

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**EFEITOS DO INTEMPERISMO
EM ARGAMASSAS DE REJUNTAMENTO**

Camila Viviane Lopes

Porto Alegre
2015

CAMILA VIVIANE LOPES

**EFEITOS DO INTEMPERISMO
EM ARGAMASSAS DE REJUNTAMENTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Porto Alegre
2015

CIP - Catalogação na Publicação

Lopes, Camila Viviane
Efeitos do intemperismo em argamassas de
rejuntamento / Camila Viviane Lopes. -- 2015.
175 f.

Orientadora: Angela Borges Masuero.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-
RS, 2015.

1. Argamassa de rejuntamento. 2. Intemperismo. 3.
Desempenho. 4. Tratamentos superficiais. I. Masuero,
Angela Borges, orient. II. Título.

CAMILA VIVIANE LOPES

**EFEITOS DO INTEMPERISMO EM ARGAMASSAS DE
REJUNTAMENTO**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2015.

Prof. Angela Borges Masuero
Dra. pela UFRGS
orientador

Prof. Carlos Formoso Torres
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Mauricio Mancio (UNISINOS)
PhD pela University of California

Prof. Fernanda Macedo Pereira (ULBRA)
Dra. pela UFRGS

Prof. Denise Carpena Coitinho Dal Molin (UFRGS)
Dra. pela USP

Dedico este trabalho à minha família.
Base de todas as minhas conquistas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela vida e pelas pessoas que Ele coloca em meu caminho. Elas são as responsáveis por tantas alegrias e conquistas.

À minha família por todo apoio, auxílio e por compreender algumas ausências. Ao meu namorado por me acompanhar e suportar minhas dúvidas e ansiedades nessa etapa.

Agradeço ao NORIE pela oportunidade de realizar mais um sonho. Em especial à professora Angela que aceitou o desafio de me orientar aos 45' do segundo tempo, sempre disposta a aperfeiçoar o conhecimento técnico e científico de seus alunos.

Agradeço aos demais professores pelas aulas e incríveis aprendizados, sem os quais não seria a profissional de hoje.

Aos colegas de turma com os quais dividi inúmeras experiências nesse período, em especial ao Marlon e à Cristina pelo companheirismo e amizade de sempre. Aos colegas Carina, Gabriela, Fernanda, Muriel, Silvia, Carol, Lucas e Laís pelo apoio ao longo dos ensaios e pelas trocas de ideias. Aos demais amigos que fiz no NORIE no decorrer desses 6 anos de participação do grupo (mesmo que nem sempre de forma ativa), agradeço pelas ricas experiências.

Ao bolsista Andrés pela cooperação e apoio na parte prática dessa pesquisa. Ao Airton e ao seu Gilmar pelos conselhos, acompanhamentos e auxílios.

À CIENTEC, principalmente na pessoa do colega Eng. Ricardo Girardi, que cedeu uma área com estrutura para execução de parte do trabalho experimental.

À UFRGS e seus colaboradores pelo apoio e estrutura e a CAPES pelo financiamento de parte dos meus estudos.

Se na base desse grande e belo edifício que deverá ser a pátria de amanhã, além do nosso trabalho, da nossa inteligência, da nossa honestidade, da nossa incansável vigilância não houver também um elemento de tolerância e de amor, teremos então construído nossa casa sobre a areia.

Érico Veríssimo

RESUMO

LOPES, C.V. Influência do intemperismo em argamassas de rejuntamento. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Com a publicação e vigência da norma brasileira de desempenho NBR 15575:2013 amplia-se a necessidade de pesquisas que avaliem os fatores influentes sobre o desempenho dos materiais em função do local em que são empregados, principalmente no caso de materiais cimentícios, uma vez que, além de serem altamente utilizados no país, são severamente danificados por condições de umidade, radiações solares e variações de temperatura. Sendo assim, frente à exposição e função da argamassa de rejuntamento em sistemas de revestimento aderido, o material de preenchimento requer maior atenção principalmente porque o seu desempenho de forma isolada afeta no desempenho do sistema como um todo, seja do ponto de vista estético, de estanqueidade à água ou de segurança ao uso. Dessa forma, objetivando avaliar a influência do intemperismo sobre o desempenho de argamassas de rejuntamento à base de cimento Portland, essa pesquisa desenvolveu um plano experimental com 4 variáveis de influência, quais sejam: fabricante da argamassa (três níveis), cor da argamassa (branco, cinza e preto), tratamento superficial (sem tratamento, dois produtos hidrofugantes de bases diferentes) e tipo de exposição (referência, natural e artificial). A exposição ao intemperismo natural ocorreu na cidade de Porto Alegre durante 252 dias e a exposição artificial foi realizada em simulador ambiental do tipo radiação UVA e umidade por condensação durante 140 dias. Os resultados apontam para degradação física das argamassas do ponto de vista de alteração de cor e aumento da absorção de água das argamassas após intemperismo. A aplicação de produtos de proteção altera a cor das argamassas, sendo que o tratamento à base de metil siliconato de potássio causa manchas desuniformes em argamassas escuras e não apresentou melhorias quanto à absorção de água das argamassas de rejuntamento. O ensaio em câmara de intemperismo não foi capaz de reproduzir as degradações alcançadas no ambiente de Porto Alegre para as argamassas pretas. Por fim, todos fatores controláveis de forma isolada têm efeito significativo sobre as características cor, absorção de água e abrasão. Dessa forma, não é possível eleger uma argamassa que atenda de forma satisfatória a todas as propriedades avaliadas, demonstrando a ausência de requisitos em norma.

Palavras-chave: intemperismo; argamassa de rejuntamento; desempenho; tratamentos superficiais.

ABSTRACT

LOPES, C.V. The Influence of Weathering on Tile Grout. 2015. Thesis (Masters in Engineering) – Graduate's Program in Civil Engineering.

Since the Brazilian performance standard NBR 15575:2013 was published and entered into effect, the need for research that assesses the factors that influence the performance of materials as a function of the location where they are employed, has grown, especially in the case of cementitious materials, given that these are not only frequently employed in the country, but also severely damaged by moisture, solar radiation and temperature variations. Because of the exposure and function of tile grout in coating systems, the filling material requires greater attention, mainly because its isolated performance affects the performance of the system as a whole from an aesthetic, water proofing or safety perspective. This research was therefore developed to evaluate the influence of weathering on the performance of grouts based on Portland cement using an experimental plan with 4 variables of influence, namely: the manufacturer of the grout (three levels), the color of the grout (white, gray and black), the surface treatment (without treatment, two water-repellent products with different bases) and type of exposure (reference, artificial and natural). The natural exposure to weather occurred in the city of Porto Alegre for 252 days and the artificial exposure was performed in an UVA radiation and moisture condensation environmental simulator for 140 days. The results point to the physical degradation of the grout regarding the change of color and an increase in water absorption of the grout after weathering. The application of protection products changes the color of the grouts, with the treatment based on Potassium Methyl Siliconate causing uneven staining in dark grouts without presenting improvements regarding the water absorption of the tile grout. The test in the weathering chamber wasn't able to reproduce the degradation reached in the environment of Porto Alegre for the black grouts. Finally, all controllable factors in isolation had a significant effect on the Color, Water Absorption and Abrasion characteristics. It's therefore not possible to point to a mortar that meets all assessed properties in a satisfactory manner, demonstrating the non-compliance with the requirements in the standard.

Keywords : weathering; tile grout; performance; surface treatments.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Espectro da radiação solar ao meio dia em Ohio | 27 |
| Figura 2: Reflexão da luz em diferentes superfícies | 28 |
| Figura 3: Espectro da radiação solar e das lâmpadas fluorescentes UVA e UVB | 34 |
| Figura 4: Perfil típico de sistema de revestimento cerâmico aderido | 37 |
| Figura 5: Aspectos referentes à granulometria de agregados | 42 |
| Figura 6: Espaço colorimétrico CIE L*a*b*..... | 55 |
| Figura 7: Manifestações patológicas em juntas de assentamento de revestimentos cerâmicos .. | 58 |
| Figura 8: Processo de degradação do revestimento cerâmico com origem nas fissuras da argamassa de rejuntamento | 59 |
| Figura 9: Diferentes tratamentos superficiais | 63 |
| Figura 10: Matriz experimental | 67 |
| Figura 11: Gráfico do ensaio de calorimetria para as argamassas de rejuntamento brancas | 68 |
| Figura 12: Gráfico do ensaio de calorimetria para as argamassas de rejuntamento cinzas | 69 |
| Figura 13: Gráfico do ensaio de calorimetria para as argamassas de rejuntamento pretas | 69 |
| Figura 14: Curvas granulométricas das argamassas estudadas nessa pesquisa | 71 |
| Figura 15: Aplicação de tratamento superficial sobre as placas de argamassa de rejuntamento | 79 |
| Figura 16: Vista aérea da região de exposição das argamassas ao ambiente natural durante essa pesquisa | 80 |
| Figura 17: Exposição ao intemperismo natural durante a pesquisa | 81 |
| Figura 18: Exposição ao intemperismo artificial durante a pesquisa | 83 |
| Figura 19: Reposicionamento das placas de argamassa de rejuntamento exposição | 84 |
| Figura 20: Espectrofotômetro utilizado nessa pesquisa | 85 |
| Figura 21: Gabarito para medição cromática utilizado nessa pesquisa | 85 |
| Figura 22: Fluxograma das etapas em que ocorreram leituras cromáticas | 86 |
| Figura 23: Ensaio de absorção de água superficial realizado durante esse pesquisa | 87 |
| Figura 24: Ensaio de permeabilidade ao vapor realizado durante essa pesquisa | 88 |
| Figura 25: Ensaio de resistência à abrasão realizado durante essa pesquisa | 88 |

| | |
|---|-----|
| Figura 26: Linha do tempo da variação cromática devido à aplicação de tratamento | 92 |
| Figura 27: Manchamento das argamassa de rejuntamento antes da exposição ao intemperismo | 94 |
| Figura 28: Linha do tempo da variação cromática devido à exposição ao intemperismo | 95 |
| Figura 29: Fluxograma das variações cromáticas devido ao tratamento e à exposição ao intemperismo | 96 |
| Figura 30: ANOVA efeito da variável exposição na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo | 99 |
| Figura 31: ANOVA efeito da variável cor na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo | 101 |
| Figura 32: ANOVA efeito da variável cor na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo | 101 |
| Figura 33: ANOVA efeito da variável tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo | 102 |
| Figura 34: ANOVA efeito da variável tratamento na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo | 103 |
| Figura 35: ANOVA efeito da variável fabricante na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo | 104 |
| Figura 36: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e exposição na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo | 105 |
| Figura 37: Efeito do período de exposição em ambiente artificial sobre a variação do eixo luminosidade (ΔL^*) | 106 |
| Figura 38: Efeito do período de exposição em ambiente natural sobre a variação do eixo luminosidade (ΔL^*) | 107 |
| Figura 39: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo | 108 |
| Figura 40: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo | 109 |
| Figura 41: ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição e fabricante na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo | 109 |
| Figura 42: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e exposição na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo | 110 |
| Figura 43: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e exposição na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo | 111 |
| Figura 44: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e exposição na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) devido ao intemperismo | 112 |
| Figura 45: Argamassas brancas fabricante B com sujidades após intemperismo natural | 112 |

| | |
|--|-----|
| Figura 46: Efeito do período de exposição em ambiente artificial na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) das argamassas de diferentes cores e fabricantes | 113 |
| Figura 47: Efeito do período de exposição em ambiente natural na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) das argamassas de diferentes cores e fabricantes | 113 |
| Figura 48: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo | 115 |
| Figura 49: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) acumulada ao final do processo | 116 |
| Figura 50: Argamassa preta fabricante A com tratamento à base de metil siliconato de potássio após envelhecimento artificial | 116 |
| Figura 51: Efeito do período de exposição em ambiente artificial na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) das argamassas de diferentes tratamentos e cores | 117 |
| Figura 52: Efeito do período de exposição em ambiente natural na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) das argamassas de diferentes tratamentos e cores | 117 |
| Figura 53: ANOVA efeito da interação entre as variáveis fabricante, exposição e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo | 118 |
| Figura 54: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo para exposição artificial | 119 |
| Figura 55: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo para exposição natural | 120 |
| Figura 56: ANOVA efeito da variável exposição na absorção de água por capilaridade | 122 |
| Figura 57: ANOVA efeito da variável cor na absorção de água por capilaridade | 123 |
| Figura 58: ANOVA efeito da variável tratamento na absorção de água por capilaridade | 124 |
| Figura 59: CMM da variável tratamento na absorção de água por capilaridade | 124 |
| Figura 60: ANOVA efeito da variável fabricante na absorção de água por capilaridade | 125 |
| Figura 61: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e exposição na absorção de água por capilaridade | 126 |
| Figura 62: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante na absorção de água por capilaridade | 127 |
| Figura 63: ANOVA efeito da interação entre as variáveis fabricante e tipo de exposição na absorção de água por capilaridade | 128 |
| Figura 64: ANOVA efeito da interação entre as variáveis fabricante e tratamento na absorção de água por capilaridade | 129 |
| Figura 65: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e tratamento na absorção de água por capilaridade | 129 |

| | |
|--|-----|
| Figura 66: ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição e tratamento na absorção de água por capilaridade | 130 |
| Figura 67: ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição, fabricante e cor na absorção de água por capilaridade | 131 |
| Figura 68: ANOVA efeito da interação entre as variáveis tratamento, fabricante e cor na absorção de água por capilaridade | 131 |
| Figura 69: ANOVA efeito da interação entre as variáveis tratamento, fabricante e exposição na absorção de água por capilaridade | 132 |
| Figura 70: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, exposição e tratamento na absorção de água por capilaridade | 133 |
| Figura 71: ANOVA efeito da interação entre todos os fatores controláveis na absorção de água por capilaridade – sem exposição | 134 |
| Figura 72: ANOVA efeito da interação entre todos os fatores controláveis na absorção de água por capilaridade – exposição natural | 134 |
| Figura 73: ANOVA efeito da interação entre todos os fatores controláveis na absorção de água por capilaridade – exposição artificial | 135 |
| Figura 74: ANOVA efeito da variável exposição na resistência à abrasão | 138 |
| Figura 75: ANOVA efeito da variável cor na resistência à abrasão | 138 |
| Figura 76: ANOVA efeito da variável tratamento na resistência à abrasão | 139 |
| Figura 77: ANOVA efeito da variável tratamento na resistência à abrasão | 140 |
| Figura 78: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e exposição na resistência à abrasão | 141 |
| Figura 79: ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição e tratamento na resistência à abrasão | 142 |
| Figura 80: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante na resistência à abrasão | 142 |
| Figura 81: ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição e fabricante na resistência à abrasão | 143 |
| Figura 82: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento na resistência à abrasão | 144 |
| Figura 83: ANOVA efeito da interação entre as variáveis fabricante, exposição e tratamento na resistência à abrasão | 145 |
| Figura 84: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, exposição e tratamento na resistência à abrasão | 146 |
| Figura 85: ANOVA efeito da interação entre as variáveis tratamento, fabricante e cor, na resistência à abrasão – sem exposição | 147 |

| | |
|---|-----|
| Figura 86: ANOVA efeito da interação entre as variáveis tratamento, fabricante e cor, na resistência à abrasão – exposição natural | 147 |
| Figura 87: ANOVA efeito da interação entre as variáveis tratamento, fabricante e cor, na resistência à abrasão – exposição artificial | 148 |
| Figura 88: ANOVA efeito da variável exposição na permeabilidade ao vapor | 151 |
| Figura 89: ANOVA efeito da variável cor na permeabilidade ao vapor | 151 |
| Figura 90: ANOVA efeito da variável fabricante na permeabilidade ao vapor | 152 |
| Figura 91: ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante na permeabilidade ao vapor | 153 |
| Figura 92: ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição e fabricante na permeabilidade ao vapor | 153 |
| Figura 93: ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição e cor na permeabilidade ao vapor | 154 |
| Figura 94: ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição, cor e fabricante na permeabilidade ao vapor | 155 |
| Figura 95: ANOVA efeito da interação entre as variáveis tratamento, cor e fabricante na permeabilidade ao vapor | 156 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: % irradiância sobre o total da região UV e visível para cada tipo de lâmpada | 28 |
| Quadro 2: Coeficientes de absorção solar para alguns materiais de construção | 29 |
| Quadro 3: % irradiância sobre o total da região UV para cada tipo de lâmpada | 34 |
| Quadro 4: Ciclos recomendados pela ASTM D4587..... | 35 |
| Quadro 5: Condições de envelhecimento acelerado de acordo com a NBR 15380 | 35 |
| Quadro 6: Condições de cada ciclo de envelhecimento acelerado de acordo com a BS EN 1015-21 | 36 |
| Quadro 7: Comparação entre normas quanto aos requisitos para argamassas de rejuntamento | 40 |
| Quadro 8: Formulação química dos principais pigmentos | 43 |
| Quadro 9: Conjuntos de condições determinadas pela norma EN 12086 | 53 |
| Quadro 10: Percepção de diferença de cor utilizada na indústria de tintas | 56 |
| Quadro 11: Vida útil de projeto associado a revestimentos | 57 |
| Quadro 12: Características do produto hidrofugante à base de metil siliconato de potássio aplicado como tratamento superficial sobre as argamassas de rejuntamento estudadas | 78 |
| Quadro 13: Características do produto hidrofugante à base de silano/siloxano aplicado como tratamento superficial sobre as argamassas de rejuntamento estudadas | 78 |
| Quadro 14: Análise microscópica da superfície das argamassas sem tratamento..... | 90 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1: Requisitos mínimos preconizados pela NBR 14992/2003 para diferentes propriedades em função do tipo de argamassa de rejuntamento | 48 |
| Tabela 2: Ensaio e requisitos preconizados pela norma EN 13888/2009 | 49 |
| Tabela 3: Resultados de análise química por FRX | 70 |
| Tabela 4: Características granulométricas das argamassas de rejuntamento estudadas . | 70 |
| Tabela 5: Características físicas das argamassas de rejuntamento estudadas | 73 |
| Tabela 6: Resistência mecânica média das argamassas de rejuntamento estudadas | 74 |
| Tabela 7: Valores médios de absorção de água por capilaridade e permeabilidade das argamassas de rejuntamento estudadas..... | 76 |
| Tabela 8: Ângulo de contato da superfície das argamassas estudadas nessa pesquisa ... | 77 |
| Tabela 9: Dados climáticos para a cidade de Porto Alegre/RS durante os meses de exposição realizada nessa pesquisa | 81 |
| Tabela 10: Radiação solar para a cidade de Porto Alegre/RS durante os meses de exposição realizada nessa pesquisa | 82 |
| Tabela 11: Ciclos de exposição artificial utilizados durante a pesquisa | 83 |
| Tabela 12: Valores médios de variação cromática total (ΔE) e do eixo luminosidade (ΔL^*) devido à aplicação de tratamento superficial nas argamassas avaliadas nessa pesquisa..... | 92 |
| Tabela 13: Valores médios de variação cromática (ΔE) e do eixo luminosidade (ΔL^*) devido à exposição ao intemperismo das argamassas avaliadas nessa pesquisa | 95 |
| Tabela 14: Valores médios de variação cromática total (ΔE) e do eixo luminosidade (ΔL^*) acumulada ao final do processo | 97 |
| Tabela 15: ANOVA para variável variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo | 98 |
| Tabela 16: ANOVA para variação do eixo luminosidade (ΔL^*) acumulada ao final do processo | 98 |
| Tabela 17: Variação cromática do eixo b^* das argamassas brancas entre 6 e 9 meses de exposição natural | 114 |
| Tabela 18: Valores médios de absorção de água após 300 minutos de ensaio | 121 |
| Tabela 19: Análise de variância (ANOVA) para variável absorção de água por capilaridade | 122 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 20: Valores médios e estatística básica dos resultados de desgaste superficial por abrasão (%) | 136 |
| Tabela 21: Análise de variância para variável resistência à abrasão | 137 |
| Tabela 22: Valores médios de permeabilidade ao vapor | 149 |
| Tabela 23: Análise de variância para variável de resposta permeabilidade ao vapor | 150 |

LISTA DE SIGLAS

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

NORIE – Núcleo Orientado para Inovação na Edificação

LAMTAC – Laboratório de Materiais e Tecnologias do Ambiente Construído

LACER – Laboratório de Materiais Cerâmicos

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul

CIE – International Commission on Illumination

IPC – Instituto da Promoción Cerámica

IHRU – Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

UV – ultra violeta

ISO – International Organization for Standardization

BSI – British Standards Institution

EN – European Standard

ASTM – American Society for Testing and Materials

ANSI – American National Standards Institute

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 21 |
| 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA | 22 |
| 1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA | 23 |
| 1.2.1 Objetivo principal | 23 |
| 1.2.2 Objetivos secundários | 23 |
| 1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA | 23 |
| 1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA | 24 |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO | 24 |
| 2 DEGRADAÇÃO E AGENTES AMBIENTAIS | 25 |
| 2.1 TEMPERATURA E RADIAÇÃO | 26 |
| 2.2 UMIDADE | 29 |
| 2.3 ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO | 30 |
| 2.3.1 Exposição natural | 30 |
| 2.3.2 Exposição artificial | 31 |
| 3 ARGAMASSA DE REJUNTAMENTO | 37 |
| 3.1 COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REJUNTAMENTO | 40 |
| 3.1.1 Cimento Portland | 41 |
| 3.1.2 Agregados | 42 |
| 3.1.3 Pigmentos | 43 |
| 3.1.4 Aditivos | 45 |
| 3.2 PROPRIEDADES E REQUISITOS | 47 |
| 3.2.1 Resistência à abrasão | 49 |
| 3.2.2 Infiltração de água | 51 |
| 3.2.3 Permeabilidade ao vapor de água | 52 |
| 3.2.4 Manutenção da cor | 53 |
| 3.3 DURABILIDADE E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS | 56 |
| 3.4 CONSERVAÇÃO E MANUTENÇÃO | 61 |
| 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 61 |
| 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL | 66 |
| 4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL | 66 |
| 4.2 MATERIAIS | 67 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.1 Argamassa de rejuntamento | 67 |
| 4.2.2 Tratamentos superficiais | 76 |
| 4.2.2.1 Produto hidrofugante à base de metil silconato de potássio | 77 |
| 4.2.2.2 Produto hidrofugante à base de silano/siloxano | 78 |
| 43 MÉTODOS | 78 |
| 4.3.1 Moldagem das placas de rejunte e aplicação de tratamento superficial | 79 |
| 4.3.2 Exposição ao intemperismo | 80 |
| 4.3.2.1 Exposição natural | 80 |
| 4.3.2.2 Exposição artificial | 82 |
| 4.3.3 Ensaio | 84 |
| 4.3.3.1 Alteração cromática | 84 |
| 4.3.3.2 Absorção de água por capilaridade | 86 |
| 4.3.3.3 Permeabilidade ao vapor de água | 87 |
| 4.3.3.4 Resistência à abrasão | 88 |
| 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 89 |
| 5.1 ANÁLISE MICROSCÓPICA | 89 |
| 5.2 ALTERAÇÃO CROMÁTICA | 91 |
| 5.2.1 Efeito isolado da variável exposição | 99 |
| 5.2.2 Efeito isolado da variável cor | 100 |
| 5.2.3 Efeito isolado da variável tratamento | 102 |
| 5.2.4 Efeito isolado da variável fabricante | 103 |
| 5.2.5 Efeito da interação entre as variáveis cor e exposição | 104 |
| 5.2.6 Efeito da interação entre as variáveis cor e tratamento | 105 |
| 5.2.7 Efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante | 108 |
| 5.2.8 Efeito da interação entre as variáveis exposição e fabricante | 108 |
| 5.2.9 Efeito da interação entre as variáveis cor, exposição e fabricante | 109 |
| 5.2.10 Efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento | 110 |
| 5.2.11 Efeito da interação entre as variáveis cor, exposição e tratamento | 115 |
| 5.2.12 Efeito da interação entre as variáveis fabricante, exposição e tratamento | 118 |
| 5.2.13 Efeito da interação entre as variáveis cor, exposição, tratamento e fabricante | 119 |
| 5.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE | 120 |
| 5.3.1 Efeito isolado da variável exposição | 122 |
| 5.3.2 Efeito isolado da variável cor | 123 |
| 5.3.3 Efeito isolado da variável tratamento | 124 |
| 5.3.4 Efeito isolado da variável fabricante | 125 |

| | |
|---|------------|
| 5.3.5 Efeito da interação entre as variáveis cor e exposição | 126 |
| 5.3.6 Efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante | 127 |
| 5.3.7 Efeito da interação entre as variáveis fabricante e exposição | 127 |
| 5.3.8 Efeitos de segunda ordem envolvendo a variável tratamento | 128 |
| 5.3.9 Efeitos de terceira ordem | 130 |
| 5.3.10 Efeito da interação entre as variáveis fabricante, cor, exposição e tratamento | 133 |
| 5.4 RESISTÊNCIA À ABRASÃO | 136 |
| 5.4.1 Efeito isolado da variável exposição | 137 |
| 5.4.2 Efeito isolado da variável cor | 138 |
| 5.4.3 Efeito isolado da variável tratamento | 139 |
| 5.4.4 Efeito isolado da variável fabricante | 139 |
| 5.4.5 Efeito da interação entre as variáveis cor e exposição | 140 |
| 5.4.6 Efeito da interação entre as variáveis exposição e tratamento | 141 |
| 5.4.7 Efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante | 142 |
| 5.4.8 Efeito da interação entre as variáveis exposição e fabricante | 143 |
| 5.4.9 Efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento | 144 |
| 5.4.10 Efeito da interação entre as variáveis fabricante, exposição e tratamento | 144 |
| 5.4.11 Efeito da interação entre as variáveis cor, exposição e tratamento | 145 |
| 5.4.12 Efeito da interação entre as variáveis cor, exposição, fabricante e tratamento | 146 |
| 5.5 PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA | 149 |
| 5.5.1 Efeito isolado da variável exposição | 150 |
| 5.5.2 Efeito isolado da variável cor | 151 |
| 5.5.3 Efeito isolado da variável fabricante | 152 |
| 5.5.4 Efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante | 152 |
| 5.5.5 Efeito da interação entre as variáveis fabricante e exposição | 153 |
| 5.5.6 Efeito da interação entre as variáveis cor e exposição | 154 |
| 5.5.7 Efeito da interação entre as variáveis fabricante, cor e exposição | 154 |
| 5.5.8 Efeito da interação entre as variáveis fabricante, cor e tratamento | 155 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 157 |
| REFERÊNCIAS..... | 160 |

1 INTRODUÇÃO

Em um revestimento aderente, a forma tradicional de selar os espaços vazios entre as placas cerâmicas, rochas ou cimentícias se dá através do rejuntamento das juntas com selante ou argamassa específica. No caso do uso de argamassa, essa deve atender aos requisitos básicos de dificultar a entrada e passagem de água para o substrato, absorver deformações e solicitações da camada de revestimento e dar acabamento estético.

O tempo médio de vida útil de projeto (VUP) de um sistema de revestimento externo, de acordo com a NBR 15575-1, considerando o caso mais extremo (aquele em que possa ser necessária a troca integral dos revestimentos) é entre 40 a 80% da VUP da estrutura que é de, no mínimo, 50 anos conforme essa mesma norma. Logo, esse sistema deve durar, pelo menos, entre 20 e 40 anos e sendo o material de rejuntamento parte integrante desse sistema, espera-se que desempenhe seu papel, ao menos, durante grande parte desse período. De fato, vale ressaltar que, para que isso ocorra, uma boa especificação técnica em nível de projeto bem como manutenções periódicas são de suma importância.

Ao longo das últimas décadas o mercado da construção civil tem criado opções de argamassas que substituem a tradicional pasta de cimento branco. Esses produtos são industrializados e formulados com incorporação de aditivos e pigmentos e, portanto, tendem a garantir maiores vantagens ao revestimento como acréscimo na flexibilidade, diminuição da absorção de água, entre outros. Paralelamente à indústria de argamassas de rejuntamento, há fabricantes de produtos aplicáveis sobre o rejunte com a função de proteger, evitar o crescimento de microorganismos, o escurecimento e a entrada de água pelo material das juntas. No entanto, alguns autores como Lima (1994) alertam para a possibilidade de ocorrência de manifestações patológicas devido à aplicação desses produtos, principalmente alteração de cor.

Em fachadas compostas de materiais de baixa absorção superficial e elevada durabilidade, como cerâmicas e rochas, a junta ainda pode ser considerada o ponto mais vulnerável do sistema. Além disso, o sistema de revestimento externo é extremamente suscetível aos fatores climáticos como radiações ultravioletas e umidade que auxiliam na degradação de materiais cimentícios, poliméricos e de superfícies pigmentadas. Apesar do conhecimento técnico sobre os requisitos de desempenho, pouco se sabe sobre a durabilidade e o comportamento dos

materiais disponíveis para preenchimento das juntas de assentamento ao longo da vida útil. Essa avaliação pode ser observada no decorrer do envelhecimento natural de uma edificação e, portanto, apesar de mais realista, tem a desvantagem do prolongado período de avaliação, ou através de simulação do intemperismo de forma acelerada.

Dessa forma, o presente trabalho propõe-se a avaliar a alteração de cor, a absorção de água, permeabilidade ao vapor de água e resistência à abrasão de argamassas de rejuntamento expostas ao intemperismo de forma natural e artificial. Complementarmente serão avaliados o comportamento e a influência da aplicação de produtos protetores sobre a argamassa de rejuntamento.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA

As fachadas possuem grande importância por funcionarem como uma proteção física ao ambiente habitável, portanto, uma barreira que deve favorecer boas condições térmicas, acústicas, de estanqueidade e segurança estrutural, bem como promover a valorização da edificação do ponto de vista estético (RESENDE, 2004). As juntas e, por consequência, seu material de preenchimento, são os pontos mais frágeis da superfície do revestimento cerâmico aderente por tratar-se da exposição de um material cimentício às intempéries, podendo, portanto, originar manifestações patológicas prejudiciais ao sistema de revestimento como fissuras e consequente infiltração de água, como também perda de valor estético com a alteração de cor das argamassas (MAGALHÃES, 2008). Dessa forma, a durabilidade de um revestimento cerâmico está vinculada ao nível de degradação do material que preenche as juntas (SILVESTRE et al., 2005).

Rocha-Gomes e Tristão (2008) alertam para a necessidade de mais estudos para as argamassas de rejuntamento de forma a minimizar as manifestações patológicas que induzem no sistema de revestimento cerâmico. Apontam ainda para a necessidade de englobar a avaliação de propriedades como resiliência, aderência, ausência de trincas e durabilidade de cor na norma brasileira NBR 14992:2003.

Yiu et al (2005) comentam que o processo de envelhecimento de sistemas de revestimento cerâmico raramente é estudado ao mesmo tempo que os efeitos do intemperismo são considerados como uma das principais causas dos defeitos nesse revestimento.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos desta pesquisa são divididos em objetivo principal e objetivos secundários.

1.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal da pesquisa consiste em avaliar a influência do intemperismo na durabilidade e desempenho das argamassas de rejuntamento.

1.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários da pesquisa são:

- a) avaliar o efeito dos fatores controláveis (fabricante e cor das argamassas, aplicação de tratamento superficial e tipo de exposição) sobre as variáveis de resposta, quais sejam: alteração cromática, absorção de água por capilaridade, resistência à abrasão e permeabilidade ao vapor com e sem envelhecimento das argamassas;
- b) avaliar o efeito do período de exposição ao intemperismo sobre a alteração cromática;
- c) avaliar o uso da câmara de intemperismo como ensaio acelerado para degradação de argamassas de rejuntamento.

1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

São limitações desta pesquisa:

- a) argamassas de rejuntamento de base cimentícia e industrializada, segundo classificação tipo II da ABNT NBR 14992:2003;
- b) tamanho do corpo de prova limitado ao espaço do simulador ambiental.

1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

São delimitações desta pesquisa:

- a) avaliação de três fabricantes encontrados em Porto Alegre/RS, porém com fabricação em vários locais do país;
- b) a exposição natural restringe-se à cidade de Porto Alegre/RS;
- c) envelhecimento artificial realizado através de radiação ultravioleta e umidade por condensação em simulador ambiental;
- d) argamassas de cor branco, cinza e preto. Argamassas com pigmentos coloridos como azul e verde escuro não foram encontradas no comércio local.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A pesquisa está estruturada em 7 capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, o problema de pesquisa, bem como os objetivos, as limitações e delimitações da pesquisa e a estrutura do trabalho. No segundo capítulo “DEGRADAÇÃO E AGENTES AMBIENTAIS” são relatadas o fenômeno e o agente das degradações em materiais cimentícios, bem como as formas de avaliar o envelhecimento dos materiais.

O capítulo 3 “ARGAMASSAS DE REJUNTAMENTO” apresenta sucintamente os objetivos das juntas de assentamento em sistemas de revestimento com placas aderidas, lista os principais componentes dessas argamassas, apresenta propriedades e requisitos com ênfase para características que serão analisadas nessa pesquisa, aponta as possíveis manifestações patológicas que podem alterar a durabilidade dos sistemas de revestimento em função de problemas nas juntas, bem como aponta os requisitos de durabilidade, algumas formas de manutenção e métodos de conservação a fim de evitar o decréscimo de desempenho.

O capítulo 4 “PROGRAMA EXPERIMENTAL” apresenta o planejamento do experimento, bem como os materiais e métodos empregados para realização dos ensaios envolvidos. Por fim, o capítulo 5 “APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS” apresenta e analisa os resultados obtidos e no capítulo 6 “CONSIDERAÇÕES FINAIS” são descritas as conclusões da pesquisa e as sugestões de trabalhos futuros.

2 DEGRADAÇÃO E AGENTES AMBIENTAIS

No caso das construções civis, a origem dos agentes de degradação pode estar no meio ambiente (clima, poluição, ventos, componentes do ar), no carregamento da construção, em agentes biológicos (fungos, bactérias, roedores e vegetais), no uso (desgaste por abrasão e impactos) ou pela incompatibilidade de materiais de um mesmo componente, como reação álcali-agregado (JOHN; SATO, 2006).

De acordo com Parham (1997), a degradação está associada às alterações nos materiais devido à ação da chuva, vento e sol. Nesse contexto, John e Sato (2006) comentam que os agentes ambientais presentes na atmosfera são determinantes na degradação de materiais utilizados em fachadas a partir de reações químicas, processos físicos ou mecânicos, causando perda de desempenho dos produtos. Figueiredo (2010) acrescenta que o nível de degradação depende, também, da estrutura atômica e molecular, das propriedades físicas, químicas e mecânicas, bem como das condições de fabricação dos componentes.

Uma parte considerável da destruição física e da degradação química dos materiais são causadas pelas intempéries através da ação de agentes agressivos como as radiações ultravioletas (UV), a temperatura e a umidade (FRAGATA et al., 2010). O intemperismo é definido pela soma de processos de natureza física e química concomitantes, sendo que a prevalência de um sobre o outro depende das condições atmosféricas. Em rochas, esses processos culminam, respectivamente, na desintegração física (mecânica) e na decomposição química das rochas e dos minerais. A desintegração física é resultado da quebra mecânica/fraturamento, enquanto a degradação química ocorre pelas reações de oxidação, hidrólise e hidratação entre os minerais e a água ou com componentes transportados em solução. A solubilidade dos constituintes minerais e a porosidade controlam essas reações químicas (FRASCÁ, 2010).

Para os materiais cerâmicos em geral (incluindo concretos e argamassas), as consequências da degradação vão desde descoloramento, escamações, fissurações, perda parcial ou total das propriedades mecânicas a partir de agentes como umidade e alta temperatura, que são os de maior impacto na degradação desses materiais. No caso de polímeros, a degradação ocorre

através do rompimento das ligações moleculares que ocorrem devido à exposição ao calor e às radiações ou devido à ação de alguns agentes químicos (FIGUEIREDO, 2010).

Em função da sinergia entre os fatores ambientais, a ação combinada entre eles é maior do que a soma, caso fosse possível, das degradações que cada um pode gerar de forma isolada. Poluentes atmosféricos podem causar danos graves quando combinados com radiações e outros fatores climáticos. Na presença de dióxido de enxofre e de oxigênio, por exemplo, os raios ultravioletas são responsáveis pela rápida descoloração de superfícies pigmentadas (FRIED¹, 2003; MILLS², 1993 apud RIBEIRO et al., 2009). Corroborando com os autores, Rocha et al. (2007) afirmam que o efeito combinado entre radiação, umidade e temperatura provoca maior degradação em tintas do ponto de vista de cor e brilho do que o efeito isolado da radiação. Além desses agentes climáticos, a ação da poluição também é um agente que contribui para o efeito da corrosão atmosférica.

No caso de revestimentos externos, o sistema está totalmente vulnerável aos efeitos do intemperismo, colaborando significativamente para a degradação do sistema. Simpson e Horrobin³ (1970, apud Yiu et al., 2007) citam temperatura, umidade, vento, radiação solar e pressão do ar como os principais fatores que afetam os revestimentos em cerâmica. Parhman (1997) cita que um dos primeiros estágios de deterioração de fachadas são as alterações cromáticas da superfície (manchas ou descoloração), ou seja, o primeiro impacto de deterioração é visual.

2.1 TEMPERATURA E RADIAÇÃO

Temperatura e a radiação eletromagnética emitida pelo Sol são os principais fatores que agem sobre os revestimentos externos gerando degradação. De acordo com Lima (2011), maiores temperaturas antecipam a degradação, uma vez que aceleram as reações químicas ligadas a essa degradação. A alta temperatura é capaz de alterar a estrutura do material cerâmico, já que o calor pode provocar solicitações internas e, por consequência, resultar em fissuração e desagregação do material (FIGUEIREDO, 2010). Lima (2011) afirma que as radiações

¹ FRIED, J. R. *Polymer science and technology*. Pearson, 2003.

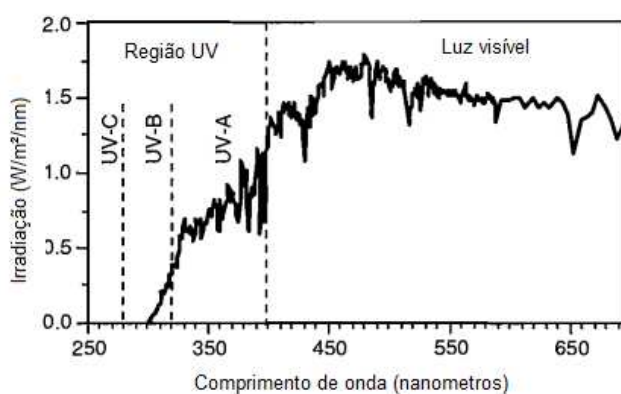
² MILLS, N. J. *Plastics: microstructure, properties and applications*. Halsted Press, 1986.

³ SIMPSON, J. W.; HORROBIN, P. J. **The weathering and performance of building materials**. Wiley-Interscience, 1970.

presentes na luz solar, de forma isolada, não afetam as estruturas de concreto, porém deve-se considerar o desempenho de sistemas de proteção, como vernizes, silicones e tintas, que são diretamente afetados pela radiação solar.

