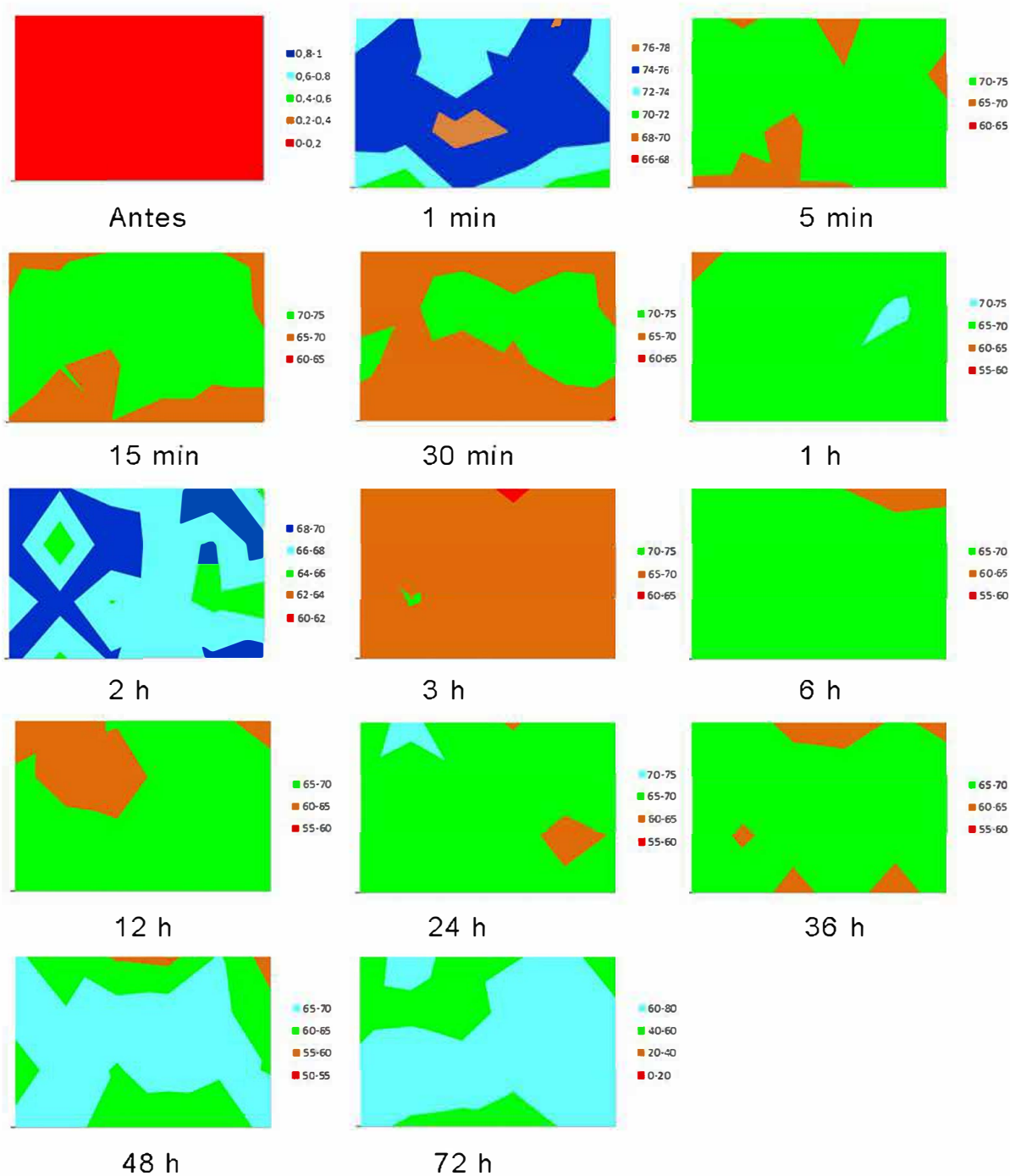
APÊNDICE F - Ensaio passivo - 24 h de contato - Aref