A deterioração da superfície pode estar associada à exposição direta à luz do sol que, através das radiações UV, alteram tintas e revestimentos externos (GASPAR; BRITO, 2008). A energia eletromagnética do sol é dividida em luz visível, região da radiação ultravioleta e energia infravermelha, sendo que o CIE – International Commission on Illumination – subdivide a região UV em três sub-regiões de acordo com o comprimento de onda. A figura 1 apresenta o espectro da luz solar ao meio dia na cidade de Ohio (BRENNAN; FEDOR, 1988).

Figura 1 – espectro da radiação solar ao meio dia em Ohio



(fonte: BRENNAN; FEDOR, 1988)

Grossman⁴ (1981, apud Brennan; Fedor, 1988), relata os efeitos dos diferentes níveis da radiação ultravioleta de acordo com o comprimento de onda:

- a) UV-A (400 a 315 nm): causa danos em polímeros;
- b) UV-B (315 a 280 nm): inclui os menores comprimentos de onda encontrados na superfície da Terra; responsável por danos severos em polímeros; absorvido por vidros;
- c) UV-C (280 a 100 nm): encontrado apenas no espaço, uma vez que são filtrados pela atmosfera da Terra; germicida.

⁴ GROSSMAN, D. M. **Know your enemy: the weather and how to reproduce it in the laboratory.** Brit. Ink Maker, v. 24, n. 1, p. 21-8, 1981.

As lâmpadas UVA e UVB são capazes de simular um percentual de irradiância nas faixas UV e de luz visível conforme o quadro 1.

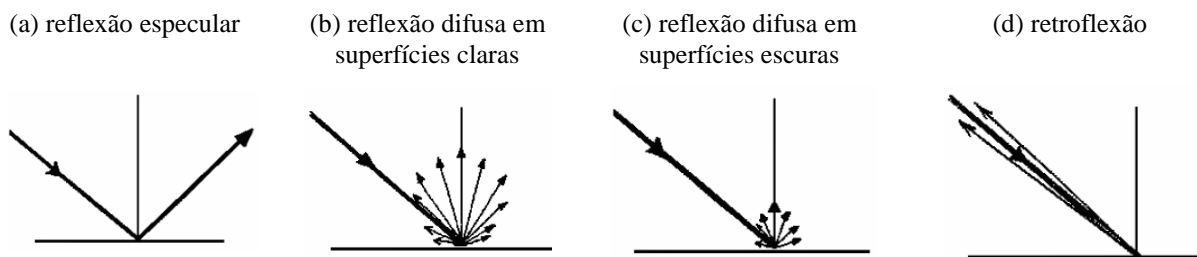
Quadro 1 - % irradiância sobre o total da região UV e visível para cada tipo de lâmpada

| Faixa (nm) | UVA-340 (%) | UVB-313 (%) |
|------------|-------------|-------------|
| 300-400 | 87,3 | 88,5 |
| 401-700 | 12,7 | 11,5 |

(fonte: ABNT NBR 15380:2015)

A temperatura que um material atinge depende, além da natureza e das propriedades de condução eletromagnética, da capacidade dele refletir os raios solares. De acordo com o CIE (2007), existem três tipos básicos de reflexão: (a) especular: em que o raio solar não se espalha e a reflexão é espelhada em relação a direção da fonte, por exemplo, superfície molhada (figura 2a); (b) difusa: dispersa a luz em todas as direções, como é o caso de uma superfície opaca, bem como superfícies claras (figura 2b). Apesar da distribuição da luz difusa ser a mesma, superfícies de cores brancas espalham as reflexões mais longe do que as superfícies pretas, uma vez que as superfícies pretas absorvem uma grande quantidade de luz (figura 2c); (c) retroreflexão: caso em que a luz incidente volta em direção à fonte, com um pequeno espalhamento (figura 2d).

Figura 2 – reflexão da luz em diferentes superfícies



(fonte: CIE, 2007)

Dessa forma, a temperatura da superfície externa de um material é função da temperatura do ar acrescida do efeito da absorção de radiação solar pelo material (QUINTELA, 2006). Esse aumento depende do coeficiente de absorção solar que, por sua vez, depende da capacidade de um material absorver um percentual da incidência de radiação solar (ASTM C 1472, 2010). O quadro 2 apresenta alguns coeficientes de absorção solar para materiais de construção.

Quadro 2 - Coeficientes de absorção solar para alguns materiais de construção

| Material | Coeficiente de absorção solar |
|--|--------------------------------------|
| Concreto (não pigmentado) | 0,65 |
| Tijolo | 0,50-0,70 |
| Tijolo vermelho | 0,65-0,85 |
| Tijolo branco | 0,25-0,50 |
| Pintura vermelho escuro, marrom ou verde | 0,65-0,85 |
| Pintura em preto | 0,85-0,98 |
| pintura em branco | 0,23-0,49 |

(fonte: ASTM C 1472, 2010)

2.2 UMIDADE

A umidade é um dos mais importantes agentes de deterioração em construções uma vez que, independente da fonte, está envolvida em: corrosão eletromecânica de componentes metálicos, deterioração química e dissolução de materiais como revestimentos em gesso, telhas, madeiras, bem como participa de processos químicos como carbonatação e reação álcali-agregado; deterioração de concreto, argamassa e rochas devido ao congelamento e descongelamento em locais com ocorrência de nevascas; descoloração e manchamento de fachadas; alterações de volume (expansão, retração, empenamento) que causam desde degradações estéticas até falhas estruturais; crescimento de organismos biológicos como mofo, plantas e ácaros (STRAUBE, 2002).

Corroborando, a norma NBR 15575 define a água como:

o principal agente de degradação de um amplo grupo de materiais de construção. Ela está presente no solo, na atmosfera, nos sistemas e procedimentos de higiene da habitação e, portanto, em contato permanente com alguns de seus elementos ou sistemas.

O controle adequado da umidade em uma edificação habitacional ou sistema é a chave para o controle de muitas manifestações patológicas que abreviam a vida útil, reduzindo seu valor de uso e de troca de uma habitação.

Maranhão et al. (2007) também apontam a água como o agente de degradação mais atuante em função das alterações que causa nas propriedades mecânicas e térmicas dos materiais bem como em alterações de cor das superfícies.

A água por si só pode causar problemas de durabilidade através de expansão, transporte de sais ou hidrólise (decomposição de um composto químico pela presença de água). Além disso,

ela é capaz de solubilizar produtos químicos atmosféricos como sulfatos, nitratos, cloretos e dióxido de carbono e transformá-los em ácidos destrutivos. Esses contaminantes carregados pela água escurecem as superfícies e podem alterar a textura através de abrasão, corrosão ou desgaste devido ao intemperismo (MCGETTIGAN, 1995).

A presença de umidade/água e mecanismos de transporte em materiais cimentícios propicia a troca de água e substâncias com o meio ambiente, resultando em reações de degradação (LIMA, 2011). Além disso, a absorção de água dissolve os sais presentes que são lixiviados até a superfície e cristalizam através da eflorescência que afeta a estética e pode ocasionar degradação superficial, bem como posterior descolamento e queda do revestimento (FIGUEIREDO, 2010).

2.3 ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO

Avaliar e quantificar o nível de degradação de um material exposto às condições do meio em que será utilizado colabora na previsão de desempenho e, portanto, determina possibilidades de uso desse material em uma construção. Essa avaliação pode ser considerada de caráter obrigatório, uma vez que a vida útil das edificações é da ordem de décadas e envolve um elevado poder de aquisição e de manutenção.

Nesse sentido, John e Sato (2006) citam os ensaios de envelhecimento acelerado ou natural e estudos de campo como estratégia para prever a durabilidade de um produto de construção. Quintela (2006) aconselha o uso de ensaios combinados uma vez que os ensaios de longa duração auxiliam na aferição dos ensaios de envelhecimento acelerado para que representem a realidade das situações em serviço.

Para acompanhar o efeito dos agentes na degradação é necessário o uso de um indicador que permita a mensuração de uma característica ao longo do tempo descrevendo a variação do desempenho de um material. Normalmente, utilizam-se indicadores como variação de cor e de brilho, bem como variação de propriedades mecânicas como, por exemplo, alterações de rugosidade e perda de massa (JOHN; SATO, 2006).

2.3.1 Exposição natural

Uma das maneiras de obter dados de desempenho de materiais é através da exposição em meio natural, podendo ser urbano, rural, marítimo, dependendo da atmosfera a qual se

pretende submeter tal material ou componente. Trata-se de um ensaio lento, porém com a vantagem de ser mais realista em relação ao ambiente no qual será exposto com suas condições climáticas específicas.

John e Sato (2006) relatam que o envelhecimento de materiais em meio natural é uma técnica difundida internacionalmente em estudos de corrosão, carbonatação, polímeros e tintas, sendo normalmente expostos em corpos de prova de pequenas dimensões orientados de forma a maximizar a exposição à radiação solar. Kresse (1992) afirma que ensaios de exposição ambiental são essenciais para avaliar a estabilidade em relação aos agentes climáticos e a resistência ao desbotamento de pigmentos frente à incidência de luz. Sempre que possível, a exposição deve ocorrer em vários locais já que esse é um fator significativo nas alterações das propriedades dos materiais.

De acordo com John e Sato (2006), em ambiente natural ocorre a presença de diferentes fatores como temperatura, radiação solar (em várias faixas), umidade, vento, pH da chuva, partículas no ar e concentração de poluentes, sendo que em estações de envelhecimento esses fatores são monitorados ao longo do período de avaliação. Dentre as desvantagens desse ensaio os autores relatam as seguintes: (1) não envolve os fatores de degradação devido ao uso; (2) não considera a interação entre os diversos materiais e componentes da construção; (3) a sinergia entre os agentes de degradação causa dificuldades na interpretação dos resultados nesse tipo de envelhecimento.

De acordo com a norma de tintas e vernizes BS EN 927 – materiais de tratamento e sistemas de tratamento de madeira externa – Parte 3: teste de intemperismo natural – a exposição deve ser realizada em suportes inclinados no ângulo de 45° e orientados para o ponto cardinal de maior período de insolação durante 12 meses para avaliar a durabilidade dos tratamentos através dos seguintes ensaios: alteração de cor, perda de brilho, formação de bolhas, presença de descamação, craqueamento, calcificação e crescimento de fungos, bem como a capacidade de adesão da tinta.

2.3.2 Exposição artificial

Os ensaios de envelhecimento acelerado ocorrem em laboratório, de forma artificial, com simulação dos agentes de degradação em intensidade muito superior às que ocorrem durante as condições normais de uso. Esse tipo de ensaio dificulta a extrapolação das conclusões para as situações reais de uso, uma vez que as condições simuladas, além de não englobar todas as

condições ambientais, podem introduzir alterações nos mecanismos de degradação (JOHN; SATO, 2006). No entanto, avaliar o comportamento dos materiais ao longo de sua vida útil é de difícil prática por demandar elevado tempo de avaliação. Rocha et al. (2007), por exemplo, realizaram uma pesquisa com diferentes tipos de tintas expostas à atmosfera de La Paz e Santa Cruz, na Bolívia, por três anos e algumas propriedades não foram afetadas, não sendo possível averiguar possíveis manifestações patológicas como corrosão e descamação.

Torna-se importante e justificável o uso de ensaios que simulem o meio a que os materiais estão submetidos, uma vez que o uso de metodologias que aceleram artificialmente as condições ambientais podem vir ao encontro de minimizar o tempo despendido em pesquisas e obter respostas com maior brevidade quanto ao real desempenho dos produtos inseridos no mercado e que, muitas vezes, possuem uma rotatividade elevada.

Para materiais cimentícios, uma das desvantagens está associada ao fato de que a hidratação ocorre ao longo do tempo e, caso o ensaio acelerado ocorra em idades em que a hidratação ainda não ocorreu completamente, o ganho de resistência mecânica pode compensar a perda devido à degradação (JOHN; SATO, 2006). Dessa forma, o método mais apropriado para gerar envelhecimento acelerado depende da natureza e do uso a que se pretende expor o produto e, em geral, busca-se simular as condições reais de degradação acelerando os fatores (QUINTELA, 2006).

Outra desvantagem relacionada ao uso de câmaras de envelhecimento acelerado diz respeito à dificuldade de reproduzir as condições ambientais, já que os fenômenos da natureza não são constantes ao longo do tempo (Fragata et al., 2010). Outro ponto negativo, ainda, é que nem sempre os resultados das simulações artificiais poderão ser transformados em idade de vida útil ou extrapolados, ao menos não de forma genérica, uma vez que se realiza uma simplificação das condições do ambiente natural no qual o material está aplicado. Porém, a comparação entre materiais envelhecidos artificialmente pode ser uma boa orientação para especificações (GNECCO, 2009; KAZMIERCZAK, 2011).

Ainda assim, segundo Ribeiro et al. (2009):

Embora seja preferível ter informações factuais sobre o real desempenho de um material aplicado em condições externas ao longo de sua vida útil, uma previsão fiável de durabilidade, por meio de testes de envelhecimento artificial, tem sido reconhecida como um substituto necessário na maioria dos casos para uma aplicação confiante de materiais poliméricos.

No caso de ensaios laboratoriais, a dificuldade está em simular todos os agentes de degradação (umidade, vento, sol, chuva, névoa salina, gases poluentes, poeiras, agentes biológicos) em um único ensaio. Portanto, o comum é realizar ensaios separados para avaliar a agressividade de cada agente ou de forma combinada (GNECCO, 2009). Atualmente há uma gama de dispositivos que simulam as intempéries e proporcionam envelhecimento acelerado aos materiais poliméricos, como as fontes de luz artificiais (nos modelos de arco de carbono, arco de xenônio, iodetos metálicos ou lâmpadas fluorescentes) que tentam reproduzir os efeitos da luz solar e as câmaras de testes de corrosão que simulam ambientes altamente agressivos de locais marítimos. As mais modernas câmaras, chamadas *weatherometer* permitem que se combine e controle níveis de poluentes atmosféricos, radiação UV, temperatura e os efeitos da água (RIBEIRO et al., 2009).

As câmaras mais utilizadas para simular a exposição de tintas ao intemperismo acelerado são as *weatherometer* e a câmara de ultravioleta com umidade. A primeira trata-se de um tambor que gira em torno de lâmpadas gás xenônio (espectro semelhante a luz do sol ao meio dia do verão) de forma contínua e a cada 102 minutos ocorre pulverização de água por 18 minutos. Já a câmara de radiação ultravioleta com umidade é padronizada pela norma ASTM G-154⁵. Além das oito lâmpadas UVA ou UVB, essa câmara consiste em uma bandeja de armazenamento de água e sistema de ventilação de forma que o ar ambiente resfria ao passar pela face oposta em relação à temperatura interna, provocando condensação na face principal (GNECCO, 2009). No Brasil, a norma NBR 15380 descreve esse dispositivo para ensaios de intemperismo em tintas para edificações (ABNT, 2015).

As câmaras de intemperismo acelerado do tipo luz fluorescente (UVA ou UVB) e umidade reproduzem danos causados pela luz solar, chuva e orvalho ao longo de anos de exposição ambiental através de testes em ciclos, sendo que os principais danos correspondem à alteração de cor, brilho e redução da intensidade do corante (MAGALHÃES, 2008). Frascá (2010) comenta o uso desse ensaio também para a avaliação da fotodegradação em resinas aplicadas sobre rochas de aplicação em revestimentos externos.

Em estudo de avaliação de tintas, Fragata et al. (2010) compararam ensaios em câmara de envelhecimento acelerado com raios UVA e UVB e constataram maior agressividade dos

⁵ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **G154**: Standard practice for operating fluorescent ultraviolet (UV) lamp apparatus for exposure of nonmetallic materials. West Conshohocken, 2012.

raios UVB para um mesmo período de exposição. Isso ocorre pela maior energia associada a esses raios que possuem menor comprimento de onda (quadro 3). O uso desse tipo de lâmpada traz a vantagem de respostas mais rápidas na avaliação de resinas, pigmentos e aditivos. No entanto, a utilização de lâmpadas no comprimento de onda dos raios UVA proporciona melhor simulação da realidade quanto ao mecanismo de agressão quando comparados com a exposição ao ambiente natural.

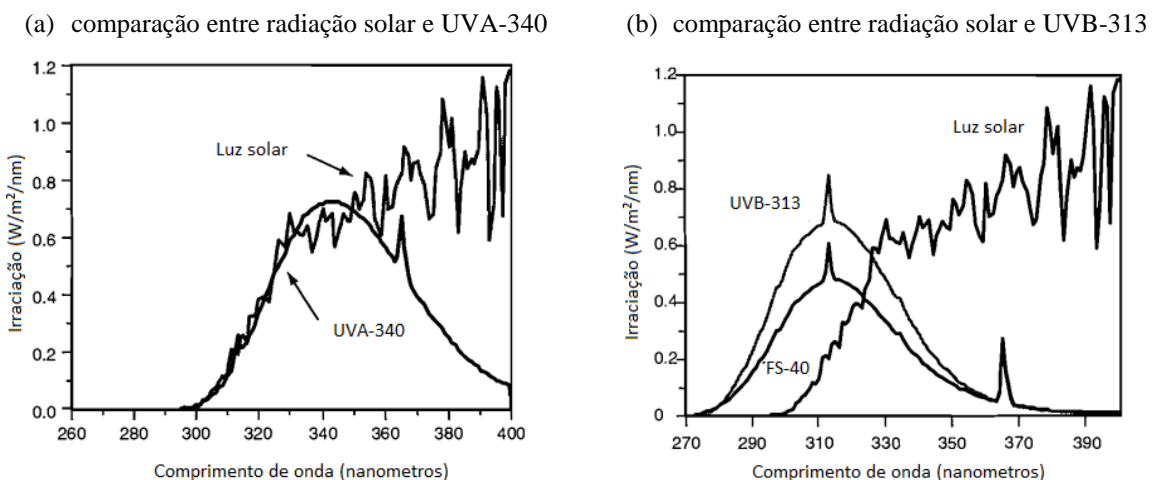
Quadro 3 – % irradiância sobre o total da região UV (260nm a 400nm) para cada tipo de lâmpada

| Faixa (nm) | UVA-340 (%) | UVB-313 (%) |
|------------|-------------|-------------|
| 260-270 | 0 | <0,1 |
| 271-280 | 0 | 0,1-0,7 |
| 281-290 | 0 | 3,2-4,4 |
| 291-300 | <0,2 | 10,7-13,7 |
| 301-320 | 6,2-8,6 | 38,0-44,6 |
| 321-340 | 27,1-30,7 | 25,5-30,9 |
| 341-360 | 34,2-35,4 | 7,7-10,7 |
| 361-380 | 19,5-23,7 | 2,5-5,5 |
| 381-400 | 6,6-7,8 | 0,0-1,5 |

(fonte: ABNT NBR 15380:2015)

A comparação entre o espectro da radiação solar e da radiação emitida pelas lâmpadas UVA e UVB comumente utilizadas em simuladores ambientais é representada na figura 3. De acordo com Brennan e Fedor (1988), as lâmpadas UVA apresentam boa correlação com a luz solar entre os comprimentos de onda 295 nm e 370 nm.

Figura 3 – Espectro da radiação solar e das lâmpadas fluorescentes UVA e UVB



(fonte: ASTM G154/2006; ABNT NBR 15380:2015)

Com relação aos ciclos de funcionamento das câmaras, Gnecco (2009) relata que a combinação mais utilizada trata-se do ciclo com 4 horas de irradiação UV a 70° C e 4 horas de umidade a 40°C. A norma ASTM D4587 apresenta quatro ciclos diferentes em função do uso de superfícies pintadas (quadro 4).

Quadro 4 – Ciclos recomendados pela ASTM D4587

| Ciclo | Descrição | T (°C) | Uso tradicional |
|--------------|------------------|---------------|--|
| 1 | 8h UV | 70 | Revestimentos automotivos |
| | 4h condensação | 50 | |
| 2 | 4h UV | 60 | Revestimentos de manutenção industrial |
| | 4h condensação | 50 | |
| 3 | 4h UV | 60 | Revestimento externo em madeira |
| | 20h condensação | 50 | |
| 4 | 8h UV | 60 | Revestimentos metálicos em geral |
| | 4h condensação | 50 | |

(fonte: ASTM D4587)

A parte 5 da norma NBR 15575 trata dos requisitos para os sistemas de cobertura e prevê o critério de estabilidade de cor de telhas como forma de avaliação da durabilidade do sistema. A referida norma indica exposição acelerada por 1600 horas em câmara de arco xenônio (ASTM G155) com corpos de prova submetidos a ciclos de 11,5 horas de ação das lâmpadas e 30 minutos de lâmpadas concomitante à aspersão de água. A norma brasileira de tintas para edificações NBR 15380 aponta o uso de diferentes ciclos para o uso de lâmpadas UVA e UVB, conforme quadro 5.

Quadro 5 – Condições de envelhecimento acelerado de acordo com a NBR 15380

| Lâmpada | Ciclo | Condição | t (h) | T (°C) |
|----------------|--------------|---------------------|--------------|---------------|
| UVA | 1 | UVA-340 | 8 | 60 |
| | 2 | Umidade condensação | 4 | 50 |
| UVB | 1 | UVB-313 | 4 | 60 |
| | 2 | Umidade condensação | 4 | 50 |

(fonte: ABNT NBR 15380:2015)

A norma britânica BS EN 1015-21 define os ensaios de permeabilidade à água de argamassas monocamadas aplicadas em substratos após ciclos térmicos e ciclos de umidade/temperatura, de acordo com o quadro 6.

Quadro 6 – Condições de cada ciclo de envelhecimento acelerado de acordo com a BS EN 1015-21

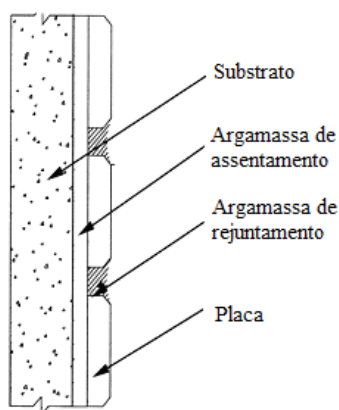
| Etapa | Efeito | Dispositivo | T (°C) | Umidade | Tempo |
|--------------|-----------------|----------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Série 1 | | | | | |
| 1 | Calor | Radiação infravermelho | | - | 8h ± 15 min |
| 2 | Condição padrão | | 60°C ± 2°C | 65% ± 5% | 30 min ± 2 min |
| 3 | Gelo | Congelador | 20°C ± 2°C | - | 15h ± 15 min |
| 4 | Condição padrão | | - 15°C + 1°C | 65% ± 5% | 30 min ± 2 min |
| Série 2 | | | | | |
| 1 | Umidade | Cps imersos em 5mm de água | 20°C ± 1°C | - | 8h ± 15 min |
| 2 | Condição padrão | - | 20°C ± 2°C | 65% ± 5% | 30 min ± 2 min |
| 3 | Gelo | Congelador | - 15°C + 1°C | - | 15h ± 15 min |
| 4 | Condição padrão | - | 20°C + 2°C | 65% ± 5% | 30 min ± 2 min |

(fonte: BS EN 1015-21:2002)

3 ARGAMASSA DE REJUNTAMENTO

Dentre os métodos construtivos para sistemas de revestimentos, o mais tradicional é o tipo aderido, principalmente quando se trata de placas cerâmicas. Nesse método, as placas são aderidas ao substrato através das argamassas de assentamento e o preenchimento das juntas é realizado com argamassa de rejuntamento (GOLDBERG, 1994). Logo, por desempenhar suas funções totalmente aderido, trata-se de um conjunto composto por placas, substrato, uma camada de fixação das placas no substrato e material de rejuntamento para selar os espaços entre as placas, conforme esboço da figura 4 (CHEW, 1999).

Figura 4 – Perfil típico de sistema de revestimento cerâmico aderido



(fonte: CHEW, 1999)

A interação dos componentes do sistema deve atender às funções de um sistema de revestimento. No caso de um revestimento externo, segundo a NBR 13755:1996, o sistema deve exercer as seguintes funções: “[...] proteger a edificação da ação de chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação conjunta do vento e partículas sólidas, bem como dar acabamento estético.”. Dessa forma, a camada de acabamento de um sistema de revestimento deve contribuir para a resistência aos choques, bem como impermeabilizar o sistema sem perder excessivamente a capacidade de permeabilidade ao vapor de água (MALANHO, 2011).

No caso de revestimentos cerâmicos, a durabilidade do sistema diz respeito, basicamente, à componente placa cerâmica por ocupar a maior parte de um pano, sendo que esse elemento possui elevada resistência em relação à ação de agentes ambientais agressivos (RIBEIRO, 2006). Isso porque os avanços tecnológicos na indústria têm produzido placas cerâmicas

vitrificadas de baixa absorção, em grandes tamanhos e com alta resistência à flexão. Essa baixa absorção não apenas garante que a água não infiltre através das placas, mas também aumenta a resistência a ciclos de gelo/degelo, a eflorescências e ciclos de molhagem/secagem por longos períodos (GOLDBERG, 1994). Frente a esse nível de resistência química e mecânica das placas cerâmicas, as juntas de assentamento acabam por ser o ponto mais vulnerável do sistema. Dessa forma, as juntas de colocação de placas devem atender, de acordo com o Instituto de Promoción de la Cerámica de Castellón – IPC (2008), às seguintes funções:

- a) função mecânica: dissipar tensões no nível do revestimento;
- b) capacidade de difusão de vapor de água: na migração de vapor de água entre superfícies com diferentes pressões de vapor, a junta é o caminho para tal expulsão uma vez que as placas cerâmicas são impermeáveis ao vapor de água. Além disso, facilita, também, a evaporação da umidade da argamassa de assentamento;
- c) absorção dos desvios dimensionais das placas;
- d) contribuição à modularidade do revestimento.

Além das funções acima descritas, as juntas têm o importante papel de absorver as deformações da placa de revestimento (ROMAN et al., 2000). No entanto, é válido salientar que não é função da junta de assentamento absorver deformações de grande magnitude advindas de outros subsistemas, como no caso da fluência da estrutura (JUNGINGER et al., 2002). Os mesmos autores ainda comentam que a presença das juntas facilita a manutenção (no caso de necessidade de troca de peças), possibilita diferentes combinações estéticas e realiza a vedação do revestimento, ou seja, evita que a água e agentes nocivos alcancem o tardo da placa cerâmica. Junginger (2003) comenta, também, que as juntas têm o objetivo de estabelecer regularidade superficial sendo essa função de maior importância no caso de pisos, já que a realização de um acabamento frisado pode deixar as bordas das placas suscetíveis a impactos gerados no tráfego.

Para atender ao desempenho do sistema, o material de preenchimento das juntas de assentamento deve ser compatível às funções apresentadas. Sendo assim, Feres (2004) comenta que os maiores objetivos da argamassa de rejuntamento dizem respeito ao acabamento estético e viabilização da durabilidade do revestimento cerâmico. De acordo com

Chew (2010), o material utilizado para selar a junta entre as placas deve exercer a prevenção de infiltração de água.

A norma para revestimentos externos em cerâmica no Brasil NBR 13755, apesar de não apontar todas as opções existentes atualmente, apresenta algumas possibilidades de materiais para preenchimento das juntas de assentamento (ABNT, 1996):

Pode-se empregar uma mistura de cimento Portland e agregados de mistura fina, podendo ser preparada no canteiro da obra ou ser industrializada.

Em função das condições ambientais e/ou exigências de desempenho, o material para rejuntamento pode ser à base de: cimento e agregados; cimento; agregado e látex; resina epóxi ou resina furânica.

A ISO 13007-3 define argamassa de rejuntamento como algum produto adequado para preencher as juntas entre todos os tipos de placa e classifica as argamassas de rejuntamento de acordo com a formulação: cimentícia (mistura de agentes de ligação hidráulica, agregados, aditivos orgânicos ou inorgânicos) ou resina de reação (mistura simples ou multicomponente de resinas sintéticas, agregados, aditivos orgânicos ou inorgânicos em que o endurecimento ocorre por reação química).

No Brasil, a norma relacionada ao material de preenchimento das juntas de revestimentos cerâmicos (ABNT NBR 14992:2003) tem pouco mais de 10 anos e trata-se de um assunto pouco explorado em pesquisas no país quando comparado ao uso e grande aceitação desse tipo de revestimento no mercado nacional. Apesar da elevada utilização, nem a técnica executiva nem as especificações em norma são completamente dominadas e as falhas ligadas ao produto e à execução das juntas de assentamento ainda representam um percentual expressivo das manifestações patológicas ligadas ao sistema de revestimento cerâmico.

Apesar da norma brasileira comentar que apresenta requisitos para argamassas de rejuntamento de acordo com a aplicação, restringe-se a definir dois tipos de uso em que o tráfego, a presença de água e o tamanho do painel revestido são os quesitos de maior diferencial entre eles: tráfego intenso e uso em presença de água estanque (tipo II) ou tráfego não intenso em painéis de até 20 m² para piso e 18 m² para parede (tipo I). A referida norma também cita que o uso das argamassas em ambientes agressivos necessita de consulta aos fabricantes, ou seja, ainda não há especificações quanto ao tipo de argamassa adequada para cada aplicação.

Além disso, vale citar que a norma brasileira trata apenas de argamassas à base de cimento Portland, tornando-a limitada frente à diversidade de produtos oferecidos no mercado (acrílico e epóxi) e que podem ter características mais adequadas para determinados fins ao mesmo tempo em que essas lacunas dão margem à produção de produtos que não atendem as expectativas dos usuários, já que os parâmetros de qualidade são definidos pelos próprios fabricantes. Em outros países, as normas abrangem um maior número de ensaios, como medidas da capacidade de deformação da argamassa, resistência química e à abrasão, entre outros. O quadro 7 apresenta as diferenças entre a norma brasileira e as normas internacionais ISO e americana ANSI.

Quadro 7 – Comparação entre normas quanto aos requisitos para argamassas de rejuntamento

| Propriedades | ANSI | ISO | ABNT |
|-----------------------------------|-------------|------------|-------------|
| Retenção de água | | | X |
| Varição dimensional | X | X | X |
| Resistência à compressão | X | X | X |
| Resistência à tração na flexão | X | X | X |
| Absorção de água por capilaridade | X | X | X |
| Permeabilidade | | | X |
| Resistência à abrasão | | X | |
| Resistência química | | X | |
| Índice de consistência | X | | |
| Absorção de água por imersão | X | X | |
| Módulo de deformação | X | X | |

(fonte: adaptado de FERES, 2004)

3.1 COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REJUNTAMENTO

Historicamente, a formulação mais comum de materiais de preenchimento de juntas tratava-se do uso de cimento nas cores cinza e branco e, em alguns casos, misturado a algum produto como o alvaiade (JUNGINGER, 2003). No entanto, as pastas de cimento não devem ser utilizadas em revestimentos externos em função das grandes movimentações quando expostos a ciclos de molhagem/secagem que acabam por resultar em microfissuras (GOLDBERG,1998). Chew (2010) cita que argamassas de cimento são frequentemente utilizadas devido ao baixo custo, porém as argamassas modificadas com polímeros ganharam popularidade uma vez que, quando bem formuladas, apresentam boa trabalhabilidade, baixa retração, adequada adesão às laterais da placa e elevada durabilidade.

Atualmente, prepondera o uso das argamassas do tipo industrializadas que trazem a vantagem de formulação prévia – ou seja, resta apenas a adição de água em canteiro – melhorando significativamente o processo construtivo. De acordo com Quintela (2006), com essa tecnologia, as argamassas são dosadas com precisão até para os constituintes em baixo teor, como aditivos, adequando os traços de forma a apresentarem características para aplicações específicas.

De acordo com os fabricantes, a composição das argamassas de rejuntamento industrializadas são misturas de cimento Portland, agregados minerais, aditivos químicos, polímeros e pigmentos inorgânicos. Segundo Rocha-Gomes e Alvarez (2007), a fabricação das argamassas de rejuntamento resume-se ao proporcionamento e mistura de materiais já industrializados, sendo que cada componente da mistura possui sua respectiva função: (a) cimento Portland: resistência; (b) carbonatos: cargas; (c) hidroxipropil metil celulose: ligante; (d) lignossulfonatos: dispersantes; (e) estearato de zinco: hidrofugante; (f) polímeros: plasticidade; (g) fungicidas: combate a fungos; (h) pigmentos: coloração.

As concentrações e teores de cada componente são informações sigilosas de cada fabricante (JUNGINGER et al., 2002; ROCHA-GOMES; ALVAREZ, 2007). Ao realizar uma análise ambiental da produção de argamassas de rejuntamento no estado do Espírito Santo, Rocha-Gomes (2008) identificou que, em média, 95% da massa das misturas correspondem a cimento Portland e carbonato de cálcio. De acordo com Magalhães (2008), a proporção de aglomerante das argamassas de rejuntamento é de, aproximadamente, 25% a 30%. Já os aditivos retentores de água, hidrofugante e incorporador de ar geralmente possuem a mesma proporção independentemente do tipo e indicação do rejunte, ao contrário dos polímeros que são dosados em função do uso da argamassa. A granulometria do agregado varia em função da largura das juntas, apesar de alguns fabricantes optarem por comercializar um único produto para rejuntar juntas entre 2 a 10 mm.

3.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland é composto de clínquer (nas fases silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico e ferroaluminato tetracálcico), sulfato de cálcio, filer calcário e materiais pozolânicos (cinza volante, sílica ativa, argila calcinada e escórias). É considerado um aglomerante hidráulico porque, em mistura com água, é capaz de ligar os materiais com a formação de produtos hidratados e desenvolver resistência mecânica gradativamente. Essa

reação ocorre a partir de cada fase do clínquer que possui um mecanismo e uma cinética de reação diferenciada e depende, também, das condições de temperatura e pressão, em função da temperatura acelerar as reações. Parte da água de mistura é consumida durante a hidratação e o excesso é evaporado deixando vazios, poros e capilares (CINCOTTO, 2011).

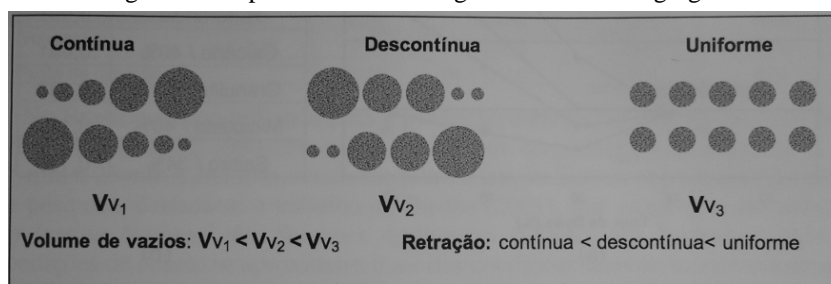
De acordo com Carasek (2010), o elevado consumo de cimento Portland leva a um traço muito rico possibilitando a geração de argamassas de alta rigidez que apresentem, no estado endurecido, manifestações patológicas como retração, fissuração e descolamento. Já o uso de um proporcionamento pobre em cimento leva à desagregação das argamassas.

3.1.2 Agregados

De acordo com Carasek (2010), os agregados possuem significativa influência sobre as características e o comportamento das argamassas no estado fresco e endurecido. Sendo que, em geral, empregam-se areias naturais constituídas basicamente de quartzo ou artificiais oriundas da britagem de rochas como calcário e dolomito (carbonato de cálcio e magnésio). Farias e Palmeira (2010) relatam que partículas de agregado de um mesmo tamanho raramente são utilizados na composição de argamassas e concretos a não ser que se busque um elemento permeável. Isso porque essa configuração propicia maior quantidade de vazios internos com baixa estabilidade.

Segundo Tristão (1995), areias classificadas com coeficiente de uniformidade médio a desuniforme, resultam em argamassas com menor volume de vazios do que areias muito uniformes (figura 5). Além disso, quanto maior o coeficiente de uniformidade da areia, menor a exsudação de água. Por fim, Tristão (1995) recomenda o uso de areias de granulometria contínua avaliando através do coeficiente de uniformidade em conjunto com o módulo de finura.

Figura 5 – Aspectos referentes à granulometria de agregados



(fonte: CARASEK, 2010)

Do ponto de vista de formato dos agregados, os angulosos resultam em maior resistência devido ao melhor entrosamento das partículas, porém são responsáveis, também, pelo aumento no consumo de água para a mesma trabalhabilidade. A textura também influencia na resistência e na aderência do agregado com a pasta de cimento, sendo que agregados mais ásperos promovem maior aderência (FARIAS; PALMEIRA, 2010).

3.1.3 Pigmentos

Outra característica diretamente ligada à nova formulação de argamassas de rejuntamento é a possibilidade de uma paleta de cores, que, anteriormente, restringia-se, praticamente, a branco e cinza – dependendo do tipo de cimento utilizado, ou dependia da adição de corante/pigmentos à massa *in loco*. No quadro 8 são apresentados os principais pigmentos para atender a diferentes cores.

Quadro 8 – Formulação química dos principais pigmentos

| Cor | Nome | Fórmula química |
|----------|--------------------------|---|
| Vermelho | Óxido de ferro vermelho | Fe_2O_3 |
| Amarelo | Óxido de ferro amarelo | FeOOH |
| | Amarelo resistente à luz | $(\text{Ti}, \text{Ni}, \text{Sb}) \text{O}_2$ |
| | Amarelo resistente à luz | $(\text{Ti}, \text{Cr}, \text{Sb}) \text{O}_2$ |
| Verde | Óxido de cromo verde | Cr_2O_3 |
| | Verde de cobalto | $(\text{Co}, \text{Ni}, \text{Zn})_2(\text{Ti}, \text{Al})\text{O}_4$ |
| Azul | Azul de cobalto | $\text{Co}(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_4 / \text{CoAl}_2\text{O}_4$ |
| Marrom | Óxido de ferro marrom | Fe_3O_4 |
| Preto | Óxido de ferro preto | $\text{FeOOH} / \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$ |
| Branco | Dióxido de titânico | TiO_2 |

(fonte: KRESSE, 1992)

De acordo com Loh (2010), o comportamento dos pigmentos depende de características como cristalinidade, tamanho e formato dos grãos, propriedades superficiais e estrutura química. No caso de tintas, a morfologia, a cor e o teor dos pigmentos são parâmetros que influenciam no aspecto da pintura. Cabe ressaltar que nem todos os pigmentos são adequados para colorir argamassas e concretos. Após estudos de avaliação de pigmentos em concretos com ensaios laboratoriais de acordo com a norma DIN 53237⁶, todos os pigmentos tiveram bom

⁶ DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. 53237: Pigments; pigments for colouration of building materials based on cement or lime; requirements and test methods. Berlin, 1992.

desempenho, no entanto, apenas os pigmentos a base de óxido de ferro resistiram às condições de exposição ambiental (KRESSE, 1992).

Bondioli (1998) e Assis (2009) relatam que os pigmentos a base de óxidos de ferro são os mais aplicados pois abrangem uma vasta gama de cores entre o amarelo e o marrom, apresentam baixo custo, capacidade pigmentante, estabilidade e baixa toxicidade. Com relação aos óxidos de ferro naturais, o aspecto negativo está relacionado à baixa reprodutibilidade de cor, já que a fonte de onde são extraídos (variação do tipo e da concentração de Fe_2O_3) interfere nas propriedades.

Os pigmentos inorgânicos dióxido de titânio (em função do elevado índice de refração) e o óxido de zinco são os mais utilizados na formulação de tintas de cores claras. Apesar do alto poder de reflexão dos pigmentos de cor branca na faixa visível da radiação, geralmente esses pigmentos não apresentam elevado poder de reflexão na região do infravermelho, ao contrário de alguns pigmentos coloridos. É comum, também, o uso de cargas claras e inertes a fim de diminuir o custo como, por exemplo, os carbonatos de cálcio e carbonato de cálcio e magnésio, bem como silicato de magnésio e silicato de alumínio hidratado (caulim). (LOH, 2010). O dióxido de titânio possui efeito autolimpante devido à ação hidrofílica da superfície quando exposta a radiações UV (PEREIRA et al., 2009).

Kresse (1992) defende que não é apenas o uso de pigmentos que influencia a alteração de cor após envelhecimento. Em seus estudos, realizados com simulação em ambiente marinho na Alemanha, concretos com a menor concentração de pigmento sofreram maiores variações de cor, ou seja, ao observar, em seus estudos, que as maiores diferenças de cor foram verificadas em concretos não pigmentados, o autor aponta para o fato de que a descoloração se deve, também, ao envelhecimento da pasta de cimento endurecida.

Assim como a cor, a trabalhabilidade da massa também é influenciada pelo uso de pigmentos. Dessa forma, características como resistência, retração por secagem e durabilidade de compósitos cimentícios podem ser alteradas devido à finura e ao formato das partículas (BRUCE; ROWE, 1992; LEE et al., 2005). Por outro lado, em alguns casos, a elevada finura do pigmento melhora o empacotamento de traços de concreto e, portanto, majora a resistência à compressão, sendo que esse resultado é mais perceptível em misturas com relações a/c mais elevadas. Além disso é preciso atentar, ainda, para o fato de que, além das possíveis modificações na microestrutura de concretos, o uso de pigmentos está associado a elementos

de uso aparente e, portanto, devem ser analisados do ponto de vista de durabilidade (PIOVESAN, 2009).

Com relação ao formato das partículas, Lee et al. (2005) verificaram que os pigmentos de cor preto, verde e vermelho possuem partículas de forma esférica enquanto o pigmento amarelo possui partículas de forma alongada (agulha). Bruce e Rowe (1992) acrescentam que os pigmentos vermelho e marrom escuro também possuem formato esférico.

Dessa forma, a adição de pigmentos em argamassas e concretos requer maiores quantidades de água para uma mesma trabalhabilidade em função da sua elevada finura (mais fino que o cimento). Essa perda de trabalhabilidade é acentuada em pigmentos cujas partículas possuem formato de agulha, como é o caso dos pigmentos de cor amarela (LEE et al., 2005; BRUCE; ROWE, 1992). Sendo assim, há uma possibilidade de alteração na durabilidade e provável redução na performance de parâmetros como resistência à abrasão e intemperismo físico e químico por conta do aumento da relação água/cimento (BRUCE; ROWE, 1992). Ainda sobre a relação água/cimento, Veit e Könnecke (2000) apontam o clareamento das amostras que possuem maior relação água/cimento, necessitando que seja uma relação fixa ao longo da produção de artefatos cimentícios.

Piovesan (2009), ao avaliar a durabilidade de concretos pigmentados, quando analisadas as influências do tipo e do percentual de adição de pigmentos nas cores verde e vermelho, não constatou efeitos significativos desses fatores sobre a propriedade de absorção de água por capilaridade.

3.1.4 Aditivos

A tecnologia de uso de aditivos em argamassas incorpora vantagens uma vez que a composição convencional (cimento, areia e cal) forma, em geral, uma argamassa de baixa qualidade (facilmente desagregável e de baixa resistência) por não ter a capacidade de reter a água de amassamento, ou seja, a água é perdida para o meio muito rapidamente apesar do auxílio da cal (ROCHA-GOMES, 2008). A incorporação dessa tecnologia em argamassas de rejuntamento possibilitou uma melhora significativa nos seguintes aspectos: estabilidade de cor, resistência a manchas, baixa retração, baixa absorção de água, alta resistência de aderência, flexibilidade, capacidade de aplicação em juntas estreitas e largas, superfície lisa e de fácil limpeza, dureza apropriada, resistência à abrasão, entre outros (FERES, 2004).

O uso de polímeros em forma de pó dispersivo tem a capacidade de acrescentar qualidades como trabalhabilidade e retenção de água (ou seja, não há evaporação prematura da água de amassamento) das argamassas de rejuntamento. É importante ressaltar que quando uma argamassa modificada por polímeros for utilizada em regiões externas, os aditivos devem ser dosados especificamente para esse fim (GOLDBERG, 1998).

Segundo Quintela (2006), em geral, as argamassas diminuem a capilaridade através da incorporação de aditivos hidrofugantes, incorporador de ar e plastificantes (através da diminuição da relação a/c). De acordo com o código BS 5385-2, aditivos, normalmente na forma de dispersivos aquosos, podem ser incorporados em argamassas de rejuntamento de base cimentícia para aumentar a adesão nas laterais da placa, melhorar a resiliência e reduzir a permeabilidade à água no estado endurecido (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2006).

Os aditivos retentores de água são frequentemente utilizados de forma a melhorar a trabalhabilidade através da dispersão das partículas sólidas em meio aquoso (em função do mecanismo eletrocinético associado a partículas em suspensão ocorre repulsão entre as partículas) e da ação como agentes tensoativos diminuindo a tensão superficial da água para lubrificar a mistura (AGUILAR, 2010). Uma das características mais alteradas pela inserção de aditivos é a capacidade de deformação da argamassa de rejuntamento. De acordo com Junginger et al. (2002), a flexibilidade aumentou em até 400% quando aditivos do tipo SBR (borracha de estireno-butadieno) foram adicionados à mistura. Além disso, observaram que a relação polímero/cimento tem influência significativa no comportamento final da mistura.

Apesar de não citarem o tipo de polímero utilizado, estudos realizados por Bauer e Rago (1997) comprovam o aumento da retenção de água na argamassa de rejuntamento no estado fresco e a diminuição do módulo de deformação no estado endurecido com o aumento do teor de polímeros, sendo que os percentuais testados foram de 4, 8 e 12% em argamassas preparadas em laboratório. De acordo com estudos realizados por Paes e Carasek (2002), as argamassas de rejunte comercialmente denominadas “flexíveis”, melhoram o desempenho de revestimentos cerâmicos frente a ciclos de variação térmica e permitem o uso de juntas de menor espessura, principalmente em fachadas ensolaradas, uma vez que os painéis ensaiados com esse tipo de argamassa não apresentaram sintomas de descolamento da placa ao substrato (som cavo), nem fissuras nas placas cerâmicas, e obtiveram melhores resultados de aderência à tração.

3.2 PROPRIEDADES E REQUISITOS

Uma vez definidas as funções das juntas de assentamento, é necessário atentar para as propriedades vinculadas às argamassas de rejuntamento de forma a atender tais funções, bem como garantir a durabilidade frente às condições ambientais, agressões físicas e químicas a que estão expostas. De acordo com o IPC (2008), a durabilidade do material frente a tais agentes depende, principalmente, das condições da argamassa e da sua superfície como resistência à abrasão, absorção de água, resistência química, resistência ao manchamento e resistência ao crescimento de fungos.

Dentre as propriedades que fazem com que uma argamassa de rejuntamento apresente bom desempenho, estão (SILVESTRE; BRITO, 2005; PINHEIRO et al., 2006; CHEW, 2010): impermeabilidade; resistência à água, calor, agentes de limpeza e produtos químicos; resistência ao crescimento de fungos e bactérias; resiliência e resistência à compressão; resistência à água em alta pressão no caso de limpeza; compatibilidade com o substrato.

Apesar da necessidade da propriedade de impermeabilidade, juntas de material cimentício sempre terão algum nível de permeabilidade. Dessa forma, materiais de base epóxi ou selantes à base de silicone ou poliuretano são mais adequados para essa finalidade (GOLDBERG, 1998). Corroborando, a CBIC (2013) comenta que pisos cerâmicos, em rocha, entre outros, poderão ser considerados “estanques” quando forem aplicados sobre sistema de impermeabilização ou ao utilizar rejuntas impermeáveis sem falhas de continuidade. Contudo, segundo Goldberg (1998), deve-se atentar, no caso de materiais impermeáveis, para a possibilidade de aprisionamento de vapor de água no interior da edificação, causando condensação e degradação do revestimento interno. Ou seja, o material de preenchimento das juntas deve também ser permeável ao vapor de água, uma vez que a placa cerâmica é um material impermeável e incapaz de realizar essa troca (SILVESTRE; BRITO, 2005).

O IPC (2008) apresenta as características da argamassa de rejuntamento vinculadas às funções das juntas de assentamento, ao desempenho da argamassa em si e à superfície da argamassa:

- a) solicitações inerentes às exigências mecânicas das juntas de assentamento:**
 - aderência às laterais da placa cerâmica; resistência aos esforços de tração;
 - resistência aos esforços de compressão; resistência aos esforços de flexão;
 - deformabilidade;

- b) características de comportamento do material de preenchimento:** absorção de água; retração; resistência à abrasão; capacidade de difusão do vapor de água; resistência à ciclos de gelo e degelo; resistência frente ao fogo; resistência a mudanças bruscas de temperatura;
- c) solicitações inerentes à superfície da argamassa:** resistência química; resistência ao manchamento; resistência ao crescimento de mofo (efeito fungicida); uniformidade de cor e textura;

Junginger et al. (2002) também comentam que a argamassa de rejuntamento deve ter a capacidade de manter as características originais de cor, textura e odor inalterados ao longo da vida útil. Nem todas as propriedades acima descritas têm exigências mínimas apontadas nas normas para materiais de rejuntamento. Apesar da norma européia EN 13888:2009 contemplar um maior número de propriedades em relação à norma brasileira NBR 14992:2003, o IPC (2008) alerta para a inexistência de parâmetros para a propriedade permeabilidade ao vapor de água. Bizzaglia (2010) também comenta que as normas ISO e ANSI não referenciam duas características cada vez mais importantes: resistência à manchas e consistência de cor. As tabelas 1 e 2 apresentam os valores mínimos para as propriedades contempladas nas normas brasileira e europeia, respectivamente.

Tabela 1 – Requisitos mínimos preconizados pela NBR 14992:2003 para diferentes propriedades em função do tipo de argamassa de rejuntamento

| Método/Propriedade | Unidade | Idade do ensaio | Tipo I | Tipo II |
|---|-------------------|------------------------|---------------|----------------|
| Retenção de água | Mm | 10 min | ≤ 75 | ≤ 65 |
| Varição dimensional | mm/m | 7 dias | ≤ 2 | ≤ 2 |
| Resistência à compressão | MPa | 14 dias | ≥ 8 | ≥ 10 |
| Resistência à tração na flexão | MPa | 7 dias | ≥ 2 | ≥ 3 |
| Absorção de água por capilaridade aos 300 min | g/cm ² | 28 dias | ≤ 0,60 | ≤ 0,3 |
| Permeabilidade aos 240 min | cm ³ | 28 dias | ≤ 2,0 | ≤ 1,0 |

(fonte: ABNT NBR 14992:2003)

Tabela 2 – Ensaio e requisitos preconizados pela norma EN 13888:2009

| Característica | Método de ensaio | Requisitos | |
|---|------------------|----------------------------|--------------------------|
| | | Cimentícia | Resina de reação |
| Resistência à abrasão | EN 12808-2 | $\leq 2\ 000\ \text{mm}^3$ | $\leq 250\ \text{mm}^3$ |
| Resistência à flexão após armazenamento a seco | EN 12808-3 | $\geq 2,5\ \text{N/mm}^2$ | $\geq 30\ \text{N/mm}^2$ |
| Resistência à flexão após ciclos de gelo/degelo | EN 12808-3 | $\geq 2,5\ \text{N/mm}^2$ | - |
| Resistência à compressão após armazenamento a seco | EN 12808-3 | $\geq 15\ \text{N/mm}^2$ | $\geq 45\ \text{N/mm}^2$ |
| Resistência à compressão após ciclos de gelo/degelo | EN 12808-3 | $\geq 15\ \text{N/mm}^2$ | - |
| Retração | EN 12808-4 | $\leq 3\ \text{mm/m}$ | $\leq 1,5\ \text{mm/m}$ |
| Absorção de água após 30 minutos | EN 12808-5 | $\leq 5\ \text{g}$ | - |
| Absorção de água após 240 minutos | EN 12808-5 | $\leq 10\ \text{g}$ | $\leq 0,1\ \text{g}$ |
| Resistência química | EN 12808-1 | - | - |

(fonte: BS EN 13888:2009)

A seguir, enfoque maior será dado na descrição das propriedades que serão avaliadas nesse trabalho, que são: resistência à abrasão, infiltração de água, permeabilidade ao vapor de água e manutenção da cor.

3.2.1 Resistência à abrasão

Abrasão e desgaste superficial são solicitações que exigem resistência mecânica do revestimento (ARAÚJO, 1995). Dessa forma, a propriedade está vinculada à resistência à compressão, ou seja, à relação água/cimento. No entanto, o consumo de cimento e os agregados também influenciam essa propriedade (RODRIGUES, 2011). Logo, a importância de avaliar essa propriedade está no fato de que, quando deficiente, acelera a degradação das argamassas (ALVES et al., 2010), já que a baixa resistência superficial está associada a algumas manifestações patológicas como pulverulência, desagregação e descamações que, por consequência, podem prejudicar a estanqueidade da argamassa (HONÓRIO; CARASEK, 2010).

Para o caso de argamassas de rejuntamento, essa propriedade é ainda mais importante quando aplicada em pisos devido ao desgaste por trânsito de pedestres ou de veículos. Portanto, o ensaio de resistência à abrasão visa verificar a resistência ao desgaste superficial sendo que, em geral, quanto maior essa resistência, menor a absorção de água do material por estar inversamente associada à resistência mecânica. Selmo (1989) cita o uso de finos de natureza argilosa e as dosagens de baixo consumo de aglomerante ou com excesso de areia fina e

presença de cal como alguns dos motivos que prejudicam a resistência à abrasão de argamassas.

Além disso, os agregados utilizados não devem conter partículas friáveis e devem ser bastante resistentes, como areias de quartzo, por exemplo (RIBEIRO, 2011), e quanto maior a ocorrência de exsudação, menor a resistência a abrasão (RODRIGUES, 2011). Conforme verificações de Magalhães (2008) em sua pesquisa, “o excesso de pigmento e/ou aditivo hidrorrepelente na formulação do rejunte é fator relevante para desencadear enfraquecimento da massa, devido principalmente, à maior pulverulência observada”.

O método de ensaio através do uso de abrasímetros proporciona a possibilidade do uso de diversas velocidades e períodos de rotação, que dependem do material a ser avaliado. A forma de medir a resistência ao desgaste superficial normalmente é através da perda de massa do material (GASTALDINI; SICHIERI, 2010). Dentre os materiais abrasivos para realização do desgaste, o óxido de alumínio (alumina) é um material cerâmico que possui grãos de elevada dureza e, quando aplicados para desbaste e abrasão de materiais não ferrosos, são encontrados na forma de lixas (BRAGANÇA; BERGMANN, 2010).

No Brasil, trata-se de um ensaio comumente realizado em placas cerâmicas, porém não é exigido para caracterização das argamassas de rejuntamento, ao contrário das normas internacionais como ISO⁷ e BSI⁸ que incluem a resistência à abrasão como um parâmetro para essas argamassas de rejuntamento.

A norma britânica BS EN 12808-2 descreve o ensaio de abrasão utilizando um corpo de prova em placa com as dimensões de 10cm x 10cm x 1cm. As unidades de amostra sofrem abrasão através de 50 rotações do aparato definido na ISO 10545-6 – Determinação da resistência à abrasão profunda de placas cerâmicas não esmaltadas. Tal aparato consiste em prender o corpo de prova tangente a um cilindro metálico rotativo e, enquanto um material abrasivo (óxido de alumínio) com tamanho de grão 80 é solto a uma razão de 200g/100 rotações, o cilindro opera a uma velocidade de 75 rot/min. Ao final, o comprimento da corda do rebaixo determinado pela abrasão na placa de argamassa é medido e transformado em volume.

⁷ ISO – International Organization for Standardization

⁸ BSI – British Standards Institution

3.2.2 Infiltração de água

A ação da capilaridade do material, seja de forma isolada ou em conjunto com algum nível de pressão externa, como o vento, ocasiona a absorção de água inicial. Na seqüência, ocorre a entrada simultânea das fases líquida e de vapor que dependem dos fenômenos de difusão e convecção, respectivamente, bem como a ação da capilaridade associada a gradientes externos de pressão (RATO, 2006). Dessa forma, para que a água permeie no revestimento além do estágio de absorção inicial, as seguintes condições são necessárias, simultaneamente (GARDEN⁹, 1963; DAVISON¹⁰, 1979 apud ARAÚJO, 1995):

- a) existência de uma lâmina de água (água da chuva);
- b) aberturas que permitam a passagem da água (poros, fissuras ou problemas construtivos);
- c) forças que façam com que a água permeie o material (ação da gravidade nas gotas da chuva somadas ao vento).

A norma britânica de determinação de absorção de água de argamassas de rejuntamento, EN 12808-5, descreve o ensaio que consiste em manter corpos de prova prismáticos (40 x 40 x 160 mm), com as laterais impermeabilizadas por selante, em lâmina de água de 5 a 10 mm de espessura. A absorção é definida pela diferença de massa entre os períodos pré e pós imersão durante 30 e 210 minutos (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2008).

A norma ABNT NBR 14992 diferencia os ensaios para determinação de absorção por capilaridade e de permeabilidade à água para argamassas de rejuntamento. O ensaio de absorção de água por capilaridade é similar ao ensaio descrito na norma britânica (acima citado), porém com diferenças nos seguintes aspectos: tamanho do corpo de prova, não impermeabilização das laterais com material selante e o tempo de ensaio (5 horas com medições a cada hora). Já o procedimento para determinação da permeabilidade à água, de acordo com essa norma, é realizado através de dispositivo graduado em vidro (tubo de *karsten*) que deve ser selado sobre o corpo de prova de formato cúbico. Deve-se encher o tubo de água até o nível determinado em 10 segundos e registrar a absorção de água em cm³ a cada

⁹ GARDEN, G. K. Rain penetration and its control. Ottawa, National Research Council of Canada, 1963.

¹⁰ DAVISON, J. I. Masonry Mortar. Ottawa, National Research Council of Canada, 1974.

60 minutos durante 4 horas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

De acordo com Bauer e Rago (2002) e Rocha-Gomes (2008), os resultados de ensaios de absorção de água por capilaridade e por permeabilidade realizados de acordo com a norma brasileira seguem uma mesma tendência, já que as argamassas que apresentaram maiores valores de permeabilidade de água também apresentaram maiores resultados de absorção pelo ensaio de capilaridade.

3.2.3 Permeabilidade ao vapor de água

A capacidade de difusão de vapor de água através da espessura dos materiais é uma propriedade importante para avaliação do desempenho de um sistema de revestimento externo. Isso porque, segundo Posser (2004), a existência de uma barreira ao fluxo faz com que o vapor de água condense no interior do material, gerando danos aos acabamentos. De acordo com Selmo (1989), o vapor de água permeia por difusão através dos condutos capilares dos materiais, elementos ou componentes da construção.

Trata-se de uma propriedade essencial especialmente em zonas de clima frio devido a necessidade de difusão do vapor de água da região interna até a face externa da edificação, a fim de evitar a condensação nos acabamentos. Sendo as placas cerâmicas de baixa absorção ou esmaltadas, o vapor de água fica obrigado a passar pelas juntas. Essa capacidade de difusão depende da composição da argamassa e da área de junta disponível. Sendo assim, as argamassas de rejuntamento de base cimentícia devem ser impermeáveis à água, porém permeáveis ao vapor (PORCAR, 2008).

A composição da argamassa influencia nessa propriedade de forma que as argamassas de cal são mais permeáveis ao vapor do que as argamassas cimentícias (POSSER, 1999; FARIAS et al., 2007). Além disso, Farias et al. (2007) constataram que a permeabilidade ao vapor está diretamente relacionada à porosidade aberta.

A norma europeia EN 12086 descreve o ensaio para determinação das propriedades de transmissão de vapor de água de produtos isolantes térmicos aplicados na construção civil (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2013). Para realização desse ensaio, a amostra, com pelo menos 50 cm², fica com a face externa exposta a um ambiente com condições climáticas definidas pela norma (as três possibilidades são apresentadas no

quadro 9) e a face interna permanece voltada para o interior de um recipiente que possui outra condição de umidade (definida por um sal ou dessecante). A permeabilidade ao vapor de água é definida pela equação 1.

Quadro 9 – Conjuntos de condições determinados pela norma EN 12086

| Conjunto | Condição | T (°C) | Umidade relativa (%) | |
|----------|------------|--------|----------------------|--------------|
| | | | Estado “seco” | Estado úmido |
| A | 23 – 0/50 | 23 | 0 | 50±3 |
| B | 23 – 0/85 | 23 | 0 | 85±3 |
| C | 23 – 50/93 | 23 | 50±3 | 93±3 |

(fonte: EN 12086/2013)

$$\delta = \frac{(m_2 - m_1) * d}{(t_2 - t_1) * A * \Delta p} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

δ : permeabilidade ao vapor de água [mg/mhPa]

$m_2 - m_1$: diferença de massa entre duas leituras após estabilização [mg]

d : espessura do corpo de prova [m]

$t_2 - t_1$: diferença de tempo entre duas leituras [h]

A : área do corpo de prova [m²]

Δp : diferença de pressão do vapor de água [Pa]

Malanho (2011) adaptou a norma citada no parágrafo anterior utilizando uma maquete de 95 x 65 mm do sistema ETICS¹¹ com acabamento cerâmico para analisar o desempenho e a influência das juntas de rejuntamento. Os resultados dessa pesquisa comprovam a importância do uso de juntas com largura suficiente para que permitam a saída do vapor de água nessa zona.

3.2.4 Manutenção da cor

A alteração da cor de uma argamassa, além do prejuízo estético, alerta para o envelhecimento do material (desbotamento) ou para a ocorrência de impregnação por presença de umidade juntamente à presença de microorganismos ou de contaminantes atmosféricos. Silvestre et al. (2005) corroboram relatando que alterações de cor da argamassa de rejuntamento podem

¹¹ ETICS: External Thermal Insulation Composite Systems

representar prejuízo das características iniciais e, por consequência, um decréscimo de desempenho do sistema de revestimento.

Segundo Magalhães (2008), a perda de cor em rejuntas pode ocorrer em função do uso de pigmentos orgânicos com baixa resistência às intempéries, principalmente insolação, ou pela migração dos finos do pigmento à superfície e posterior carreamento pela chuva ou por limpeza.

Ao avaliar a alteração cromática de concretos brancos após aplicação de produtos (verniz e hidrofugante) e ensaio de exposição ambiental (externa e internamente) por 90 dias, Passuello (2004) percebeu o aumento da brancura dos concretos expostos em ambiente interno, enquanto no ambiente externo esse efeito não foi tão verificado em função da presença de partículas de sujeira. Além disso, a autora associa esse efeito a um provável processo resultante da perda de umidade interna do concreto, uma vez que a hidratação é tênue após os 28 dias. Ou seja, os concretos do ambiente externo secaram mais rápido e passaram a perder a brancura enquanto os concretos expostos em ambiente interno permaneceram secando durante o período avaliado e, portanto, apresentavam maior brancura. A autora constatou, também, uma tendência dos concretos protegidos por verniz amarelarem quando expostos em ambiente externo, enquanto o produto hidrofugante apresentou bons resultados.

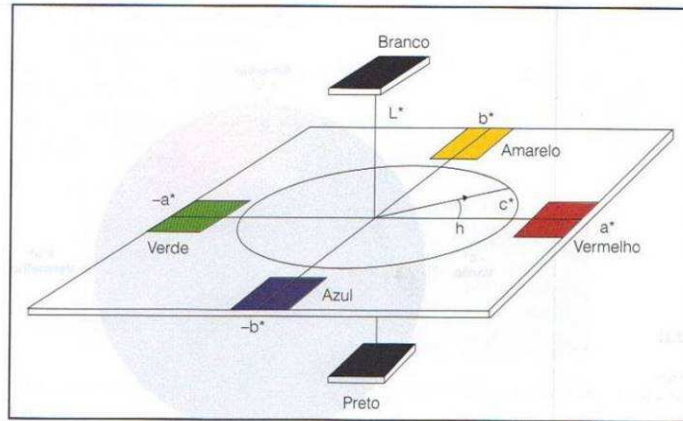
Para a verificação dessas alterações, a colorimetria se apresenta extremamente útil em materiais cimentícios coloridos por pigmentos (KRESSE, 1992). Dessa forma, a análise colorimétrica pode ser realizada através de instrumentos como densímetros de luz (através da medição da densidade de radiação), por meio de colorímetros ou espectrofotômetros. O instrumento mede os comprimentos de onda da cor entre 400 e 700 nm e, a partir de fórmulas, esse comprimento é transformado em coordenadas (SANTOS, QUINDICI; 2005). Tais medições devem ser padronizadas através do parâmetro geometria de medição que é representada pelo ângulo de incidência do feixe sobre a amostra bem como o ângulo com que a luz reflete da amostra para o receptor (PASSUELLO, 2004).

O sistema de cores CIE é o sistema internacional mais empregado para medição de cores. Trata-se de um sistema que representa as alterações em dois tipos de coordenadas cromáticas x, y e z (vermelho, verde e azul, respectivamente) ou coordenadas $L^*a^*b^*$, criado em 1976 (figura 6), em que:

L^* : eixo da luminosidade, varia de branco a preto;

a*: eixo que varia de vermelho a verde;
 b*: eixo que varia do amarelo ao azul.

Figura 6 – Espaço colorimétrico CIE L*a*b*



(fonte: SANTOS; QUINDICI, 2005)

Kresse (1992) comenta que a análise da alteração de cor causada pela exposição ao intemperismo através da variação do eixo luminosidade L* e do plano composto pelos eixos a* e b* pode ser muito complicada. Para tanto, a equação 2 representa a variação total de cor tridimensionalmente.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

$$\Delta L^* = L_2^* - L_1^*$$

$$\Delta a^* = a_2^* - a_1^*$$

$$\Delta b^* = b_2^* - b_1^*$$

De acordo com Gliese (2003), a indústria de tintas atribui faixas de variação total de cor (delta E) à possibilidade de percepção do olho humano, conforme quadro 10.

Quadro 10 – Percepção de diferença de cor utilizada na indústria de tintas

| ΔE^* | Percepção da diferença de cor |
|--------------|-------------------------------|
| <0,2 | Imperceptível |
| 0,2 a 0,5 | Muito pequena |
| 0,5 a 1,5 | Pequena |
| 1,5 a 3,0 | Distinguível |
| 3,0 a 6,0 | Facilmente distinguível |
| 6,0 a 12,0 | Grande |
| >12 | Muito grande |

(fonte: PETTER; GLIESE¹², 2000 apud VARELA, 2002)

A norma para avaliação do intemperismo natural sobre tratamentos superficiais aplicados em revestimentos de madeira EN 927-2:2000 especifica o ensaio de variação de cor no sistema de coordenadas colorimétricas CIELAB com iluminante D65 determinando a medição de 6 pontos de avaliação por corpo de prova.

3.3 DURABILIDADE E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Ao construir um sistema, espera-se que ele seja o mais duradouro possível frente ao uso em função do elevado investimento empregado. De acordo com Wetzel et al. (2012), um sistema de revestimento cerâmico durável requer bons materiais, aplicação profissional e condições climáticas ideais. Dessa forma, a norma brasileira de desempenho – NBR 15575 – recomenda que os valores de Vida Útil de Projeto (VUP) para os sistemas de revestimentos de piso e de fachada sejam de acordo com o nível de desempenho esperado (valores apresentados no quadro 11). No intuito de atender o tempo de vida útil previsto em cada nível de desempenho, é necessário atentar para os seguintes itens (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013):

- a) emprego de componentes e materiais de qualidade compatível com a VUP;
- b) execução com técnicas e métodos que possibilitem a obtenção da VUP;
- c) atendimento em sua totalidade dos programas de manutenção corretiva e preventiva;

¹² PETTER, C. O.; GLIESE, R. **Colorimetria Aplicada**. Porto Alegre: Laboratório de Processamento Mineral do Centro de Tecnologia da UFRGS, 2000. Apostila.

- d) atendimento aos cuidados preestabelecidos para se fazer um uso correto do edifício;
- e) utilização do edifício em concordância ao que foi previsto em projeto.

Quadro 11 – Vida útil de projeto associado a revestimentos

| Parte da edificação | VUP – Vida Útil de Projeto (anos) | | |
|---|-----------------------------------|---------------|--------|
| | Mínimo | Intermediário | Máximo |
| Revestimento de fachada aderido e não aderido | ≥ 20 | ≥ 25 | ≥ 30 |
| Piso interno e externo | ≥ 13 | ≥ 17 | ≥ 20 |

(fonte: NBR 15575:2013)

Apesar da norma não citar, deve-se considerar que o nível de exposição a que os elementos e componentes construtivos estão submetidos contribui para o desgaste, o envelhecimento e, em alguns casos, propiciam o surgimento de manifestações patológicas. Em geral, essas ocorrências são mais frequentes e intensas em revestimentos externos por serem atingidos pelas situações de contorno como incidência de raios UV, ventos, chuvas dirigidas e poluição atmosférica.

Nesse sentido, a preocupação com a durabilidade de sistemas aderentes tem sido maior para os sistemas de fachada devido às constantes perdas de aderência e consequente deslocamento colocando em risco a integridade física dos usuários da região no entorno do prédio. No entanto, em sistemas de piso a existência de problemas também pode colocar em risco a segurança dos usuários no momento em que placas descoladas e/ou soltas se configuram num obstáculo ao deslocamento seguro dos usuários.

Dentre as manifestações recorrentes em sistemas de revestimento cerâmico, Antunes (2010, grifo nosso) constatou que as de maior frequência em fachadas de prédios de Brasília são descolamento e deslocamento de placas cerâmicas, fissuração, **falhas de rejunte**, eflorescências e falhas de vedação na interface esquadria/alvenaria. De acordo com Rocha-Gomes (2008), constantemente, parte das causas de surgimento de manifestações patológicas no sistema de revestimento cerâmico está vinculada às argamassas de preenchimento das juntas de assentamento. Entre os possíveis problemas destacam-se a contaminação microbiológica, a descoloração e fissuras, com ou sem infiltração de água.

Corroborando, Silvestre e Brito (2005) vinculam parte da existência de manifestações patológicas em sistemas de revestimentos aderentes à deterioração dos materiais de preenchimento das juntas, já que algumas anomalias nesse material permitem a entrada de água pontual na camada de assentamento. O surgimento desse ponto de infiltração de água possibilitará o início da degradação de todo o sistema que, por consequência, ficará dependendo do nível de agressividade do ambiente em que está aplicado. A figura 7 aponta exemplos de manifestações patológicas diretamente associadas às juntas de assentamento.

Figura 7 – Manifestações patológicas em juntas de assentamento de revestimentos cerâmicos



(fonte: SILVESTRE; BRITO, 2005)

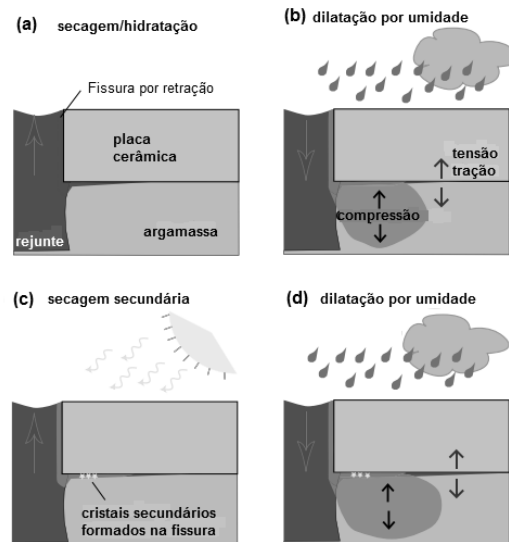
Sousa (2008) verificou que, entre 117 prédios de Lisboa, cerca de 84% das edificações apresentaram alguma manifestação patológica do tipo deterioração das juntas, seja representada por alteração de cor, deterioração sem perda de material (eflorescência e crescimento biológico) ou deterioração com perda de material (fissuração, descolamento e pulverulência), sendo que a degradação mais observada foi a alteração de cor dos rejuntas. É interessante acrescentar ainda que, nesta amostra, a frequência de ocorrência de manifestações patológicas em juntas é aproximadamente constante ao longo da idade dos revestimentos.

A presença de organismos biológicos está condicionada à presença de inúmeros fatores, no entanto, a precipitação é apontada como uma das principais fontes de umidade, especialmente em fachadas sul e leste (BARBAROUSE et al., 2006). De acordo com Rocha-Gomes (2008), as manifestações por contaminações biológicas em juntas de revestimento podem ser representadas pelo aparecimento de fungos, bactérias e mofo, causando manchamentos, alteração de cor e odor.

Outra manifestação de grande ocorrência são as fissurações em rejunte, que podem estar associadas às diferentes dilatações térmicas entre a placa cerâmica e a argamassa de preenchimento. Essa diferença de dilatação pode estar relacionada aos coeficientes de dilatação térmica (maior em placas cerâmicas), coeficientes de absorção de calor (que é função das cores) e com a espessura das juntas (MALANHO, 2011).

A partir de ensaios de exposição de protótipo de sistema de revestimento cerâmico durante dois anos, Wetzel et al. (2012) observaram a ocorrência de fissuras na argamassa de rejuntamento devido à contração e dilatação térmica, especialmente na interface com a placa cerâmica. A partir dessas fissuras, ocorre a entrada de água no sistema provocando a expansão da argamassa de assentamento e consequente geração de tensões devido ao aumento de volume por se tratar um material higroscópico. Na sequência ocorre a formação de minerais secundários internamente às fissuras, gerando novas tensões. Assim, o sistema vai enfraquecendo a cada ciclo de molhamento/secagem que, através da origem de tensões, propagam e alargam as fissuras (figura 8). Dessa forma, a movimentação térmica associada à percolação de água a cada ocorrência de chuva foram as principais causas de enfraquecimento do sistema placa/argamassa/substrato durante essa pesquisa.

Figura 8 – Processo de degradação do revestimento cerâmico com origem nas fissuras da argamassa de rejuntamento



(fonte: Wetzel et al., 2012)

Goldberg (1994) associa a possibilidade de fissuração dos rejuntos à três causas principais: (1) insuficiência estrutural do substrato e/ou da estrutura de suporte em resistir à pressão do vento e o peso próprio do sistema; (2) falta de acomodação da movimentação térmica, tanto da

estrutura quanto do revestimento ou (3) inapropriada seleção, mistura ou aplicação do material de preenchimento das juntas.

Dessa forma, a entrada de água pode ocorrer em função da presença de fissuração ou devido ao nível de permeabilidade inadequado da argamassa (Rocha-Gomes, 2008). Essa presença de umidade no revestimento cerâmico pode gerar manifestações patológicas, dentre elas (GOLDBERG, 1994):

- a) eflorescência: é o efeito mais comum da presença de umidade em revestimentos e apresenta um incômodo estético e de manutenção, porém, sem sérias consequências. Basicamente, ocorre pela penetração de água nas argamassas de rejuntamento e de assentamento e substratos cimentícios, dissolvendo sais solúveis presentes seja através do subproduto da hidratação do cimento ou originário da presença de contaminações de outras fontes como presença de sais na água ou na areia;
- b) cripto-eflorescência: em função do bloqueio gerado por superfícies tratadas com hidrofugantes a base de silicone, sais dissolvidos ficam presos atrás da placa ou da argamassa de rejuntamento enquanto o dióxido de carbono e a água evaporam através da superfície permeável ao vapor, permitindo a cristalização interna dos sais. Essas formações de sais exercem uma pressão maior que os cristais de gelo e podem causar fissuras e lascamento das placas e das juntas;
- c) lixiviação de látex: resíduo de borracha de cor esbranquiçada depositado sobre a face de placas que foram assentadas ou rejuntadas com argamassa de cimento Portland modificadas por aditivos polímeros do tipo látex, devido a exposição dessa argamassa a grandes quantidades de água ou devido a remistura após o início de cura;
- d) danos por gelo/degelo (menos importante para o Brasil): pode ocorrer em placas, argamassas de rejuntamento e de assentamento no qual a taxa de absorção sobre a massa é acima de 10%. Pressões internas causadas pela formação de cristais de gelo podem resultar em fissuras, estilhaçamento ou dano completo às placas cerâmicas;
- e) danos por ciclos de molhagem/secagem: os materiais do sistema de revestimento expandem e retraem com a alternância da presença de umidade.

Em geral, esse movimento é reversível e não suficiente para prejudicar a placa cerâmica ou a ligação da placa ao substrato. No entanto, o frequente molhamento pode causar permanente expansão dos materiais constituintes que produzem tensões de tração entre o substrato e a argamassa de assentamento da placa cerâmica. Contudo, em geral, essas tensões não são suficientes para provocar danos com argamassas de assentamento de baixo módulo de elasticidade, como é o caso das argamassas adesivas de cimento Portland e látex;

- f) corrosão de peças metálicas: utilizadas para ancorar ou suportar os sistemas de fachadas, já que componentes de aço inoxidável nem sempre são viáveis economicamente;
- g) condensação intersticial: trata-se da condensação de vapor de água nos espaços intersticiais. A condensação pode levar ao crescimento de bolor, odores nocivos e deterioração dos acabamentos da edificação. Outro fato mais importante é que o movimento de vapores de umidade através da parede e a sua restrição em locais inapropriados pode incorrer na acumulação de pressão de vapor e causar a deterioração e a delaminação das camadas impermeáveis, das juntas ou da própria placa cerâmica.

O mesmo autor alerta ainda para problemas que aparentam ser mais sutis, como umidade aprisionada, mas que podem ser igualmente perigosos e gerar problemas como expansão do substrato a longo prazo ou condensação no interior da parede.

3.4 CONSERVAÇÃO E MANUTENÇÃO

Como já comentado no capítulo anterior, pesquisas revelam que manifestações patológicas ligadas às juntas de assentamento costumam ocorrer em todas as idades das edificações (SOUSA, 2008). Tal fato pode determinar que as juntas de revestimentos possuem baixa durabilidade e são causa de constante averiguação de inconformidades no transcorrer da vida útil de um revestimento. De fato, o Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana – IHRU (2010), recomenda a revisão das juntas cerâmicas a cada dois anos e a NBR 15575-1 recomenda que o período de garantia da aderência de rejuntamentos seja de 1 ano para o nível de desempenho mínimo, de 1 ano e 3 meses (ou mais) para o nível intermediário e de 1 ano e 6 meses (ou mais) para o nível superior.