Aferição de umidade

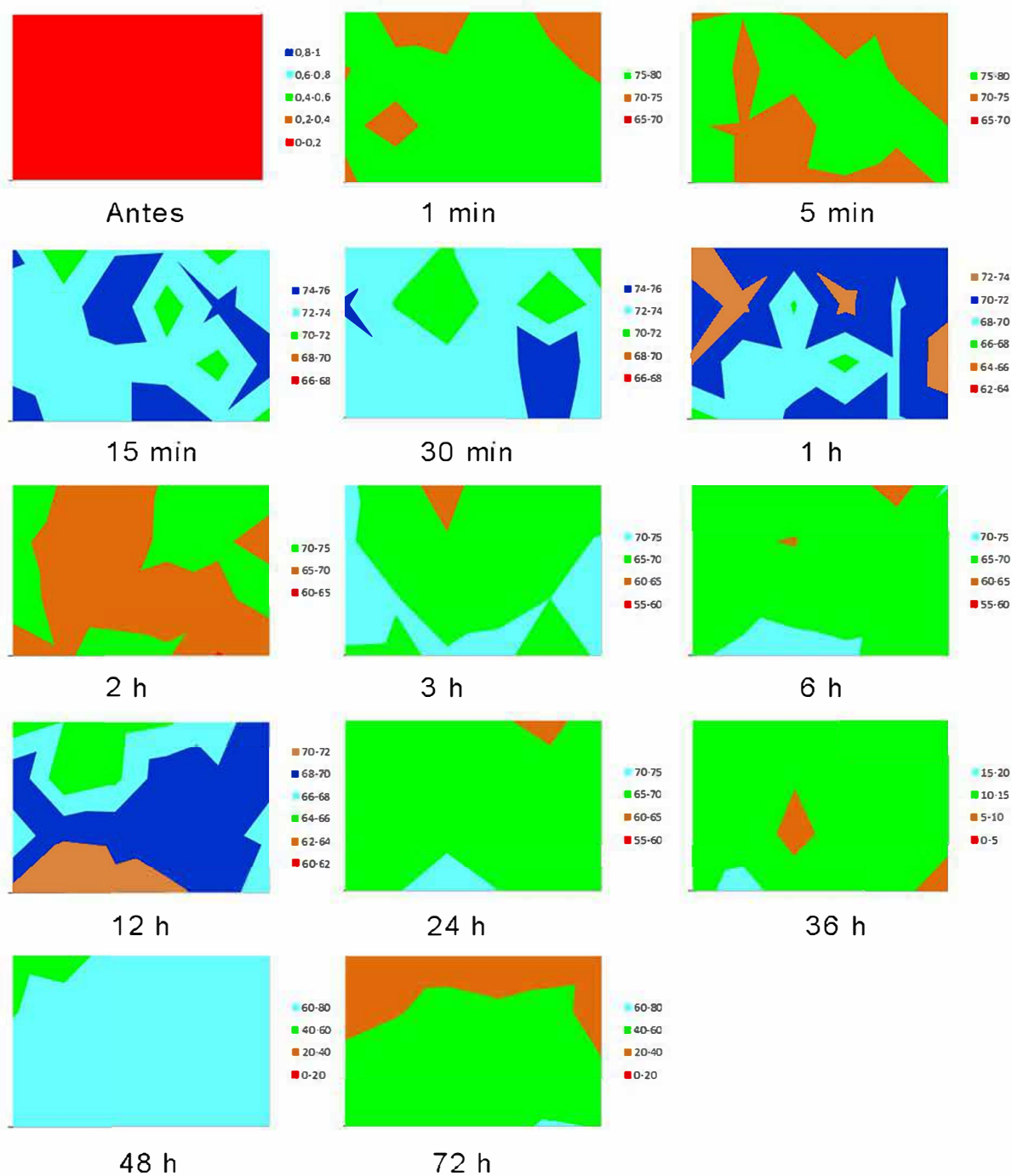


Ensaio passivo - 24 h de contato - A10G

Aferição de umidade

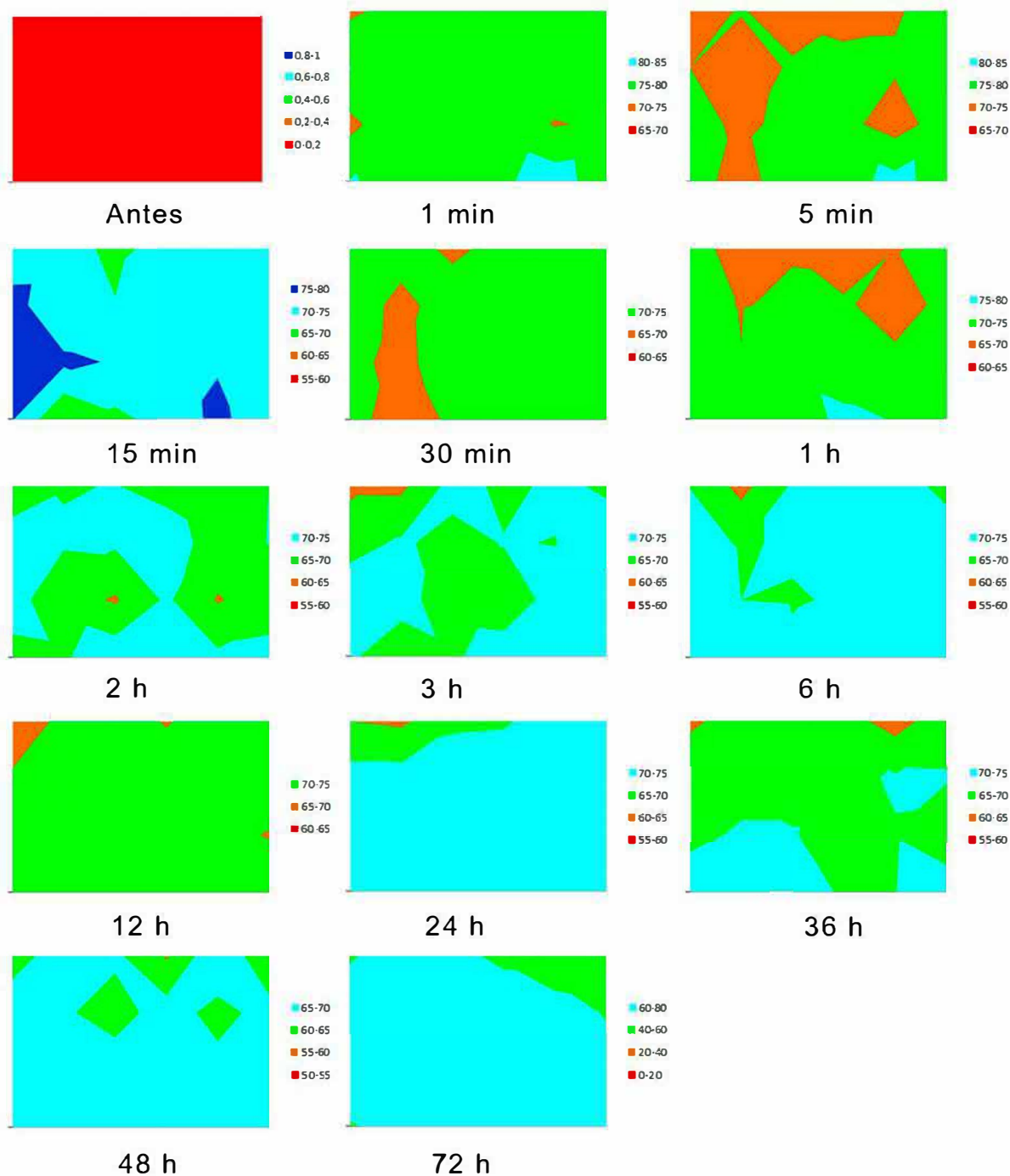


Ensaio passivo - 24 h de contato - A10F
Aferição de umidade



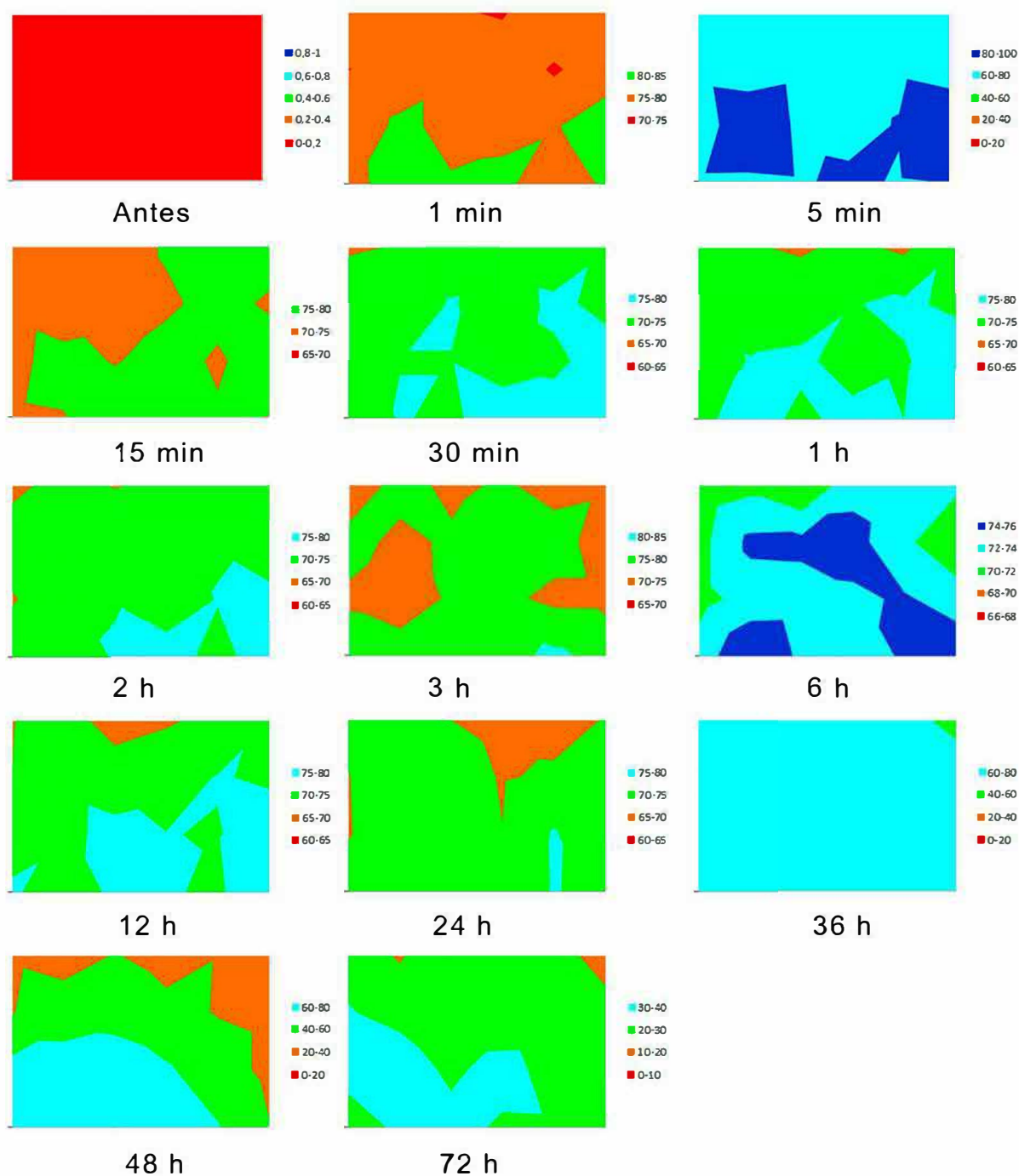
Ensaio passivo - 24 h de contato - A20G

Aferição de umidade



Ensaio passivo - 24 h de contato - A20F

Aferição de umidade

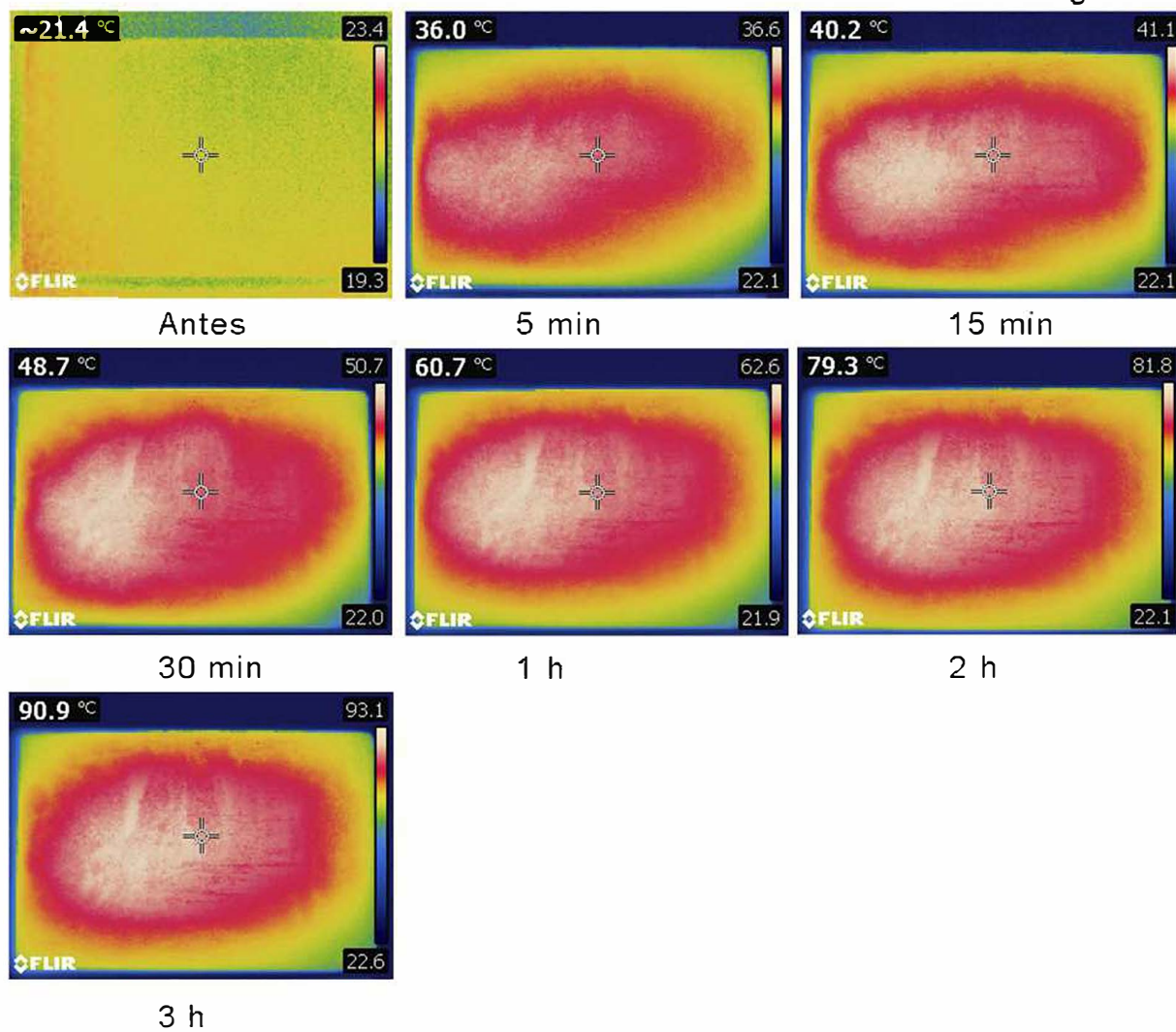


Ensaio de aferição de umidade - Passivo 24 horas - Médias e Desvios Padrão

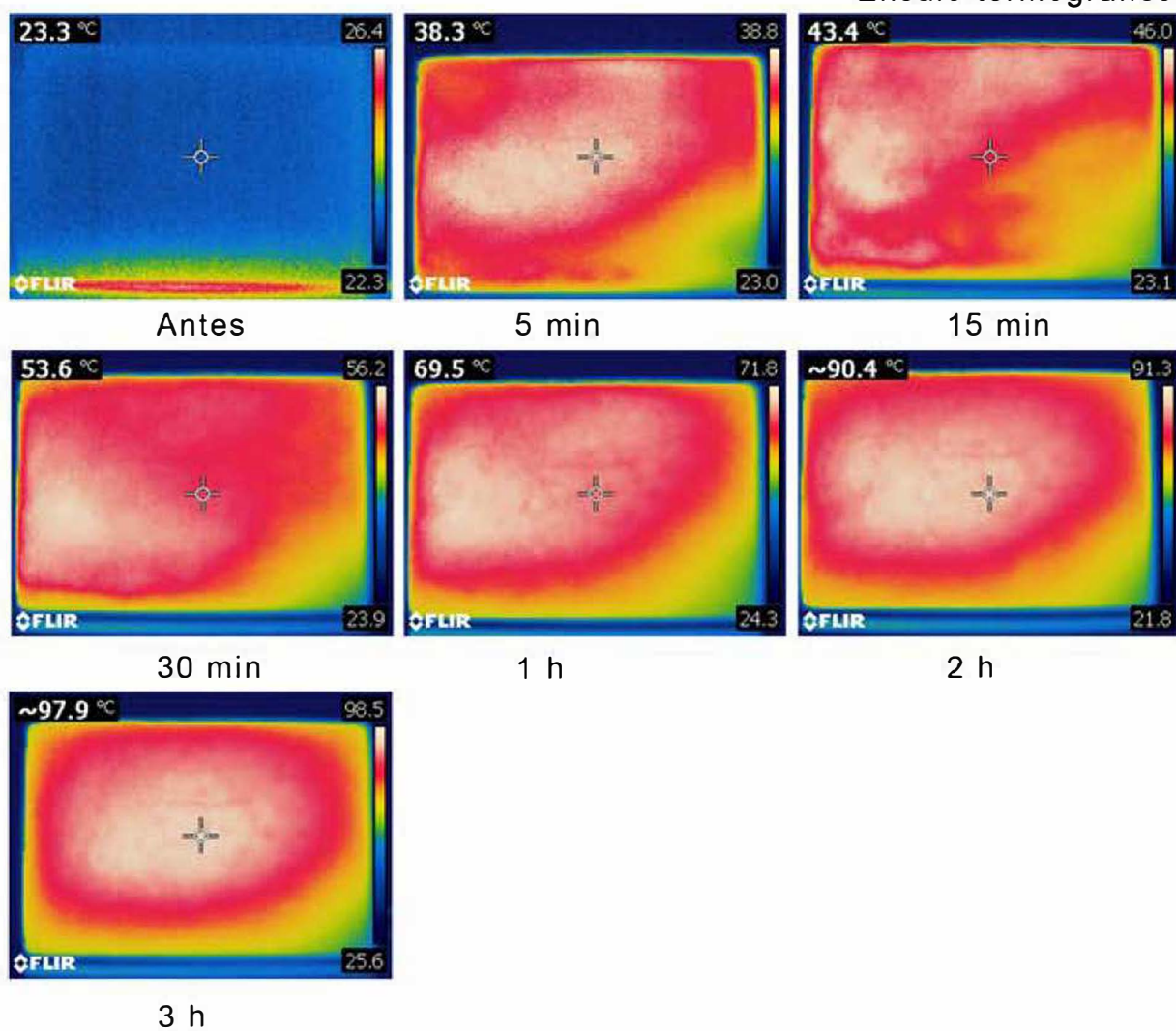
		Passivo 24 h - Umidade (%)													
		Antes	1 min	5 min	15 m	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	72 h
AREF	Média	0,00	75,21	72,74	70,55	69,15	68,68	69,00	68,56	67,86	67,95	67,21	64,86	61,76	46,42
	Desv. Pad.	0,00	1,69	1,48	0,99	1,52	2,17	1,77	1,73	2,01	2,13	1,74	2,19	4,81	5,71
A10G	Média	0,00	73,71	71,38	70,12	68,80	67,44	67,35	67,60	67,16	66,18	68,28	67,02	64,21	60,40
	Desv. Pad.	0,00	1,75	2,33	1,72	1,99	1,90	1,73	1,63	1,78	2,44	1,97	2,86	3,25	3,65
A10F	Média	0,00	75,82	74,63	73,23	72,78	70,44	69,57	69,00	67,96	68,02	68,02	67,07	64,35	44,65
	Desv. Pad.	0,00	1,85	1,81	1,49	1,37	1,73	1,80	2,04	2,07	2,10	1,93	2,40	3,53	10,56
A20G	Média	0,00	77,69	75,58	72,70	71,20	71,15	69,50	69,86	71,22	71,73	71,53	68,75	66,16	63,55
	Desv. Pad.	0,00	2,14	2,37	2,92	1,64	1,94	2,17	2,59	2,42	1,91	2,47	2,31	2,55	5,93
A20F	Média	0,00	78,41	77,98	74,76	73,81	73,72	73,07	75,66	72,96	73,53	71,35	69,53	49,18	26,30
	Desv. Pad.	0,00	2,18	4,96	2,12	2,45	2,72	2,60	2,32	1,58	2,82	1,88	4,02	13,56	6,01

APÊNDICE G - Ensaio ativo - 1 min de contato - AREF

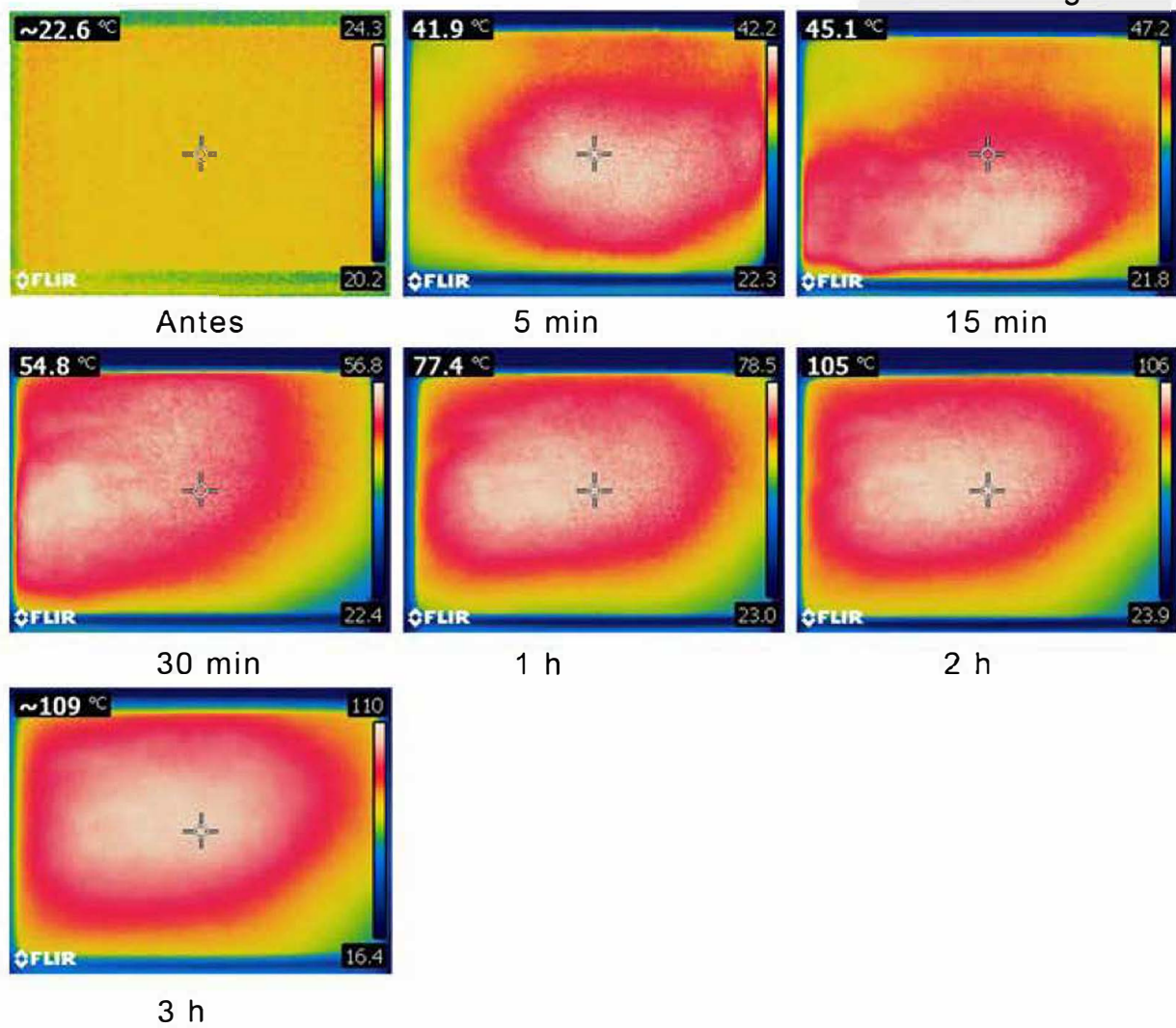
Ensaio termográfico



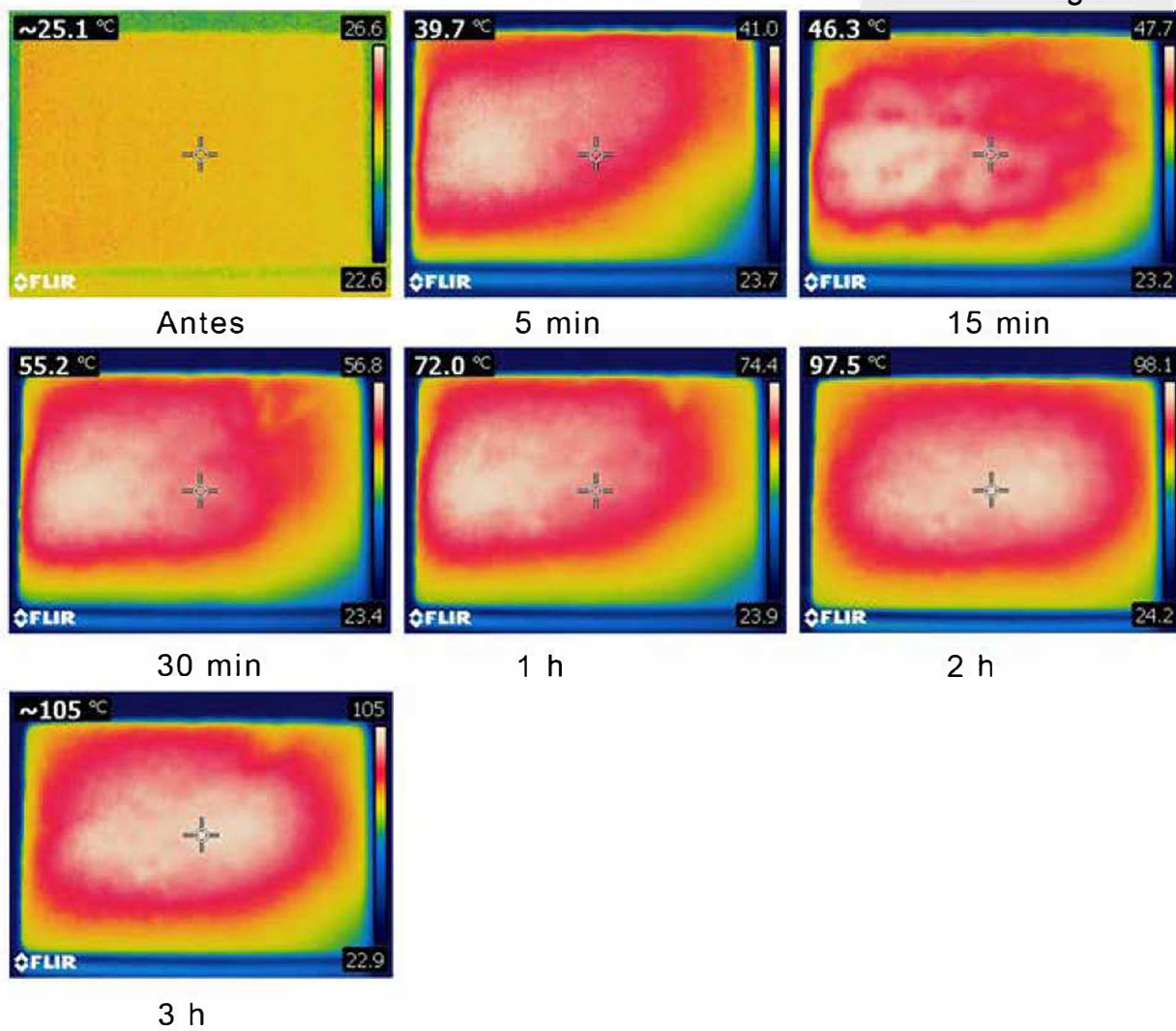
Ensaio ativo - 1 min de contato - A10G
Ensaio termográfico