Para manter o revestimento, ações preventivas de conservação (como proteção) ou manutenção periódica são levadas em conta já em nível de projeto para que o sistema atinja o nível de vida útil especificado. Dentre as opções de conservação dos rejuntas, há a possibilidade de proteção assim que aplicado ou lavagens periódicas (com sabão neutro ou, em alguns casos, com soluções ácidas, apesar de não serem recomendadas pela possibilidade de originar manifestações patológicas). Caso não ocorram ações de manutenção, a última opção diz respeito à substituição do material de preenchimento. Em alguns casos tem sido uma escolha comum entre os profissionais especificar produtos para aplicação sobre fachadas e pisos a fim de criar uma camada de proteção.

No caso de fachadas, a principal motivação para o uso de produtos impermeabilizantes ou hidrofugantes refere-se à possibilidade de evitar a entrada de água no revestimento. Preferencialmente, o melhor comportamento diz respeito ao descolamento das gotas de água da chuva do nível do acabamento, inibindo, assim, a permanência de umidade na superfície. Dessa forma, Rojano et al. (2012) comentam a aplicação de produto selante incolor nas juntas, após endurecimento da argamassa, para evitar a infiltração de água.

McGettigan (1995) cita que produtos repelentes à água aumentam a durabilidade de materiais de construção, principalmente de argamassas e rochas naturais, e melhoram a função estética das superfícies no sentido de prevenirem descoloração e escurecimento devido aos contaminantes carregados pela água. Dessa forma, o uso de tratamentos em materiais porosos como concreto e argamassa reduz a infiltração de água no substrato através de poros e fissuras. Os tipos de tratamentos dependem do produto de ativação utilizado que podem ser formadores de filmes (em que o componente repelente é depositado na superfície) ou penetrantes (o repelente adentra a estrutura do poro e deposita o componente nas paredes do poro e/ou no próprio poro).

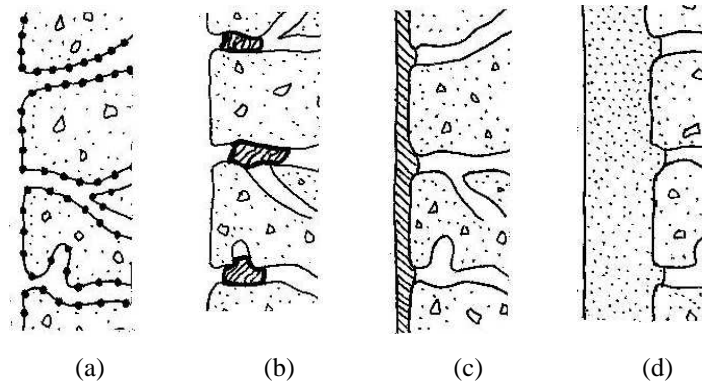
Kus (2002) também apresenta uma nomenclatura para os principais tipos de tratamentos superficiais ditos apropriados para aplicação em fachadas:

- a) impregnação da superfície com hidrofugantes à base de silicone, que modificam a tensão superficial sem fechar os poros da superfície (figura 9a);
- b) aplicação de produto cristalizante que bloqueia os poros (figura 9b);
- c) produtos impermeabilizantes como tintas, selantes e vernizes, formadores de película contínua sobre a superfície (figura 9c);

d) camada de argamassa especial com incorporação de aditivos que permitem a transmissão de vapor de água (figura 9d).

Dentre os tratamentos superficiais descritos acima, apenas os itens (a) e (d) permitem a difusão de vapor de água.

Figura 9 – Diferentes tratamentos superficiais: (a) hidrofugante; (b) bloqueio dos poros; (c) película impermeabilizante; (d) argamassa permeável ao vapor de água



(fonte: MAYS¹³, 1992 apud KUS, 2002)

Lima (1994) ainda acrescenta que os hidrofugantes, além de não impedirem a difusão de vapor de água, não alteram o brilho nem a cor do revestimento. Portanto, são indicados para aplicação sobre materiais porosos em que não se deseja a alteração visual.

McGettigan (1995) cita as resinas acrílicas, estearatos, cera mineral e resina de silicone como produtos formadores de filme. Já os produtos penetrantes comumente vendidos são os silicatos (de sódio), metil siliconatos (de sódio ou potássio), silanos e siloxanos. No Brasil, o uso de produtos hidrofugantes são comercializados dispersos em água e à base de acrílicos, poliuretanos e derivados de silicone. A aplicação desses produtos pode ser com spray ou pincel, quando as estruturas já estão prontas, ou por imersão no caso de peças pré-moldadas, como telhas cerâmicas (MARANHÃO et al., 2007).

O comportamento hidrofóbico dos produtos hidrofugantes, formulados à base de polímeros, caracteriza-se pelo fato das partículas do produto apresentarem valores de tensão superficial inferiores à água e ângulo de contato superior a 90°. Os produtos mais utilizados na construção civil são à base de silicone que, em função da tensão superficial ser menor que

¹³ MAYS, G., **Durability of concrete structures**: investigation, repair, protection. London: E&F Spon, 1992.

24mN/m, permite a cobertura dos poros do substrato sem formação de película (MARANHÃO; LOH, 2010).

Apesar de serem considerados produtos repelentes à água, até 1995 os silicatos de sódio não tinham eficiência comprovada, sendo que tanto esses quanto os silicatos de potássio reagem com o hidróxido de cálcio livre no concreto formando um precipitado insolúvel em água, não sendo recomendados para aplicação em alvenaria. Os produtos metil siliconatos ligam-se quimicamente à materiais contendo sílica, através de uma reação com dióxido de carbono. Eles fornecem um nível de repelência à água em substratos neutros, porém reagem muito lentamente com substratos alcalinos como argamassas (McGETTIGAN, 1995). Maranhão e Loh (2010) confirmam que os produtos à base de metil siliconatos promovem hidrorrepelência intermediária e que causam manchas quando aplicados sobre substratos úmidos devido à lenta reação em substratos alcalinos. Além disso, caracterizam-se por serem à base de água.

Os principais hidrofugantes à base de silicone utilizados no Brasil são (MARANHÃO; LOH, 2010):

- a) silanos: são os mais simples dos silicones [...] Esse tipo de material caracteriza-se por ser transparente, não formar filme, possuir baixa viscosidade e o menor tamanho de molécula entre os derivados de silicone [...] Um ponto negativo desses produtos é que os grupos alcóxi existentes volatizam durante a aplicação, fazendo com que uma importante parcela do material não seja aproveitada (em torno de 40% de sua massa inicial);
- b) siloxanos: [...] [possuem] menor teor de voláteis do que os silanos. Os siloxanos, comparativamente aos silanos, possuem uma energia superficial cerca de 10% inferior, uma maior reatividade e um menor tempo para formação da superfície hidrofóbica;
- d) silanos/siloxanos: produto proveniente pela mistura desses dois tipos de hidrofugantes. Hoje é o produto mais comercializado no país. Os produtos quando indicados para aplicação em granito, que possui menor quantidade e dimensão de poros, possuem uma predominância de silanos, enquanto que, em superfícies muito porosas, como as argamassas de revestimentos predominam os siloxanos. Até pouco tempo essa mistura era comercializada na base solvente e hoje na base aquosa, como emulsão. Os compostos de base solvente contêm na sua composição VOC (compostos orgânicos voláteis) que são substâncias potencialmente nocivas à saúde do trabalhador durante a aplicação do produto e causam maior impacto ao meio ambiente.

No entanto, a utilização de um tratamento que visa proteger e aumentar a vida útil do revestimento pode, também, deflagrar uma série de manifestações patológicas devido ao uso não orientado de tratamentos de proteção. Os problemas vão desde alteração de cor

(escurecimento, amarelamento) até processos de calcinação da superfície tratada (LIMA, 1994).

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir da revisão bibliográfica observou-se poucos estudos na área de argamassas de rejuntamento, sendo que, no Brasil, grande parte das produções ocorreram no período que antecedeu a publicação da norma de argamassas a base de cimento Portland (NBR 14992:2003). Após esse período, são poucos os estudos contemplando ensaios em argamassas de rejuntamento, limitados basicamente a Magalhães (2008) e Rocha-Gomes (2008). A área de avaliação de argamassas frente ao uso e às intempéries ainda é pouco pesquisada no país frente às publicações internacionais para vários materiais, sendo ainda menos usual para avaliação de materiais para juntas.

Para uso de ensaios de desempenho utilizando câmaras de intemperismo acelerado observa-se a necessidade de estudos que contemplem a correlação com as características climáticas das cidades, principalmente para complementar e viabilizar a norma de desempenho 15575.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

A seguir são apresentados o planejamento, os materiais e as metodologias utilizadas durante a elaboração dessa pesquisa experimental.

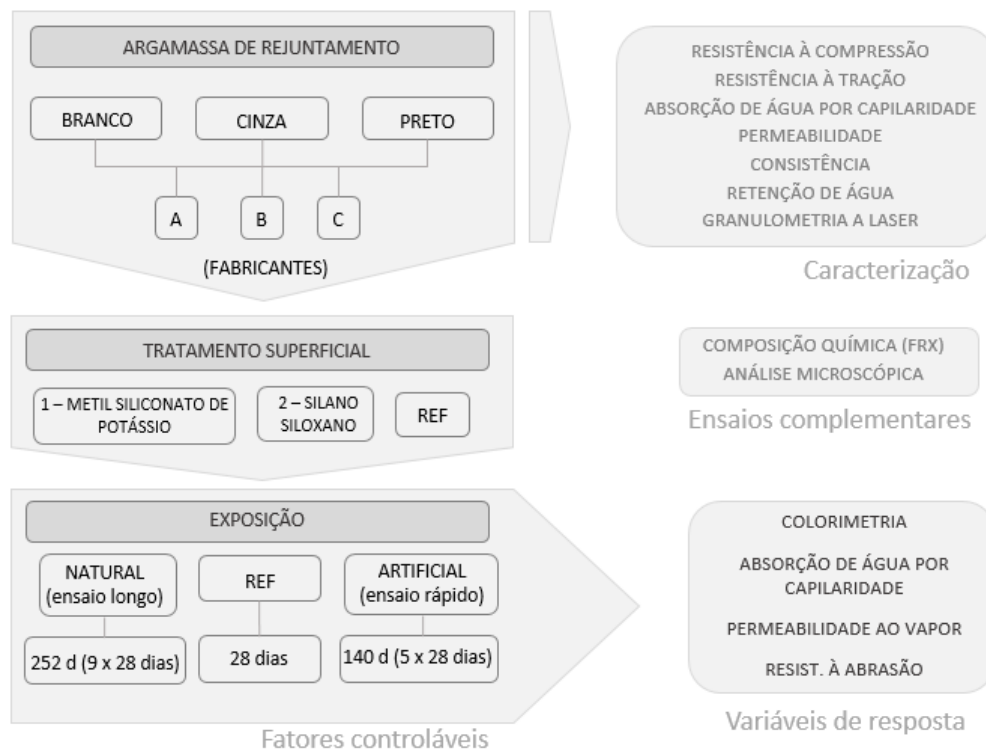
4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia utilizada para a realização dessa pesquisa é do tipo experimental por ser a que melhor se enquadra para avaliar as propriedades que influenciam no fenômeno de diminuição da vida útil dos materiais. Portanto, trata-se de uma pesquisa fatorial de quatro variáveis de resposta (variação cromática, resistência à abrasão, absorção de água por capilaridade e permeabilidade ao vapor) com as seguintes variáveis de influência: fabricante e cor da argamassa de rejuntamento, tratamento superficial de proteção aplicado sobre o rejunte no estado endurecido, tipo e período de exposição às intempéries (figura 10), sendo que a variável período de exposição foi influente apenas para a variação cromática uma vez que trata-se da única característica mensurada ao longo do tempo, ou seja, que acompanhou as fases de envelhecimento. Uma vez que as demais características necessitavam de corpos de prova de tamanhos diferentes ao utilizado na câmara de intemperismo, elas não foram avaliadas ao longo da exposição.

Optou-se por uma menor quantidade de níveis, com períodos mais espaçados, para o envelhecimento natural em função de que, inicialmente, previa-se que as análises no intervalo de um mês não proporcionariam a verificação de impactos visuais sobre as placas expostas a esse ambiente quando comparados ao envelhecimento acelerado. A fim de validar a influência do envelhecimento sobre as variáveis de resposta (cujos ensaios são destrutivos), foram moldadas placas de argamassa consideradas referência e que, portanto, não passaram por envelhecimento. Os ensaios nessas placas foram realizados a partir dos 28 dias de cura em ambiente laboratorial.

Como a argamassa utilizada é industrializada, alguns ensaios de caracterização da NBR 14992/2003 foram realizados, bem como os ensaios de índice de consistência, granulometria a laser e análise química. Para complementar a análise visual, as argamassas no estado endurecido foram avaliadas em microscópio óptico.

Figura 10 – Matriz experimental



4.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados nessa pesquisa são descritos abaixo com as informações comerciais fornecidas pelos fabricantes e ensaios de caracterização realizados durante a pesquisa sempre que pertinente.

4.2.1 Argamassa de rejuntamento

As argamassas de rejuntamento avaliadas nessa pesquisa são industrializadas e comercializadas como argamassas flexíveis à base de cimento Portland e, portanto, enquadram-se na norma NBR 14992:2003. Atualmente essas são as argamassas mais utilizadas, principalmente em uso externo, em função do melhor custo/benefício quando comparadas com argamassas de base epóxi, que, além do elevado valor, trata-se de um material pouco dominado pelo setor construtivo e de difícil aplicação. Além disso, o uso de argamassas convencionais ou pastas de cimento tem sido baixo no país nos últimos anos.

Como o estudo visa avaliar os efeitos do intemperismo, buscou-se argamassas industrializadas do tipo II¹⁴ por apresentarem melhores propriedades para uso externo. As cores escolhidas e a respectiva justificativa são apontadas a seguir:

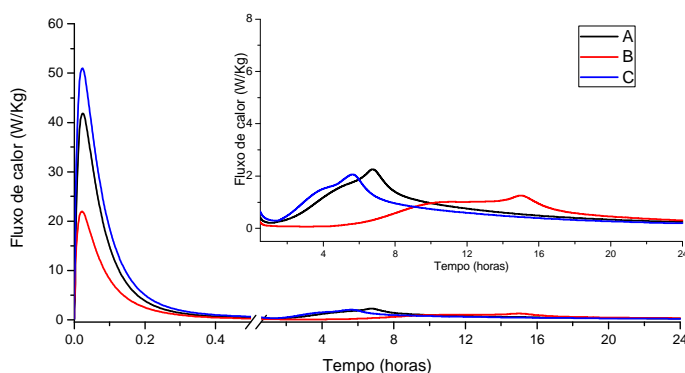
- 1) branco: pela facilidade de observar alterações cromáticas, pela possibilidade de verificação de amarelamento devido ao uso de tratamentos superficiais, e pela elevada aplicação;
- 2) cinza: pela elevada aplicação;
- 3) preto: por ser a cor com maior coeficiente de absorção solar e maior quantidade de pigmento incorporado à mistura.

Apesar dos produtos dos fabricantes A e B serem denominados e apresentados na cartela de cores como “preto”, tanto o material seco quanto a argamassa pós-mistura são, visivelmente, de cor marrom-escuro. A partir de observação em microscópio, observou-se o uso de pigmento azul nas argamassas de cor cinza e pigmento vermelho nas argamassas pretas/marrons dos fabricantes A e B.

4.2.1.1 Caracterização do material anidro

A fim de verificar um indício da quantidade de aglomerante hidráulico presente nas misturas do ponto de vista de comparação, realizou-se o ensaio de calorimetria isométrica uma vez que maiores picos de calor indicam maior presença de material hidratado (reação exotérmica). O ensaio foi realizado no LAMTAC em microcalorímetro da marca Taim Air com misturador integrado com temperatura de estabilização de 25°C durante um período de 48 horas. As figuras 11 a 13 apresentam os gráficos do fluxo de calor ao longo do tempo para as argamassas de rejuntamento das cores branco, cinza e preto, respectivamente.

Figura 11 – Gráfico do ensaio de calorimetria para as argamassas de rejuntamento de cor branco



¹⁴ em alguns fabricantes a descrição na embalagem dizia respeito, apenas, ao uso (interno e externo, inclusive fachadas)

Figura 12 – Gráfico do ensaio de calorimetria para as argamassas de rejuntamento de cor cinza

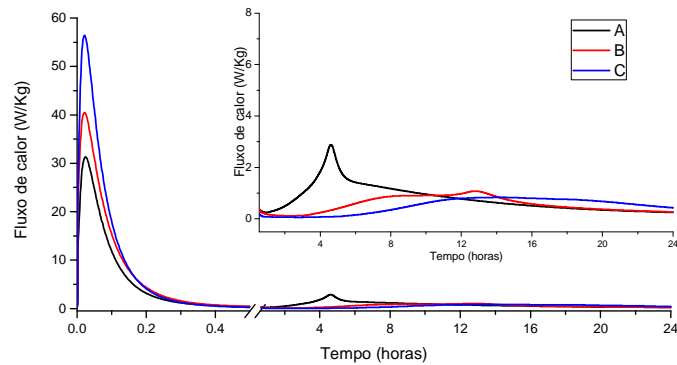
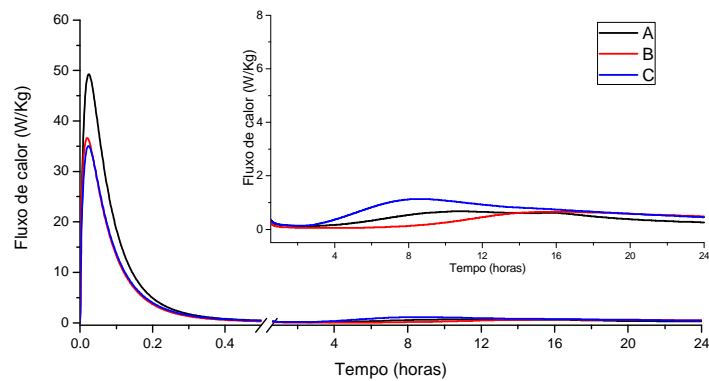


Figura 13 – Gráfico do ensaio de calorimetria para as argamassas de rejuntamento de cor preto



As figuras representam que cada fabricante possui um pico de calor de acordo com a cor. Os picos indicam que o fabricante C possui a maior quantidade de cimento para as cores branca e cinza, quando comparada com os demais fabricantes. A argamassa branca do fabricante B apresentou o menor pico entre todas as demais argamassas, representando o traço com menor quantidade de cimento.

A análise química da argamassa de rejuntamento foi realizada através do método de espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) no Laboratório Fluorescência de raios-X do Instituto de Geociências da UFRGS apenas para as argamassas brancas em função da necessidade de verificar a presença de dióxido de titânio como pigmento branco. Os compostos químicos presentes nas argamassas brancas avaliadas nesse estudo estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – análise química por FRX das argamassas brancas de diferentes fabricantes

| % em peso | Argamassa Branca | | |
|--------------------------------|------------------|--------------|--------------|
| | Fabricante A | Fabricante B | Fabricante C |
| SiO ₂ | 9,30 | 13,16 | 5,77 |
| Al ₂ O ₃ | 1,37 | 1,03 | 0,63 |
| TiO ₂ | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,08 | 0,10 | 0,08 |
| MnO | 0,01 | Nd | 0,01 |
| MgO | 14,89 | 16,35 | 17,08 |
| CaO | 38,95 | 37,72 | 37,07 |
| Na ₂ O | Nd | Nd | nd |
| K ₂ O | Nd | Nd | 0,04 |
| P ₂ O ₅ | Nd | Nd | nd |
| SO ₄ | 2,38 | 2,23 | 1,86 |
| LOI | 32,74 | 29,49 | 37,46 |
| Total | 99,74 | 100,12 | 100,04 |

nd: não detectado LOI: loss on ignition (perda ao fogo)

Observa-se que o percentual de perda ao fogo apresentou valores elevados, podendo estar associado à presença de material carbonático usado como carga ou agregados finos. Nota-se a presença de pigmento dióxido de titânio nas argamassas analisadas (brancas), que, devido ao baixo percentual, pode ser parte integrante do cimento Portland branco ou pigmento adicionado à mistura.

A tabela 4 apresenta características granulométricas como diâmetro médio das partículas, coeficiente de uniformidade e índice de finura. Os valores foram obtidos dos dados do ensaio de granulometria a laser realizado no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) da UFRGS, cujas curvas granulométricas estão apresentadas nas figuras 14 (a) a 14 (i). O coeficiente de uniformidade é dado pela razão entre o diâmetro em que 60% do pó é passante acumulado e o diâmetro em que 10% do pó está acumulado ($\text{Ø}_{60\%} / \text{Ø}_{10\%}$). O índice de finura foi obtido com o valor acumulado passante na peneira de malha 75 μm .

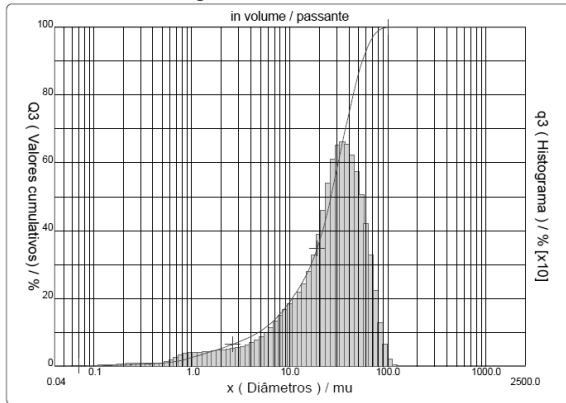
Tabela 4 – Características granulométricas das argamassas de rejuntamento estudadas

| Cor | Fabricante | Ø médio (μm) | Cu* (aproximado) | Ir *(%) |
|--------|------------|---------------------------|------------------|---------|
| Branco | A | 28,50 | 6,57 | 98,23 |
| | B | 32,11 | 11,36 | 93,33 |
| | C | 56,30 | 15,15 | 79,77 |
| Cinza | A | 22,79 | 11,93 | 99,82 |
| | B | 35,45 | 9,81 | 90,06 |
| | C | 106,47 | 27,61 | 40,60 |
| Preto | A | 20,64 | 15,31 | 99,64 |
| | B | 22,03 | 10,70 | 99,71 |
| | C | 70,94 | 32,31 | 55,19 |

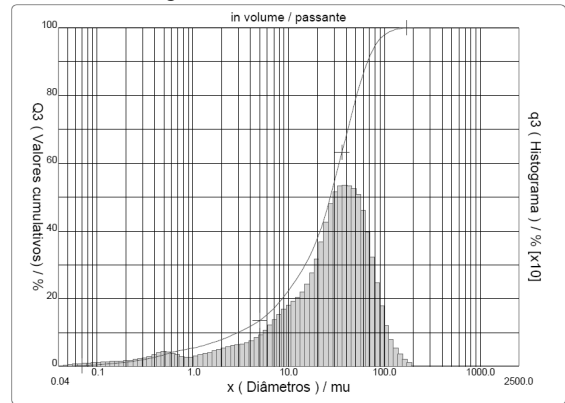
Cu*: coeficiente de uniformidade *Ir: índice de finura

Figura 14 - Curvas granulométricas das argamassas estudadas nessa pesquisa

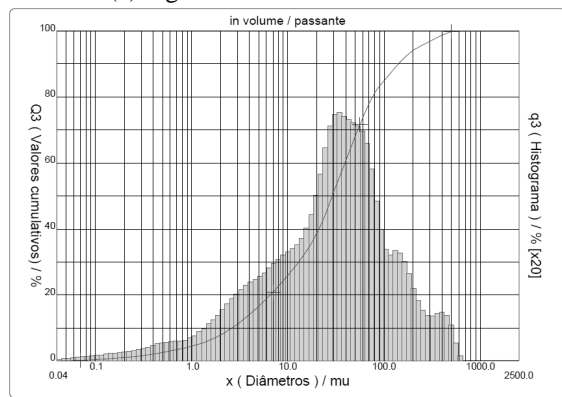
(a) argamassa branca fabricante A



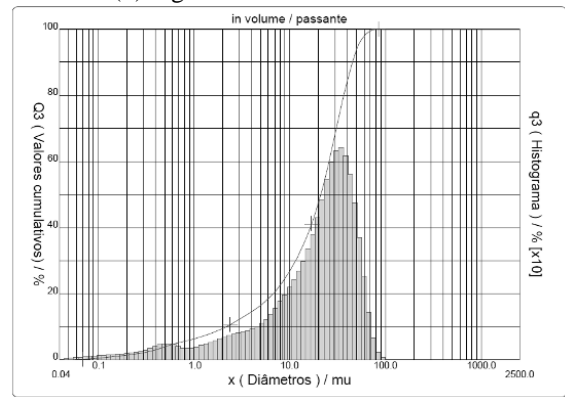
(b) argamassa branca fabricante B



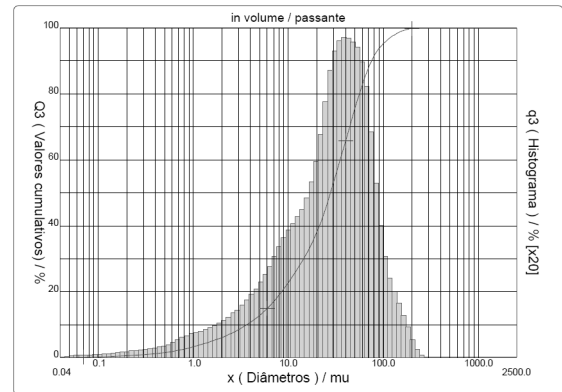
(c) argamassa branca fabricante C



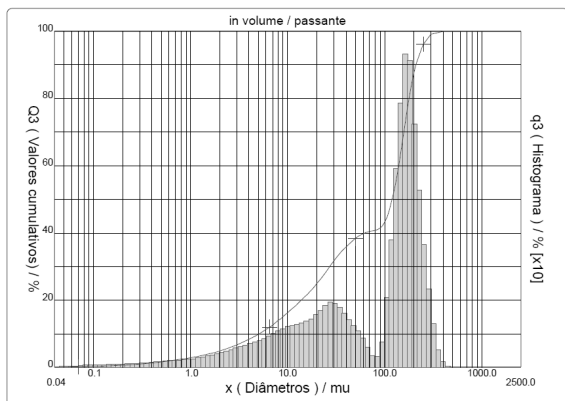
(d) argamassa cinza fabricante A



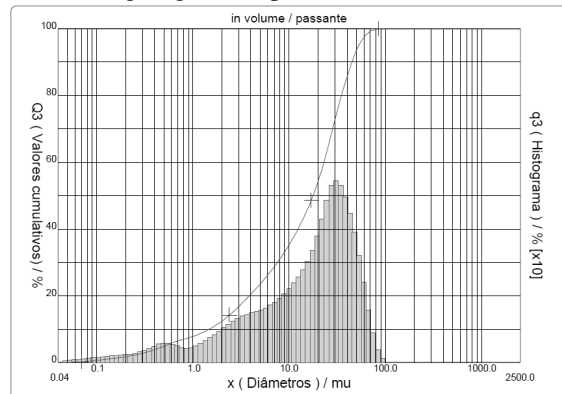
(e) argamassa cinza fabricante B



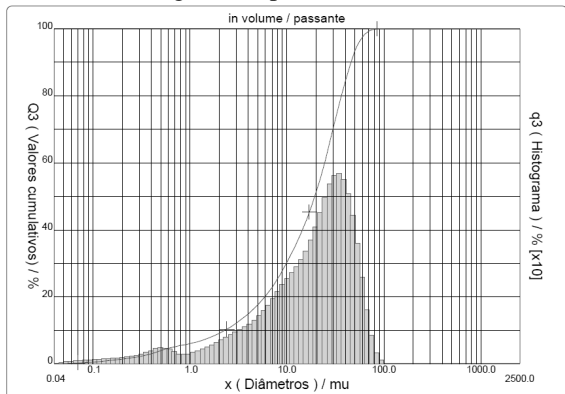
(f) argamassa cinza fabricante C

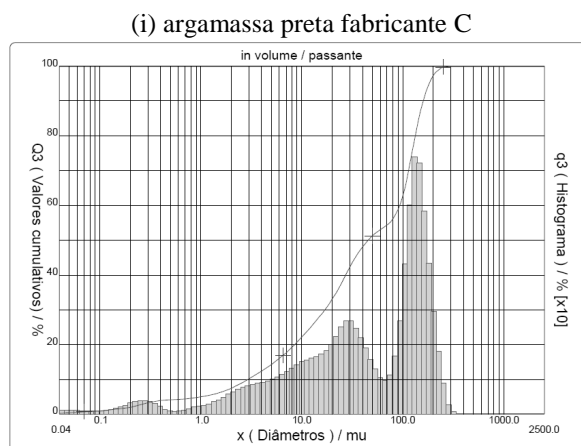


(g) argamassa preta fabricante A



(h) argamassa preta fabricante B





Através das curvas granulométricas apresentadas nas figuras 14 (a) a 14 (i), observa-se que as argamassas de cor cinza e preto do fabricante C possuem composição granulométrica descontínua, enquanto as demais argamassas têm granulometria contínua. Além disso, são bastante uniformes no caso das argamassas do fabricante A de cor branco ($C_u=6,57$) e fabricante B de cor cinza ($C_u=9,81$).

4.2.1.2 Caracterização da argamassa no estado fresco

Na tabela 5 são apresentados os valores de índice de consistência conforme a norma NBR 13276:2005¹⁵, a relação água/materiais secos (a/ms) indicada pelo fabricante e os resultados do ensaio de retenção de água realizado de acordo com o anexo B da NBR 14992:2003. O índice de consistência é dado pela média de 4 diâmetros de espalhamento da argamassa fresca na mesa de consistência e é um indicativo da trabalhabilidade da argamassa que, no caso das argamassas avaliadas, não depende apenas da relação água/materiais secos, mas também do uso de pigmentos, do diâmetro e formato das partículas, bem como do uso de aditivos químicos. A determinação da retenção de argamassa é obtida através da medida de 4 diâmetros da mancha de umidade resultante no papel filtro após 10 minutos de contato da argamassa fresca através de um copo cilíndrico com 40 mm de diâmetro e 12 mm de altura.

¹⁵ ABNT NBR 13276/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência

Tabela 5 – Características físicas das argamassas de rejuntamento estudadas

| Cor | Fabricante | Índice de consistência (mm) | a/ms* | Retenção de água - Diâmetro médio (mm) |
|--------|------------|-----------------------------|-------|--|
| Branco | A | 218 | 0,288 | 42,33 |
| | B | 240 | 0,280 | 66,00 |
| | C | 191 | 0,230 | 43,00 |
| Cinza | A | 212 | 0,288 | 39,88 |
| | B | 221 | 0,280 | 63,75 |
| | C | 241 | 0,270 | 45,75 |
| Preto | A | 192 | 0,288 | 44,00 |
| | B | 185 | 0,280 | 52,25 |
| | C | 185 | 0,270 | 46,50 |

*a/ms: relação água/materiais secos

Valores hachurados não atendem ao preconizado pela norma NBR14992:2003 para argamassas tipo II Retenção de água ≤ 65 mm

Com relação aos diâmetros medidos na mesa de consistência, observa-se que as argamassas apresentam valores abaixo do valor recomendado pela NBR 13276:2005 para a trabalhabilidade de argamassas de assentamento e revestimento, que é de 260 ± 5 mm. Porém, tratando-se de argamassas de rejuntamento, admite-se argamassas com menor consistência uma vez que argamassas muito fluidas atrapalham a operação de preenchimento das juntas, no entanto, a consistência das argamassas pretas (< 200 mm) dificultou a realização da mistura.

Os resultados do ensaio de retenção de água apontam para provável uso de aditivo retentor de água, devido aos baixos valores de manchamento do papel filtro (tabela 5), com apenas uma das argamassas abaixo do valor de referência preconizado pela NBR 14992:2003 (diâmetro de manchamento menor ou igual a 65 mm). Ainda assim, o valor dessa argamassa apresenta-se apenas 1 mm acima do limite.

4.2.1.3 Caracterização da argamassa no estado endurecido

As argamassas também foram caracterizadas no estado endurecido de acordo com os ensaios definidos na norma NBR 14992:2003 com os seguintes ensaios: resistência à compressão, absorção de água por capilaridade aos 300 minutos e permeabilidade aos 240 minutos. O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado de acordo com a norma NBR 13279:2005 com corpos de prova tamanho 4x4x16 cm e foram rompidos com carga de 50 N/s, devido à ausência de fôrmas com o tamanho solicitado na NBR 14992:2003 (2,5x2,5x25 cm). Apesar dos procedimentos de moldagem e idade de ruptura seguirem as especificações da NBR 14992:2003, o cálculo foi realizado por meio da fórmula apresentada na NBR 13279:2005. Os

resultados com as características mecânicas de resistência à compressão e à tração são descritos na tabela 6.

Tabela 6 – Resistência mecânica média das argamassas de rejuntamento estudadas

| Cor | Fabricante | Resistência à compressão aos 14 dias (MPa) | | | Resistência à tração na flexão aos 7 dias (MPa) | | |
|--------|------------|--|------|--------|---|-------|--------|
| | | Média | DP | CV (%) | Média | DP | CV (%) |
| Branco | A | 11,52 | 1,46 | 12,67 | 3,443 | 0,288 | 8,37 |
| | B | 8,83 | 1,05 | 11,83 | 2,366 | 0,152 | 6,41 |
| | C | 9,22 | 1,04 | 11,29 | 3,448 | 0,096 | 2,79 |
| Cinza | A | 13,91 | 1,25 | 9,02 | 3,684 | 0,143 | 3,88 |
| | B | 7,74 | 0,82 | 10,58 | 2,181 | 0,165 | 7,55 |
| | C | 10,07 | 1,40 | 13,87 | 3,226 | 0,250 | 7,76 |
| Preto | A | 9,32 | 1,72 | 18,45 | 3,145 | 0,123 | 3,93 |
| | B | 6,68 | 0,49 | 7,40 | 2,116 | 0,295 | 13,94 |
| | C | 12,72 | 1,67 | 13,15 | 3,418 | 0,308 | 9,02 |

Valores hachurados não atendem ao preconizado pela norma NBR14992:2003 para argamassas tipo II

Resistência à compressão aos 14 dias ≥ 10 MPa - Resistência à tração aos 7 dias ≥ 3 MPa

Verifica-se, com base na tabela 6, que nem todas as argamassas atingiram o valor mínimo de resistência à compressão para argamassas do tipo II preconizado pela norma NBR 14992:2003 (≥ 10 MPa). Percebe-se um não atendimento total do fabricante B, sendo que os valores das argamassas branco e cinza não atingiriam nem mesmo para os requisitos das argamassas de rejuntamento do tipo I ($> 8,0$ MPa). Coerentemente em relação aos resultados de resistência à compressão, os resultados de resistência à tração também apontam que o fabricante B é o único que não atinge o valor mínimo definido na NBR 14992:2003 para todas as cores, que é de 3 MPa para argamassas do tipo II. No entanto, como foi mencionado acima, é importante salientar que o ensaio foi realizado com amostras com tamanho de corpo de prova diferente do preconizado na norma NBR 14992:2003. Rocha-Gomes (2008) avaliou três fabricantes de argamassas de rejuntamento (sendo duas enquadradas como tipo I) e encontrou resultados de resistência mecânica coerentes com a norma, porém a cor das argamassas avaliadas não foi revelada.

Dentre as possíveis justificativas para os baixos valores de resistência mecânica, cita-se o fato de que o coeficiente de uniformidade do fabricante B apresenta os menores coeficientes de uniformidade para as cores cinza e preto quando comparados aos outros fabricantes, representando, assim, maior número de vazios e, portanto, colaborando para menores

resistências mecânicas. No caso das argamassas de cor branca desse fabricante, o ensaio de calorimetria (figura 13) apresentou indício de menor quantidade de cimento, constatado pelo baixo calor de hidratação, uma vez que o pico de temperatura é consideravelmente menor que as demais argamassas.

Os resultados também podem estar associados à dificuldade de moldagem de algumas argamassas, verificado, em alguns casos, por baixa trabalhabilidade e elevada viscosidade. Com essas características, o método de moldagem especificado pela norma com o uso exclusivo de espátula para adensar as camadas e sem uso de mesa de consistência para compactação pode ter propiciado a geração de bolhas no interior de algumas argamassas, sendo, portanto, uma possível causa para o não atendimento parcial das resistências.

Os ensaios de absorção e de permeabilidade de água foram realizados de acordo com a norma NBR 14992:2003 em corpos de prova cilíndricos sem selagem lateral. No entanto, foi necessário selar os topos dos corpos de prova com silicone de forma a vedar poros superficiais abertos durante a desmoldagem de alguns corpos de prova e evitar influência da umidade do ambiente sobre o ensaio.

O ensaio de permeabilidade com a utilização de tubos de karsten, conforme norma NBR14992:2003, foi realizado com selagem dos tubos de vidro ao cubo de argamassa com auxílio de silicone e, concomitante, foi realizado o ensaio de testemunho em placa de vidro. Algumas críticas a esse ensaio dizem respeito à falta de definição, em norma, da altura da base do tubo, ocorrendo possibilidade de fabricação de tubos com diferentes alturas da coluna (ROCHA-GOMES, 2008), bem como o fato de que durante o enchimento do tubo com água, já ocorre permeabilidade de água, mesmo que essa etapa seja a mais breve possível. Além disso, no caso de encher o tubo muito rapidamente, há a possibilidade de formação de bolhas no interior do tubo, que também contribuem para a variabilidade do ensaio. A tabela 7 apresenta os resultados médios dos ensaios de absorção de água por capilaridade e de permeabilidade.

Tabela 7 – Valores médios de absorção de água por capilaridade e permeabilidade das argamassas de rejuntamento estudadas

| Cor | Fabricante | Absorção de água por capilaridade aos 300 min (g/cm ²) | | | Permeabilidade aos 240 min (cm ³) | | |
|--------|------------|--|-------|--------|---|-------|--------|
| | | Média | DP | CV (%) | Média | DP | CV (%) |
| Branco | A | 0,357 | 0,021 | 5,80 | 2,320 | 0,580 | 25,00 |
| | B | 0,563 | 0,056 | 9,90 | 2,600 | 0,819 | 31,48 |
| | C | 0,526 | 0,050 | 9,50 | 2,843 | 0,595 | 20,93 |
| Cinza | A | 0,437 | 0,040 | 9,07 | 1,580 | 0,193 | 12,21 |
| | B | 0,490 | 0,080 | 16,38 | 2,177 | 1,068 | 49,07 |
| | C | 0,381 | 0,109 | 28,63 | > 3,500 | -* | -* |
| Preto | A | 0,254 | 0,029 | 11,45 | 1,370 | 0,125 | 9,15 |
| | B | 0,335 | 0,020 | 5,92 | 2,040 | 0,295 | 14,44 |
| | C | 0,397 | 0,018 | 4,44 | 3,467 | 0,058 | 1,67 |

Valores hachurados não atendem ao preconizado pela norma NBR14992:2003 para argamassas tipo II

Absorção de água por capilaridade $\leq 0,3$ g/cm² - Permeabilidade ≤ 1 cm³

* a permeabilidade de todas amostras ultrapassou o limite do tubo de Karsten (3,5 cm³), portanto, não há DP

Dentre as argamassas analisadas, apenas uma apresentou absorção de água por capilaridade menor do que 0,30 g/cm² aos 300 minutos de ensaio (tabela 7) em corpos de prova cilíndricos (Ø 5cm x 10cm). Para os ensaios de permeabilidade à água, os resultados também não atendem à norma uma vez que todas as argamassas ultrapassaram o limite de 1cm³ aos 240 minutos de ensaio. Vale ressaltar que a coluna de água do testemunho (placa de vidro) se manteve inalterada ao longo do período de ensaio.

Nos estudos de Rocha-Gomes (2008), todas as argamassas de rejuntamento avaliadas ultrapassaram a marca limite do tubo de Karsten (3,5 cm³) ao final dos 240 minutos de ensaio de permeabilidade. Já os resultados de absorção de água por capilaridade do estudo dessa autora apresentaram valores abaixo do limite de norma apenas para um dos três fabricantes avaliados.

5.2.2 Tratamentos superficiais

Os tratamentos superficiais utilizados nessa pesquisa são produtos do tipo hidrofugante para proteger as argamassas de rejuntamento de dois fabricantes com bases diferenciadas, ou seja, produtos que penetram os poros do material cimentício a fim de modificar a tensão superficial e causar repelência das partículas de água.

Para caracterizar esses produtos, o ângulo de contato das superfícies protegidas e das argamassas de referência foram verificados através de fotografia do contato de uma gota de água com a superfície da argamassa. Esse procedimento foi realizado com o auxílio de uma seringa para a formação da gota e medição do ângulo com a ferramenta AutoCad (tabela 8).

Tabela 8 – Ângulo de contato das superfícies das argamassas estudadas nessa pesquisa

| Fabricante | Tratamento | Cor | | |
|------------|------------|--------|-------|-------|
| | | Branco | Cinza | Preto |
| A | Ref. | 24° | 21° | 23° |
| | 1 | 20° | 27° | 16° |
| | 2 | 34° | 40° | 17° |
| B | Ref. | 23° | 20° | 12° |
| | 1 | 23° | 27° | 24° |
| | 2 | 46° | 22° | 64° |
| C | Ref. | 19° | 17° | 15° |
| | 1 | 19° | 17° | 17° |
| | 2 | 61° | 42° | 15° |

De modo geral, os resultados da tabela x apontam que o tratamento 1 (metil siliconato de potássio), apesar de ser enquadrado como hidrofugante, apresenta ângulo de contato praticamente igual ao ângulo de contato das superfícies referência (sem tratamento), caracterizando que a aplicação deste produto praticamente não altera a tensão superficial das argamassas ao contrário do produto aplicado como tratamento 2 que apresentou, em geral, acréscimo do ângulo de contato entre a superfície e a gota de água, em relação à situação referência.

5.2.2.1 Produto hidrofugante à base de metil siliconato de potássio

Esse produto, denominado como tratamento 1 ao longo do trabalho, tem indicação de uso em rejuntamentos internos e externos, incluindo fachadas, e é diluído em água. O produto tem a função de proteger o rejunte da umidade e do aparecimento de manchas por fungos e outros agentes e, conforme o fabricante, não altera a tonalidade do rejunte. No quadro 12 são apresentadas outras características do produto. O fabricante desse produto coincide com o fabricante da argamassa “A” utilizada nessa pesquisa.

Quadro 12 – Características do produto hidrofugante à base de metil siliconato de potássio aplicado como tratamento superficial sobre as argamassas de rejuntamento estudadas

| | |
|-------------------|--|
| Nome comercial | Selante impermeabilizante para rejunte |
| Composição | Metil siliconato de potássio |
| Rendimento | Não informado |
| Preparo | Produto pronto para uso |
| Modo de aplicação | Aplicação com pincel ou rolo |

(fonte: fabricante do produto)

5.2.2.2 Produto hidrofugante à base de silano/siloxano

O produto hidrofugante à base de silano/siloxano (designado nessa pesquisa como tratamento 2) é diluído em solvente e é indicado para aplicação em revestimentos de tijolos à vista, concreto aparente, cerâmica (desde que porosa) e rochas e tem a indicação de evitar eflorescências, manchas e o escurecimento do rejuntamento. O produto possui compostos orgânicos voláteis (VOC) na densidade de 26 g/litro. No quadro 13 são apresentadas outras características do produto.

Quadro 13 – Características do produto hidrofugante à base de silano/siloxano aplicado como tratamento superficial sobre as argamassas de rejuntamento estudadas

| | |
|-------------------|--|
| Nome comercial | Hidrofugante para fachadas a base de silicone |
| Composição | Resina de silicone (silano/siloxano em solvente) |
| Rendimento | Porosidade elevada: 1 a 2 m ² /litro |
| | Porosidade média: 3 a 4 m ² /litro |
| | Porosidade baixa: 5 a 8 m ² /litro |
| Preparo | Produto pronto para uso |
| Modo de aplicação | Aplicar em duas demãos fartas, com trincha ou pulverizador de baixa pressão, deixando, inclusive, o produto escorrer |

(fonte: fabricante do produto)

4.3 MÉTODOS

Os métodos de trabalho utilizados para atingir os objetivos dessa pesquisa dividem-se, basicamente, em moldagem das placas de argamassa de rejuntamento, exposição às intempéries e realização de ensaios de avaliação das propriedades. A seguir, cada uma dessas etapas será descrita.

4.3.1 Moldagem das placas de argamassa de rejuntamento e aplicação de tratamento superficial

A moldagem das argamassas ocorreu no Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC) no NORIE – Núcleo Orientado para Inovação na Edificação – da UFRGS, seguindo os procedimentos citados no anexo A da NBR 14992:2003 para realização da mistura. Em todos os casos, a quantidade de água utilizada para o amassamento foi a indicada pelo fabricante da argamassa, já que essa pesquisa objetiva avaliar o desempenho das argamassas seguindo as recomendações dos fabricantes.

As placas foram moldadas em fôrmas com dimensões de 181mm x 74mm x 9mm (comprimento x largura x espessura), de maneira a ficarem com as dimensões compatíveis ao suporte da câmara de intemperismo acelerado utilizada na pesquisa. O acabamento foi realizado com arrasamento com espátula metálica e esse procedimento, em alguns casos, resultou na exsudação da pasta, formando uma película mais lisa em todas as cores dos fabricantes A e B, com maior intensidade para as argamassas do fabricante B. As argamassas do fabricante C de cores cinza e preto ficaram com a superfície mais áspera que os demais fabricantes, sendo que, dentre as explicações, está o fato das argamassas desse fabricante possuírem maior dimensão das partículas, verificado através do diâmetro médio (tabela 4).

O tratamento superficial foi aplicado em duas demãos, após 28 dias de cura, de acordo com recomendações dos fabricantes. As aplicações foram realizadas com pincel (figura 15) e o período entre a primeira e a segunda demão foi de 30 minutos. Devido à menor aspereza superficial dos fabricantes A e B observou-se, com maior frequência, a ocorrência de uma lâmina de produto aglomerado sobre alguns pontos da superfície dessas argamassas.

Figura 15 – Aplicação de tratamento superficial sobre as placas de argamassa de rejuntamento



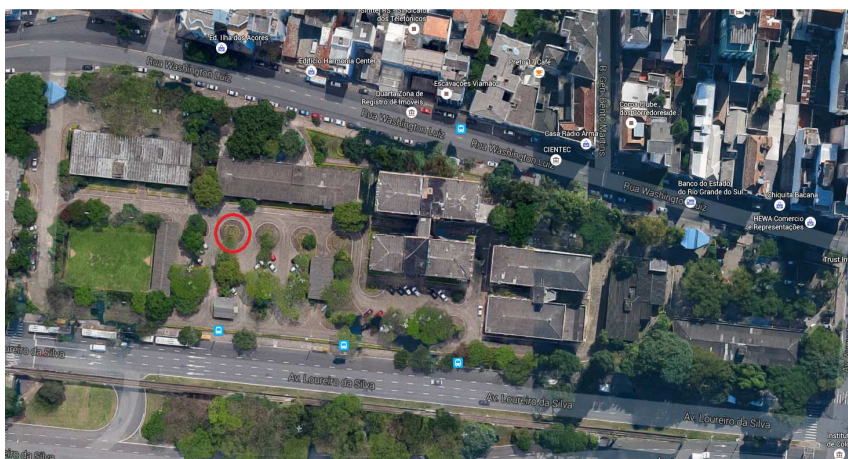
4.3.2 Exposição ao intemperismo

Como já descrito na matriz experimental, as argamassas foram expostas ao intemperismo em ambiente natural, na cidade de Porto Alegre/RS, e em ambiente artificial através de uma câmara de simulação ambiental. As placas de argamassa foram expostas 2 dias após a aplicação do tratamento superficial.

4.3.2.1 Exposição natural

O ensaio de exposição natural foi realizado na Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul – CIENTEC – na cidade de Porto Alegre. A CIENTEC está localizada próximo ao centro da cidade e próximo ao lago Guaíba. Apesar de tratar-se de uma área de vegetação intensa, está localizada junto a uma das principais avenidas da região (figura 16) e, portanto, o índice de poluição pode ser considerado elevado.

Figura 16 – Mapa de satélite da região da CIENTEC e detalhe de onde as amostras foram expostas



(fonte: Google Maps)

As placas foram apoiadas em estruturas metálicas inclinadas a 40° com a horizontal e orientadas para norte (figura 17). Essa estrutura já estava disponível na CIENTEC oriunda de trabalhos de exposição de materiais poliméricos e sua inclinação é consistente com as recomendações da norma NBR 15569:2008¹⁶ para possibilitar uma maior incidência de radiação solar.

¹⁶ A norma de aquecimento solar de água (NBR 15569:2008) recomenda que a instalação dos coletores solares seja em um ângulo igual ao da latitude do local acrescido de 10° .

Figura 17 – Exposição ao intemperismo natural durante a pesquisa

(a) suporte para exposição das amostras



(b) amostras de argamassas de rejuntamento em exposição



Para isentar os corpos de prova de interferências, as estruturas utilizadas estavam distantes de anteparos que pudessem causar sombreamento sobre as amostras que ficaram expostas entre os meses de outubro de 2014 e julho de 2015, totalizando, aproximadamente, 9 meses de exposição. As planilhas com os dados meteorológicos completos durante esse período estão no anexo B e são resumidas na tabela 9. Os dados devem ser considerados aproximados (principalmente a precipitação) uma vez que são de estação convencional localizada na Av. Cristiano Fischer, há 7,2 km de distância do local em que as amostras foram expostas.

Tabela 9 – Dados climáticos para a cidade de Porto Alegre/RS durante a exposição realizada nessa pesquisa

| Cor | Período | Precipitação acumulada (mm) | Média temp. máx (°C) | Média temp. mín (°C) | Insolação acumulada (h) | Média umidade relativa (%) | Média velocidade do vento média (m/s) |
|--------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Branco | 23/10/2014 à 02/07/2015 | 972,10 | 27,66 | 18,16 | 1.652,90 | 77,33 | 1,94 |
| Cinza | 30/10/2014 à 09/07/2015 | 978,20 | 27,32 | 17,97 | 1.602,80 | 77,72 | 1,94 |
| Preto | 06/11/2014 à 16/07/2015 | 1.085,20 | 27,12 | 17,81 | 1.580,50 | 77,94 | 1,91 |

(fonte: BDMEP/INMET)

De acordo com a tabela 9, verifica-se que a quantidade de horas de insolação e a precipitação acumulada foram de, aproximadamente, 1600 h e 1000 mm, respectivamente. A faixa média da radiação solar diária aproximada para a cidade de Porto Alegre é resumida na tabela 10 para cada mês e os mapas do período estão disponíveis no anexo B.

Tabela 10 – Radiação solar para a cidade de Porto Alegre/RS durante a exposição realizada nessa pesquisa

| mês | faixa de radiação solar em Porto Alegre/RS (W/m ²) |
|----------------|--|
| outubro/2014 | 220 - 240 |
| novembro/2014 | 280 - 300 |
| dezembro/2014 | 220 - 240 |
| janeiro/2015 | 240 - 260 |
| fevereiro/2015 | 240 - 260 |
| março/2015 | 220 - 240 |
| abril/2015 | 160 - 180 |
| maio/2015 | 120 - 140 |
| junho/2015 | 100 - 120 |
| julho/2015 | 0 - 100 |

(fonte: CPTEC/INPE)

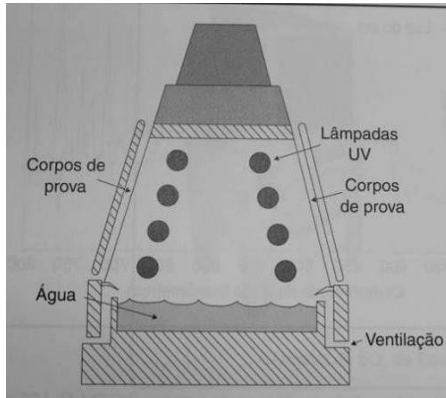
4.3.2.2 Exposição artificial

A exposição artificial foi realizada através de câmara de intemperismo modelo radiação ultravioleta com condensação de umidade da marca BASS (figura 8), contendo 8 lâmpadas fluorescentes tipo UVA 340 nm e umidade entre 95% e 100%, formando ponto de orvalho na face das placas. De acordo com informações do fabricante da câmara, a potência nominal das lâmpadas UVA-340 é de 40W e a energia média no corpo de prova é de 0,89 W/m² a 340 nm.

Conforme a figura 18 (a), a câmara de intemperismo artificial é dividida em ciclos de radiação e ciclos de umidade, sendo que o ciclo de radiação é composto de lâmpadas UVA e sistema de insuflamento de ar com resistência para atingir a temperatura definida durante esse ciclo. No ciclo umidade, a presença de um reservatório de água aquecido por uma resistência elétrica somado ao sistema de ventilação faz com que ocorra condensação na face das placas. A área de exposição foi delimitada pelo suporte já existente na câmara com as dimensões de 100 mm x 64 mm x 10 mm (figura 18b), ou seja, o espaço é destinado para placas.

Figura 18 – Exposição ao intemperismo artificial durante a pesquisa

(a) esquema de funcionamento da câmara UV+umidade por condensação



(b) detalhe da câmara aberta utilizada na pesquisa demonstrando área de exposição



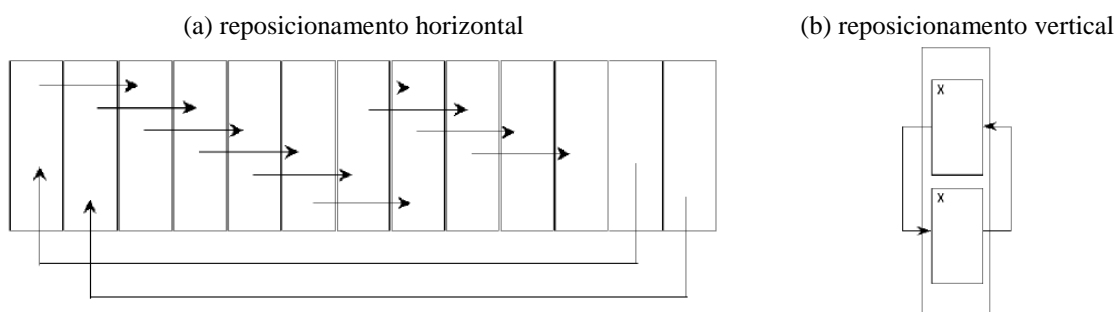
O programa utilizado nesta pesquisa para causar envelhecimento acelerado consiste em dois ciclos (tabela 11) definidos com base na norma BS EN 1015-21 que cita o envelhecimento de argamassas para posterior realização de ensaio de permeabilidade à água (subcapítulo 4.2) uma vez que define a temperatura de ensaio durante radiação em 60°C e umidade durante 8 horas. Além disso, para manter a mesma duração nos ciclos de radiação e de umidade, os seguintes critérios foram adotados: (1) umidade é um agente tão degradante de argamassas quanto radiações; (2) a cidade de Porto Alegre possui elevada umidade. No entanto, optou-se por manter uma temperatura mais elevada no ciclo de umidade do que o definido na norma acima citada. Isso foi definido com base na recomendação da ASTM D4587 (subcapítulo 2.3.2) que propõe, em todos os seus ciclos, temperatura de condensação entre 10 e 20°C mais baixa que a temperatura de radiação. Dessa forma a câmara foi programada para temperatura de 40°C no ciclo 1 (umidade) e 60°C no ciclo 2 (lâmpadas), ambos por 8 horas cada. No último mês os ciclos foram alterados por problemas técnicos no funcionamento da câmara e a temperatura do ciclo 2 (lâmpadas) ficou 10° C abaixo da temperatura definida inicialmente (tabela 11).

Tabela 11 – Ciclos de exposição artificial utilizados durante a pesquisa

| Programa | Ciclo | Exposição | Temperatura (°C) | Duração (h) | Duração total (h) |
|-----------------------------------|-------|-----------|------------------|-------------|-------------------|
| Definido inicialmente | 1 | Umidade | 40 ± 3 | 8 | 1440 |
| | 2 | UVA – 340 | 60 ± 3 | 8 | 1440 |
| Após problemas técnicos da câmara | 1 | Umidade | 40 ± 3 | 8 | 240 |
| | 2 | UVA – 340 | 50 ± 3 | 8 | 240 |

A câmara foi programada para funcionar por 42 ciclos (28 dias) e desligar automaticamente para realização de ensaio cromático. Os 42 ciclos foram repetidos 5 vezes, totalizando exposição de 1680 horas de lâmpadas UVA e 1680 horas de umidade por condensação sobre as argamassas, correspondendo a, aproximadamente, 5 meses de exposição. Dada a possibilidade da radiação não ser totalmente uniforme ao longo das lâmpadas, a cada desligamento as placas de argamassa foram reposicionadas através do procedimento descrito na norma ASTM D4587 (figura 19).

Figura 19 – Reposicionamento das amostras avaliadas durante exposição



(fonte: ASTM D4587)

4.3.3 Ensaios

Para avaliar os efeitos do intemperismo, essa pesquisa optou por analisar a alteração de cor ao longo do tempo a fim de acompanhar a modificação gerada pela interação de radiações e umidade, demonstrando, assim, o envelhecimento dos constituintes da argamassa. Os demais ensaios, de resistência à abrasão, absorção de água por capilaridade e permeabilidade ao vapor foram avaliados ao final da exposição por necessitarem de diminuição do tamanho do corpo de prova.

4.3.3.1 Alteração cromática

A avaliação cromática foi realizada através de espectrofotômetro portátil modelo CM-2500d, da marca Konica-Minolta (figura 20). O equipamento foi configurado para um observador à 10° e fonte de iluminação D₆₅ e as medições foram realizadas em seis pontos através de um gabarito para que os pontos avaliados fossem sempre os mesmos (figura 21). A quantidade de pontos foi definida em função da área de exposição na câmara de intemperismo e está de acordo com a norma EN 927 de avaliação do envelhecimento natural de tintas e vernizes em madeiras (subcapítulo 4.1).

Figura 20 – Espectrofotômetro utilizado nessa pesquisa



Figura 21 – Gabarito para medição cromática utilizado nessa pesquisa



Os dados foram coletados em termos das variáveis $L^*a^*b^*$ do sistema CIELab em seis pontos de cada placa e a alteração cromática é apresentada pelos valores Δa , Δb , ΔL e ΔE conforme equação 1 apresentada no subcapítulo 4.4. As amostras foram caracterizadas do ponto de vista cromático nos seguintes tempos (figura 22):

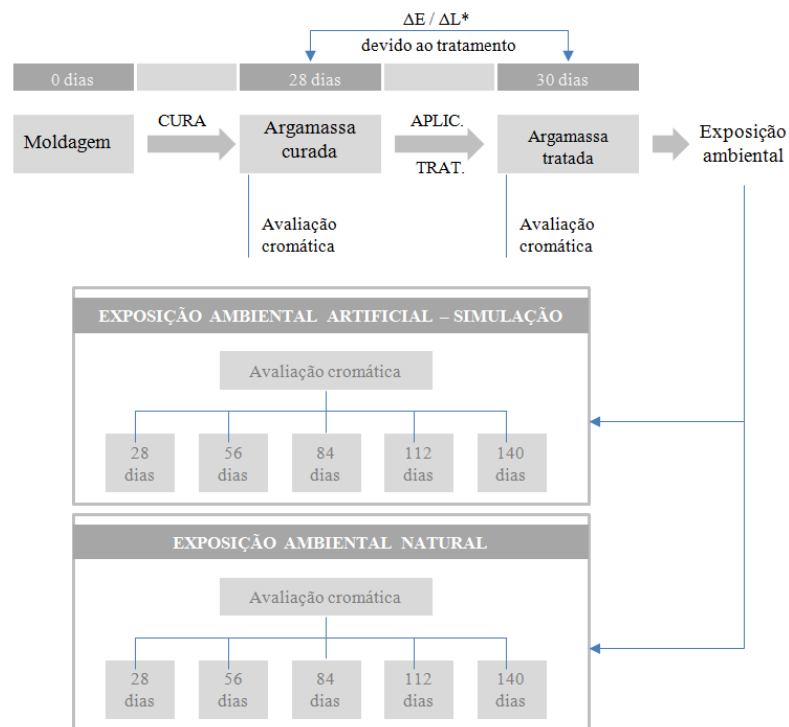
a) antes da exposição ao intemperismo:

- a.1) aos 28 dias de cura da argamassa: data considerada suficiente para atingir a cor final do produto;
- a.2) aos 30 dias, após aplicação de tratamento superficial: a fim de verificar possível alteração em decorrência da aplicação de produtos.

b) após exposições:

- b.1) a cada 28 dias de exposição em simulador ambiental: considerando que as alterações na câmara de intemperismo são aceleradas, procurou-se realizar ensaios em curtos períodos para verificar a evolução dessas alterações;
- b.2) a cada 84 dias de exposição ao intemperismo em ambiente natural: inicialmente, previa-se ensaios a cada 2 meses, durante 6 meses. No entanto, frente a possibilidade de não haver alterações nesse período devido à demora da ação das intempéries em ambiente natural, optou-se por avaliar, aproximadamente, 9 meses com intervalos mais espaçados.

Figura 22 – Fluxograma das etapas em que ocorreram leituras cromáticas



Após a realização do ensaio de determinação de cor ao longo do tempo, as placas foram cortadas nos limites da região exposta ao intemperismo para realização dos demais ensaios.

4.3.3.2 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado através de uma adaptação da norma da norma brasileira de ensaios em argamassas de rejuntamento (NBR 14992), e a norma britânica de rejuntamento de cerâmicas (BS EN 12808-5). Os corpos de prova foram em placas, ao invés de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos (como determinam as normas), em função do espaço disponível para expor os corpos de prova na câmara de intemperismo acelerado. Para evitar influência da umidade do ambiente e devido à impossibilidade de vedar definitivamente, o verso da placa de argamassa foi coberto por fita adesiva crepe.

Os corpos de prova foram armazenados em estufa até atingir a constância de massa e, após, foram armazenados em dessecador. O ensaio consistiu em apoiar as amostras com as laterais seladas com silicone em uma grelha com uma lâmina de água de, aproximadamente, 5 mm. Ao longo de 300 minutos, os corpos de prova tiveram a massa determinada em intervalos regulares, sendo que, a cada medição, as amostras eram levemente secas com pano úmido de forma a expelir a água em excesso da superfície (figura 23).

Figura 23 – Ensaio de absorção de água superficial realizado durante essa pesquisa



4.3.3.3 Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de determinação da permeabilidade ao vapor de água não está contemplado na lista de ensaios das normas referentes a argamassas de rejuntamento, porém, trata-se de uma característica de elevada importância, uma vez que as placas cerâmicas presentes no sistema de revestimento atualmente empregadas são, em sua maioria, impermeáveis tanto à água quanto ao vapor de água.

O ensaio tem o intuito de quantificar a difusão de vapor de água através da espessura do corpo de prova de argamassa e foi adaptado da norma europeia EN 12086 – Produtos de isolamento térmico para aplicações em construções: determinação das propriedades de transmissão de vapor de água. As condições ambientais de ensaio foram estabelecidas conforme uma das opções da norma mencionada, com temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 85% no ambiente externo e umidade interna do frasco de 0% através do uso de dessecante. As amostras retangulares submetidas ao ensaio tinham suas dimensões limitadas pela região submetida ao intemperismo artificial, com área de superfície maior que a mínima mencionada na norma utilizada.

A fim de configurar dois ambientes para viabilizar o fluxo do vapor, as amostras foram seladas junto às paredes dos frascos plásticos com silicone vedando a superfície superior a fim de evitar a entrada de umidade que não fosse através da argamassa. A fim de manter a parte interna do frasco em umidade inicial de 0%, uma camada de, aproximadamente, 1,5 cm de sílica gel (dessecante) foi depositada no fundo do frasco, mantendo, aproximadamente, 1,5 cm de camada de ar entre a camada com dessecante e o corpo de prova, conforme recomendações da norma. As leituras de massa dos corpos de prova foram realizadas em intervalos de, no mínimo, 24 horas (figura 24).

Figura 24 – Ensaio de permeabilidade ao vapor realizado durante essa pesquisa

(a) frasco plástico com camada de sílica gel



(b) corpo de prova sendo pesado durante ensaio



5.3.3.4 Resistência à abrasão

A resistência à abrasão das argamassas de rejuntamento foi verificada através de ensaio baseado na norma britânica BS EN 12808-2. As amostras referências (não expostas ao ambiente) e que ficaram em ambiente laboratorial foram ensaiadas com 6 meses de cura em temperatura ambiente em condições laboratoriais, as demais amostras foram ensaiadas após o período de exposição. O aparato utilizado foi um abrasímetro com velocidade de 48 rot/min e o material abrasivo utilizado foram lixas (em folha) de óxido de alumínio grão 80 tipo aberta, comercializada como lixa massa (figura 25). As unidades amostrais de 5x5x1 cm foram acopladas ao braço do equipamento que permanece fixo enquanto o disco rotaciona por 63 segundos, gerando desgaste nas argamassas. Os resultados foram expressos em termos de perda de massa.

Figura 25 – Ensaio de resistência à abrasão realizado durante essa pesquisa

(a) equipamento com lixa instalada



(b) desgaste da argamassa através da rotação do disco



5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados dos ensaios qualitativos e quantitativos realizados para avaliação dos efeitos do intemperismo sobre as argamassas de rejuntamento. Sendo assim, serão apresentados os valores médios de cada ensaio, incluindo estatística básica, e a avaliação da influência dos fatores controláveis sobre as variáveis dependentes (variação cromática, absorção de água por capilaridade, resistência à abrasão e permeabilidade ao vapor) para argamassas sem envelhecimento (cura laboratorial por 28 dias), com envelhecimento em ambiente natural (exposição natural) por 9 períodos de 28 dias e com envelhecimento em simulador ambiental (exposição artificial) por 5 períodos de 28 dias.

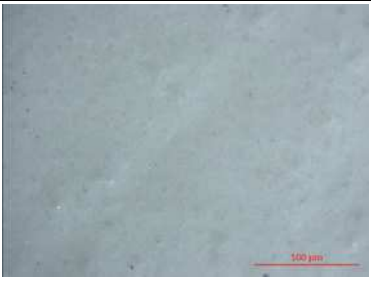
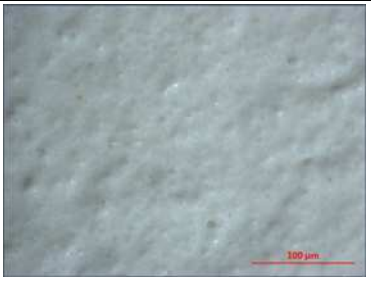
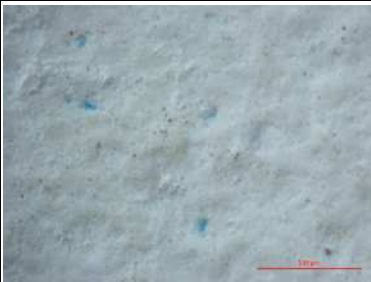
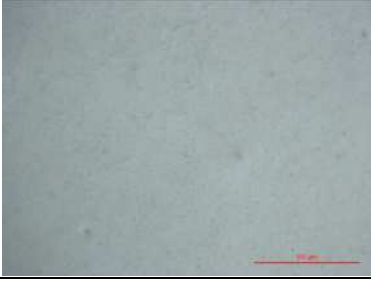

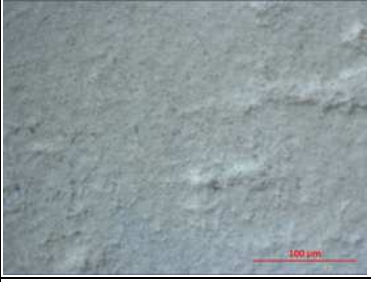
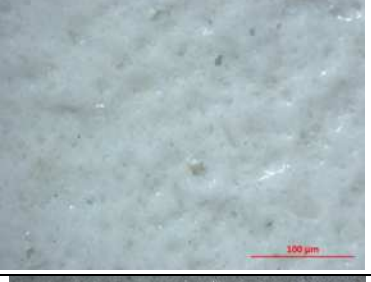
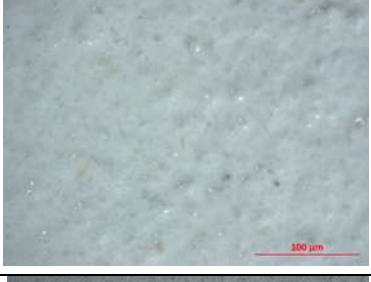
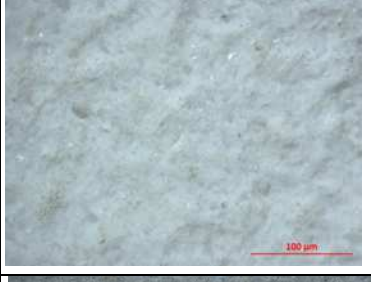





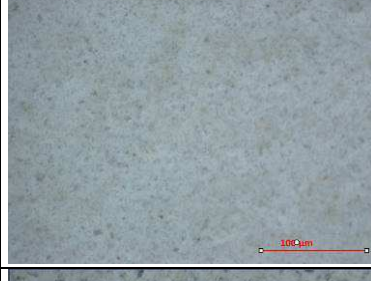



Os resultados de alteração cromática são apresentados tanto em termos de alteração cromática total (ΔE) ou, quando pertinente, em termos de alteração de um eixo cromático (ΔL^* , Δa^* ou Δb^*) para que se possa observar possível amarelamento, escurecimento ou branqueamento, por exemplo. Para os resultados de absorção de água por capilaridade, permeabilidade ao vapor de água e desgaste por abrasão, os valores serão expressos nas unidades g/cm^2 , mg/m^2hPa e % da diferença de massa, respectivamente.

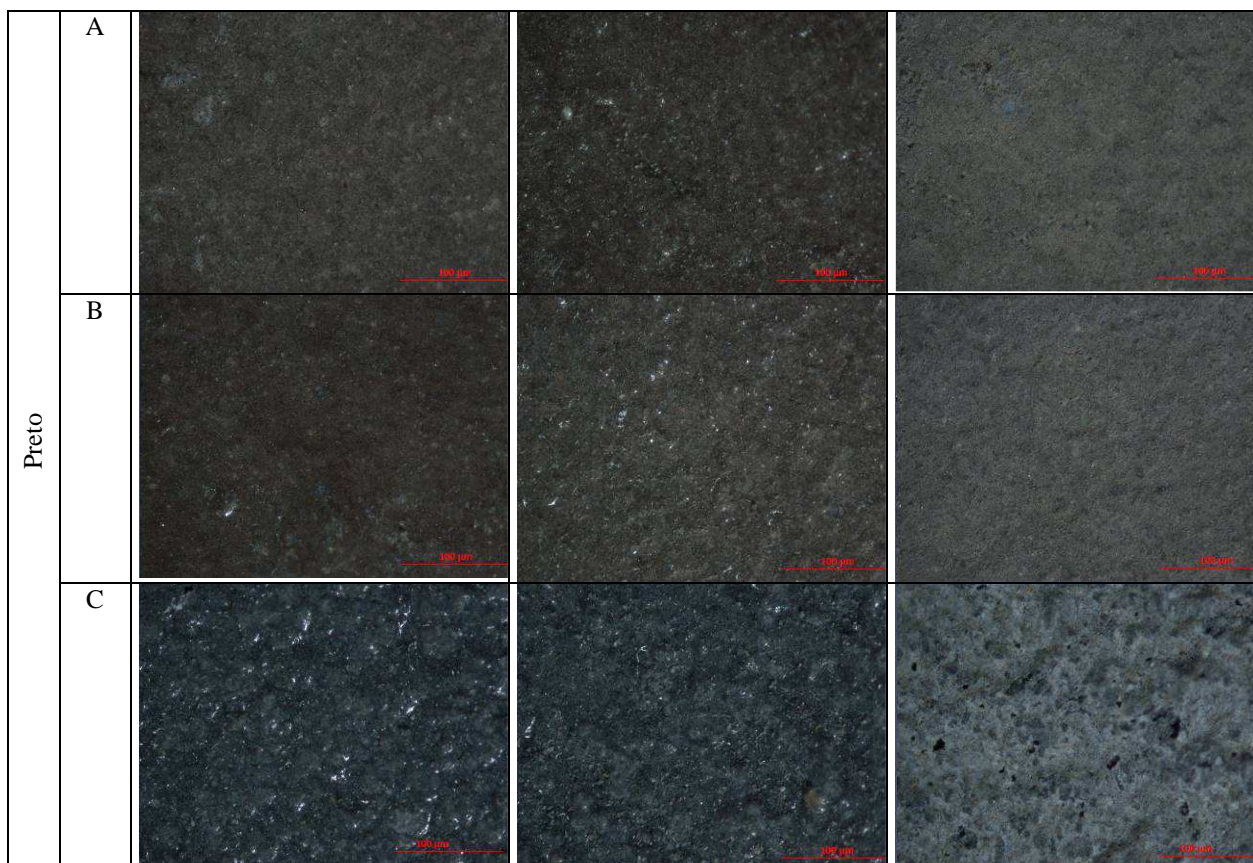
Antes de utilizar ferramentas estatísticas de análise, os dados passaram por verificação da presença de valores extremos e verificação da normalidade dos dados. Para avaliar a influência das variáveis independentes, a ferramenta utilizada foi análise de variância ao nível de 5% de significância. Vale ressaltar que os resultados aqui apresentados são considerados para os materiais e condições laboratoriais utilizados durante esta pesquisa.

5.1 ANÁLISE MICROSCÓPICA SUPERFICIAL

Como ensaio complementar foi realizada uma análise microscópica no LAMTAC de forma a avaliar a superfície dos corpos de prova em estereomicroscópio ótico modelo Stemi 508 da marca Carl Zeiss com lente Zeiss Apo 2.0x FWD 35 mm com aumento de 16 x para as argamassas expostas ao intemperismo e para aquelas que não sofreram exposição (referência). Decidiu-se analisar as argamassas sem tratamento (quadro 16), uma vez que, após o intemperismo, não se percebeu diferença considerável entre as argamassas com tratamento e as argamassas sem tratamento do ponto de vista de textura superficial.

Quadro 14 – Análise microscópica ótica da superfície dos corpos de prova sem tratamento com aumento de 16 x

| | | Sem exposição | Exposição artificial | Exposição natural |
|--------|---|---|--|---|
| Branco | A |  |  |  |
| | B |  |  |  |
| | C |  |  |  |
| Cinza | A |  |  |  |
| | B |  |  |  |
| | C |  |  |  |



Com base na análise microscópica, observa-se a ocorrência de alteração física superficial (mudança na rugosidade e textura) de várias placas após exposição ao intemperismo, principalmente em ambiente natural. Além disso, observa-se perda de coloração das argamassas escuras em relação ao estado original.

A argamassa preta do fabricante C tem a maior alteração visível, apontando possibilidade de uso de pigmento a base de carbono que não é estável quando submetido ao intemperismo (SZADKOWSKI, 1980; KRESSE, 1992). Talvez essa seja a justificativa para que os demais fabricantes comercializem argamassas marrons, porém nomeadas como pretas.

5.2 ALTERAÇÃO CROMÁTICA

A análise da variação cromática é a mais complexa entre as variáveis de estudo em função da ocorrência de fases preparatórias ao longo do processo que também alteram a cor das argamassas (aplicação de produtos para proteção). Primeiramente, cabe ressaltar que, em alguns casos, as argamassas moldadas em dias diferentes, mesmo que dentro de um mesmo grupo, apresentaram-se com tons diferenciados. Como a análise ocorre em termos de variação entre a última e a primeira medição, tal fato não influencia de forma geral os resultados para

verificação da influência das variáveis de controle. Além disso, a aplicação de tratamento superficial com os produtos indicados anteriormente gera alteração da cor da superfície de algumas argamassas. Em alguns casos essa alteração ocorreu em forma de manchas não uniformes, demonstrando concentração de produto em alguns pontos da placa de argamassa. Em outros, a mancha foi mais leve, causando esmaecimento da cor. A tabela 12 apresenta os valores médios da variação cromática que compreende o período antes e após a aplicação do tratamento, ou seja, entre os 28 dias de cura da argamassa e 2 dias após a aplicação do tratamento, conforme a linha do tempo demonstrada na figura 26. Os resultados são expressos em termos totais (ΔE) e em termos de variação no eixo da luminosidade (ΔL^*) uma vez que a maior parte da variação ocorre nesse eixo.