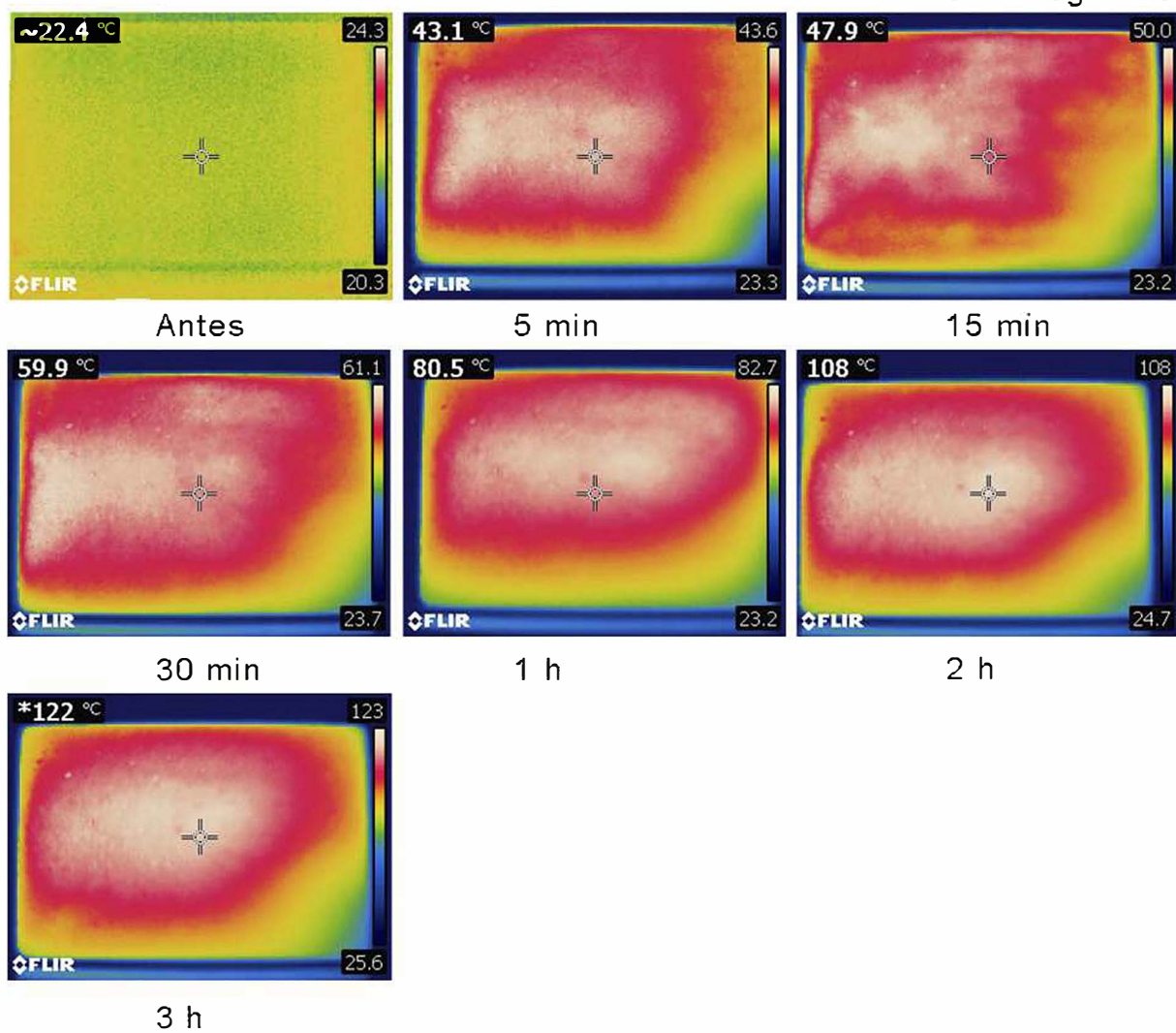
Ensaio ativo - 1 min de contato - A10F
Ensaio termográfico



Ensaio ativo - 1 min de contato - A20G
Ensaio termográfico



Ensaio ativo - 1 min de contato - A20F
Ensaio termográfico

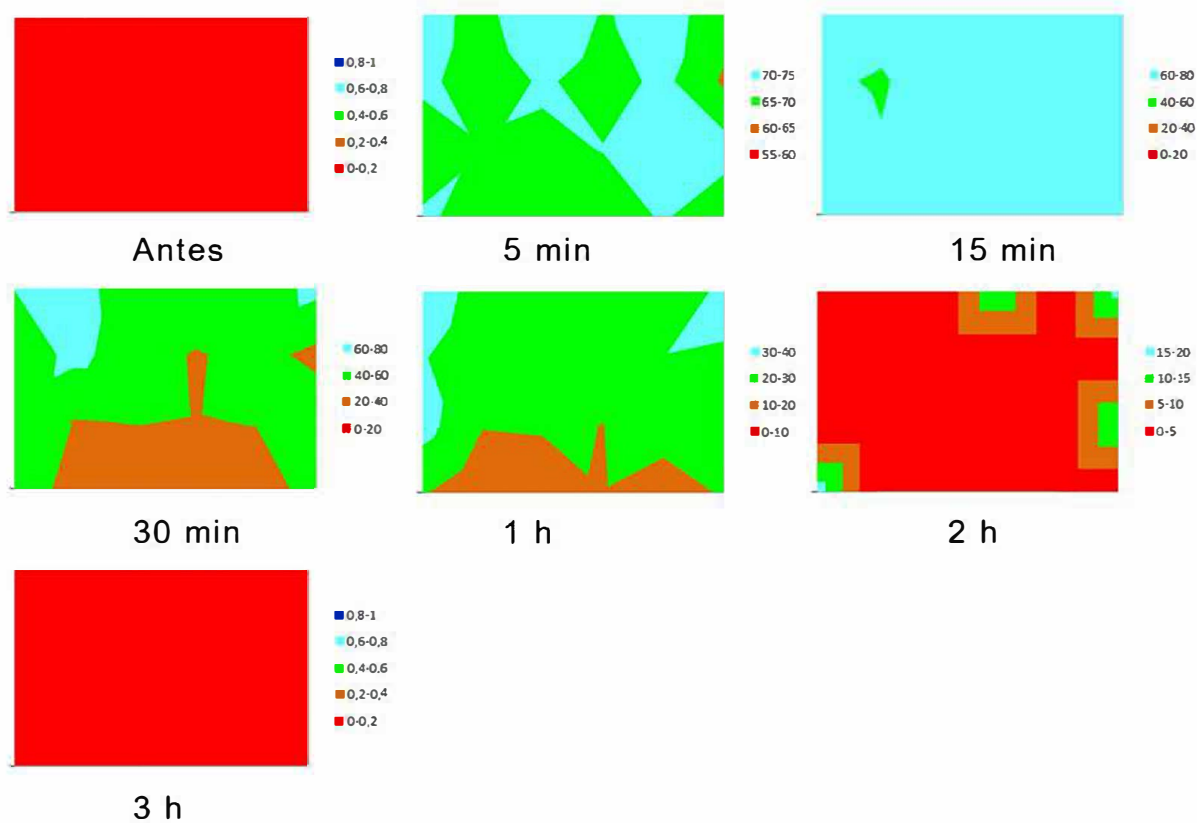


Ensaio termográfico - ativo 1 min - Médias de temperatura

	Ativo 1 min - Temperatura (°C)						
	Antes	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h
REF	21,5	33,7	38	46,3	56,1	73,7	90,8
A10G	23,3	36,9	42,7	51,9	65,9	82,7	90
A10F	22,7	39,1	43,2	51,5	69,9	95	98,2
A20G	25	37,7	42,6	50,1	65,4	89	94,7
A20F	22,3	40,6	46	56,5	74,2	96,9	109,9

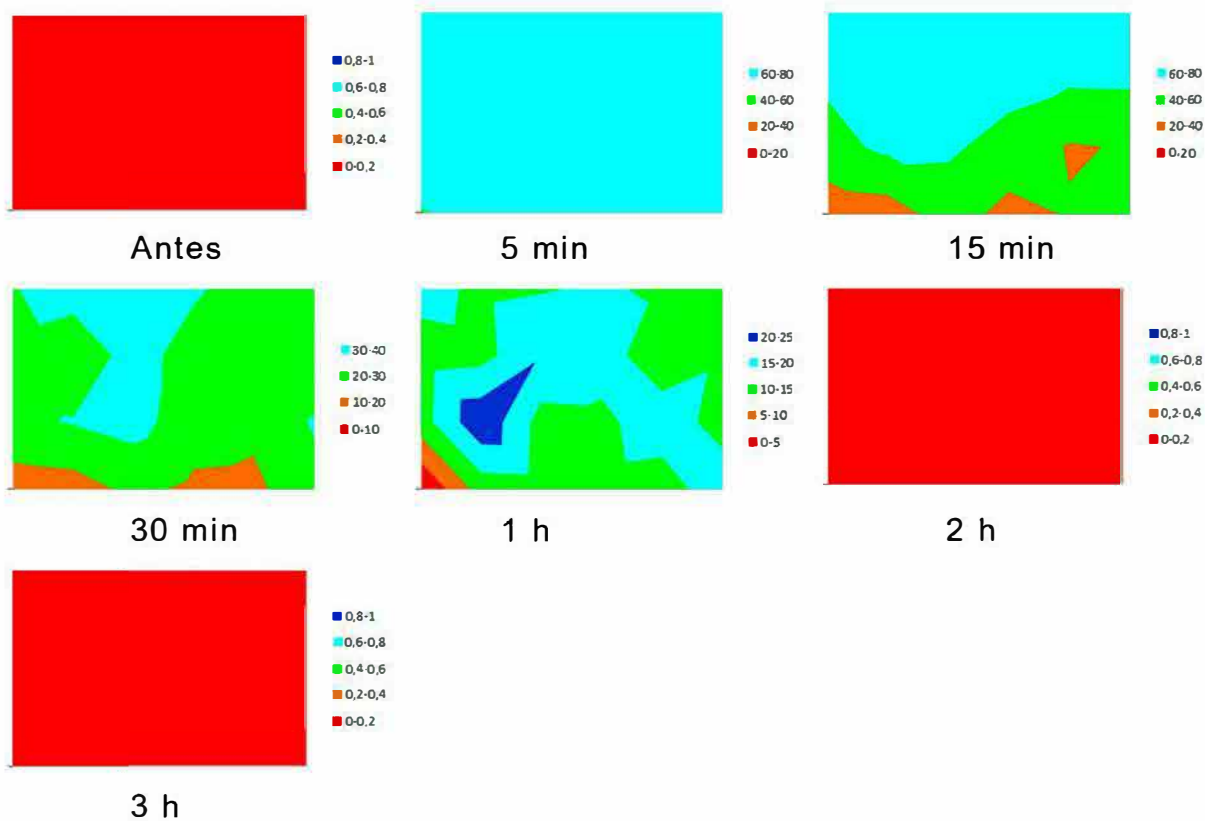
APÊNDICE H - Ensaio ativo - 1 min de contato - AREF