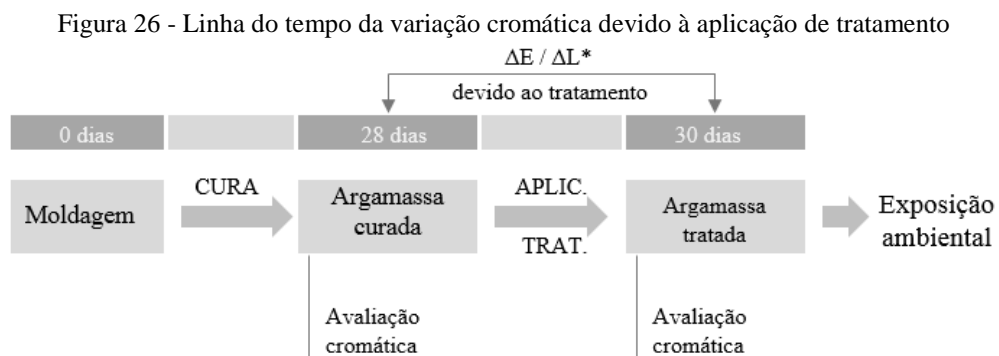


Tabela 12 – Valores médios de variação cromática total (ΔE) e do eixo luminosidade (ΔL^*) devido à aplicação de tratamento superficial nas argamassas avaliadas nessa pesquisa

| Cor | Fabricante | Tratamento | Amostras a serem colocadas na exposição artificial após tratamento | | | | Amostras a serem colocadas na exposição natural após tratamento | | | |
|--------|------------|------------|--|--------|--------------|---------|---|--------|--------------|---------|
| | | | ΔE | | ΔL^* | | ΔE | | ΔL^* | |
| | | | Média | CV (%) | Média | CV (%) | Média | CV (%) | Média | CV (%) |
| BRANCO | A | 1 | 4,726 | 9,484 | 4,417 | 9,920 | 4,230 | 5,070 | 3,995 | 7,106 |
| | | 2 | 4,760 | 9,630 | 4,377 | 14,297 | 3,937 | 16,274 | 3,697 | 16,237 |
| | B | 1 | 2,361 | 25,708 | 2,157 | 23,700 | 2,147 | 36,392 | 1,987 | 34,554 |
| | | 2 | 3,081 | 17,811 | 2,735 | 17,343 | 3,620 | 18,497 | 3,218 | 18,434 |
| | C | 1 | 3,385 | 29,257 | 3,345 | 29,211 | 3,873 | 11,426 | 3,816 | 11,439 |
| | | 2 | 4,022 | 10,677 | 3,949 | 10,975 | 4,509 | 8,612 | 4,451 | 8,723 |
| CINZA | A | 1 | 11,065 | 8,657 | 11,019 | 8,749 | 6,950 | 5,919 | 6,611 | 5,938 |
| | | 2 | 13,326 | 8,613 | 13,272 | 8,627 | 3,344 | 37,477 | 3,215 | 37,595 |
| | B | 1 | 0,593 | 34,910 | 0,578 | 35,620 | 4,574 | 4,994 | 4,443 | 5,143 |
| | | 2 | 0,802 | 33,344 | 0,781 | 34,202 | 4,624 | 10,960 | 4,528 | 11,102 |
| | C | 1 | 6,499 | 31,993 | 6,367 | 34,091 | 9,138 | 9,891 | 9,043 | 10,075 |
| | | 2 | 7,191 | 18,178 | 7,108 | 19,683 | 10,165 | 5,823 | 10,072 | 5,914 |
| PRETO | A | 1 | 2,718 | 67,035 | 2,383 | 70,150 | 8,894 | 53,449 | 8,638 | 52,900 |
| | | 2 | 1,263 | 49,279 | -1,211 | 56,588 | 2,263 | 41,890 | 0,876 | 252,987 |
| | B | 1 | 1,571 | 18,119 | 1,554 | 18,612 | 5,279 | 26,319 | 5,197 | 25,470 |
| | | 2 | 0,740 | 57,425 | 0,668 | 68,322 | 3,594 | 31,128 | 3,555 | 31,528 |
| | C | 1 | 0,765 | 86,668 | -0,214 | 457,247 | 9,499 | 28,455 | 9,051 | 29,801 |
| | | 2 | 0,944 | 21,035 | -0,909 | 22,060 | 0,938 | 47,738 | 0,680 | 79,820 |

Com base nos valores expostos na tabela 12, são realizadas as seguintes considerações para cada cor:

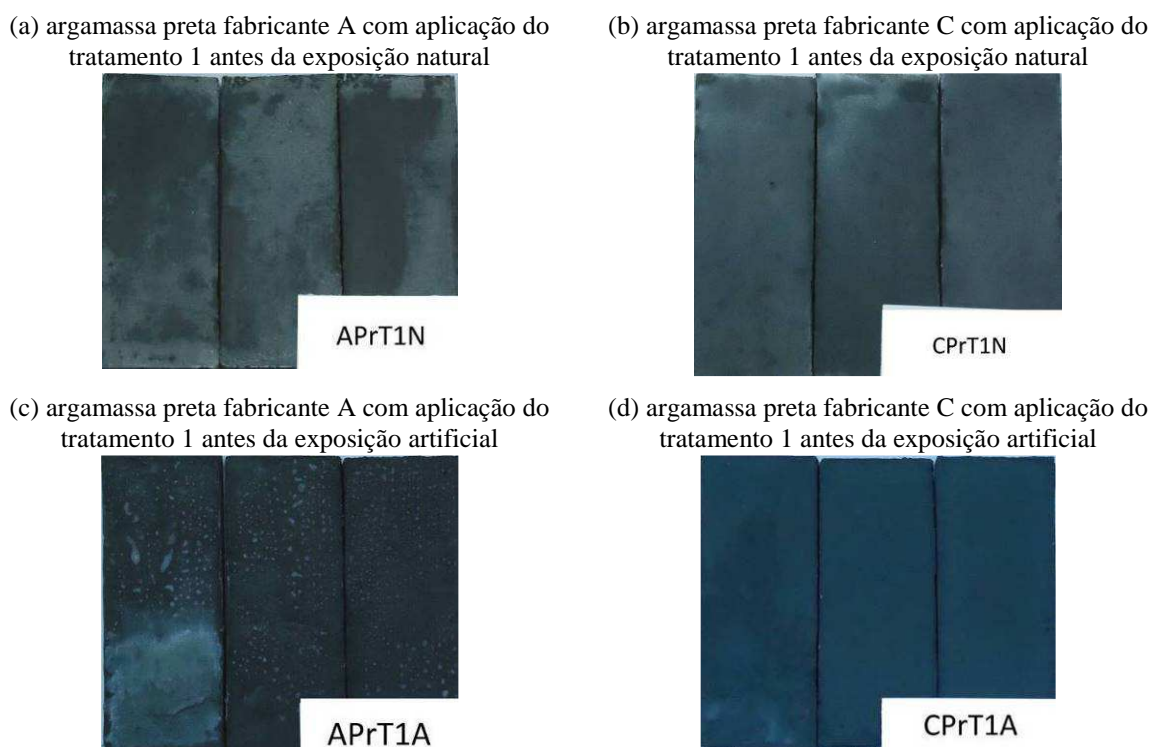
- a) a alteração cromática devido à aplicação de tratamento nas argamassas brancas ocorreu de forma generalizada entre os fabricantes e os diferentes tratamentos. De forma geral, pela análise da alteração do eixo luminosidade (ΔL^*), essas argamassas clarearam em relação à cor inicial, ou seja, ficaram mais brancas com a aplicação do tratamento superficial. Apesar desse branqueamento ser pouco notável a olho nu, os valores enquadram-se como distinguíveis ($1,5 < \Delta E < 3,0$) e facilmente distinguíveis ($3,0 < \Delta E < 6,0$) de acordo com a percepção utilizada na indústria de tintas;
- b) as argamassas cinzas também clarearam uniformemente devido à aplicação dos tratamentos, porém em níveis maiores que a variação das argamassas brancas, apresentando-se facilmente distinguível ($3,0 < \Delta E < 6,0$) em alguns casos e, na maioria, como grande percepção ($6,0 < \Delta E < 12,0$). No entanto, como a alteração ocorreu de forma uniforme ao longo das placas de argamassa, não é uma percepção que se destaca a olho nu;

Para as argamassas do fabricante B, há uma elevada diferença entre as placas moldadas para as exposições natural e artificial. Isso se deve ao fato de que, no momento da cura essas placas ficaram com tonalidade diferenciada, possivelmente pelo fato de que foram moldadas em dias diferentes e, portanto, com condições climáticas um pouco diferenciadas. Vale ressaltar que em estudo piloto verificou-se uma elevada sensibilidade nas argamassas desse fabricante com relação à ocorrência de diferença de cor e manchamento quando a umidade era mantida após moldagem das argamassas através da permanência de sacos plásticos sobre os corpos de prova. Ou seja, a condensação de umidade em alguns pontos do saco plástico causava manchamentos mais claros nessas partes das placas devido ao aumento da relação a/c naqueles pontos. Essa observação corrobora com os estudos de Helene e Galante¹⁷ (1999 apud Passuello, 2004);

17 HELENE, P.R.L.; GALANTE, R. Concreto Colorido. São Paulo, 1999. In: Congresso Brasileiro do Cimento, 5º. Anais. São Paulo: Congresso Brasileiro de cimento (CBO). 1999.

c) assim como nas argamassas cinzas, as argamassas pretas moldadas em dias diferentes também possuem variação de tonalidade. Para as alterações devido à aplicação de tratamento, destacam-se os manchamentos pontuais perceptíveis a olho nu, porém nem sempre identificados pelo ensaio cromático devido aos pontos pré estabelecidos no gabarito. As figuras 27(a) a 27(d) apresentam casos de manchamento devido à aplicação do tratamento 1 (produto impermeabilizante à base de metil siliconato de potássio) nas argamassas dos fabricantes A e C. Para as demais argamassas, as alterações enquadram-se como pequenas ($0,5 < \Delta E < 1,5$), distinguíveis ($1,5 < \Delta E < 3,0$) e facilmente distinguíveis ($3,0 < \Delta E < 6,0$). As alterações de fácil percepção dizem respeito aos manchamentos causados pela aplicação do tratamento 1.

Figura 27 – Manchamentos identificados a olho nu nas argamassas antes da exposição ao intemperismo



Dessa forma, observa-se que o produto à base de metil siliconato de potássio indicado para proteger argamassas de rejuntamento causa manchamentos em cores escuras.

Outra parte da variação cromática ocorre devido, exclusivamente, à exposição ambiental das argamassas. Após a aplicação dos tratamentos superficiais de proteção, todas as argamassas (referências e tratadas) foram expostas ao intemperismo e a propriedade foi avaliada nos

períodos conforme a figura 28. Os valores médios da variação são apresentados na tabela 13 tanto em termos totais (ΔE) como em termos da alteração do eixo luminosidade (ΔL^*).

Figura 28 – Linha do tempo da variação cromática devido ao intemperismo

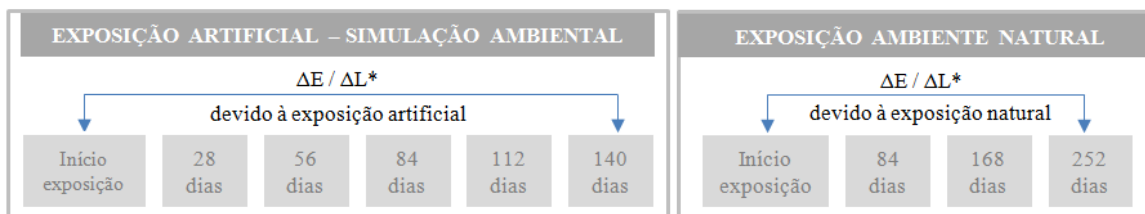


Tabela 13 – Valores médios de variação cromática (ΔE) e do eixo luminosidade (ΔL^*) devido à exposição ao intemperismo das argamassas avaliadas nessa pesquisa

| Cor | Fabricante | Tratamento | ARTIFICIAL | | | | NATURAL | | | |
|--------|------------|------------|------------|--------|--------------|--------|------------|--------|--------------|--------|
| | | | ΔE | | ΔL^* | | ΔE | | ΔL^* | |
| | | | Média | CV (%) | Média | CV (%) | Média | CV (%) | Média | CV (%) |
| BRANCO | A | REF | 5,674 | 9,65 | 5,45 | 9,84 | 2,911 | 20,47 | 2,875 | 21,59 |
| | | 1 | 1,905 | 18,38 | 1,88 | 18,61 | 1,531 | 19,17 | -0,698 | 55,51 |
| | | 2 | 1,691 | 14,66 | 1,69 | 14,67 | 0,953 | 46,27 | -0,132 | 373,67 |
| | B | REF | 4,229 | 20,01 | 3,86 | 19,78 | 2,429 | 39,28 | -2,153 | 51,39 |
| | | 1 | 1,279 | 33,52 | 1,12 | 30,95 | 4,801 | 17,35 | -4,422 | 19,57 |
| | | 2 | 1,226 | 33,70 | 1,12 | 36,50 | 1,592 | 40,53 | -1,466 | 42,51 |
| | C | REF | 5,398 | 5,40 | 5,37 | 5,35 | 2,382 | 18,59 | 1,182 | 95,94 |
| | | 1 | 1,254 | 30,08 | 1,21 | 32,59 | 2,918 | 22,39 | -1,630 | 42,01 |
| | | 2 | 1,564 | 14,32 | 1,53 | 15,43 | 1,068 | 20,51 | -0,109 | 332,75 |
| CINZA | A | REF | 19,179 | 8,98 | 19,10 | 9,04 | 9,413 | 17,63 | 9,102 | 18,39 |
| | | 1 | 5,582 | 12,52 | 5,58 | 12,52 | 1,420 | 49,71 | 1,255 | 64,29 |
| | | 2 | 5,530 | 8,06 | 5,52 | 8,01 | 7,332 | 7,14 | 7,247 | 6,79 |
| | B | REF | 0,713 | 27,22 | 0,50 | 50,80 | 3,138 | 34,14 | 3,111 | 35,05 |
| | | 1 | 0,773 | 15,46 | 0,36 | 83,48 | 3,642 | 66,14 | -3,112 | 76,42 |
| | | 2 | 0,791 | 10,16 | -0,07 | 351,54 | 2,384 | 47,13 | -2,003 | 56,19 |
| | C | REF | 15,312 | 5,74 | 15,62 | 13,56 | 15,312 | 5,74 | 15,202 | 5,68 |
| | | 1 | 7,436 | 13,32 | 7,28 | 13,90 | 5,607 | 11,26 | 5,562 | 11,53 |
| | | 2 | 4,456 | 10,65 | 4,41 | 10,85 | 3,246 | 45,09 | 2,960 | 60,41 |
| PRETO | A | REF | 2,040 | 20,96 | 1,82 | 26,65 | 13,571 | 19,03 | 13,494 | 19,04 |
| | | 1 | 1,721 | 38,44 | 0,39 | 252,15 | 6,400 | 22,59 | 3,090 | 159,23 |
| | | 2 | 2,452 | 14,49 | 2,17 | 19,54 | 8,121 | 20,54 | 7,985 | 22,03 |
| | B | REF | 2,252 | 18,69 | 2,12 | 20,83 | 9,250 | 12,26 | 9,238 | 12,25 |
| | | 1 | 1,178 | 11,32 | 0,78 | 32,81 | 3,865 | 22,97 | 3,701 | 30,39 |
| | | 2 | 1,158 | 12,94 | 0,70 | 33,63 | 4,120 | 16,22 | 4,109 | 16,35 |
| | C | REF | 1,681 | 14,93 | 1,60 | 16,56 | 22,076 | 5,66 | 22,057 | 5,65 |
| | | 1 | 1,546 | 22,12 | 1,45 | 24,62 | 15,199 | 19,39 | 14,919 | 20,00 |
| | | 2 | 1,273 | 28,61 | 1,06 | 41,49 | 23,083 | 4,30 | 23,077 | 4,31 |

Acumulando essas variações cromáticas (devido à aplicação de tratamento e à exposição ambiental), obtém-se o resultado ao final do processo (figura 29). Esse é o resultado mais

importante, uma vez que representa o aspecto visual final das argamassas e, portanto, esses são os resultados apresentados nessa pesquisa.

No entanto, sempre que necessário e se fizer pertinente, resultados de variação cromática devido à aplicação de tratamento e devido ao envelhecimento serão apresentados e/ou acrescentados a esses resultados. Dessa forma, na tabela 14 são expostos os valores médios de alteração cromática total (ΔE) e alteração do eixo luminosidade (ΔL^*) para essa situação.

Figura 29 – Fluxograma das variações cromáticas devido ao tratamento e à exposição ao intemperismo

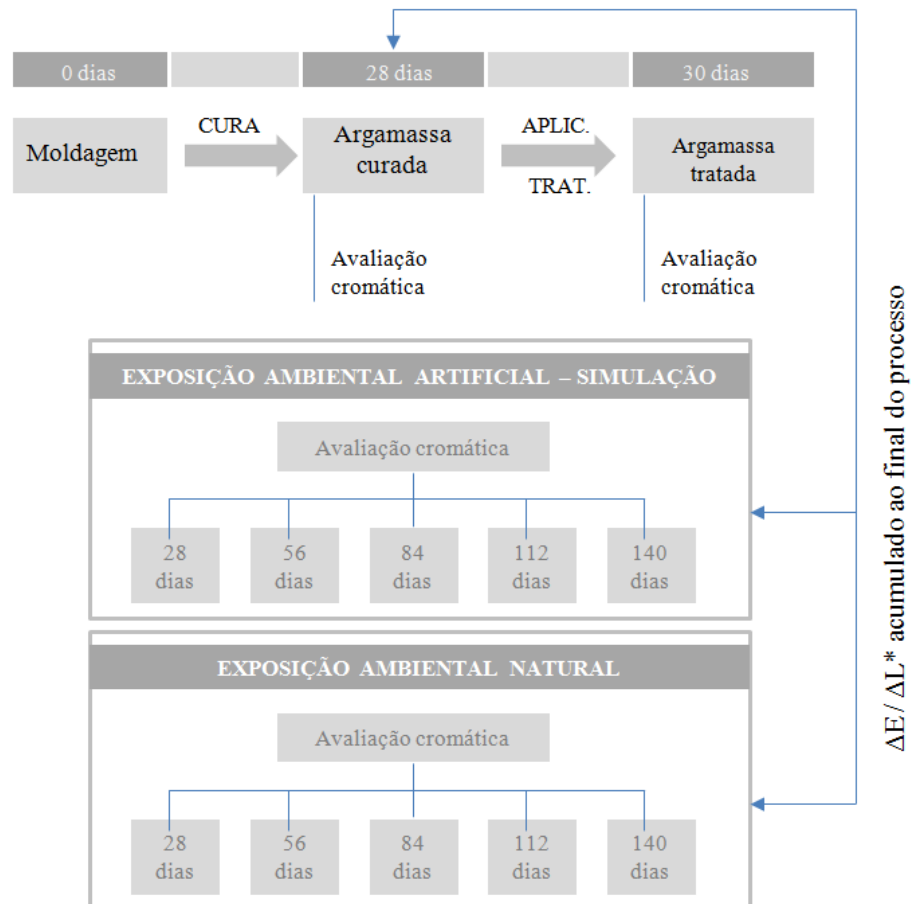


Tabela 14 – Valores médios de variação cromática total (ΔE) e do eixo luminosidade (ΔL^*) acumulada ao final do processo

| Cor | Fabricante | Tratamento | ARTIFICIAL | | | | NATURAL | | | |
|---------|------------|------------|------------|--------|--------------|--------|------------|--------|--------------|--------|
| | | | ΔE | | ΔL^* | | ΔE | | ΔL^* | |
| | | | Média | CV (%) | Média | CV (%) | Média | CV (%) | Média | CV (%) |
| BR ANCO | A | REF | 5,674 | 9,65 | 5,446 | 9,84 | 2,911 | 20,47 | 2,875 | 21,59 |
| | | 1 | 6,599 | 7,34 | 6,298 | 7,51 | 3,320 | 12,00 | 3,305 | 11,98 |
| | | 2 | 6,281 | 8,72 | 5,405 | 6,32 | 3,649 | 22,38 | 3,566 | 22,60 |
| | B | REF | 4,229 | 20,01 | 3,865 | 19,78 | 2,429 | 39,28 | -2,153 | 51,39 |
| | | 1 | 3,559 | 15,49 | 3,183 | 16,03 | 2,807 | 35,95 | -2,435 | 43,41 |
| | | 2 | 4,298 | 13,86 | 3,857 | 13,90 | 2,158 | 30,81 | 1,752 | 36,61 |
| | C | REF | 5,398 | 5,40 | 5,374 | 5,35 | 2,382 | 18,59 | 1,182 | 95,94 |
| | | 1 | 4,655 | 20,09 | 4,640 | 20,02 | 2,908 | 15,02 | 2,229 | 31,70 |
| | | 2 | 5,427 | 6,26 | 5,405 | 6,32 | 4,369 | 12,89 | 4,342 | 13,19 |
| CINZA | A | REF | 19,179 | 8,98 | 19,096 | 9,04 | 15,312 | 5,74 | 9,102 | 18,39 |
| | | 1 | 16,631 | 7,45 | 16,600 | 7,47 | 8,050 | 12,03 | 7,866 | 12,32 |
| | | 2 | 18,847 | 7,17 | 18,795 | 7,14 | 10,646 | 9,26 | 10,463 | 9,53 |
| | B | REF | 0,713 | 27,22 | 0,498 | 50,80 | 3,138 | 34,14 | 3,111 | 35,05 |
| | | 1 | 1,097 | 23,17 | 0,936 | 35,98 | 2,542 | 41,90 | 1,332 | 167,57 |
| | | 2 | 0,940 | 22,17 | 0,709 | 38,61 | 2,604 | 37,60 | 2,525 | 40,33 |
| | C | REF | 15,672 | 13,50 | 15,620 | 13,56 | 15,312 | 5,74 | 15,202 | 5,68 |
| | | 1 | 13,454 | 12,68 | 13,420 | 12,61 | 14,740 | 8,04 | 14,605 | 8,32 |
| | | 2 | 11,545 | 11,52 | 11,521 | 11,74 | 13,202 | 16,04 | 13,032 | 15,96 |
| PPRETO | A | REF | 2,040 | 20,96 | 1,820 | 26,65 | 13,571 | 19,03 | 13,494 | 19,04 |
| | | 1 | 2,856 | 31,48 | 2,560 | 40,94 | 11,802 | 17,02 | 11,728 | 17,11 |
| | | 2 | 1,610 | 16,14 | 0,960 | 45,98 | 8,999 | 11,65 | 8,861 | 11,69 |
| | B | REF | 2,252 | 18,69 | 2,119 | 20,83 | 9,250 | 12,26 | 9,238 | 12,25 |
| | | 1 | 2,464 | 13,65 | 2,338 | 15,29 | 8,761 | 8,96 | 8,750 | 9,02 |
| | | 2 | 1,635 | 32,49 | 1,370 | 43,74 | 7,810 | 13,76 | 7,802 | 13,74 |
| | C | REF | 1,681 | 14,93 | 1,599 | 16,56 | 22,076 | 5,66 | 22,057 | 5,65 |
| | | 1 | 1,454 | 29,81 | 1,232 | 63,32 | 23,997 | 3,81 | 23,971 | 3,83 |
| | | 2 | 0,830 | 10,00 | 0,079 | 403,20 | 24,295 | 4,27 | 24,272 | 4,27 |

Os valores acima resumidos foram analisados através da ferramenta estatística análise de variância (ANOVA) e os efeitos são apresentados nas tabelas 15 e 16 para a alteração cromática total (ΔE) e alteração do eixo luminosidade (ΔL^*), respectivamente.

Tabela 15 – ANOVA para variável variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo

| Fatores | SQ | GL | MQ | F (calc) | p-valor | Efeito |
|---------------------------------|----------|-----|---------|----------|----------|--------|
| Fabricante (1) | 7813,17 | 2 | 3906,59 | 3628,45 | 0,000000 | S |
| Cor (2) | 5769,25 | 2 | 2884,63 | 2679,25 | 0,000000 | S |
| Exposição (3) | 1920,94 | 1 | 1920,94 | 1784,18 | 0,000000 | S |
| Tratamento (4) | 34,77 | 2 | 17,38 | 16,15 | 0,000000 | S |
| Fabricante*cor | 5694,48 | 4 | 1423,62 | 1322,26 | 0,000000 | S |
| Fabricante*exposição | 2502,89 | 2 | 1251,45 | 1162,35 | 0,000000 | S |
| Cor*exposição | 11643,10 | 2 | 5821,55 | 5407,08 | 0,000000 | S |
| Fabricante*tratamento | 8,24 | 4 | 2,06 | 1,91 | 0,106292 | NS |
| Cor*Tratamento | 131,94 | 4 | 32,99 | 30,64 | 0,000000 | S |
| Exposição*tratamento | 4,49 | 2 | 2,24 | 2,08 | 0,125103 | NS |
| Fabricante*cor*exposição | 3123,83 | 4 | 780,96 | 725,36 | 0,000000 | S |
| Fabricante*cor*tratamento | 317,45 | 8 | 39,68 | 36,86 | 0,000000 | S |
| Fabricante*exposição*tratamento | 89,40 | 4 | 22,35 | 20,76 | 0,000000 | S |
| Cor*exposição*tratamento | 19,46 | 4 | 4,86 | 4,52 | 0,001282 | S |
| 1*2*3*4 | 78,92 | 8 | 9,87 | 9,16 | 0,000000 | S |
| Erro | 982,99 | 913 | 1,08 | | | |

SO: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; MO: quadrado médio; F (calc): F calculado

p-valor: probabilidade do efeito do fator sobre a variável de resposta ser devido ao acaso

S: significativo; NS: não significativo

Tabela 16 – ANOVA para variação do eixo luminosidade (ΔL^*) acumulada ao final do processo

| Fatores | SQ | GL | MQ | F (calc) | p-valor | Efeito |
|---------------------------------|----------|-----|---------|----------|----------|--------|
| Fabricante (1) | 9296,50 | 2 | 4648,25 | 3865,45 | 0,000000 | S |
| Cor (2) | 7109,71 | 2 | 3554,86 | 2956,19 | 0,000000 | S |
| Exposição (3) | 1466,28 | 1 | 1466,28 | 1219,35 | 0,000000 | S |
| Tratamento (4) | 24,90 | 2 | 12,45 | 10,35 | 0,000036 | S |
| Fabricante*cor | 4978,47 | 4 | 1244,62 | 1035,02 | 0,000000 | S |
| Fabricante*exposição | 2493,17 | 2 | 1246,58 | 1036,65 | 0,000000 | S |
| Cor*exposição | 13122,04 | 2 | 6561,02 | 5456,10 | 0,000000 | S |
| Fabricante*tratamento | 29,63 | 4 | 7,41 | 6,16 | 0,000068 | S |
| Cor*Tratamento | 300,95 | 4 | 75,24 | 62,57 | 0,000000 | S |
| Exposição*tratamento | 47,69 | 2 | 23,85 | 19,83 | 0,000000 | S |
| Fabricante*cor*exposição | 3206,78 | 4 | 801,70 | 666,68 | 0,000000 | S |
| Fabricante*cor*tratamento | 310,23 | 8 | 38,78 | 32,25 | 0,000000 | S |
| Fabricante*exposição*tratamento | 112,39 | 4 | 28,10 | 23,37 | 0,000000 | S |
| Cor*exposição*tratamento | 47,40 | 4 | 11,85 | 9,86 | 0,000000 | S |
| 1*2*3*4 | 106,11 | 8 | 13,26 | 11,03 | 0,000000 | S |
| Erro | 1093,08 | 909 | 1,20 | | | |

SO: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; MO: quadrado médio; F (calc): F calculado

p-valor: probabilidade do efeito do fator sobre a variável de resposta ser devido ao acaso

S: significativo; NS: não significativo

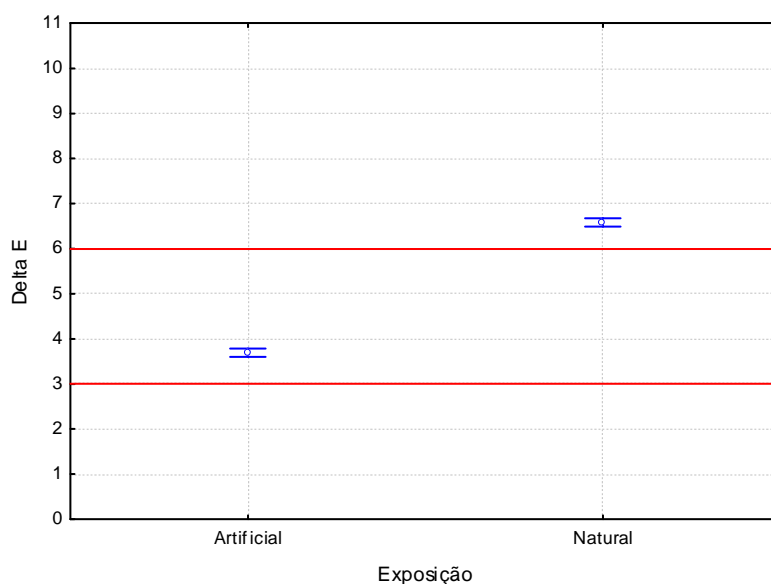
Para a variável de estudo variação cromática total (ΔE), com exceção das interações entre as variáveis fabricante e tratamento e entre as variáveis exposição e tratamento, os demais

efeitos (inclusive os de terceira e quarta ordem) são significativos (tabela 15). Já para o caso de estudo da variação no eixo luminosidade, todas as variáveis e interações se mostraram significativas (tabela 16).

5.2.1 Efeito isolado da variável exposição

Uma vez que o tipo de exposição (artificial ou natural) está vinculado apenas ao período de envelhecimento das argamassas, a figura 30 apresenta a influência que ela exerce sobre a alteração cromática através de uma análise de variância (ANOVA)¹⁸.

Figura 30 – ANOVA efeito da variável exposição na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo



A análise representa que os efeitos da exposição ambiental natural, de forma isolada, foram maiores que os efeitos devido à exposição em simulador ambiental. Como será verificado nas interações a seguir, essa diferença significativa está relacionada às alterações ocorridas nas argamassas pretas. Uma vez que a câmara de intemperismo artificial trabalhou em temperaturas mais elevadas (40°C e 60°C) que as condições climáticas ocorridas na cidade de Porto Alegre durante o período avaliado (média da $T_{máx}$ entre 27°C e 28°C), esperava-se que nos períodos analisados o envelhecimento artificial acelerasse o processo de degradação e apresentasse maiores resultados de variação cromática. No entanto há que se levar em conta as seguintes situações:

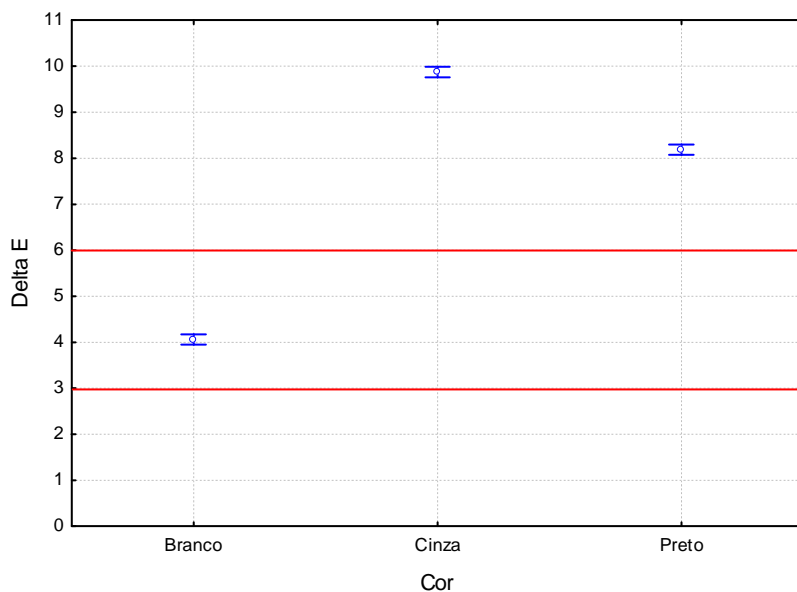
¹⁸ As linhas vermelhas apresentadas nos gráficos representam as faixas de percepção de diferença de cor utilizada na indústria de tintas, conforme quadro 12 apresentado no item 4.4 da revisão bibliográfica.

- a) o espectro do sol é mais intenso e mais completo que a radiação das lâmpadas da câmara, incluindo raios UVB que são mais degradantes (GROSSMAN, 1981). Estudos comprovam que a exposição de tintas à lâmpadas UVB é mais degradante que a exposição artificial com lâmpadas que emitem radiação UVA (FRAGATA et al. 2010);
- b) a temperatura das argamassas pretas em ambiente natural atinge picos mais elevados que a temperatura observada no simulador ambiental em função da maior absorção de raios (QUINTELA, 2006; ASTM C1472, 2010), sendo possivelmente aceitável que as temperaturas expostas ao intemperismo natural tenham atingido temperaturas maiores que a temperatura da câmara (60°C);
- c) a ausência de simulação de chuva na câmara de intemperismo artificial retira um agente de degradação de impacto uma vez que além de causar o completo molhamento das amostras (percolação), lixivia as partículas degradadas através da lavagem e contribui para a remoção de película de proteção;
- d) as variações térmicas, apesar de maiores no simulador ambiental (20°C) do que em ambiente natural (~10°C), são mais bruscas no meio natural principalmente com as chuvas de verão logo após altas temperaturas, enquanto a transição entre diferentes temperaturas na câmara de intemperismo ocorre gradativamente.

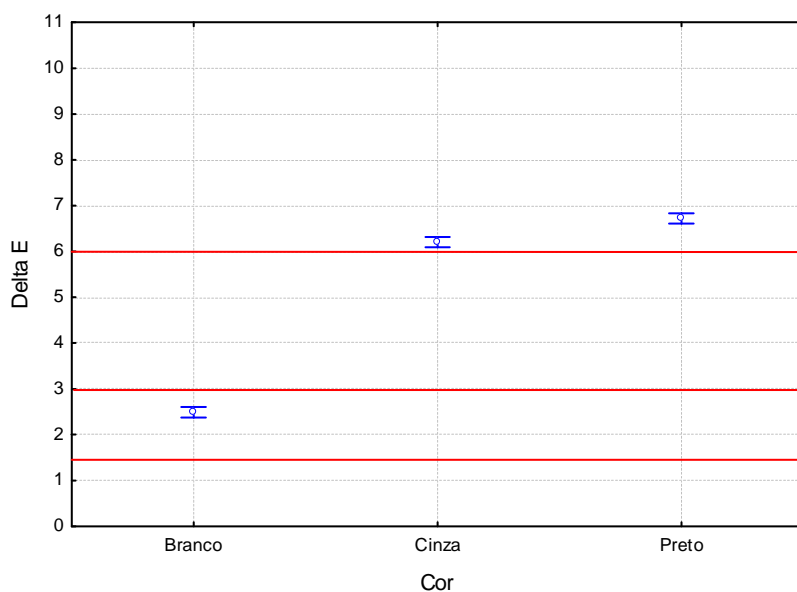
Nas análises posteriores constata-se que a maior diferença entre as exposições natural e artificial realmente ocorreu nas argamassas de cor preta.

5.2.2 Efeito isolado da variável cor

O efeito isolado da variável cor das argamassas sobre a variável de resposta foi significativo conforme a análise de variância (ANOVA) e está apresentado na figura 31.

Figura 31 – ANOVA efeito da variável cor na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo

A figura 31 aponta que as argamassas de cor branca são as menos afetadas do ponto de vista de alteração de cor e que as argamassas de cor cinza sofreram as maiores alterações cromáticas ao final do processo. Tal resultado está associado ao fato de que as argamassas cinzas tiveram variações mais intensas devido à aplicação do tratamento. Para comprovar tal situação, a figura 32 apresenta a análise de variância (ANOVA) para o caso em que a variação é restrita ao período de exposição.

Figura 32 – ANOVA efeito da variável cor na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo

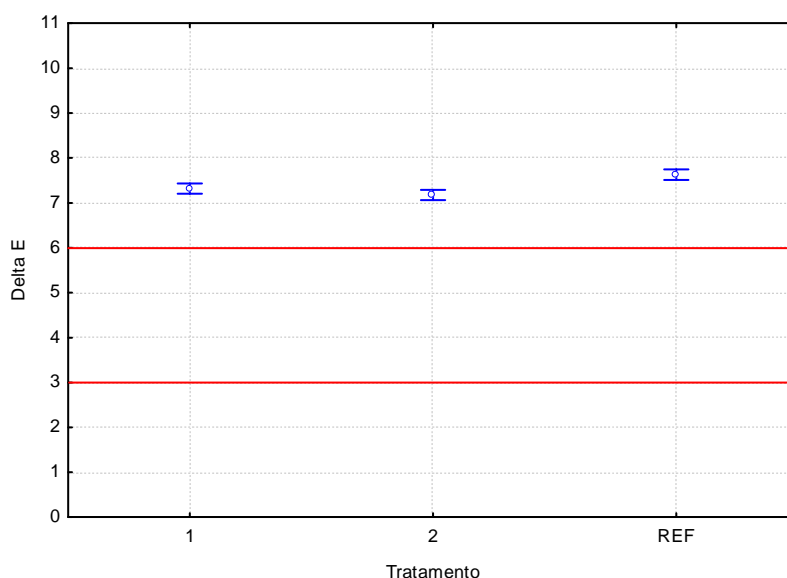
Diferentemente dos resultados que acumulam os efeitos do tratamento e do intemperismo, observa-se que as cores cinza e preto são igualmente afetadas pela exposição ambiental. Isso pode estar associado à maior presença de pigmento na formulação das argamassas cinzas e

pretas, ocorrendo desbotamento da cor. Os resultados corroboram com Figueiredo (2010), pois a variação da cor é um dos primeiros efeitos verificados devido à degradação dos agentes ambientais. Uma vez que a variação das argamassas de cores cinza e preto ocorreram na forma de desbotamento, há uma possibilidade de que o efeito esteja associado ao desbotamento do próprio pigmento (ROCHA-GOMES, 2008) ou devido ao desbotamento da pasta de cimento conforme as observações de Kresse (1992). Já as argamassas brancas ampliaram a brancura ao longo dos primeiros meses de exposição possivelmente em decorrência de (a) perda de umidade associada à secagem do material cimentício (PASSUELO, 2004); (b) devido à presença de pigmento à base de dióxido de titânio nas argamassas e no cimento branco (LOH, 2010); (c) pela ação hidrofóbica do dióxido de titânio que lava a superfície das placas e evita a impregnação de sujeira (PEREIRA et al., 2009).

5.2.3 Efeito isolado da variável tratamento

A análise de variância (ANOVA) demonstra que a variável tratamento tem efeito significativo sobre a variável alteração cromática (figura 33).

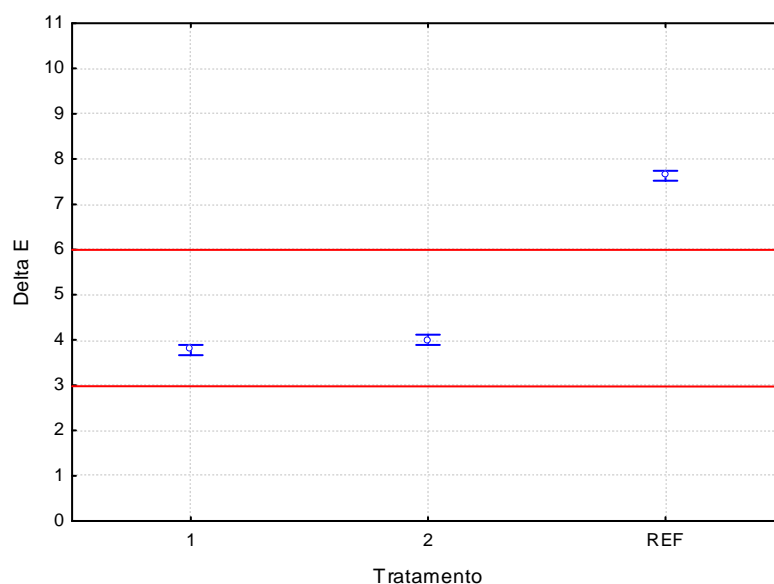
Figura 33 – ANOVA efeito da variável tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo



A figura 33 demonstra que, ao final do processo, não há diferenças de grande proporção apesar da estatística demonstrar-se significativa. As argamassas tratadas com os produtos hidrofugantes tiveram comportamentos praticamente iguais, assim como também não há uma grande diferença entre as argamassas tratadas e as que não receberam aplicação de produtos. Porém, como explicitado no subcapítulo anterior, a aplicação de tratamentos sobre a

superfície das argamassas também causa variação cromática. Sendo assim, quando a alteração é avaliada do ponto de vista apenas do período de exposição ao intemperismo, observa-se que as argamassas sem tratamento passam por maior variação cromática (figura 34), uma vez que as argamassas protegidas pelos produtos já variaram o tom de cor anteriormente.

Figura 34 – ANOVA efeito da variável tratamento na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo

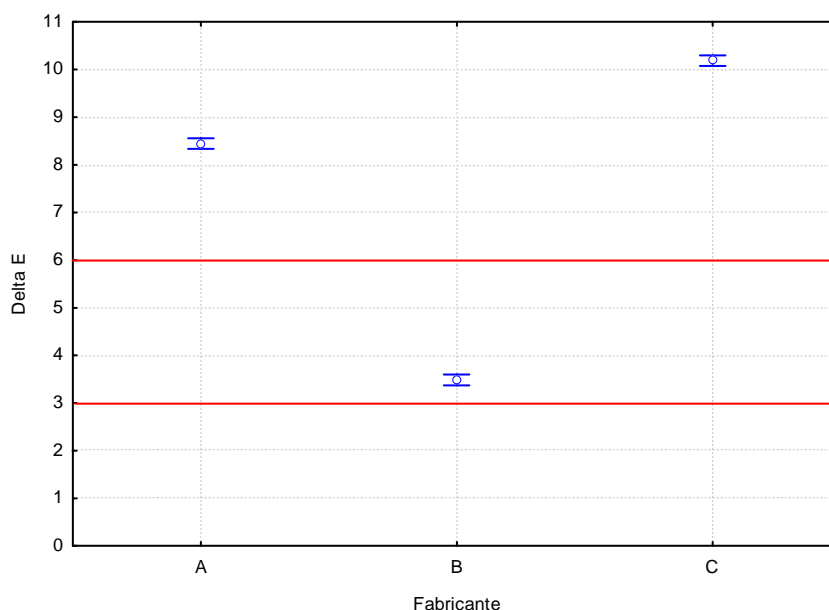


Cabe ressaltar que as argamassas referências (sem tratamento) sofreram variações no nível de grande percepção ($6 < \Delta E < 12$), concluindo que os tratamentos protegeram as argamassas das ações do intemperismo em relação à alteração cromática ($3 < \Delta E < 6$). No entanto, como o tratamento 1 gera manchas desuniformes em cores escuras, o produto à base de silano/siloxano (tratamento 2) apresenta melhor desempenho do ponto de vista de alteração cromática para o período avaliado.

5.2.4 Efeito isolado da variável fabricante

Através da análise de variância (ANOVA) para o período em que as argamassas foram expostas ao intemperismo, a variável fabricante, de forma isolada, apresenta efeito significativo sobre a variação cromática total (ΔE) das placas ao final do processo (figura 35).

Figura 35 – ANOVA efeito da variável fabricante na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo

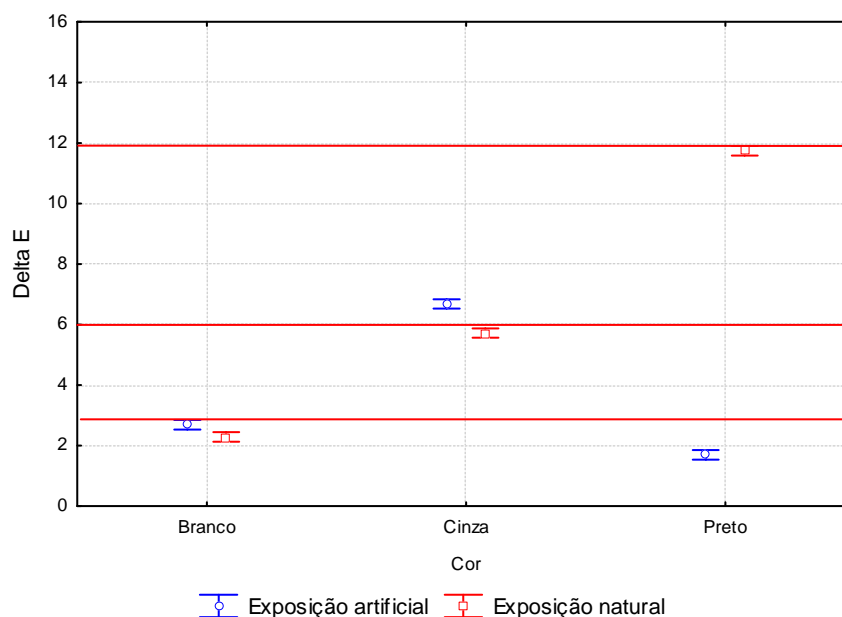


Através da figura 35, observa-se que há diferença entre os fabricantes apontando para formulações diferenciadas. No caso específico do fabricante B, a formulação da argamassa resultou em uma superfície de textura lisa e com brilho em maior intensidade do que nas demais argamassas, conforme já descrito no capítulo 5 – Materiais e métodos. Esse aspecto superficial fez com que houvesse maior reflexão dos raios UV devido ao brilho, gerando menor degradação durante o envelhecimento.

5.2.5 Efeito da interação entre as variáveis cor e exposição

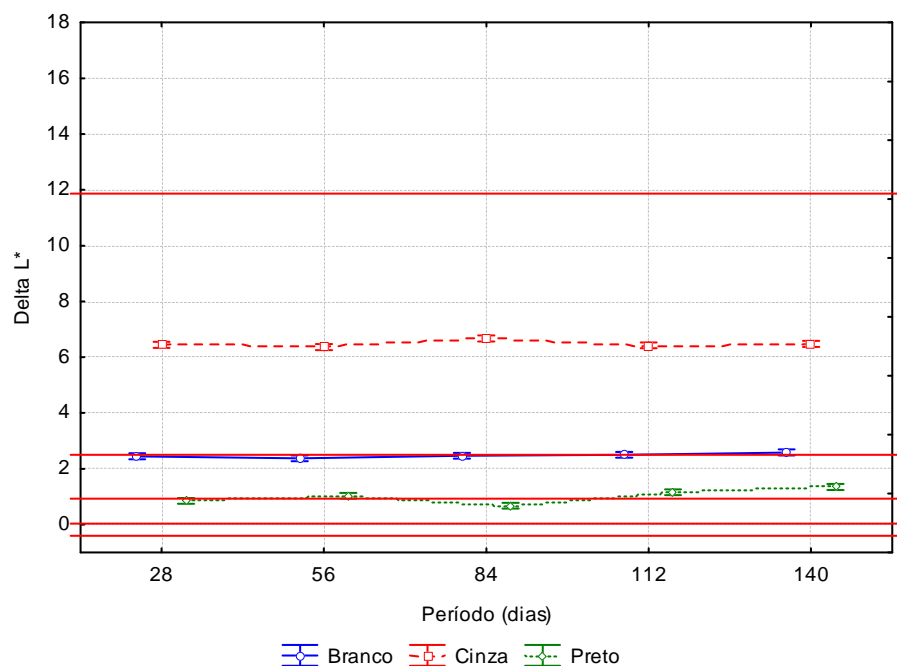
Através da análise de variância (ANOVA) para verificação do efeito da interação entre as variáveis cor e exposição, observa-se que o efeito foi significativo sobre a variável de controle (figura 36).

Figura 36 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e exposição na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo



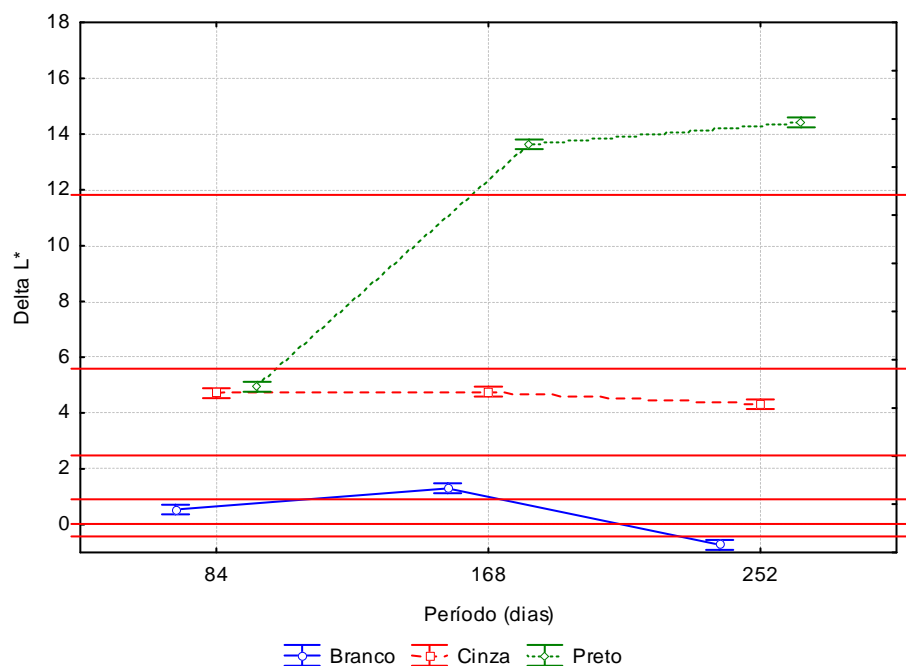
Através da figura 36 observa-se uma tendência de aumento da variação cromática com o aumento da presença de pigmento adicionado ao traço da argamassa, no entanto, a alteração cromática das argamassas pretas expostas em simulador ambiental foi drasticamente menor. Como já apontado anteriormente, inúmeros fatores ocorreram apenas na exposição ao ambiente natural. O fato desse comportamento apresentar-se de forma enfática apenas para as argamassas de cor preta pode estar associado à baixa reflexão de radiação para cores escuras, potencializando os efeitos das radiações em diversas faixas em ambiente natural e da elevada temperatura.

A fim de avaliar o branqueamento ou escurecimento das argamassas ao longo do tempo, a figura 37 demonstra a alteração acumulada ao longo dos dias em função das cores das argamassas expostas no simulador ambiental.

Figura 37 – Efeito do período de exposição em ambiente artificial sobre a variação do eixo luminosidade (ΔL^*)

Apesar das linhas do gráfico apresentado na figura 37 estarem deslocadas entre si, a idade de avaliação é a mesma. Observa-se, a partir dessa figura, que uma parte expressiva das variações ocorreram já nos primeiros 28 dias de exposição na câmara de intemperismo, não ocorrendo grandes alterações até o final do período avaliado, ou seja, as condições de envelhecimento foram aceleradas. De forma geral, as argamassas de todas as cores ficaram mais claras uma vez que o ΔL^* foi positivo. Observa-se, além disso, que as argamassas de cor cinza foram as que tiveram o maior clareamento durante o período de exposição em câmara artificial com variações do eixo luminosidade de grande percepção ($\Delta L^* > 6,0$), apesar de estarem pouco acima do limite (em torno de 6,5). Observa-se, também, que, apesar de variações praticamente imperceptíveis ao longo do tempo ensaiado, as argamassas brancas ficaram mais claras, verificado pelo ΔL^* em torno de 2,5 aos 28 dias. Como já mencionado, esse branqueamento deve estar associado à secagem da argamassa (PASSUELO, 2004) e à presença de dióxido de titânio utilizado nos traços, apesar do baixo percentual verificado. Para as argamassas pretas, ao contrário do esperado, as variações foram muito pequenas na exposição ao intemperismo artificial, com clareamento no nível muito pequeno a pequeno nos primeiros 84 dias e distinguível entre 84 e 140 dias.

Para comparação, a figura 38 aponta a evolução da alteração do eixo luminosidade para as amostras expostas em ambiente natural na cidade de Porto Alegre.

Figura 38 – Efeito do período de exposição em ambiente natural sobre a variação do eixo luminosidade (ΔL^*)

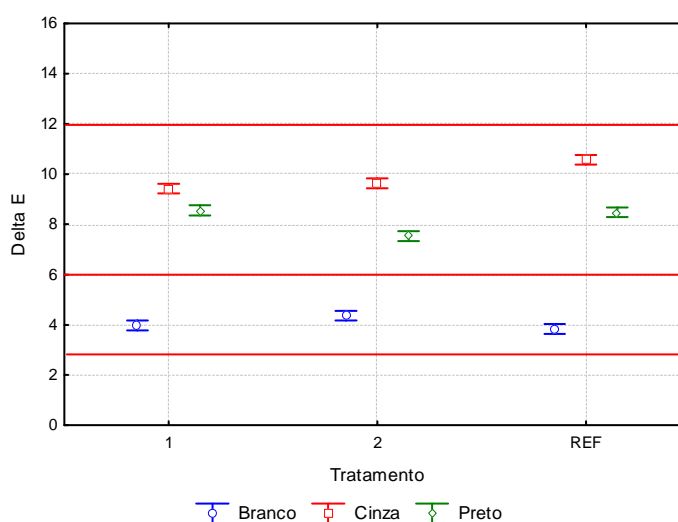
A partir da figura 38, observa-se que as argamassas brancas atingiram o clareamento máximo mais demoradamente (ao longo de 168 dias), sendo que esse clareamento foi menor ($\Delta L^* \sim 1,8$) do que o atingido em câmara de intemperismo ($\Delta L^* \sim 2,5$), corroborando com os resultados de Passuelo (2004), e que a exposição ao ambiente natural causou decréscimo de luminosidade das argamassas brancas a partir do sexto mês de exposição, fato não observado durante o período de avaliação em simulador ambiental. Essa tendência ao escurecimento está associada à presença de partículas de poluição não existentes na câmara de intemperismo artificial e à tendência de amarelamento, demonstrando que, realmente, o percentual de dióxido de titânio utilizado é muito baixo para causar efeito de refração (portanto, cabe a hipótese de que o % de TiO_2 é derivado do cimento branco utilizado no traço). As argamassas pretas foram as que apresentaram maior clareamento na forma de desbotamento com percepção de alteração muito grande ($\Delta L^* > 12$), estabilizando a partir do sexto mês. Essa alteração ocorreu entre os meses de janeiro e abril, durante o verão na cidade de Porto Alegre, sendo que os dados climáticos apontam que esse período foi o de menor precipitação bem como o período que teve um dos maiores níveis de radiação solar (ver tabela 10), indicando a baixa estabilidade do pigmento preto à radiação solar. Além disso, nesse período há ocorrência de chuvas mais ácidas na cidade de Porto Alegre, bem como níveis extremos de radiação ultravioleta. Para as argamassas cinzas, o clareamento ocorreu em nível consideravelmente menor do que na exposição artificial e manteve-se igual ao longo de toda exposição, havendo a possibilidade de que as degradações dessas argamassas tenham ocorrido

em função da elevada temperatura da câmara em relação ao ambiente natural, assim como no caso das argamassas brancas.

5.2.6 Efeito da interação entre as variáveis cor e tratamento

A análise de variância (ANOVA) do efeito da interação entre as variáveis cor e tratamento aponta significância (figura 39) para a situação ao final do processo de exposição, acumulando as variações devido à aplicação do tratamento e ao período de exposição.

Figura 39 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo

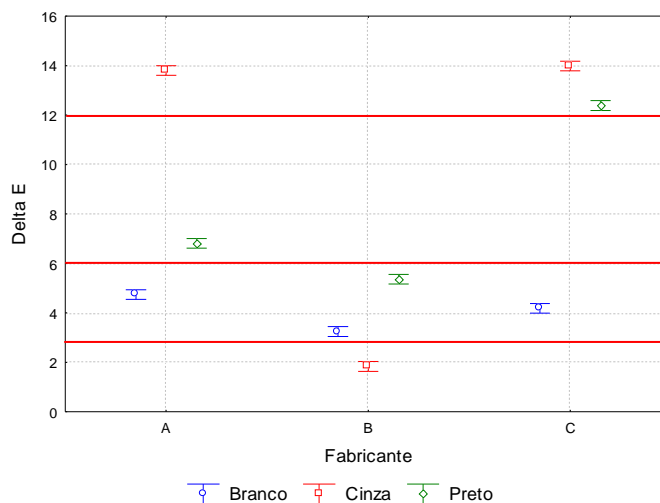


De acordo com a figura 39, observa-se que, comparando cada cor isoladamente, a variação cromática entre as argamassas que não foram tratadas e as que receberam aplicação de produtos hidrofugantes é muito próxima (principalmente para a cor branca) quando as argamassas são verificadas ao final do processo. Dessa forma, em parte as argamassas foram alteradas pela aplicação do tratamento e em parte pela exposição, chegando, ao final, a alterações de mesmo nível (de grande percepção para as argamassas cinzas e pretas e de percepção facilmente distinguível para as argamassas brancas). Dessa forma, excluindo-se os casos em que o tratamento provocou manchamentos desordenados nas argamassas, deve-se avaliar a vantagem do uso de tratamentos em outras propriedades como absorção de água.

5.2.7 Efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante

O efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante foi verificado através da análise de variância (ANOVA) e mostrou-se significativo (figura 40).

Figura 40 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo

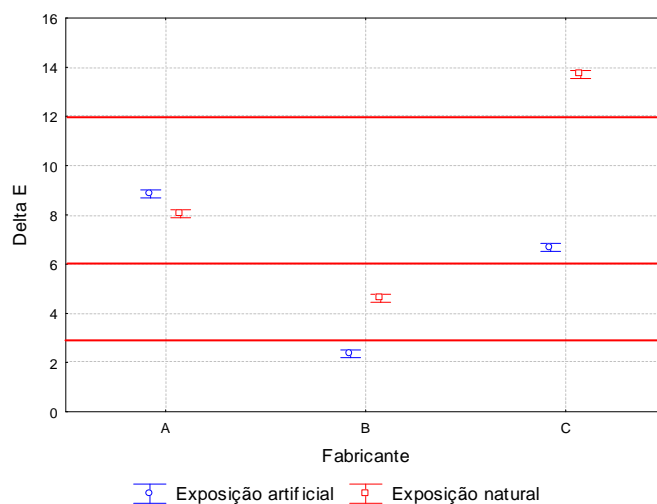


A figura 40 demonstra que, em geral, o fabricante B é o que apresenta maior variação na alteração cromática, principalmente para as argamassas de cores cinza e preto (nas quais ocorreram maiores variações). Como já comentado anteriormente, as placas de argamassa desse fabricante ficaram com superfície diferenciada, lisa e com presença de brilho que proporciona a reflexão dos raios UV evitando, por consequência, uma parte da degradação. Para as argamassas brancas, esse efeito passa a não ser tão intenso em função dessa cor já realizar alta reflexão dos raios.

5.2.8 Efeito da interação entre as variáveis exposição e fabricante

A partir da análise de variância (ANOVA) observa-se efeito significativo para a interação do tipo de exposição e do fabricante através da figura 41.

Figura 41 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição e fabricante na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo

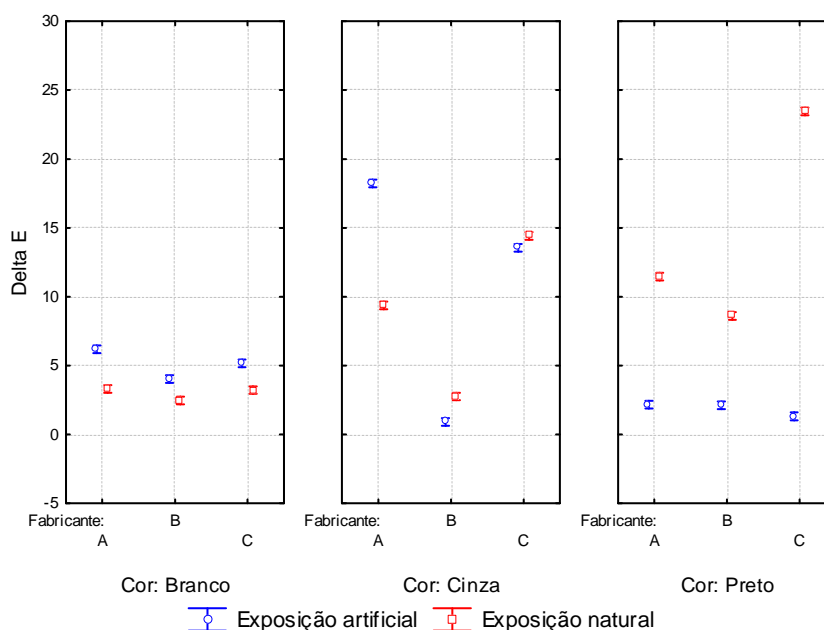


De acordo com a figura 41 observa-se que, assim como na análise anterior, ao alterar o tipo de exposição, o fabricante B mantém forte influência sobre a variável de resposta. Confirma-se, assim, a explicação de que a superfície das argamassas do fabricante B foi capaz de refletir os raios solares visto que as variações de alteração de cor foram menores para esse fabricante independentemente do tipo de exposição (natural ou artificial). Já o fabricante C apresentou grande diferença entre as argamassas expostas no ambiente natural e artificial e isso está atrelado, principalmente, ao nível de variação cromática da argamassa de cor preta quando exposta em ambiente natural (a ser verificado adiante). Com relação às argamassas do fabricante A, apresentaram variação de grande percepção tanto em ambiente artificial quanto natural, porém com poucas diferenças entre esses ambientes, demonstrando maior estabilidade frente a diferentes condições.

5.2.9 Efeitos da interação entre as variáveis cor, exposição e fabricante

O efeito da interação entre as variáveis cor, exposição e fabricante demonstrou-se significativo através da análise de variância (ANOVA) para a variação de cor (figura 42).

Figura 42 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e exposição na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo



Observa-se na análise estatística (figura 42) que a significância do tipo de exposição se deve, basicamente, a cor preta. Além disso, confirma-se que as argamassas de cor branca são as mais homogêneas do ponto de vista de variação cromática uma vez que apresentam valores praticamente iguais entre diferentes fabricantes e frente aos diferentes tipos de exposição.

Como já mencionado anteriormente, esse resultado está associado ao processo de secagem das amostras (PASSUELO, 2004) e também pode estar associado ao percentual de dióxido de titânio adicionado à mistura. As argamassas de cor cinza seguem uma tendência semelhante quando envelhecidas artificialmente ou naturalmente, porém apresentaram variações maiores e mais acentuadas quando expostas ao ambiente artificial para o fabricante A.

O fabricante B apresenta maior vantagem junto às argamassas que sofreram maiores variações, já que nesse caso a ocorrência de superfície brilhosa potencializa os efeitos da reflexão dos raios. As figuras 43 e 44 apresentam a variação cromática total e a variação do eixo luminosidade, respectivamente, devido à exposição ao intemperismo.

Figura 43 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e exposição na variação cromática total (ΔE) devido ao intemperismo

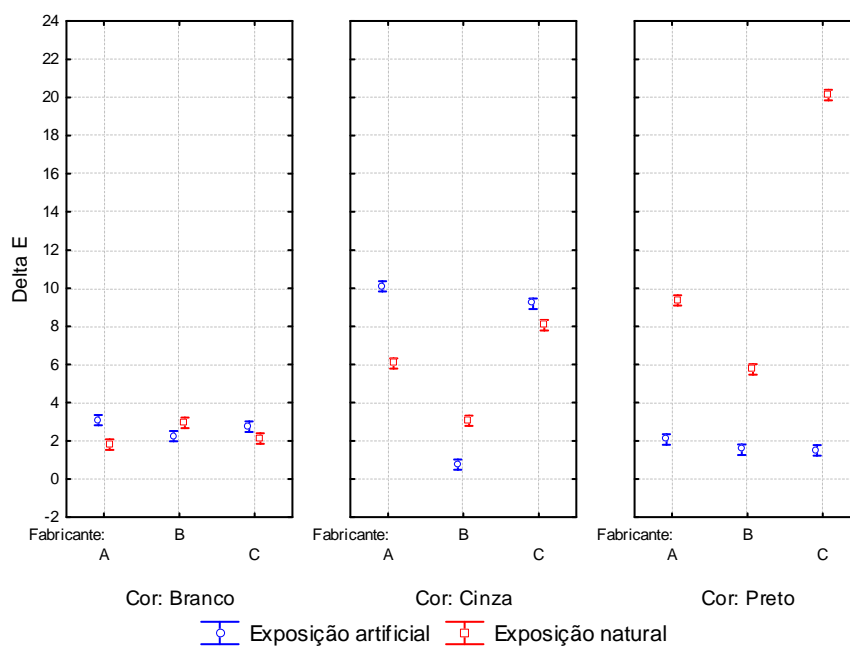
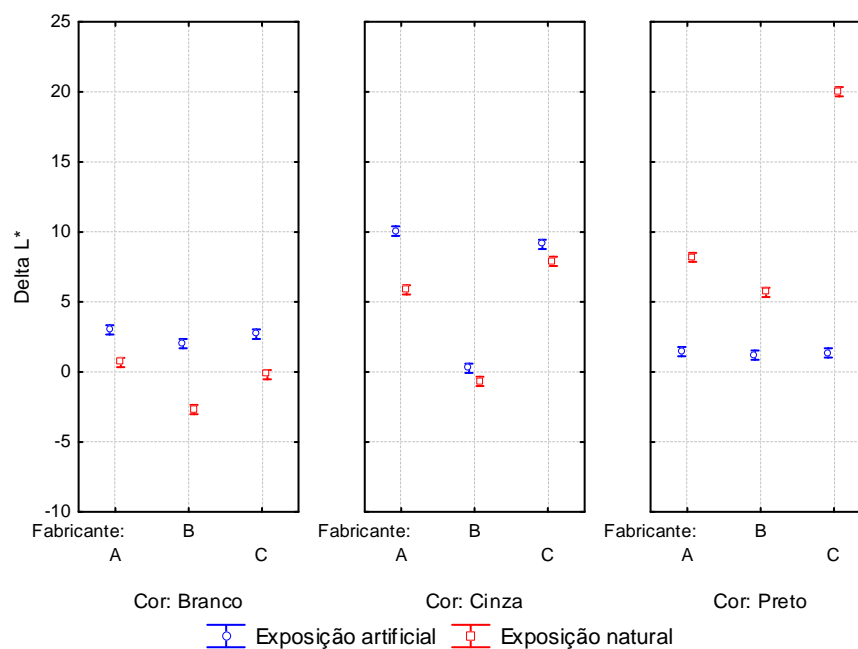


Figura 44 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e exposição na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) devido ao intemperismo



As figuras 43 e 44 apontam a variação cromática devido à exposição e apresentam destaque ao comportamento diferenciado das argamassas brancas. A figura 44 apresenta o eixo luminosidade (ΔL) e demonstra que as argamassas brancas do fabricante B expostas ao ambiente natural escureceram ($\Delta L < 0$) em função da presença de poluição atmosférica. Essa alteração foi perceptível a olho nu e pode ser verificada nas figuras 45(a) e 45(b) para essas argamassas sem aplicação de tratamento superficial e com aplicação do tratamento 1 (metil siliconato de potássio) respectivamente.

Figura 45 - Argamassas brancas fabricante B com sujidades por poluição após intemperismo natural

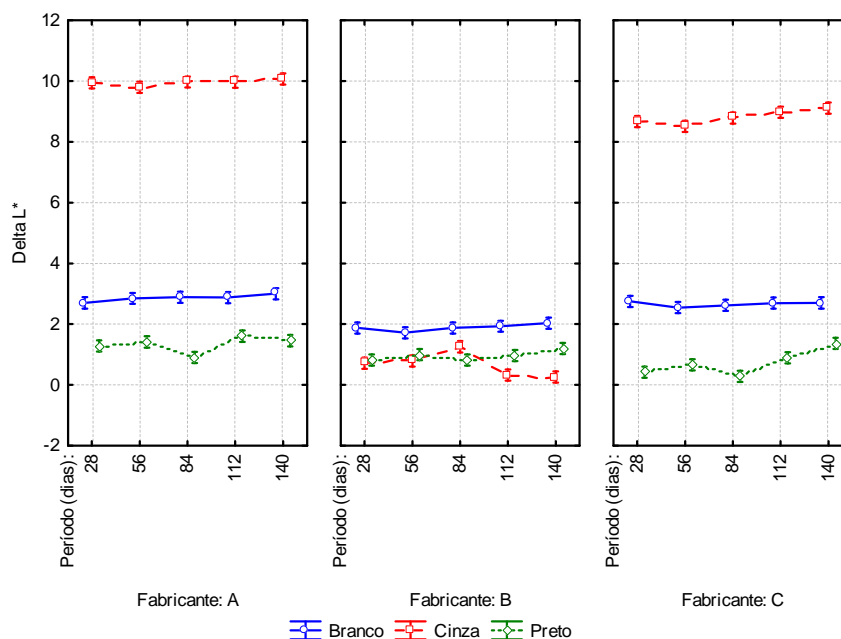
(a) argamassas sem tratamento

(b) argamassas com tratamento 1



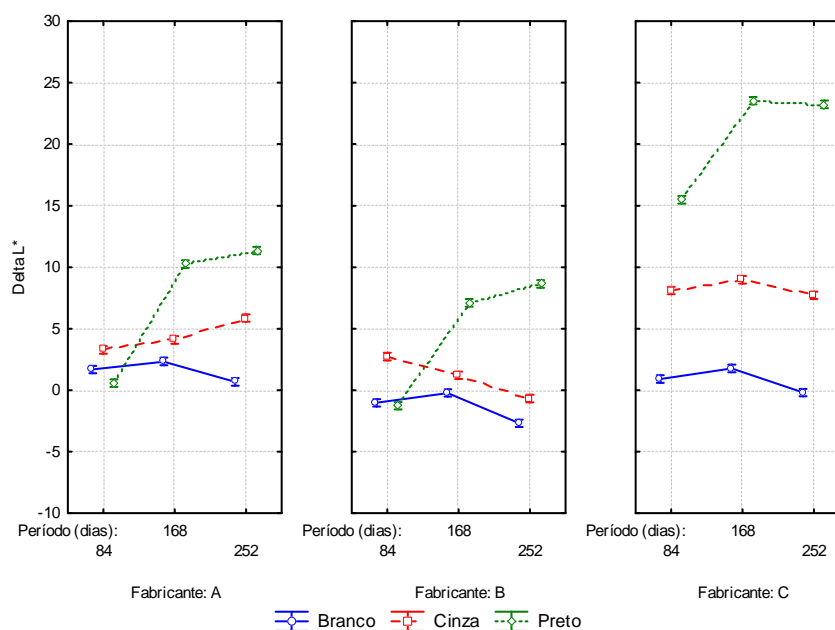
Através da figura 46, pode-se verificar a alteração no eixo luminosidade ao longo do tempo para as diferentes cores e fabricantes das argamassas.

Figura 46 – Efeito do período de exposição em ambiente artificial na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) das argamassas de diferentes cores e fabricantes



A partir da figura 46, conclui-se que as argamassas de diferentes fabricantes tiveram semelhante comportamento de variação no eixo luminosidade quando envelhecidas artificialmente, apresentando, em geral, baixos valores para os diferentes fabricantes, com exceção das argamassas de cor cinza que apresentaram variação consideravelmente maior para os fabricantes A e C. A figura 47 apresenta as alterações para as argamassas expostas em ambiente natural.

Figura 47 – Efeito do período de exposição em ambiente natural na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) das argamassas de diferentes cores e fabricantes



A figura 47 demonstra que todos os fabricantes apresentaram alteração nas argamassas de cor preta de forma mais intensa nos primeiros seis meses de exposição natural. Destaca-se o clareamento em maior intensidade para as argamassas pretas do fabricante C. As argamassas de cor cinza foram as que apresentaram menor uniformidade entre os fabricantes, ocorrendo comportamentos contrários entre os fabricantes A e B, apresentando clareamento no primeiro caso e escurecimento no segundo. No caso do fabricante C, a argamassa cinza, em relação ao delta L*, teve um comportamento semelhante à argamassa de cor branca (clareamento inicial e tendência de escurecimento após o sexto mês). No caso das argamassas brancas, todos os fabricantes possuem comportamento semelhante ao apresentar tendência de variação negativa do eixo luminosidade, representando possibilidade de escurecimento ou amarelamento das argamassas após o sexto mês de exposição ambiental. Como apresentado nas figuras 45(a) e 45(b), houve manchamento por poluição das argamassas brancas do fabricante B. Além disso a tabela 17 apresenta o aumento do eixo amarelo ($b^* > 0$) das argamassas brancas de todos os fabricantes no último período de avaliação (entre 6 e 9 meses de exposição natural).

Tabela 17 - Variação cromática do eixo b^* das argamassas brancas entre 6 e 9 meses de exposição natural

| Cor | Fabricante | Tratamento | Delta b^* |
|--------|------------|------------|-------------|
| Branco | A | REF | 1,08 |
| | | 1 | 1,01 |
| | | 2 | 0,72 |
| | B | REF | 0,87 |
| | | 1 | 1,29 |
| | | 2 | 0,90 |
| | C | REF | 1,14 |
| | | 1 | 1,06 |
| | | 2 | 0,92 |

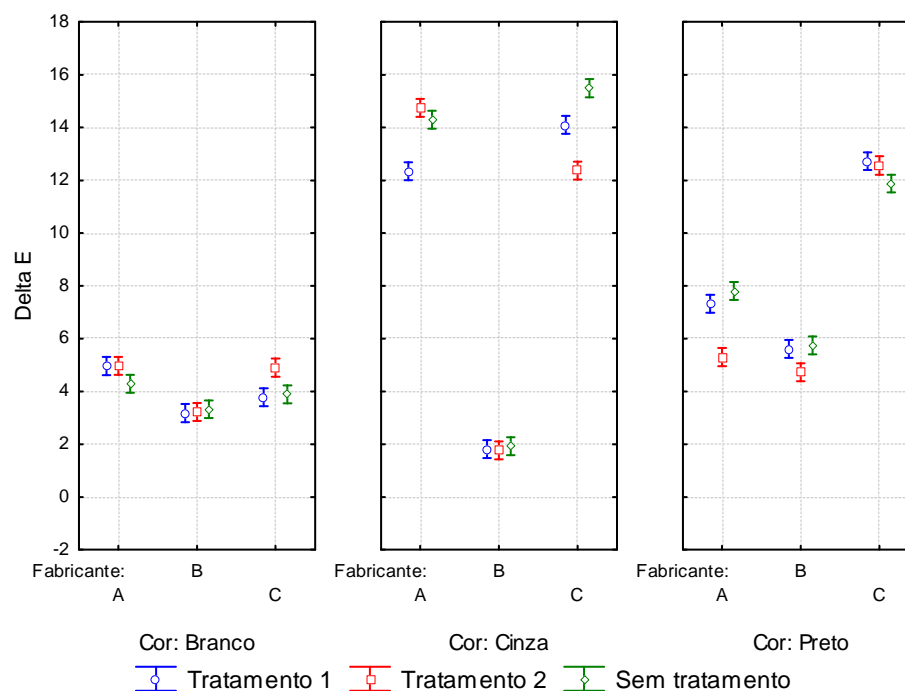
b^* : eixo entre azul ($-b^*$) e amarelo ($+b^*$)

A tabela 17 representa que houve amarelamento em nível pequeno ($0,5 < \Delta b^* < 1,5$) das argamassas brancas no último período de exposição natural, principalmente nas argamassas sem tratamento e com aplicação do produto à base de metil siliconato de potássio (tratamento 1). Dessa forma, o produto à base de silano/siloxanos (tratamento 2) apresenta melhor desempenho nesse aspecto para o período avaliado.

5.2.10 Efeitos da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento

A análise de variância para a situação de variação cromática ao final do processo demonstra que o efeito de terceiro grau das variáveis de controle cor, fabricante e tratamento é significativo no processo de alteração de cor (figura 48).

Figura 48 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo

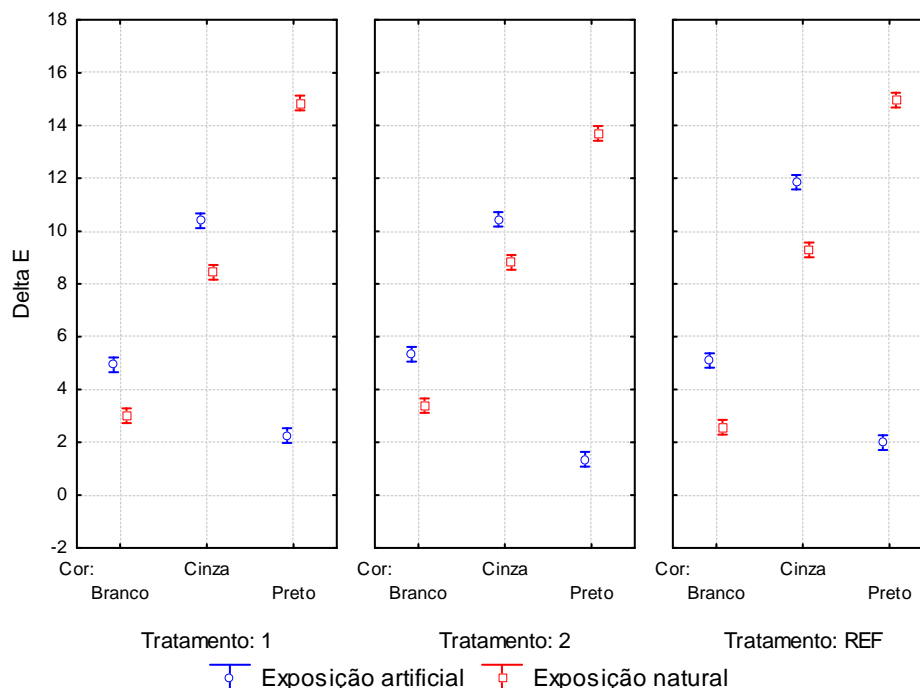


A figura 48 demonstra que, ao final do processo, em geral, não há grandes alterações cromáticas diferenciadas entre os três níveis do fator tratamento. Ou seja, do ponto de vista de alteração de cor total (ΔE), observam-se comportamentos semelhantes entre os diferentes produtos e as argamassas não tratadas (referência) para cada fabricante avaliado. Observa-se também que entre as diferentes cores ocorrem comportamentos distintos, conforme já observado em análises anteriores.

5.2.11 Efeito da interação entre as variáveis cor, exposição e tratamento

Para verificar os efeitos da interação entre as variáveis cor, exposição ao intemperismo e tratamento aplicado, uma análise de variância (ANOVA) foi realizada demonstrando ser significativo o efeito dessa interação. A figura 49 representa o resultado da análise frente à variação cromática total (ΔE).

Figura 49 – Efeito da interação entre as variáveis cor, exposição e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo



Do ponto de vista de exposição, a figura 49 representa o fato de que apenas a cor preta não segue a tendência de maior variação de cor na exposição artificial. Ou seja, a câmara de intemperismo não provoca os efeitos do ambiente natural da cidade de Porto Alegre para as argamassas escuras. Analisando a variável tratamento, pode-se afirmar que os dois tipos de tratamento possuem comportamento semelhante para todas as cores, no entanto, as alterações nas argamassas pretas expostas ao ambiente artificial com aplicação do produto à base de metil siliconato de potássio (tratamento 1) foram despercebidas através do sistema de leitura em pontos predefinidos, conforme pode ser verificado na figura 50.