Aferição de umidade



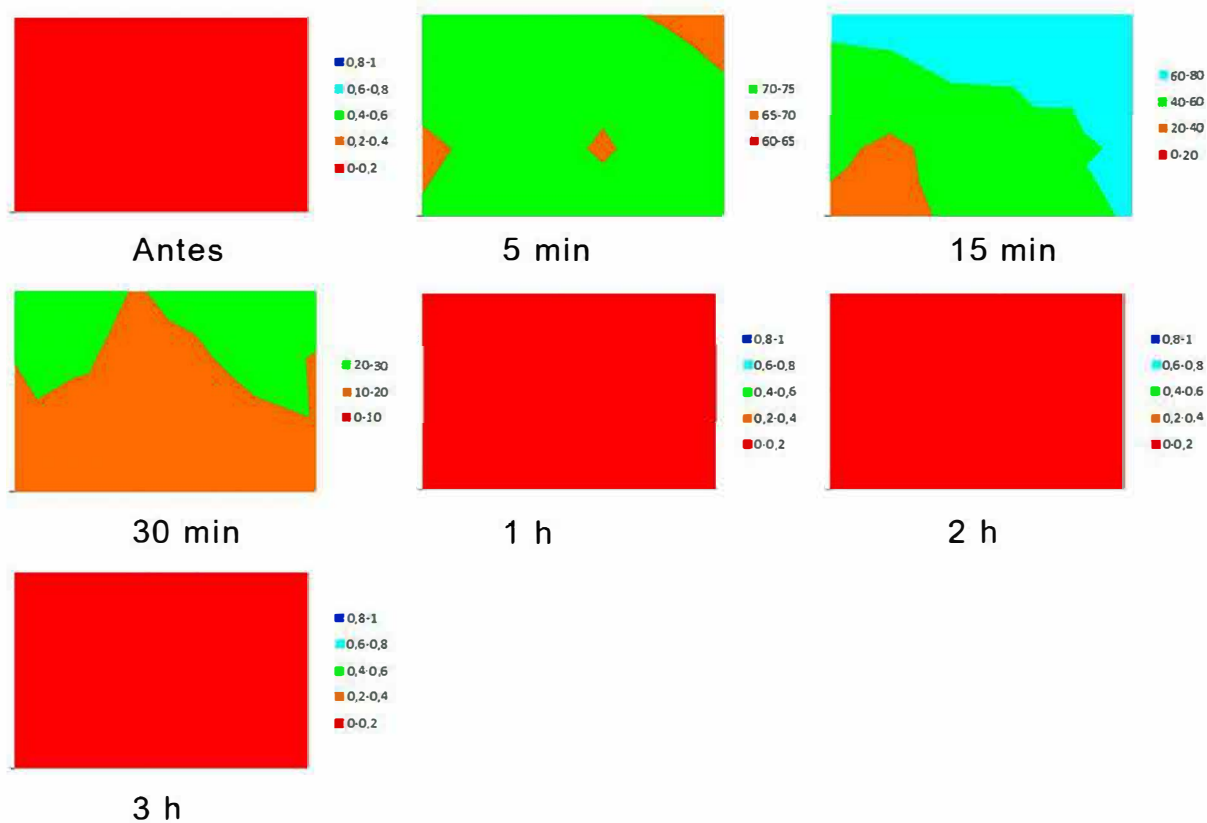
Ensaio ativo - 1 min de contato - A10G

Aferição de umidade



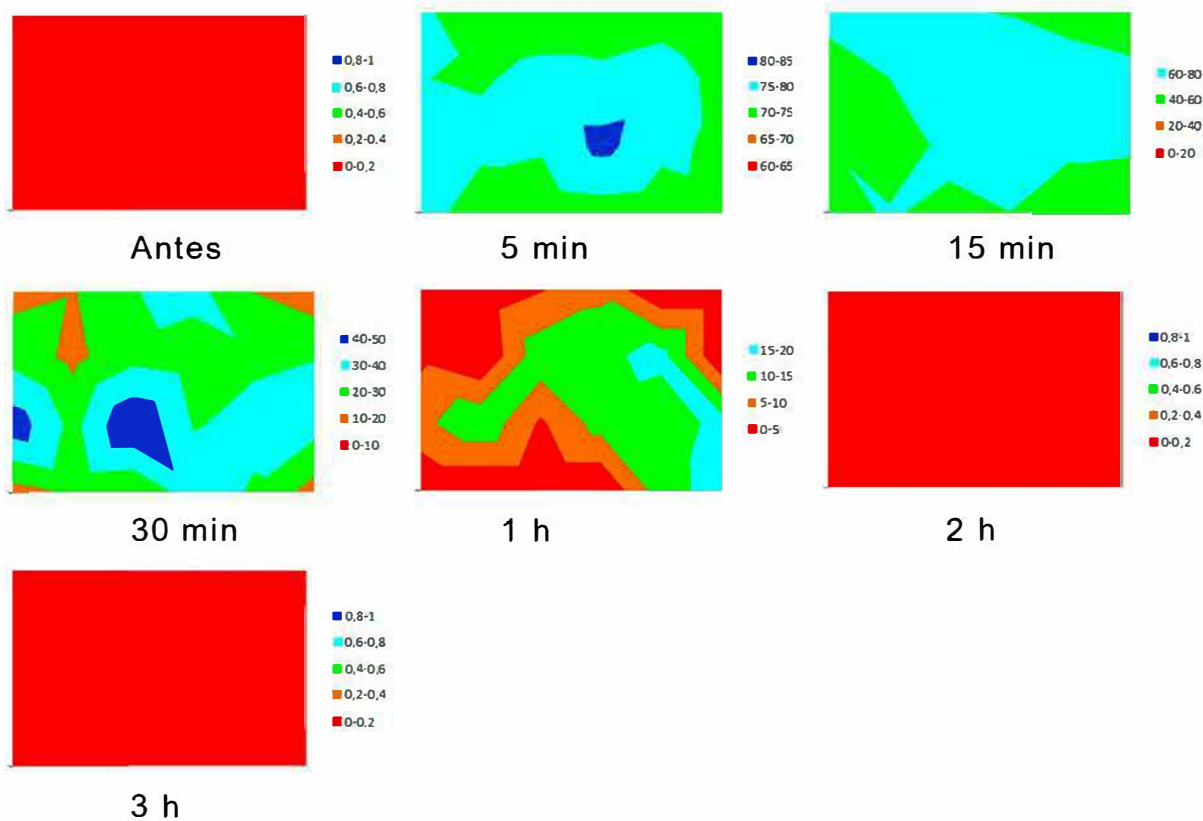
Ensaio ativo - 1 min de contato - A10F

Aferição de umidade



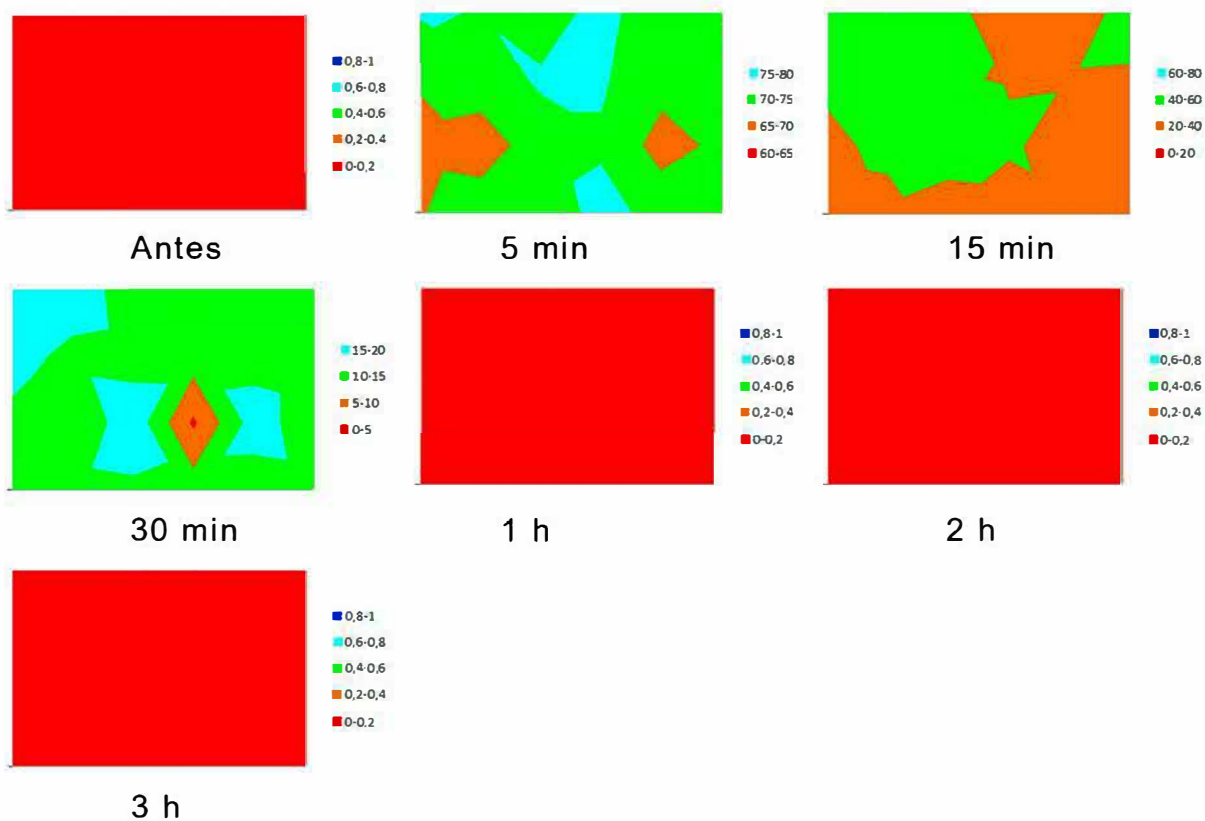
Ensaio ativo - 1 min de contato - A20G

Aferição de umidade



Ensaio ativo - 1 min de contato - A20F

Aferição de umidade

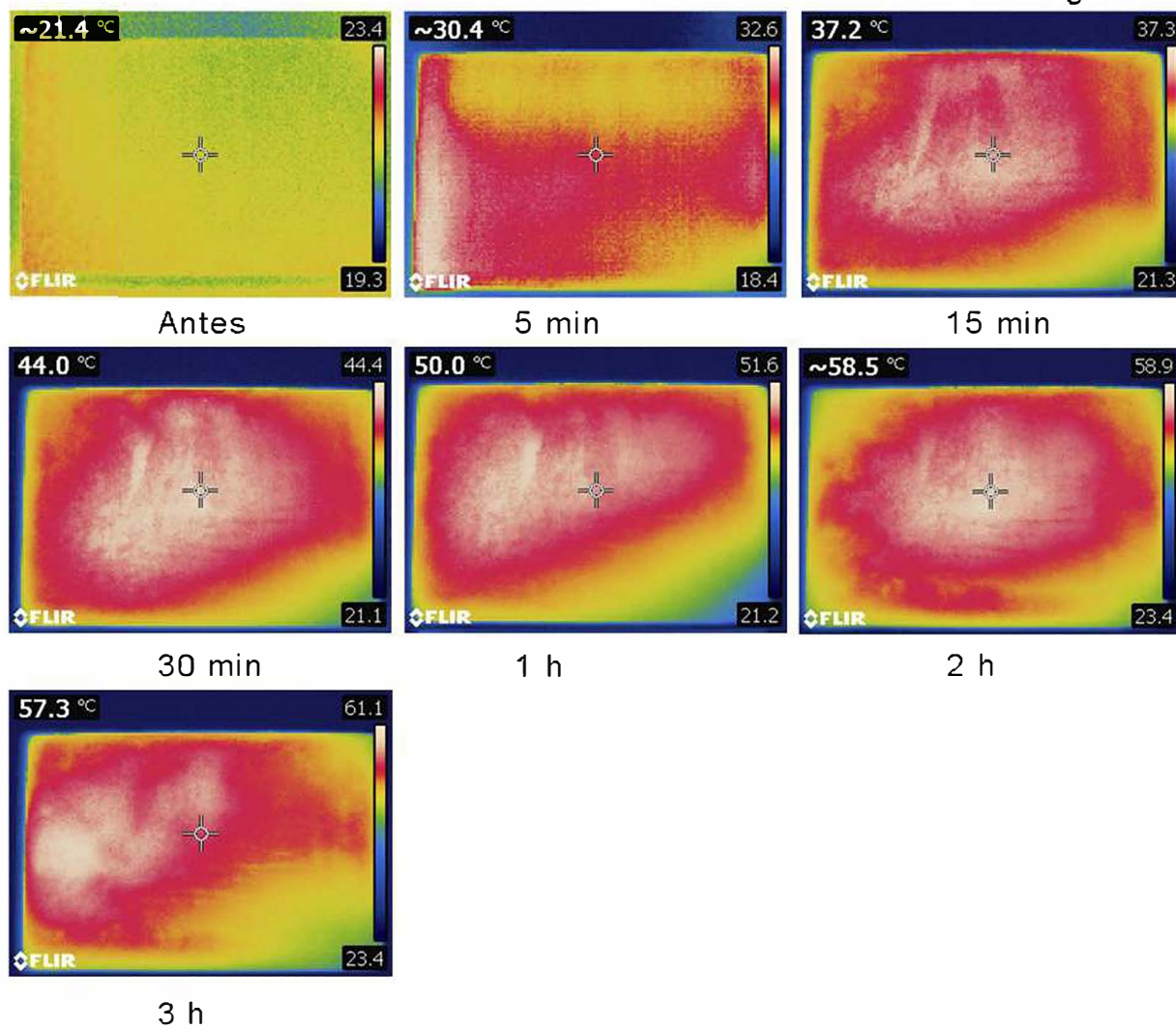


Ensaio de aferição de umidade - Ativo 1 min - Médias e Desvios Padrão

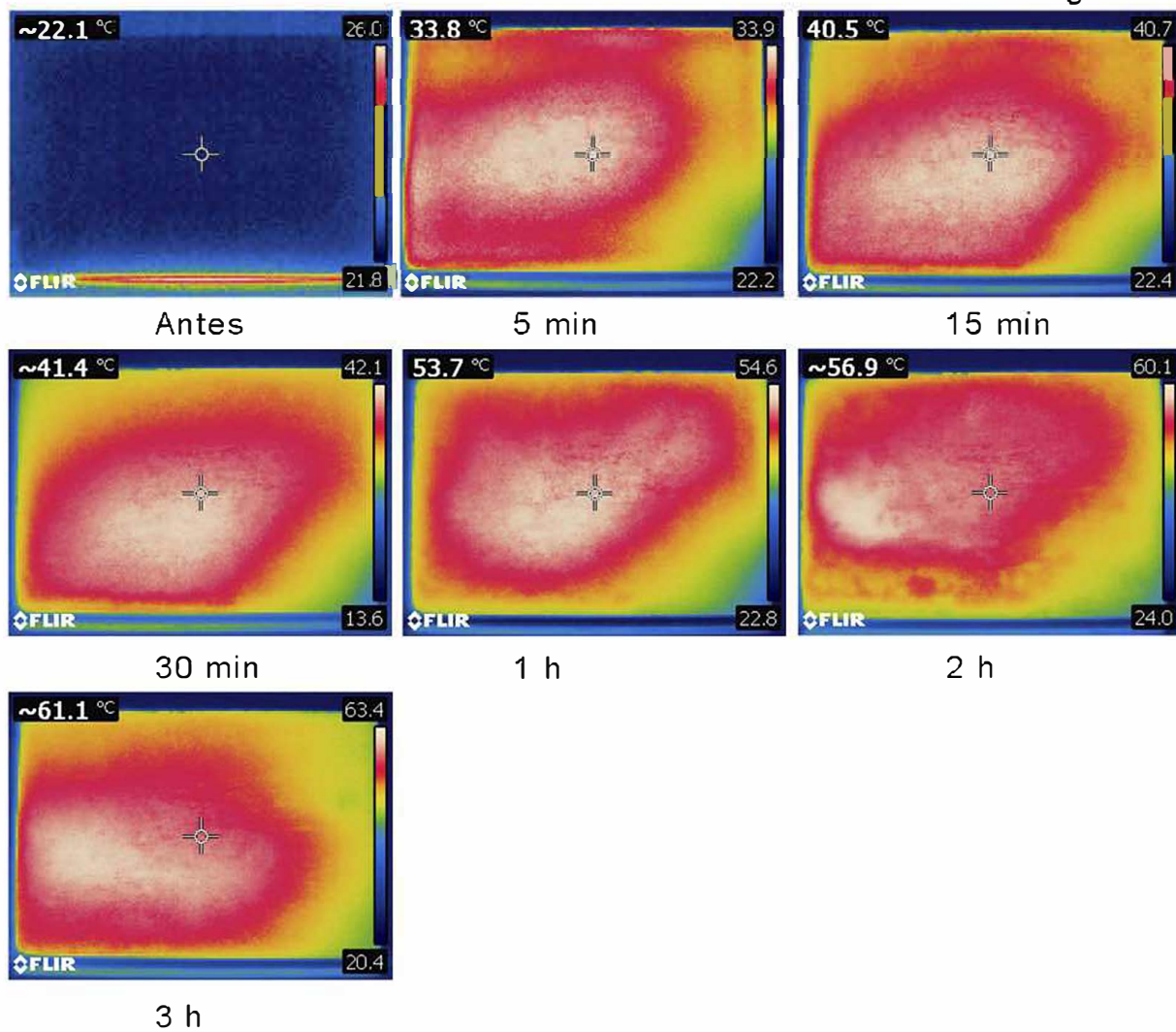
Ativo 1 min								
		Antes	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3h
AREF	Média	0,00	69,23	67,13	46,34	23,80	2,65	0,00
	Desv. Pad.	0,00	2,59	4,14	12,57	5,90	6,07	0,00
A10G	Média	0,00	69,98	55,53	25,76	14,10	0,00	0,00
	Desv. Pad.	0,00	4,34	13,83	6,00	4,32	0,00	0,00
A10F	Média	0,00	71,39	54,48	19,19	0,00	0,00	0,00
	Desv. Pad.	0,00	1,76	12,32	4,05	0,00	0,00	0,00
A20G	Média	0,00	74,43	59,88	26,82	6,60	0,00	0,00
	Desv. Pad.	0,00	2,68	7,15	9,16	6,63	0,00	0,00
A20F	Média	0,00	72,73	38,80	13,31	0,00	0,00	0,00
	Desv. Pad.	0,00	2,71	9,51	2,98	0,00	0,00	0,00

APÊNDICE I - Ensaio ativo - 1 h de contato - AREF

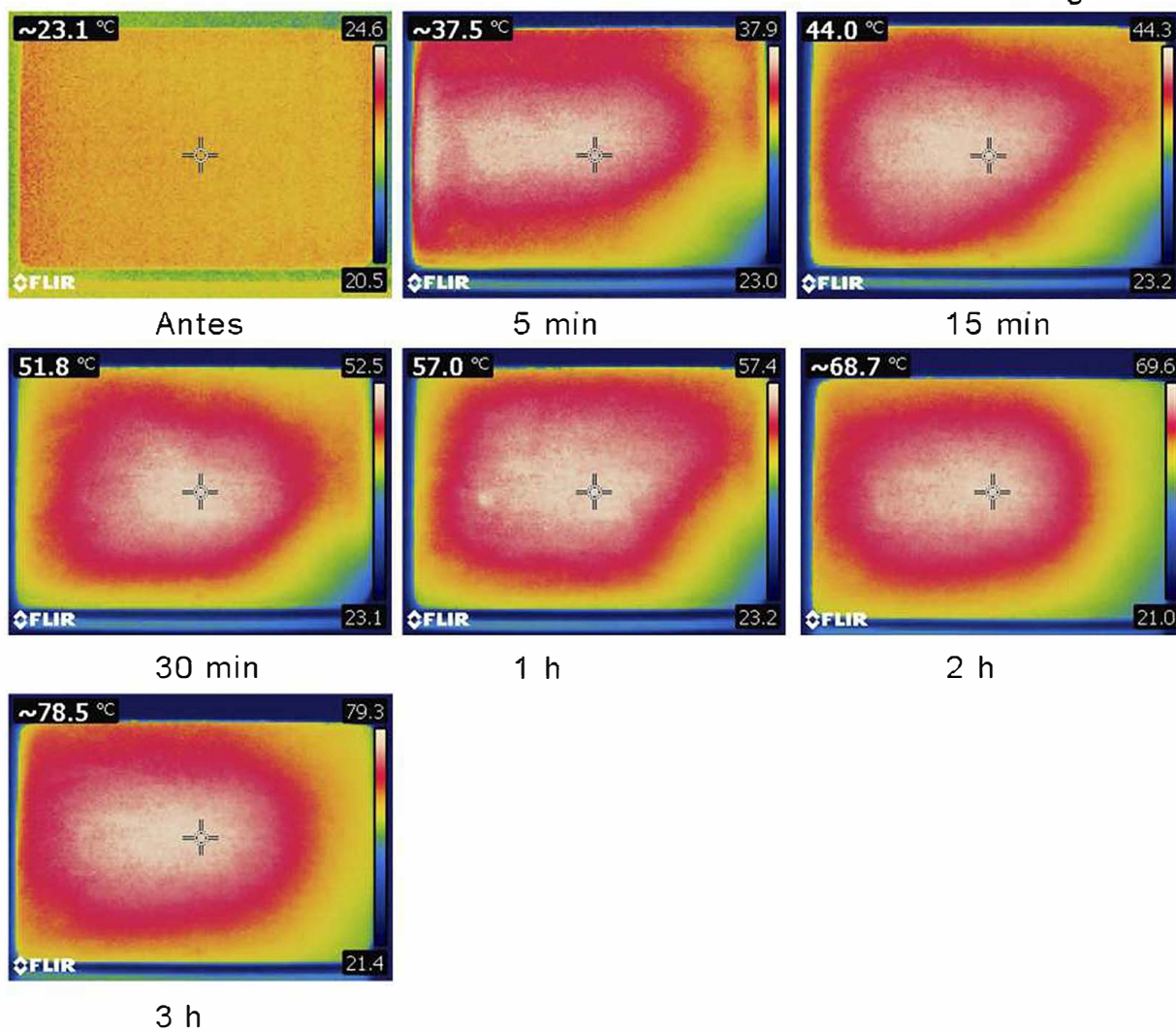
Ensaio termográfico



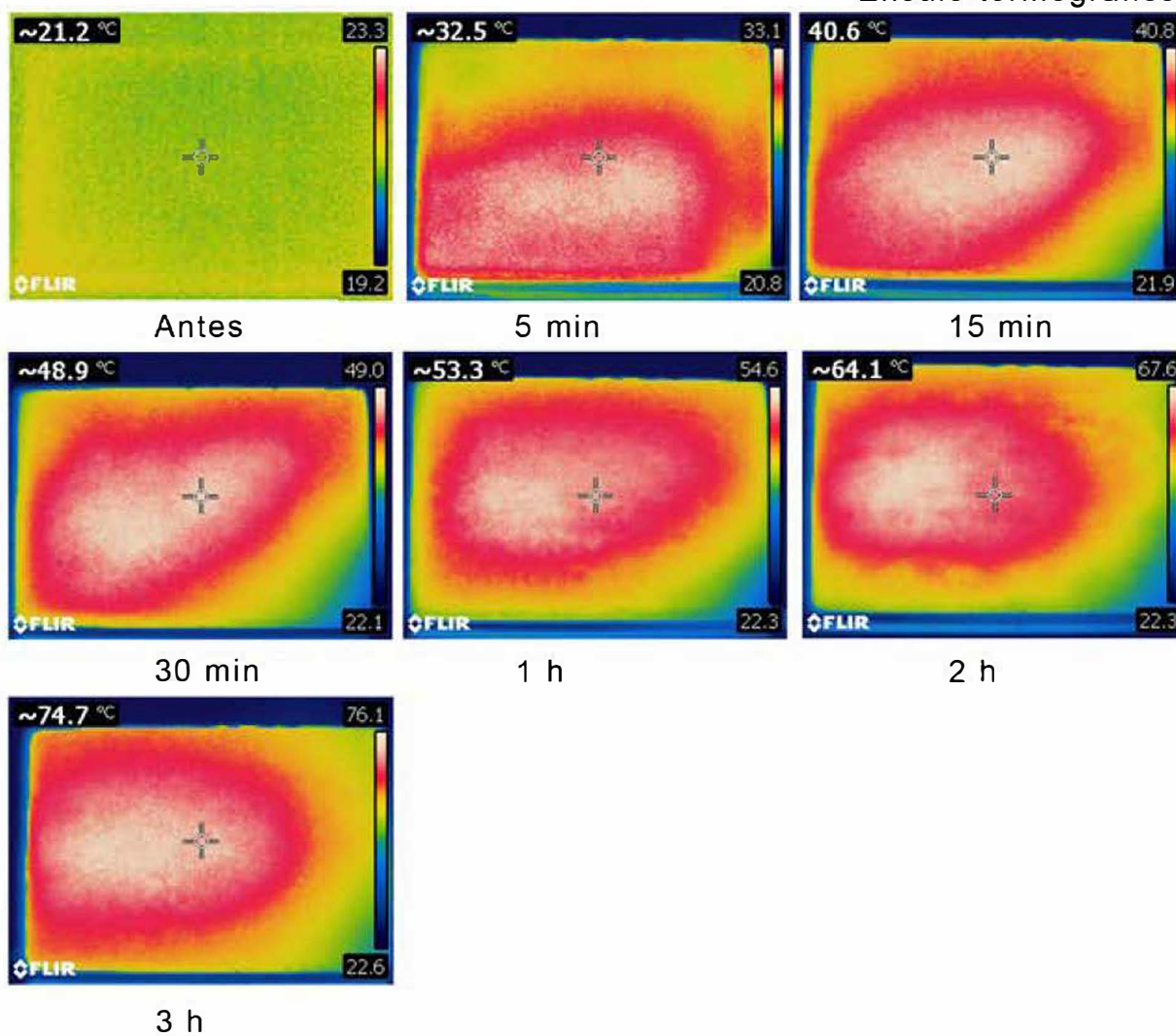
Ensaio ativo - 1 h de contato - A10G
Ensaio termográfico



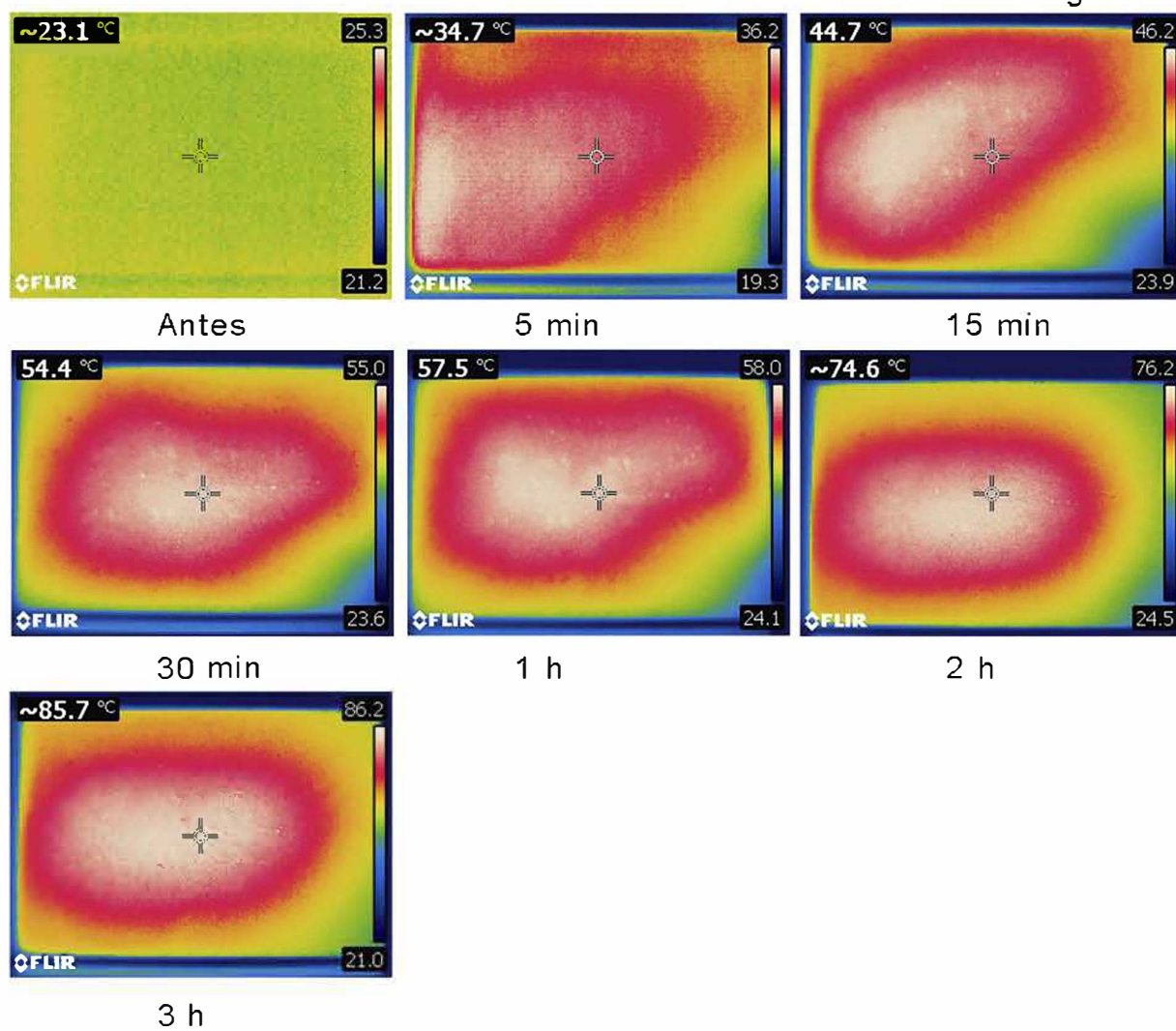
Ensaio ativo - 1 h de contato - A10F
Ensaio termográfico



Ensaio ativo - 1 h de contato - A20G
Ensaio termográfico



Ensaio ativo - 1 h de contato - A20F
Ensaio termográfico

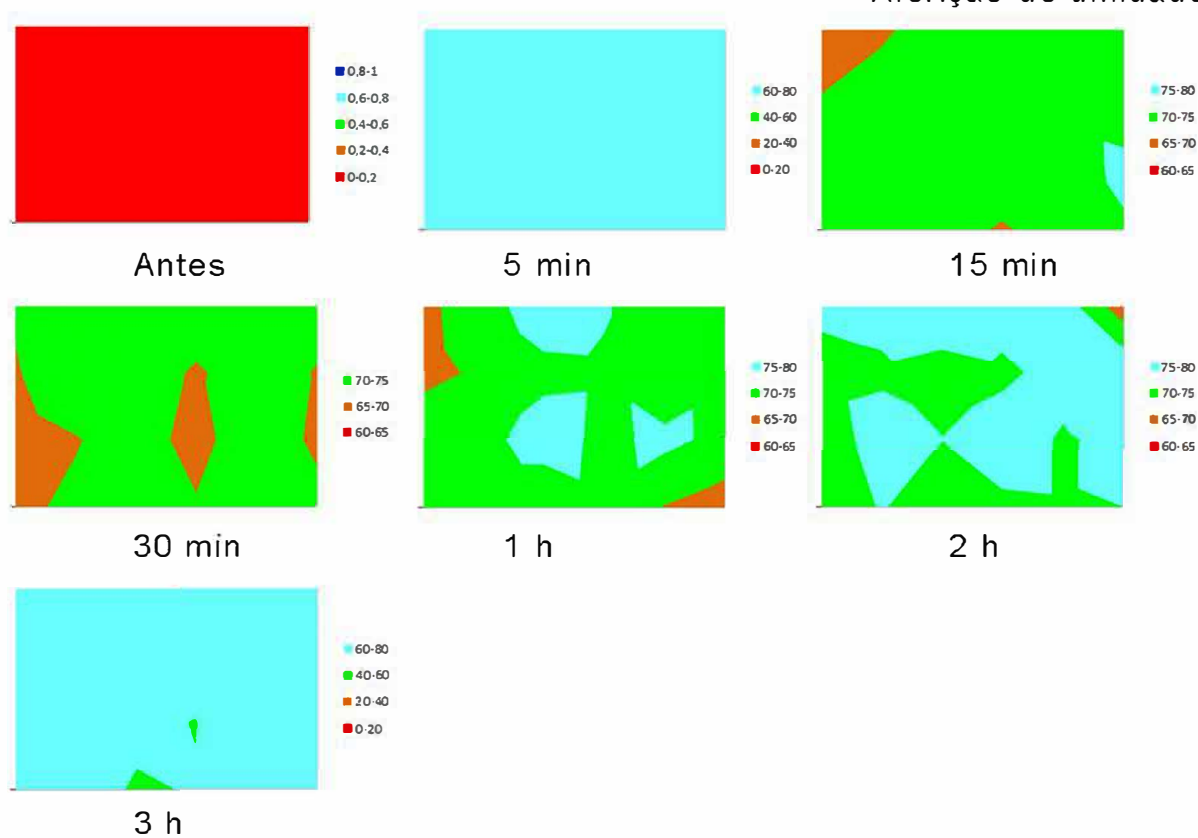


Ensaio termográfico - ativo 1 h - Médias de temperatura

	Ativo 1 h - Temperatura (°C)						
	Antes	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h
REF	21,5	30,1	35,7	41,7	46,7	54,6	55
A10G	22,1	32,1	38,2	41,5	49,7	54	57,2
A10F	23,1	35,6	40,8	47,4	52,3	60,2	71,1
A20G	21,2	31,3	37,9	44,5	48,7	57,5	67,8
A20F	23,2	33,2	41,9	48,9	52,1	65,1	85,6

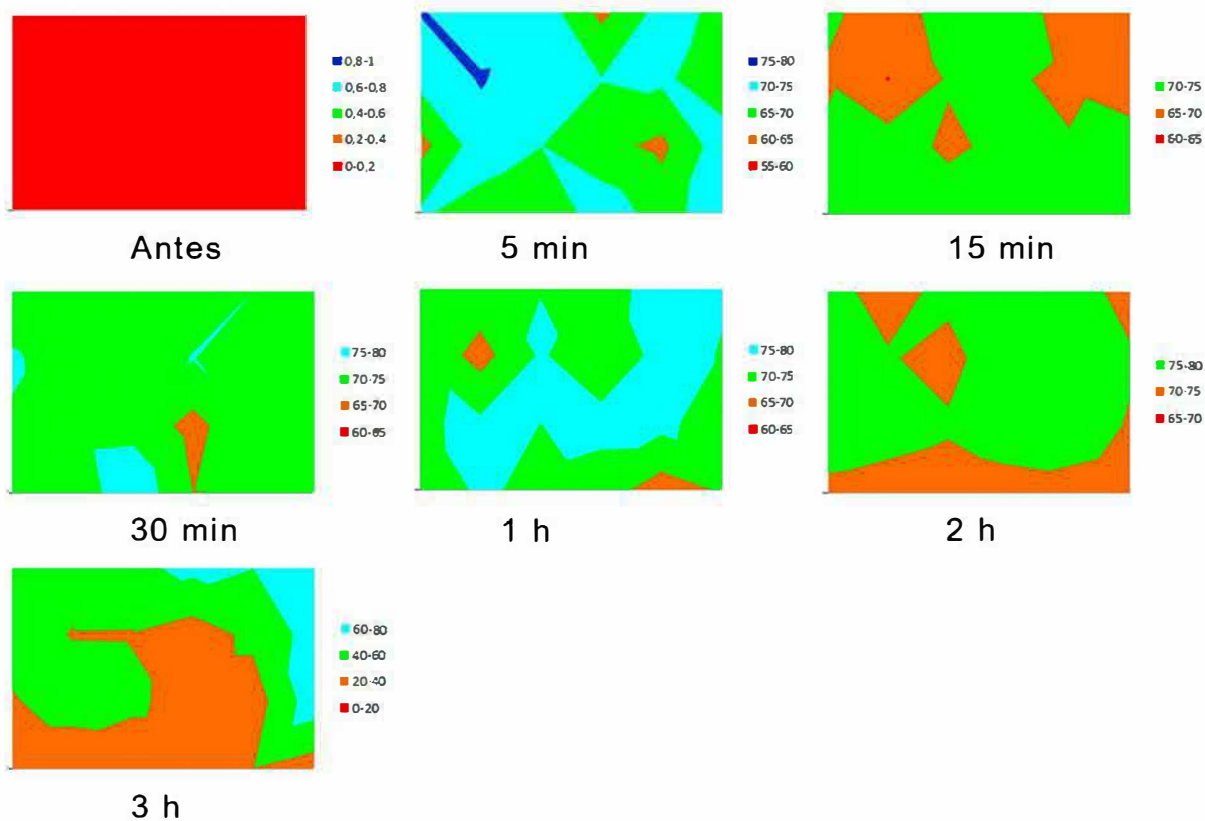
APÊNDICE J - Ensaio ativo - 1 h de contato - AREF

Aferição de umidade



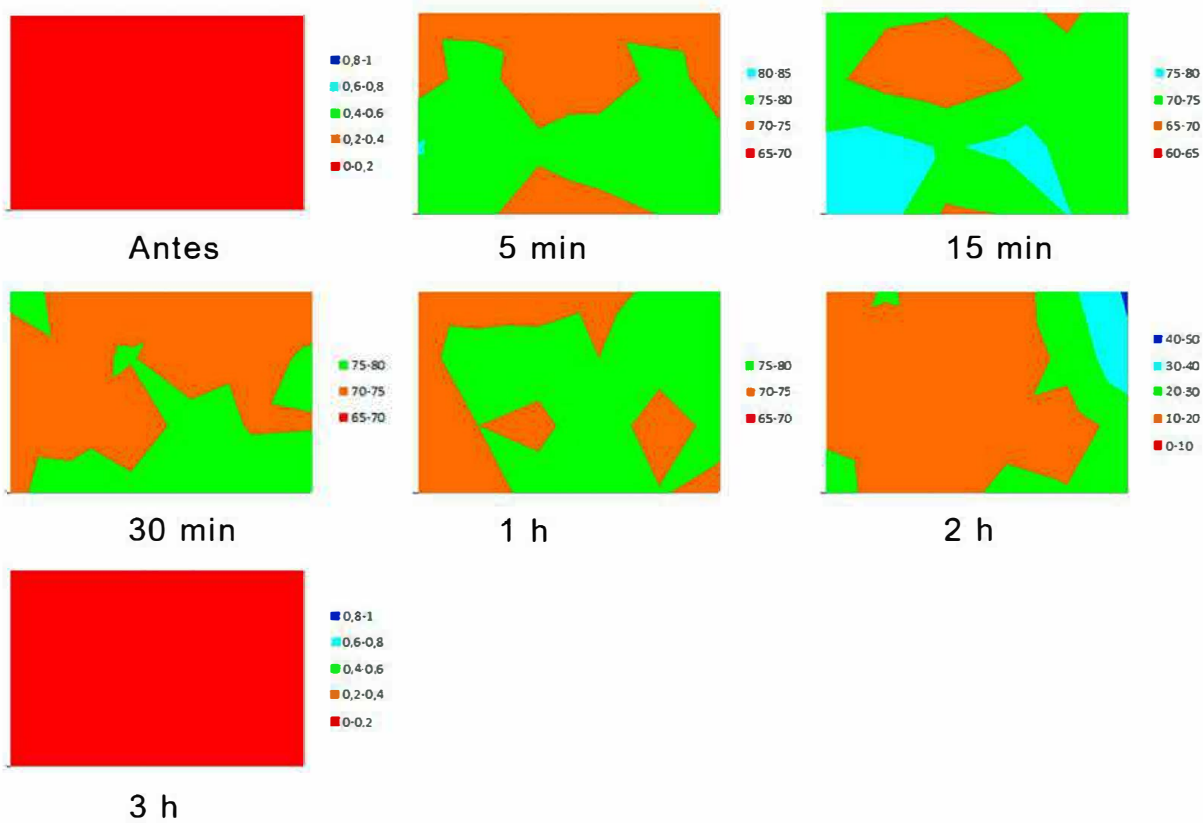
Ensaio ativo - 1 h de contato - A10G

Aferição de umidade



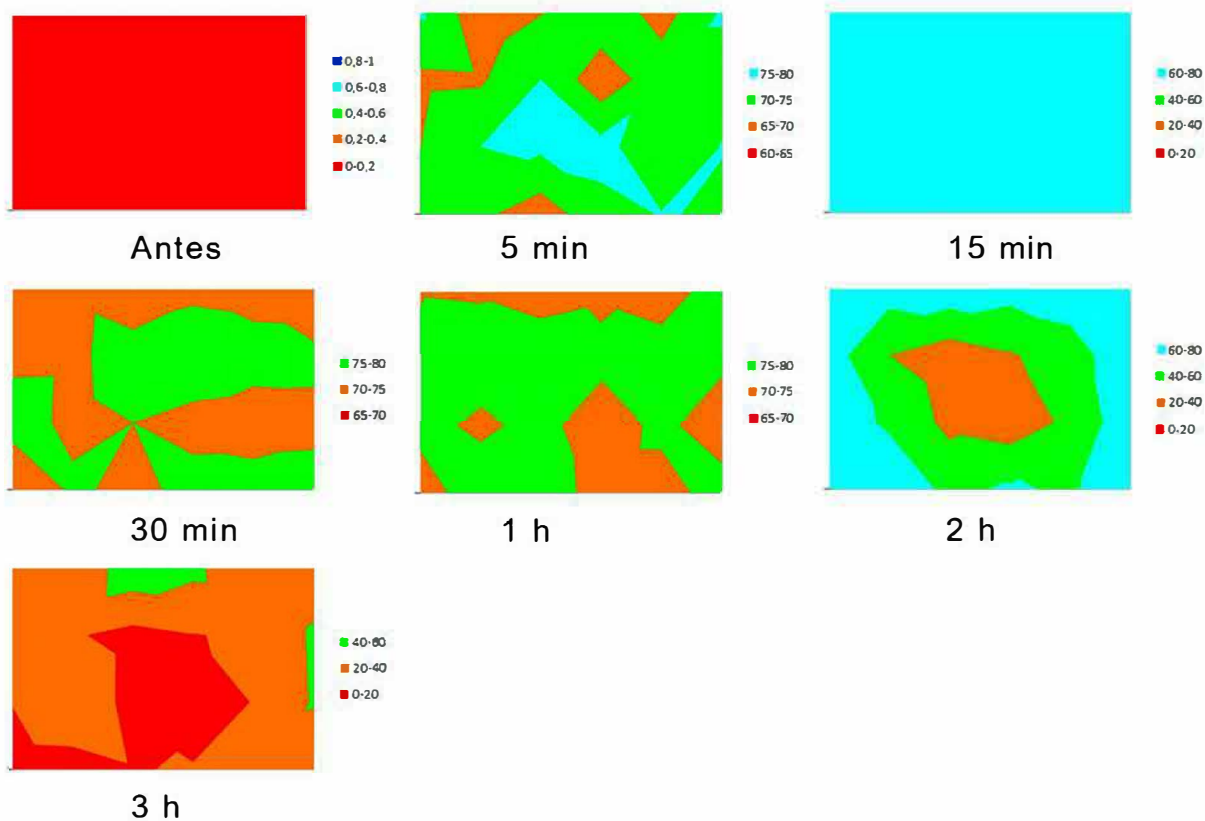
Ensaio ativo - 1 h de contato - A10F

Aferição de umidade



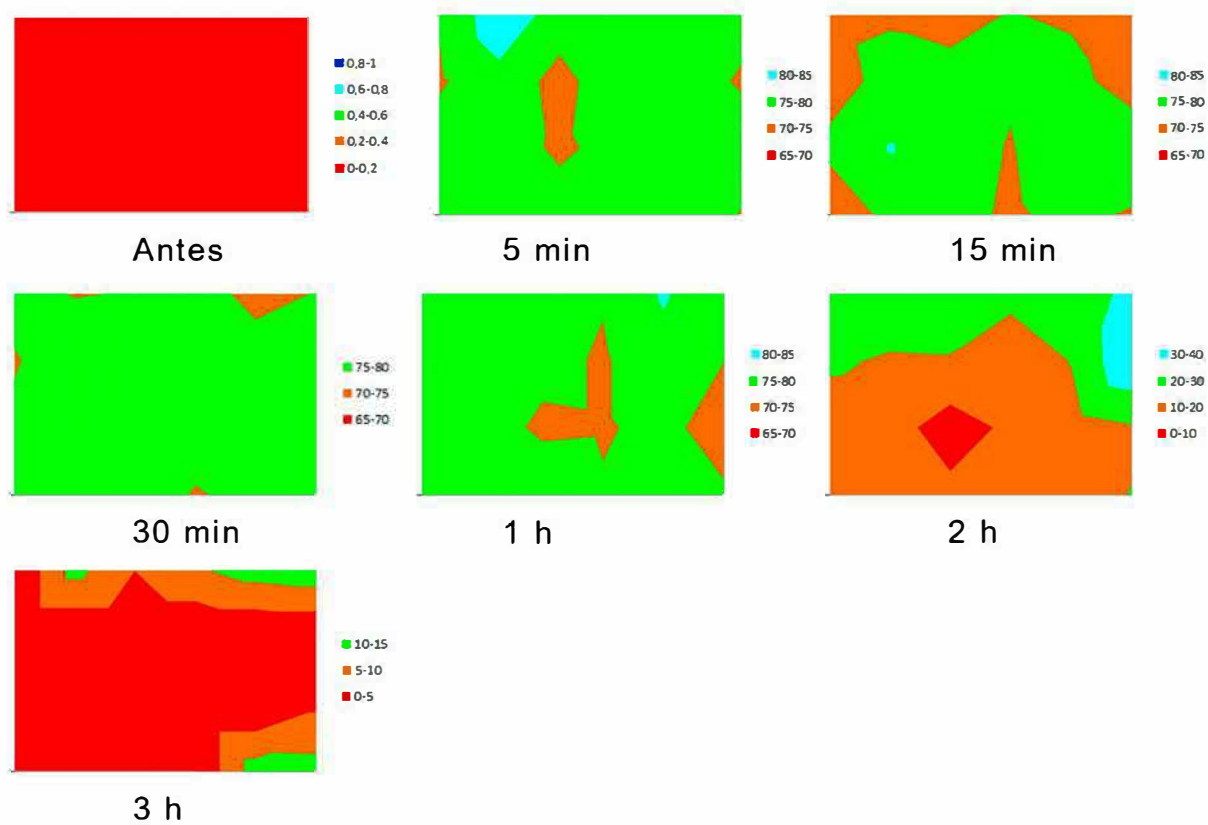
Ensaio ativo - 1 h de contato - A20G

Aferição de umidade



Ensaio ativo - 1 h de contato - A20F

Aferição de umidade

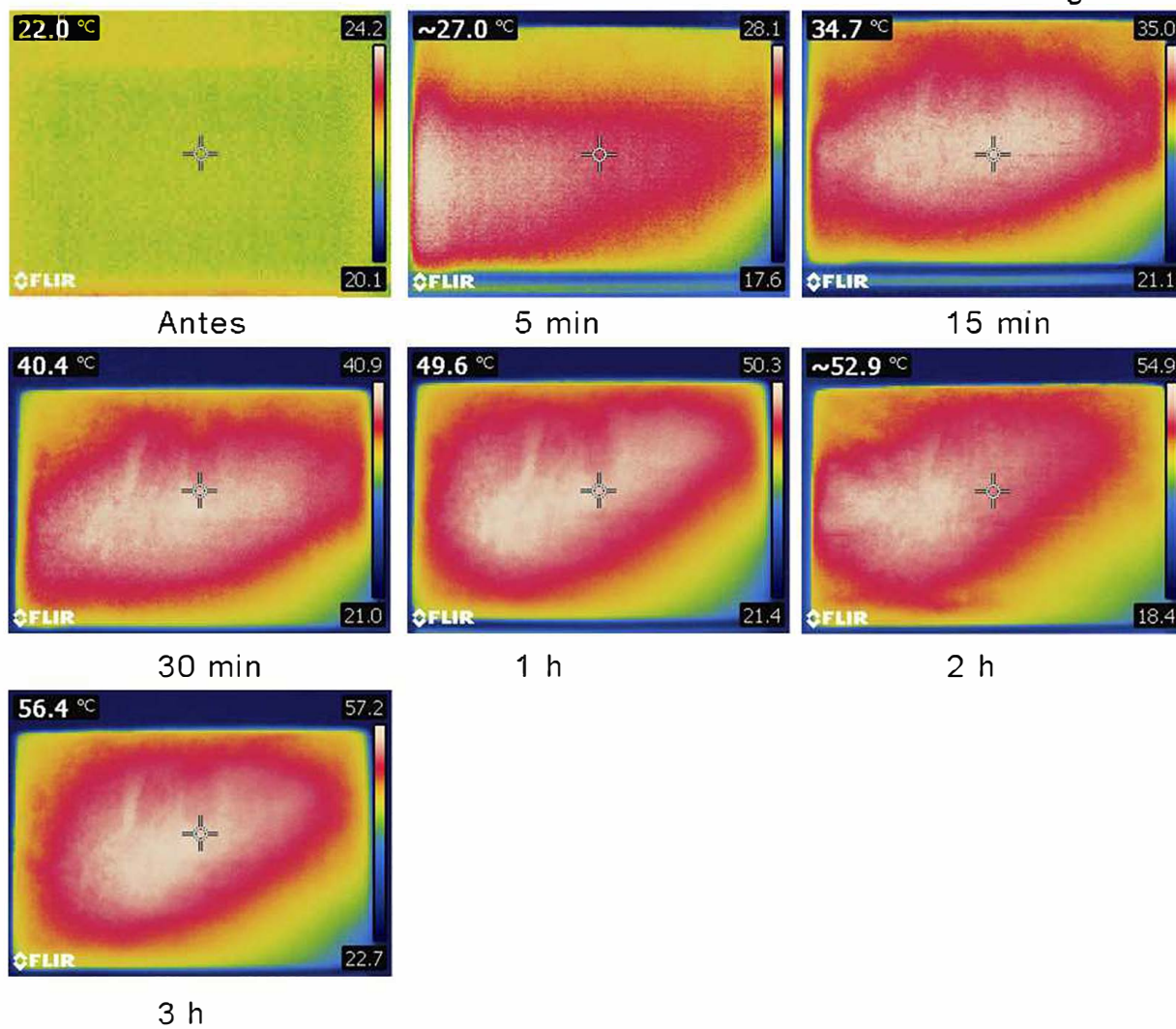


Ensaio de aferição de umidade - Ativo 1 hora - Médias e Desvios Padrão

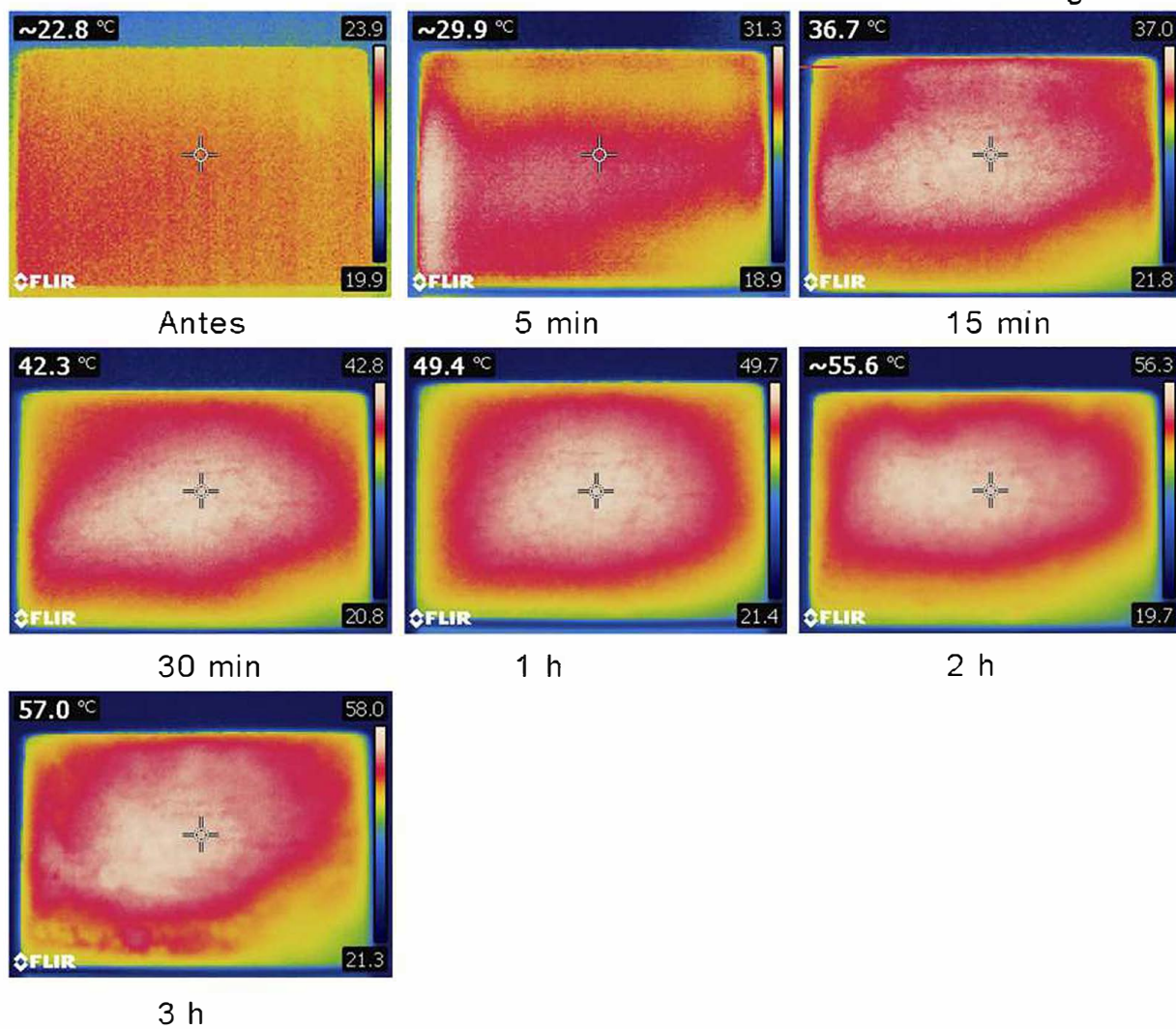
		Ativo 1h						
		Antes	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3h
AREF	Média	0,00	72,55	71,98	71,62	72,62	74,90	70,73
	Desv. Pad.	0,00	2,73	2,04	2,58	2,76	2,94	5,95
A10G	Média	0,00	69,98	70,38	72,82	73,64	75,34	43,70
	Desv. Pad.	0,00	3,60	2,28	2,27	2,58	2,03	15,89
A10F	Média	0,00	74,98	72,48	74,41	74,82	19,57	0,00
	Desv. Pad.	0,00	2,71	2,98	2,34	2,27	7,49	0,00
A20G	Média	0,00	72,30	72,51	74,39	75,34	58,70	25,08
	Desv. Pad.	0,00	3,32	2,92	2,27	2,50	15,53	11,95
A20F	Média	0,00	77,08	75,28	76,64	76,48	19,27	3,33
	Desv. Pad.	0,00	2,21	2,54	1,76	1,89	7,56	5,19

APÊNDICE K - Ensaio ativo - 24 h de contato - AREF

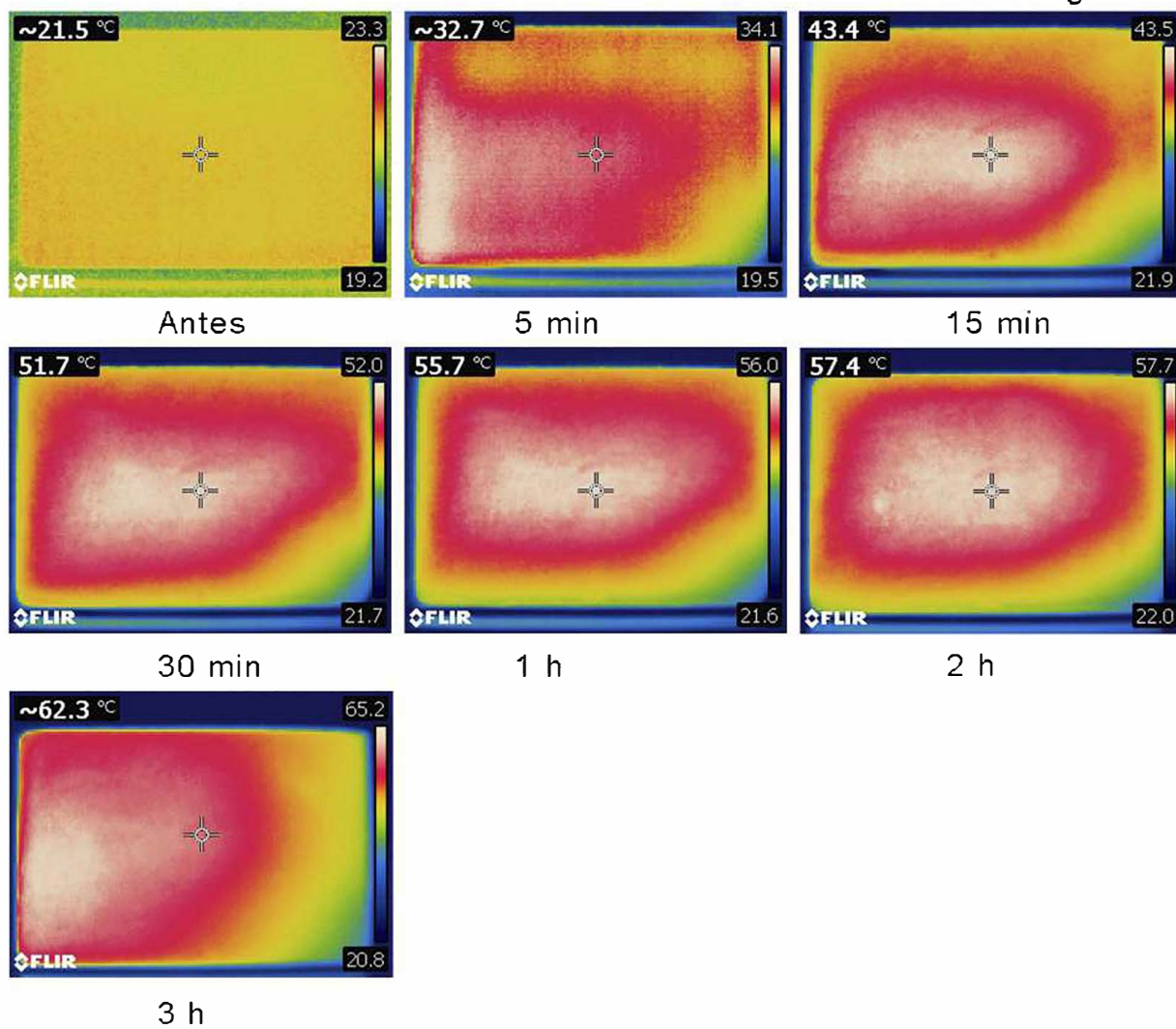
Ensaio termográfico



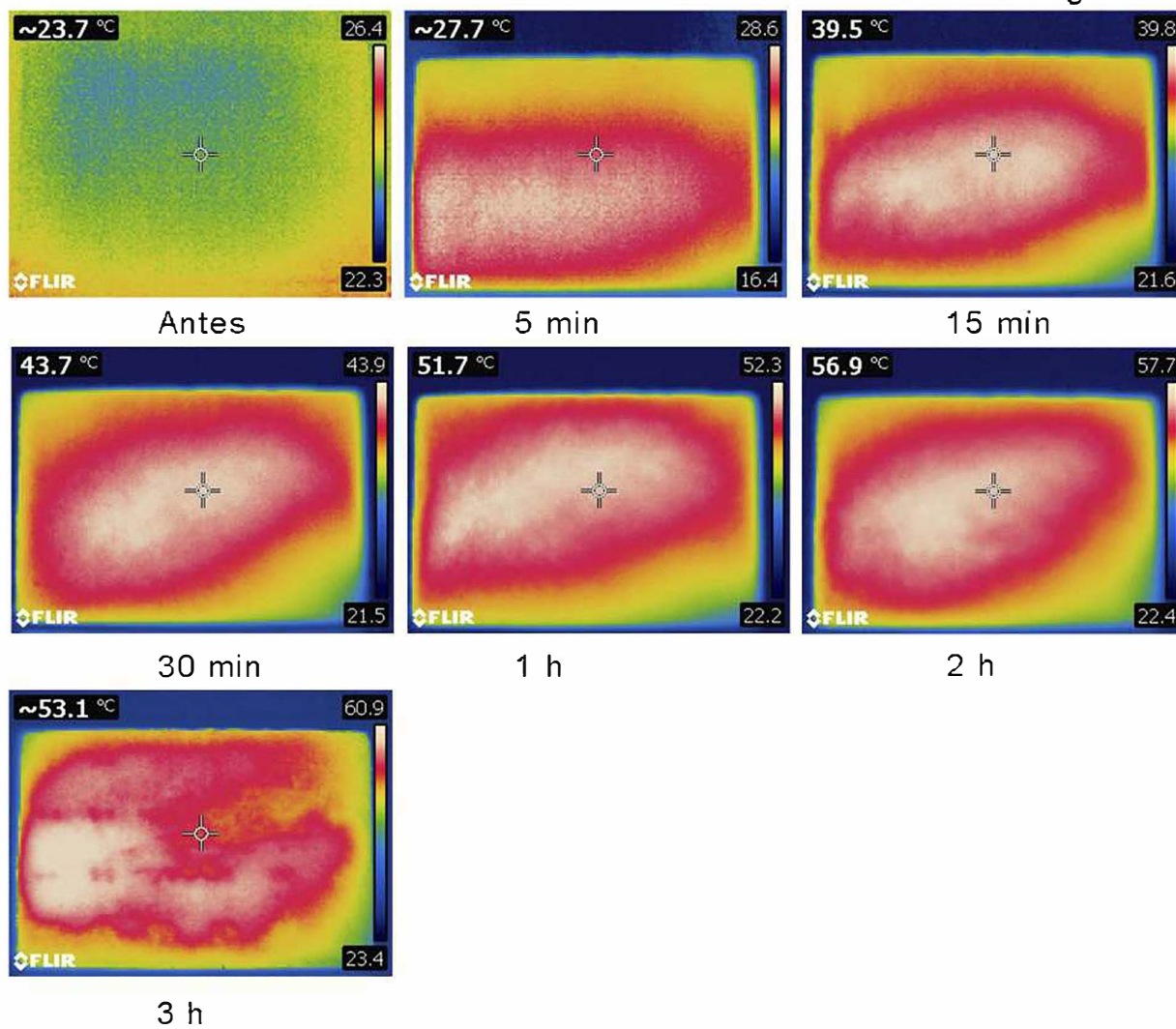
Ensaio ativo - 24 h de contato - A10G
Ensaio termográfico



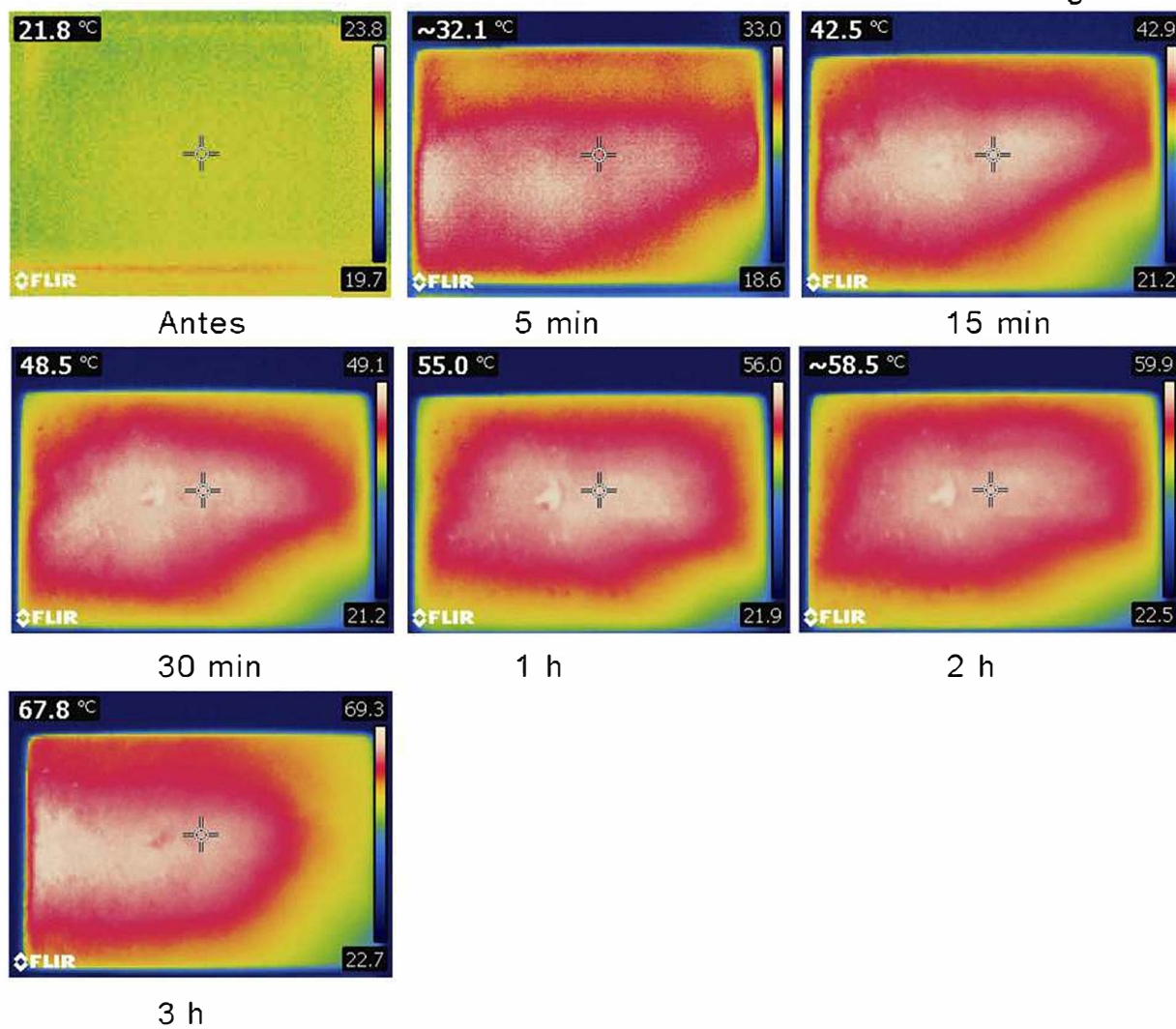
Ensaio ativo - 24 h de contato - A10F
Ensaio termográfico



Ensaio ativo - 24 h de contato - A20G
Ensaio termográfico



Ensaio ativo - 24 h de contato - A20F
Ensaio termográfico

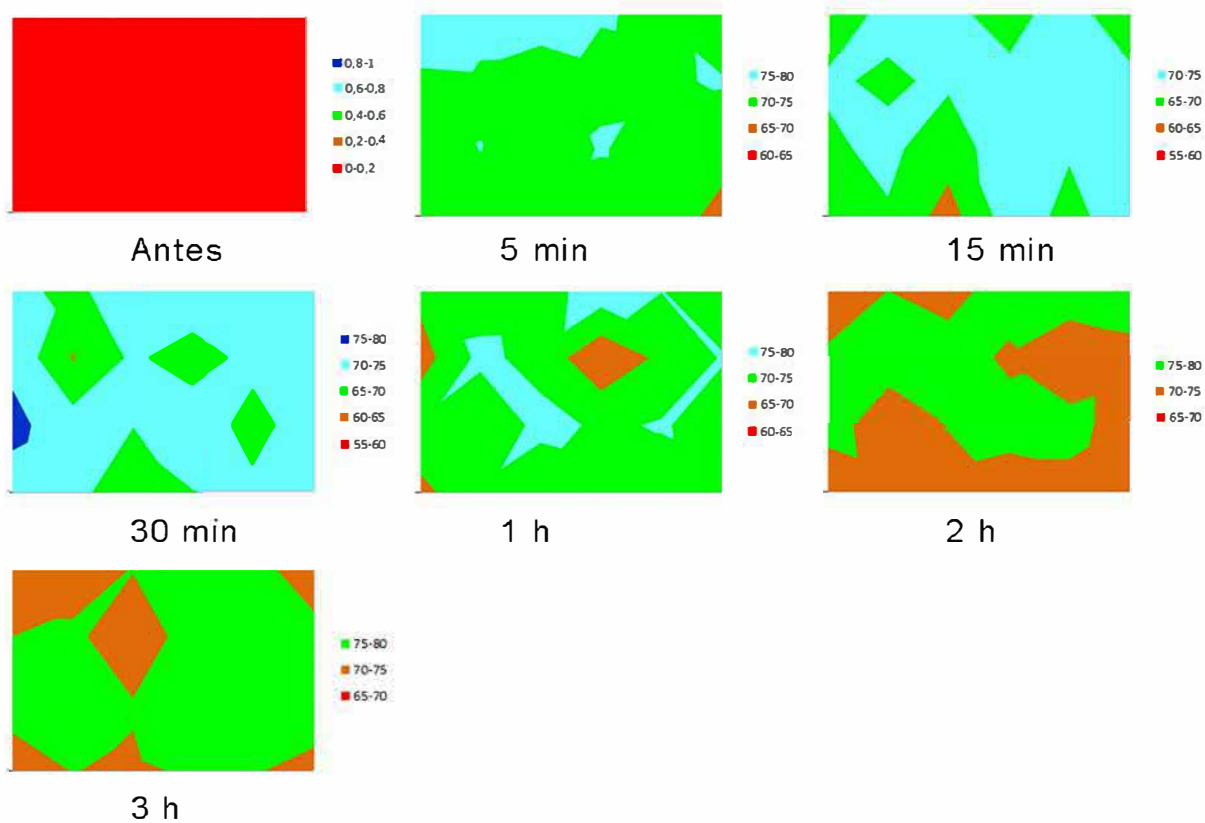


Ensaio termográfico - ativo 24 h - Médias de temperatura

	Ativo 24 h - Temperatura (°C)						
	Antes	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h
REF	22,1	26,1	33,1	38,2	46	49,6	51,3
A10G	22,7	29,3	35,4	40,3	46,2	51,3	54
A10F	21,5	31,7	40,4	47,4	50,8	52,9	58,3
A20G	24	26,6	37	40,6	47,6	52,4	53,5
A20F	21,7	31,1	39,6	44,6	50,3	53,2	62,9

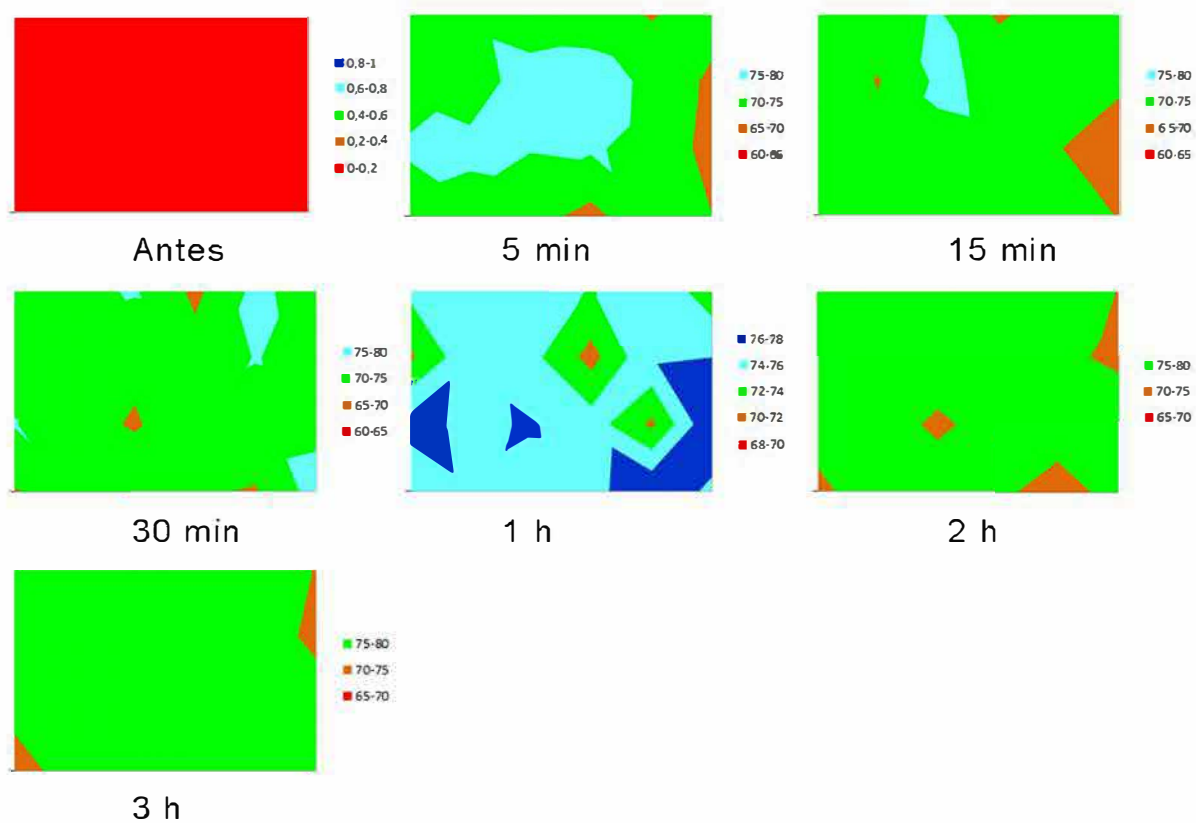
APÊNDICE L - Ensaio ativo - 24 h de contato - Aref

Aferição de umidade



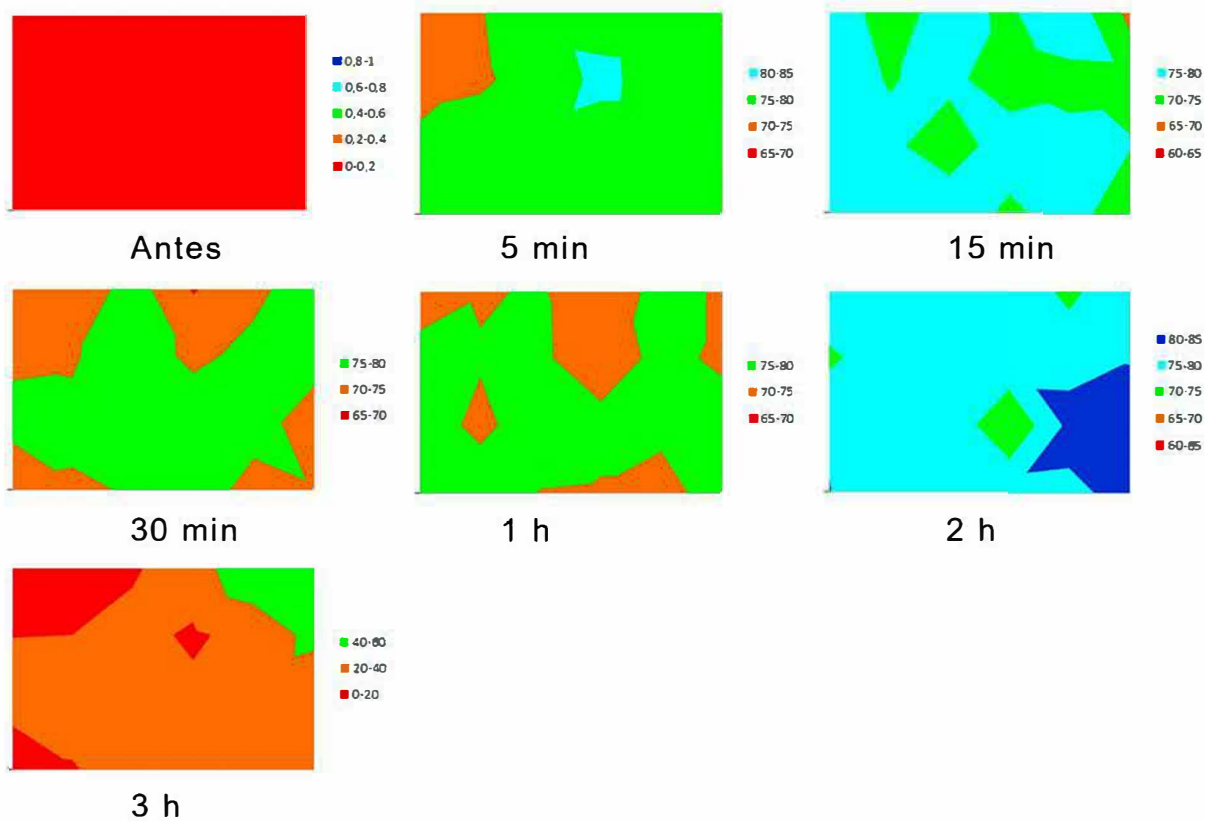
Ensaio ativo - 24 h de contato - A10G

Aferição de umidade



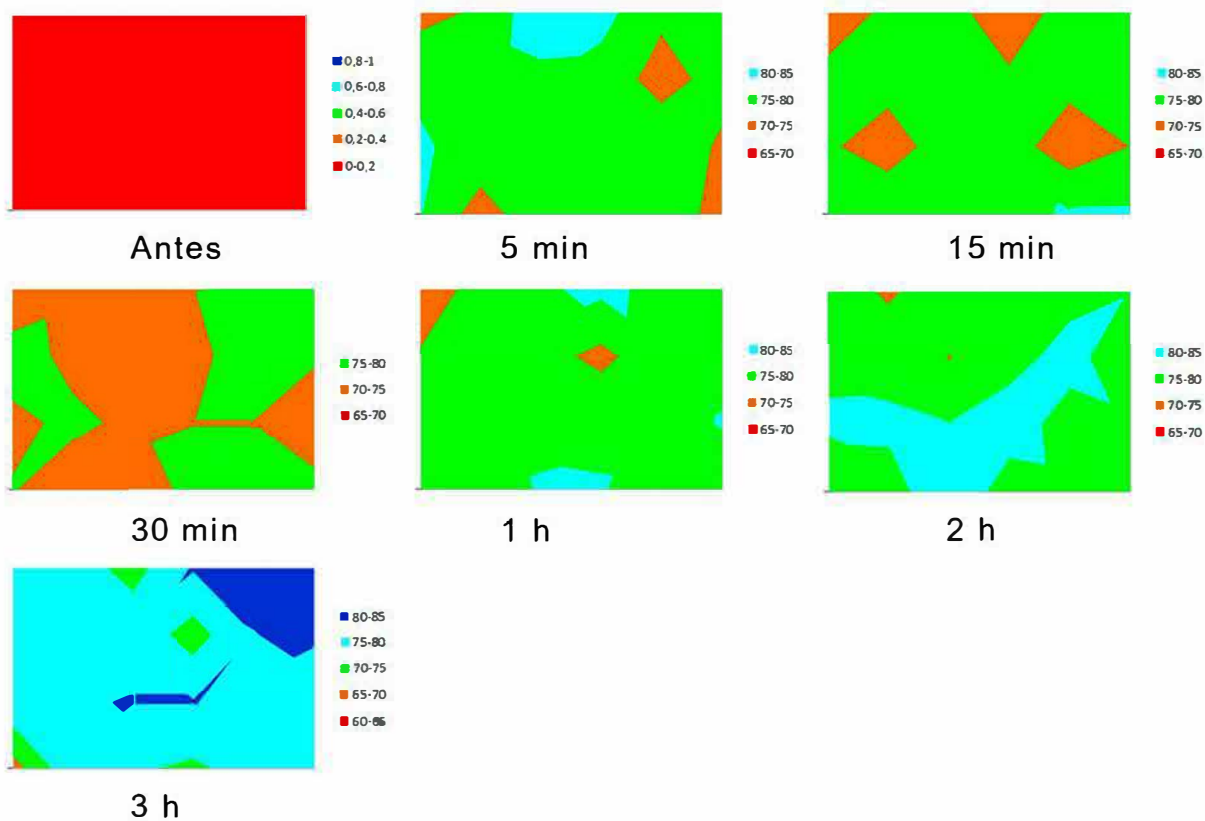
Ensaio ativo - 24 h de contato - A10F

Aferição de umidade



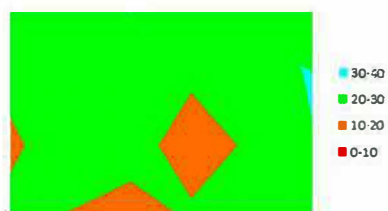
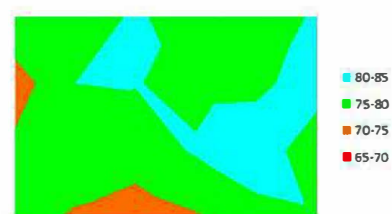
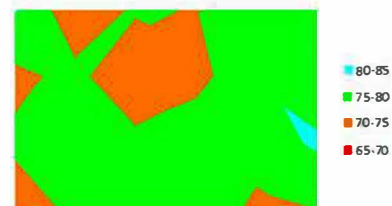
Ensaio ativo - 24 h de contato - A20G

Aferição de umidade



Ensaio ativo - 24 h de contato - A20F

Aferição de umidade



Ensaio de aferição de umidade - Ativo 24 horas - Médias e Desvios Padrão

		Ativo 24h						
		Antes	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3h
AREF	Média	0,00	73,59	69,90	71,50	72,72	74,57	75,28
	Desv. Pad.	0,00	2,28	2,31	2,77	2,88	2,02	2,61
A10G	Média	0,00	72,73	72,15	72,97	74,93	76,98	77,36
	Desv. Pad.	0,00		2,18	2,22	1,74	1,98	2,24
A10F	Média	0,00	77,04	75,20	74,98	75,40	78,34	25,47
	Desv. Pad.	0,00	1,81	2,54	2,37	2,28	2,59	10,58
A20G	Média	0,00	77,25	76,49	74,70	77,79	78,82	77,50
	Desv. Pad.	0,00	2,82	2,74	1,83	2,09	1,97	3,16
A20F	Média	0,00	78,76	76,15	77,64	78,33	77,91	23,84
	Desv. Pad.	0,00	3,51	2,77	3,13	2,69	2,88	4,25

APÊNDICE M - Ensaio de Capilaridade

Tempo de Imersão (min)	AREF			A10G			A10F			A20G			A20F		
	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção de água por capilaridade - C (g/cm ³)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção de água por capilaridade - C (g/cm ³)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção de água por capilaridade - C (g/cm ³)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção de água por capilaridade - C (g/cm ³)	Massa - M (g)	Água Absorvida - ΔM (g)	Absorção de água por capilaridade - C (g/cm ³)
0	7490,00	0,00	0,00	6910	0,00	0,00	6590	0,00	0,00	6468	0,00	0,00	6100	0,00	0,00
180	7977,00	487,00	2,32	7304	394,00	1,88	6884	294,00	1,40	6753	285,00	1,36	6346	246,00	1,17
360	8213,00	236,00	3,44	7459	155,00	2,61	6996	112,00	1,93	6869	116,00	1,91	6423	77,00	1,54
1440	8419,00	206,00	4,42	7851	392,00	4,48	7314	318,00	3,45	7173	304,00	3,36	6631	208,00	2,53
2880	8426,00	7,00	4,46	7882	31,00	4,63	7400	86,00	3,86	7256	83,00	3,75	6730	99,00	3,00
4320	8431,00	5,00	4,48	7892	10,00	4,68	7428	28,00	3,99	7286	30,00	3,90	6783	53,00	3,25

APÊNDICE N - Ensaio de Secagem

Compósitos	AREF			A10G			A10F			A20G			A20F		
M2880 (g)	8431,00			7892,00			7428,00			7286,00			6783,00		
Tempo (min)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Percentual de Água Evaporada - $P\Delta M$ (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Percentual de Água Evaporada - $P\Delta M$ (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Percentual de Água Evaporada - $P\Delta M$ (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Percentual de Água Evaporada - $P\Delta M$ (%)	Massa - Mt (g)	Água Evaporada - ΔM (g)	Percentual de Água Evaporada - $P\Delta M$ (%)
30	8420,00	11,00	0,13	7881,00	11,00	0,14	7414,00	14,00	0,19	7282,00	4,00	0,05	6776,00	7,00	0,10
60	8415,00	5,00	0,19	7880,00	1,00	0,15	7404,00	10,00	0,32	7272,00	10,00	0,19	6763,00	13,00	0,29
90	8412,00	3,00	0,23	7870,00	10,00	0,28	7399,00	5,00	0,39	7256,00	16,00	0,41	6756,00	7,00	0,40
270	8378,00	34,00	0,63	7830,00	40,00	0,79	7356,00	43,00	0,97	7219,00	37,00	0,92	6713,00	43,00	1,03
450	8325,00	53,00	1,26	7781,00	49,00	1,41	7305,00	51,00	1,66	7165,00	54,00	1,66	6655,00	58,00	1,89
1440	8192,00	133,00	2,83	7633,00	148,00	3,28	7133,00	172,00	3,97	7000,00	165,00	3,93	6490,00	165,00	4,32

APÊNDICE O - Ensaio de Absorção com Tubos de Karsten

Traços	Idade (dias)	Tubo de Karsten (adaptado)	Absorção de água (ml) em função do tempo (min)																Taxa de absorção (ml/min)	Taxa média de absorção (ml/min)
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
AREF	>28	A	0,00	0,40	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,04	0,06
		Taxa	0,00	0,40	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		B	0,00	0,10	0,20	0,20	0,40	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,05	
		Taxa	0,00	0,10	0,10	0,00	0,20	0,10	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00		
		C	0,00	0,20	0,40	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,00	1,20	1,30	1,40	1,50	1,50	1,70	0,11	
		Taxa	0,00	0,20	0,20	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,00	0,20	0,10	0,10	0,10	0,00	0,20		
A10G	>28	A	0,00	0,40	0,70	0,70	0,80	0,80	0,90	1,00	1,10	1,40	1,40	1,70	1,80	2,00	2,10	2,30	0,14	0,12
		Taxa	0,00	0,40	0,30	0,00	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,30	0,00	0,30	0,10	0,20	0,10	0,20		
		B	0,00	0,50	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,06	
		Taxa	0,00	0,50	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		C	0,00	0,20	0,30	0,50	0,50	0,70	0,90	1,00	1,20	1,40	1,60	1,70	2,00	2,10	2,30	2,60	0,16	
		Taxa	0,00	0,20	0,10	0,20	0,00	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20	0,10	0,30	0,10	0,20	0,30		
A10F	>28	A	0,00	0,50	0,90	1,00	1,10	1,10	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,30	1,30	1,40	1,50	1,50	0,09	0,13
		Taxa	0,00	0,50	0,40	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10	0,10	0,00		
		B	0,00	0,30	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,70	1,70	1,70	1,70	1,80	0,11	
		Taxa	0,00	0,30	0,30	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,00	0,00	0,00	0,10		
		C	0,00	0,50	0,60	0,70	0,90	1,00	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	1,90	2,20	2,40	2,50	2,80	0,18	
		Taxa	0,00	0,50	0,10	0,10	0,20	0,10	0,20	0,20	0,10	0,10	0,20	0,10	0,30	0,20	0,10	0,30		
A20G	>28	A	0,00	0,40	0,60	0,70	1,00	1,10	1,20	1,30	1,50	1,50	1,60	1,70	1,80	2,10	2,10	2,30	0,14	0,14
		Taxa	0,00	0,40	0,20	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,00	0,10	0,10	0,10	0,30	0,00		
		B	0,00	0,50	0,70	0,80	0,80	0,90	1,00	1,10	1,10	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,30	0,08	
		Taxa	0,00	0,50	0,20	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10		
		C	0,00	0,40	0,70	0,90	1,20	1,40	1,50	1,80	2,00	2,20	2,50	2,60	2,90	3,20	3,30	3,30	0,21	
		Taxa	0,00	0,40	0,30	0,20	0,30	0,20	0,10	0,30	0,20	0,20	0,30	0,10	0,30	0,30	0,10	0,00		
A20F	>28	A	0,00	0,50	0,70	0,80	1,00	1,10	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	2,00	2,30	2,30	2,40	2,50	0,16	0,16
		Taxa	0,00	0,50	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,00	0,10	0,10		
		B	0,00	0,30	0,50	0,70	1,00	1,20	1,30	1,40	1,50	1,70	1,90	2,10	2,20	2,30	2,40	2,60	0,16	
		Taxa	0,00	0,30	0,20	0,20	0,30	0,20	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,20		
		C	0,00	0,20	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00	1,20	1,40	1,50	1,80	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	0,17	
		Taxa	0,00	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	0,10	0,30	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20		