Figura 50 – Argamassa preta fabricante A com tratamento à base de metil siliconato de potássio após envelhecimento artificial



As figuras 51 e 52 complementam a análise no sentido de verificar a variação do eixo luminosidade ao longo do tempo de exposição para os diferentes fabricantes, cores e tratamentos.

Figura 51 – Efeito do período de exposição em ambiente artificial na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) das argamassas de diferentes tratamentos e cores

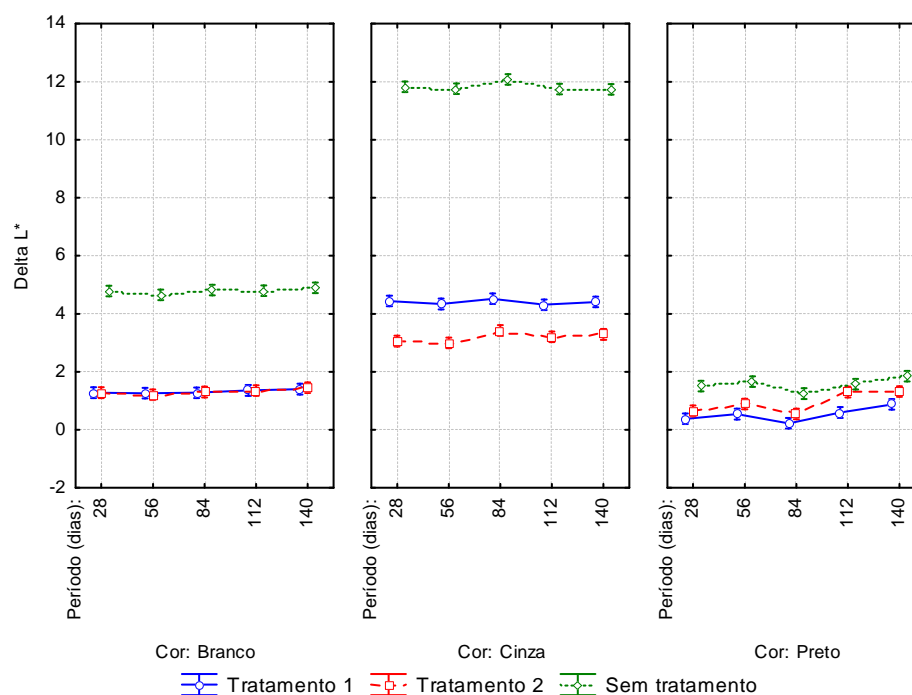
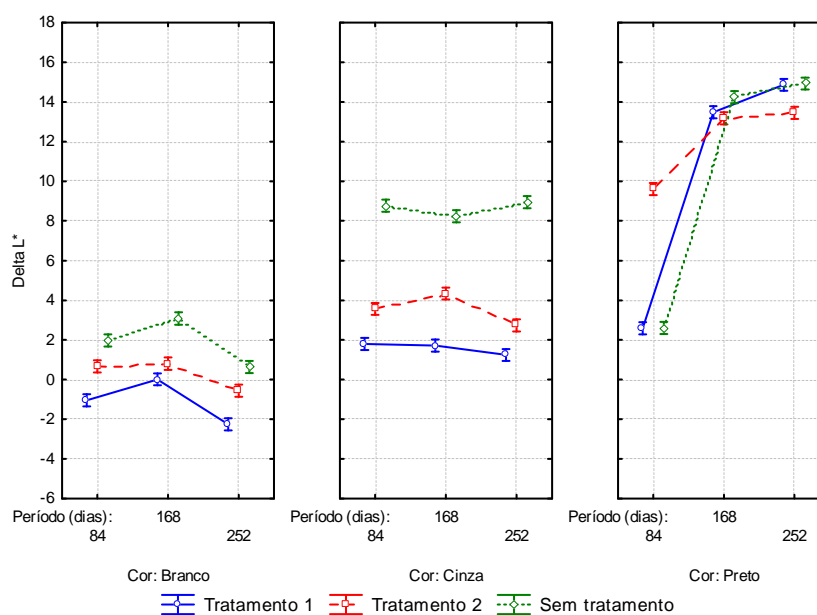


Figura 52 – Efeito do período de exposição em ambiente natural na variação do eixo luminosidade (ΔL^*) das argamassas de diferentes tratamentos e cores



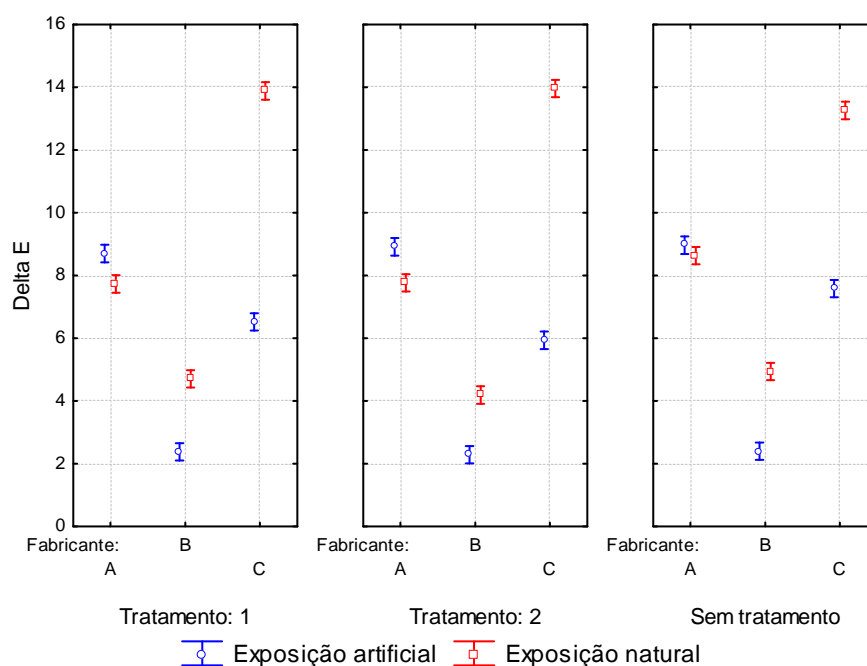
De acordo com a figura 51 observa-se que os tratamentos 1 e 2 comportam-se de forma igual para as argamassas brancas expostas ao ambiente artificial. Da figura 52, destaca-se o

comportamento das argamassas pretas, onde a variação ao longo do tempo de exposição natural nas argamassas tratadas com produto à base de metil siliconato de potássio (tratamento 1) apresenta-se praticamente igual à alteração das argamassas não tratadas. Observa-se, também, que o efeito significativo da análise está associado ao comportamento diferenciado das argamassas cinzas sem tratamento superficial de proteção.

5.2.12 Efeito da interação entre as variáveis fabricante, exposição e tratamento

A figura 53 representa a análise de variância (ANOVA) para a interação significativa entre as variáveis fabricante, exposição e tratamento frente à variação cromática total (ΔE). Os valores analisados representam a variável de resposta devido ao envelhecimento das argamassas.

Figura 53 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis fabricante, exposição e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo



A partir da figura 53 conclui-se que a alteração das argamassas se mantém praticamente igual em todos os níveis da variável tratamento, ou seja, com ou sem uso do tratamento, as argamassas apresentam, em geral, o mesmo aspecto quando analisadas no final do processo. Vale acrescentar que: (1) o fabricante A apresentou comportamento semelhante em ambos tipos de exposição; (2) o fabricante B apresentou variação ligeiramente menor quando exposto ao ambiente artificial, uma vez que, como comentado anteriormente, algumas argamassas brancas desse fabricante expostas ao ambiente natural tiveram escurecimento devido à presença de poluição; (3) o fabricante C apresentou-se consideravelmente maior

quando exposto ao ambiente natural em função da elevada alteração que as argamassas pretas desse fabricante sofreram tanto devido à aplicação de tratamento quanto à exposição nesse ambiente.

5.2.13 Efeito da interação entre as variáveis cor, exposição, tratamento e fabricante

O efeito da interação de quarta ordem (cor*exposição*tratamento*fabricante) demonstrou-se significativo para a variável de interesse (ΔE). As figuras 54 e 55 representam a análise de variância (ANOVA) para os valores de variação cromática das argamassas expostas aos intemperismos artificial e natural, respectivamente.

Figura 54 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo para exposição artificial

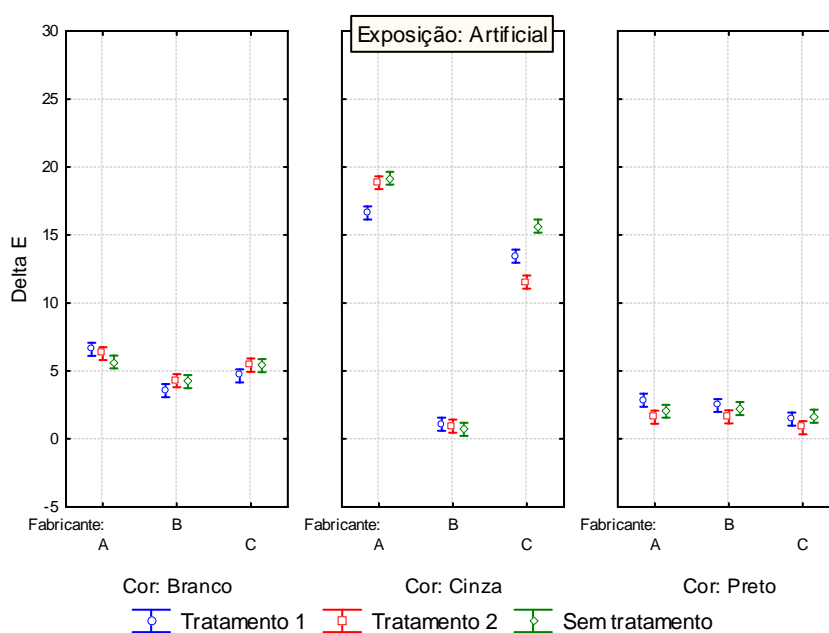
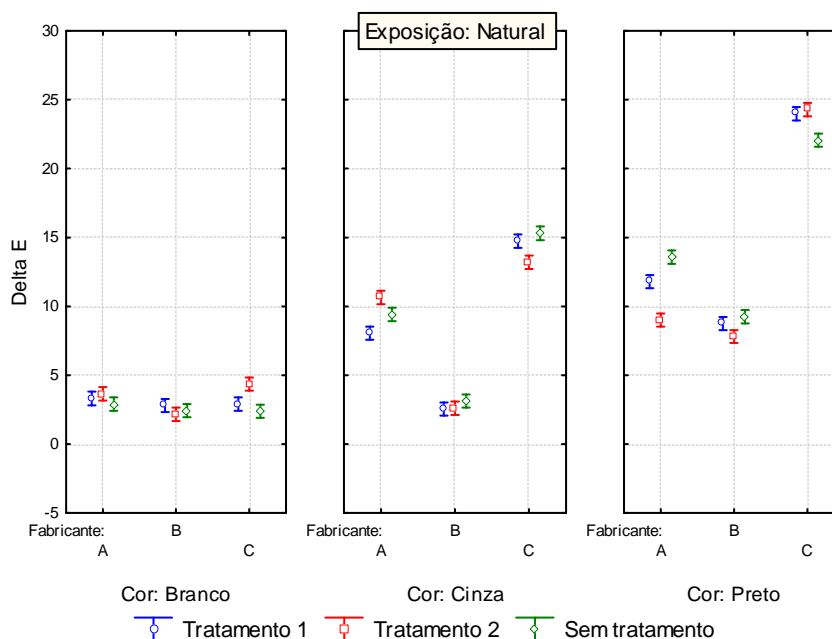


Figura 55 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento na variação cromática total (ΔE) acumulada ao final do processo para exposição natural



A interação de quarta ordem confirma as análises já verificadas anteriormente, dentre elas: (1) o tipo de exposição altera os resultados das argamassas de cor preto: a exposição natural causa maior efeito de degradação; (2) o fabricante B apresenta menores variações de cor, no entanto, no caso das cores branco e cinza essa alteração, mesmo que pequena, não representa bons resultados uma vez que ocorreu escurecimento nessas placas claras (principalmente nas argamassas brancas); (3) a influência da cor sobre a variável de estudo devido ao envelhecimento aponta que, em geral, as argamassas brancas são as mais homogêneas; (4) a variável exposição foi significativa para essa pesquisa devido em função das argamassas pretas não apresentarem a mesma tendência que as demais cores, apresentando maiores variações em ambiente natural do que quando expostas às intempéries de forma acelerada.

5.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

O ensaio de absorção de água por capilaridade é um importante parâmetro na avaliação do desempenho de uma argamassa. Dessa forma, a tabela 18 apresenta os valores médios para as amostras avaliadas aos 300 minutos de ensaio.

Tabela 18 – Valores médios de absorção de água após 300 minutos de ensaio (g/cm²)

| Cor | Fabricante | Tratamento | S/ ENVELHECIMENTO | | NATURAL | | ARTIFICIAL | |
|--------|------------|------------|----------------------|--------|---------|--------|------------|--------|
| | | | Média | CV (%) | Média | CV (%) | Média | CV (%) |
| BRANCO | A | Referência | 0,054 | 29,3 | 0,210 | 3,8 | 0,229 | 2,50 |
| | | 1 | 0,035 | 14,8 | 0,216 | 3,9 | 0,228 | 1,32 |
| | | 2 | 0,020 | 13,4 | 0,097 | 44,7 | 0,109 | 44,77 |
| | B | Referência | 0,233 | 4,5 | 0,232 | 3,8 | 0,202 | 3,33 |
| | | 1 | 0,176 | 6,2 | 0,234 | 3,9 | 0,202 | 2,60 |
| | | 2 | 0,038 | 39,8 | 0,082 | 19,6 | 0,113 | 13,18 |
| | C | Referência | 0,269 | 1,1 | 0,227 | 4,0 | 0,245 | 0,86 |
| | | 1 | 0,259 | 2,0 | 0,220 | 5,6 | 0,233 | 1,80 |
| | | 2 | 0,046 | 11,7 | 0,123 | 0,4 | 0,120 | 24,64 |
| CINZA | A | Referência | 0,127 | 27,8 | 0,177 | 3,7 | 0,235 | 1,37 |
| | | 1 | 0,049 | 20,1 | 0,207 | 1,8 | 0,226 | 4,05 |
| | | 2 | 0,024 | 8,0 | 0,146 | 39,4 | 0,116 | 18,65 |
| | B | Referência | 0,240 | 8,5 | 0,246 | 3,1 | 0,080 | 33,81 |
| | | 1 | 0,093 | 5,6 | 0,238 | 5,7 | 0,085 | 30,25 |
| | | 2 | 0,021 | 2,8 | 0,088 | 24,0 | 0,020 | 6,34 |
| | C | Referência | 0,175 | 4,3 | 0,164 | 2,5 | 0,172 | 3,87 |
| | | 1 | 0,185 | 3,6 | 0,158 | 2,4 | 0,183 | 1,72 |
| | | 2 | 0,101 | 7,8 | 0,148 | 8,9 | 0,070 | 5,45 |
| PRETO | A | Referência | 0,205 | 11,3 | 0,228 | 0,9 | 0,224 | 6,23 |
| | | 1 | 0,219 | 19,3 | 0,231 | 3,7 | 0,221 | 1,99 |
| | | 2 | 0,040 | 23,0 | 0,218 | 4,1 | 0,022 | 3,91 |
| | B | Referência | 0,084 | 7,3 | 0,260 | 3,1 | 0,215 | 4,51 |
| | | 1 | 0,073 | 17,9 | 0,255 | 1,9 | 0,205 | 9,71 |
| | | 2 | 0,034 | 16,0 | 0,086 | 20,8 | 0,033 | 15,81 |
| | C | Referência | 0,213 | 5,4 | 0,129 | 3,9 | 0,181 | 7,18 |
| | | 1 | 0,216 | 5,2 | 0,132 | 1,8 | 0,170 | 7,29 |
| | | 2 | 0,022 | 2,5 | 0,031 | 12,1 | 0,026 | 6,70 |

A partir da tabela 18 observa-se que, apesar do tratamento 2 (produto hidrofugante) conferir menor absorção às placas, houve maior variabilidade nesses resultados, principalmente pós envelhecimento, podendo, assim, apontar para uma possível falha ou envelhecimento da camada de tratamento em algumas placas. A tabela 19 apresenta a análise de variância (ANOVA) apontando que todas as variáveis são significativas, bem como as interações entre elas.

Tabela 19 – Análise de variância (ANOVA) para variável absorção de água por capilaridade

| Fatores | SQ | GL | MQ | F (calc) | p-valor | Efeito |
|---------------------------------|----------|-----|----------|----------|----------|--------|
| Fabricante (1) | 0,007125 | 2 | 0,003562 | 13,52 | 0,000004 | S |
| Cor (2) | 0,025812 | 2 | 0,012906 | 49,00 | 0,000000 | S |
| Exposição (3) | 0,132690 | 2 | 0,066345 | 251,89 | 0,000000 | S |
| Tratamento (4) | 0,702844 | 2 | 0,351422 | 1334,22 | 0,000000 | S |
| Fabricante*cor | 0,094049 | 4 | 0,023512 | 89,27 | 0,000000 | S |
| Fabricante*exposição | 0,146822 | 4 | 0,036705 | 139,36 | 0,000000 | S |
| Cor*exposição | 0,019041 | 4 | 0,004760 | 18,07 | 0,000000 | S |
| Fabricante*tratamento | 0,014135 | 4 | 0,003534 | 13,42 | 0,000000 | S |
| Cor*Tratamento | 0,024927 | 4 | 0,006232 | 23,66 | 0,000000 | S |
| Exposição*tratamento | 0,018575 | 4 | 0,004644 | 17,63 | 0,000000 | S |
| Fabricante*cor*exposição | 0,119055 | 8 | 0,014882 | 56,50 | 0,000000 | S |
| Fabricante*cor*tratamento | 0,016728 | 8 | 0,002091 | 7,94 | 0,000000 | S |
| Fabricante*exposição*tratamento | 0,056874 | 8 | 0,007109 | 26,99 | 0,000000 | S |
| Cor*exposição*tratamento | 0,024190 | 8 | 0,003024 | 11,48 | 0,000000 | S |
| 1*2*3*4 | 0,062491 | 16 | 0,003906 | 14,83 | 0,000000 | S |
| Erro | 0,041616 | 158 | 0,000263 | | | |

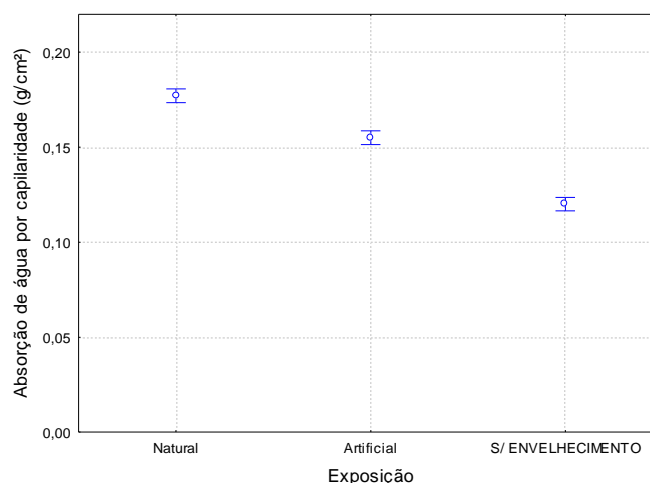
SO: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; MO: quadrado médio; F (calc): F calculado
 p-valor: probabilidade do efeito do fator sobre a variável de resposta ser devido ao acaso

S: significativo; NS: não significativo

5.3.1 Efeito isolado da variável exposição

A análise de variância (ANOVA) aponta influência da variável tipo de exposição sobre a absorção de água das argamassas (figura 56).

Figura 56 – ANOVA efeito da variável exposição na absorção de água por capilaridade



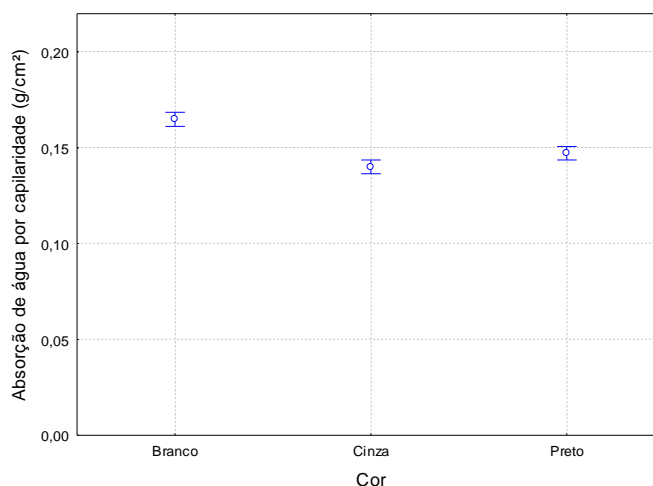
Primeiramente, a partir da figura 56, verifica-se que, como esperado, o envelhecimento causa aumento de absorção de água nas argamassas podendo inferir, assim, um decréscimo de desempenho das argamassas ao longo do tempo. Para as condições analisadas neste trabalho, de modo geral, as argamassas envelhecidas sob intemperismo natural apresentaram maiores

níveis de absorção, corroborando com os resultados de alteração de cor apresentados no subcapítulo anterior. Dessa forma, conclui-se que a alteração nessas propriedades foi acarretada pela ação conjunta dos agentes ambientais, rompendo as ligações na camada superficial das placas de forma a acrescentar e/ou expor vazios da argamassa. A degradação foi menor para as argamassas expostas ao ambiente artificial devido à ausência de água da chuva que, além de intensificar o fenômeno da hidrólise, é capaz de carrear o material degradado e acrescentar poluentes atmosféricos para a superfície. Verifica-se que o ensaio artificial não foi suficientemente acelerado para acarretar em degradação que aumente a absorção de água no nível alcançado em exposição natural durante o período de exposição avaliado.

5.3.2 Efeito isolado da variável cor

A partir de uma análise de variância (ANOVA), a variável cor, isoladamente, teve efeito significativo sobre a variável de estudo absorção de água por capilaridade, conforme figura 57.

Figura 57 – ANOVA efeito da variável cor na absorção de água por capilaridade



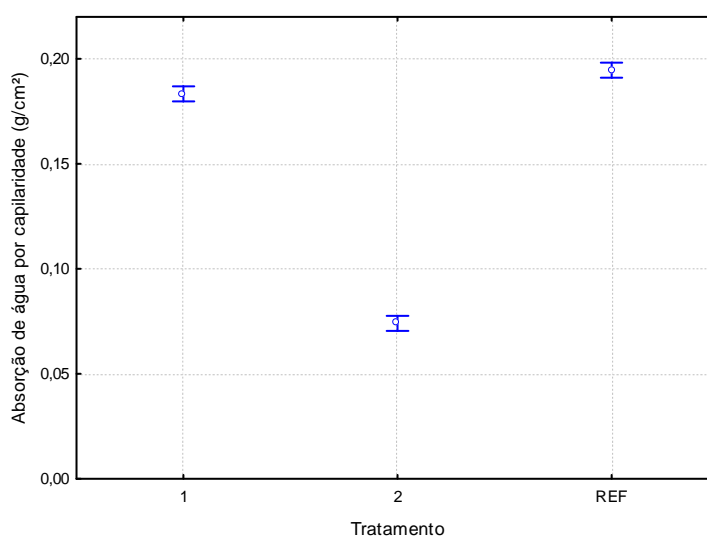
Pode-se observar, através da figura 57, que não há muita diferença entre as diferentes cores, no entanto, as argamassas brancas apresentaram os maiores níveis de absorção de água. Tal resultado corrobora com os resultados de variação cromática apresentados no subcapítulo anterior, em que as argamassas de cor branca apresentaram os menores níveis de alteração cromática. Analisando as curvas granulométricas, constatou-se que as argamassas brancas são as mais uniformes (menores coeficientes de uniformidade) e, portanto, possuem maior quantidade de vazios, favorecendo a percolação de água pelos poros capilares. Os baixos

valores de absorção para as argamassas de cor cinza estão associados à resistência à compressão ligeiramente superior para essa cor em relação às demais, ou seja, menor porosidade.

5.3.3 Efeito isolado da variável tratamento

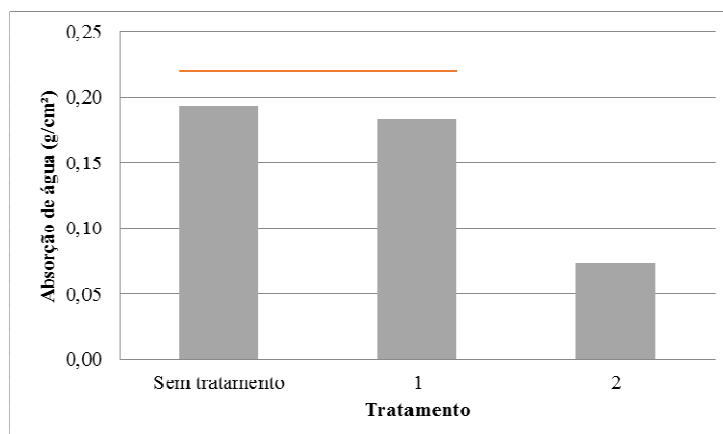
O efeito isolado da variável tratamento apresenta-se significativo na análise de variância (ANOVA) para a variável de resposta absorção de água por capilaridade (figura 58).

Figura 58 – ANOVA efeito da variável tratamento na absorção de água por capilaridade



A figura 58 demonstra que a aplicação do tratamento 2 (silano/siloxano) diminuiu a absorção de água por capilaridade em relação à situação referência. Já o produto 1 (metil siliconato de potássio) apresentou valores muito próximos às argamassas referência. A figura 59 apresenta a Comparação Múltipla de Médias (CMM) para verificar se há diferença entre os tratamentos 1 e referência.

Figura 59 – CMM da variável tratamento na absorção de água por capilaridade

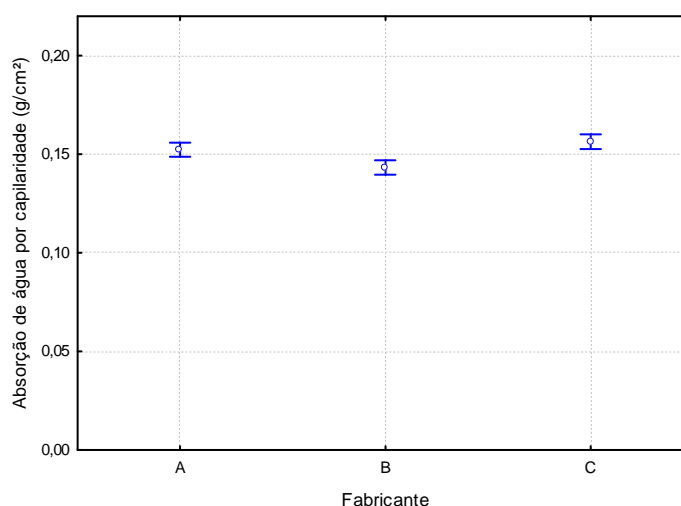


A figura 59 comprova que não há vantagens no uso do produto 1 do ponto de vista de absorção de água, uma vez que apresentou valores nos mesmos níveis que as argamassas sem aplicação de tratamento (referência). Esse resultado vai de encontro às medições de ângulo de contato em que a tensão superficial das argamassas protegidas pelo tratamento 1 são praticamente iguais às argamassas de referência. Além disso, esse resultado corrobora com a afirmação de que esse produto reage muito lentamente em argamassas e que possui ação hidrorrepelente inferior aos silanos e siloxanos (McGETTIGAN, 1995; MARANHÃO; LOH, 2010). Fioretti¹⁹ (2010) também constatou a ineficácia de um dos hidrofugantes avaliados sobre rochas antes e após ciclos de envelhecimento artificial. No entanto, a base química do produto utilizado não foi discriminada. Como os tratamentos apresentam comportamento muito semelhante do ponto de vista colorimétrico, a absorção à água acaba por ser o parâmetro de decisão entre os dois tratamentos, elegendo o produto à base de silano/siloxano como o que causa melhor proteção para a situação avaliada nessa pesquisa.

5.3.4 Efeito isolado da variável fabricante

Como apontado acima, o efeito da variável fabricante sobre a variável de resposta absorção de água por capilaridade apresentou-se significativa na análise de variância (ANOVA) e está representada na figura 60.

Figura 60 – ANOVA efeito da variável fabricante na absorção de água por capilaridade



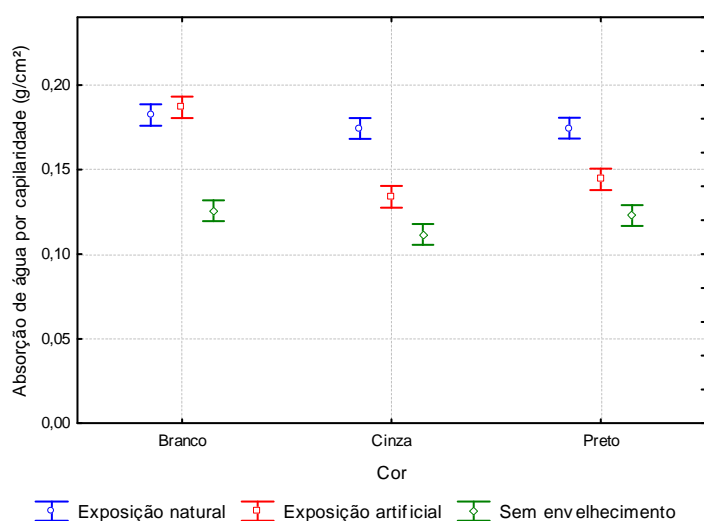
¹⁹ FIORETTI, B. G. **Avaliação do desempenho de hidrofugantes para revestimentos pétreos quanto à absorção de água e alteração de cor.** 2010. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Trabalho não publicado.

A figura 60 representa que, devido às diferentes formulações dos fabricantes, há um efeito significativo da variável fabricante sobre a variável absorção de água, apesar de pequena diferença. Os resultados e comportamentos corroboram com os resultados de variação de cor, sendo que o fabricante B também apresenta os menores níveis de absorção de água devido à lâmina de pasta superficial de intenso brilho. Como os fabricantes que apresentaram as maiores variações cromáticas apresentam, também, os maiores níveis de absorção, de fato há uma associação da ação dos agentes de degradação sobre as características físicas da camada superficial das argamassas. Essa degradação pode ter gerado a abertura de poros através do rompimento das ligações e remoção de parte dos primeiros milímetros da camada superficial.

5.3.5 Efeito da interação entre as variáveis cor e exposição

A análise de variância (ANOVA) para a interação das variáveis cor da argamassa e tipo de exposição apresenta-se significativa para a variável de controle absorção de água por capilaridade (figura 61).

Figura 61 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e exposição na absorção de água por capilaridade

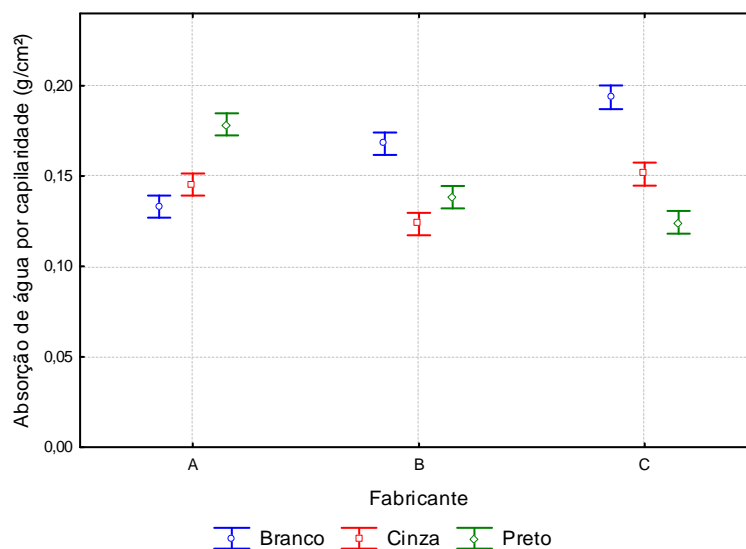


De acordo com a figura 61, observa-se que dependendo da cor da argamassa, o efeito da variável exposição natural e artificial é diferente. O envelhecimento artificial não alcançou os níveis de degradação alcançados pela exposição natural para a propriedade absorção de água para as argamassas cinzas e pretas, não sendo possível utilizar esses valores para estimar a vida útil das argamassas. As argamassas brancas apresentam comportamento semelhante para as exposições em ambiente artificial e natural, no entanto apresentaram maior absorção de água enquanto a variação cromática foi baixa. No entanto cabe uma análise mais aprofundada dos gráficos englobando outros fatores.

5.3.6 Efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante

A figura 62 apresenta a análise de variância (ANOVA) realizada para verificar a interação entre as variáveis cor e fabricante quando analisados os resultados para a variável de interesse absorção de água por capilaridade.

Figura 62 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante na absorção de água por capilaridade

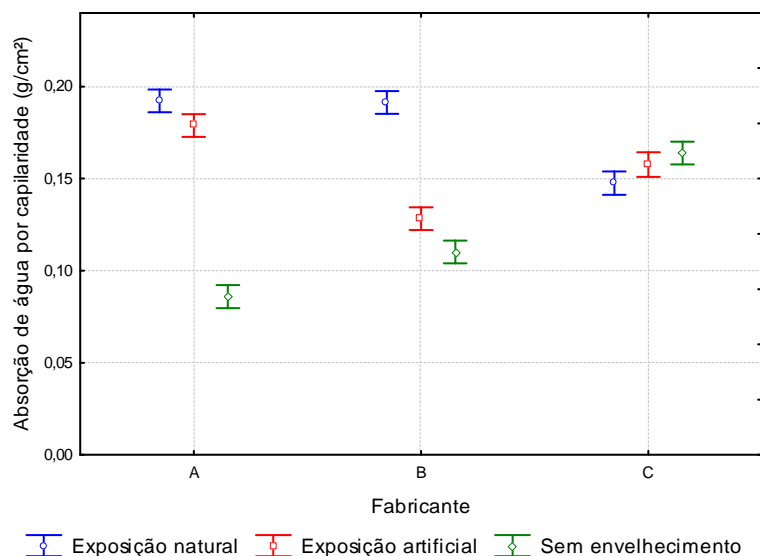


A figura 62 aponta que não há um fabricante que apresente resultados uniformes à todas as cores de argamassas, ou seja, dependendo do fabricante, o efeito da cor na absorção de água é variável. Possivelmente, isso está atrelado ao uso de pigmento, à composição química (uso de aditivos e polímeros) e ao proporcionamento dos materiais.

5.3.7 Efeito da interação entre as variáveis fabricante e exposição

O efeito da interação entre as variáveis fabricante da argamassa e tipo de exposição apresenta-se significativo para a variável absorção de água por capilaridade (figura 63), através da análise de variância (ANOVA).

Figura 63 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis fabricante e tipo de exposição na absorção de água por capilaridade

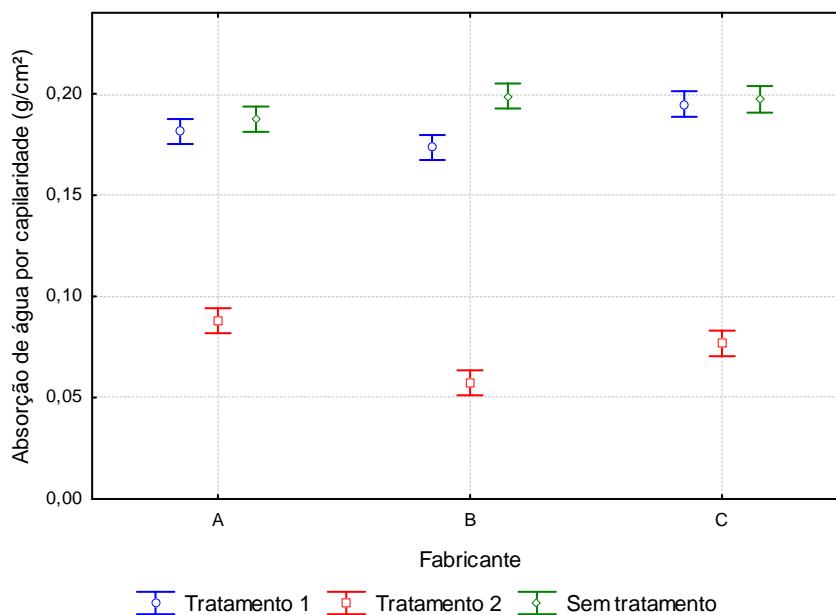


Observa-se que o fabricante C, apesar de apresentar valores semelhantes entre as diferentes exposições, apresentou estatística contrária aos demais fabricantes uma vez que ocorreu maior absorção de água para as argamassas sem envelhecimento. Ou seja, nesse caso, o fabricante não segue a tendência do efeito isolado da variável tipo de exposição que demonstra maior absorção para argamassas expostas ao intemperismo. Já os demais fabricantes seguem a tendência do efeito isolado, apresentando maiores valores de absorção para as argamassas que passaram por exposição ao ambiente, conforme esperado.

5.3.8 Efeitos de segunda ordem envolvendo a variável tratamento

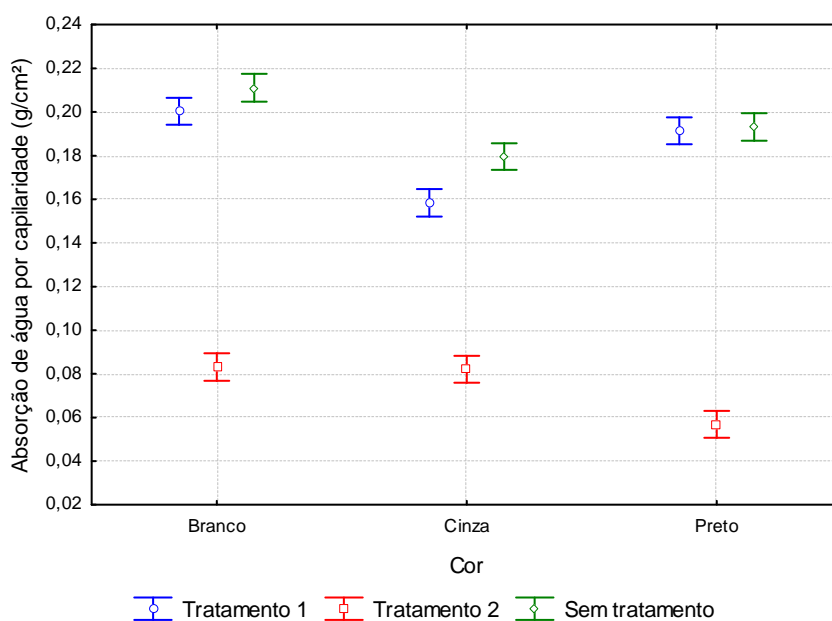
Devido aos resultados apresentarem explicações semelhantes, esse item engloba todas interações de segunda ordem que envolvam a variável tratamento, ou seja, fabricante*tratamento (figura 64), cor*tratamento (figura 65) e exposição*tratamento (figura 66). A análise de variância (ANOVA) para a variável absorção de água por capilaridade apresenta efeito significativo para todas essas interações.

Figura 64 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis fabricante e tratamento na absorção de água por capilaridade



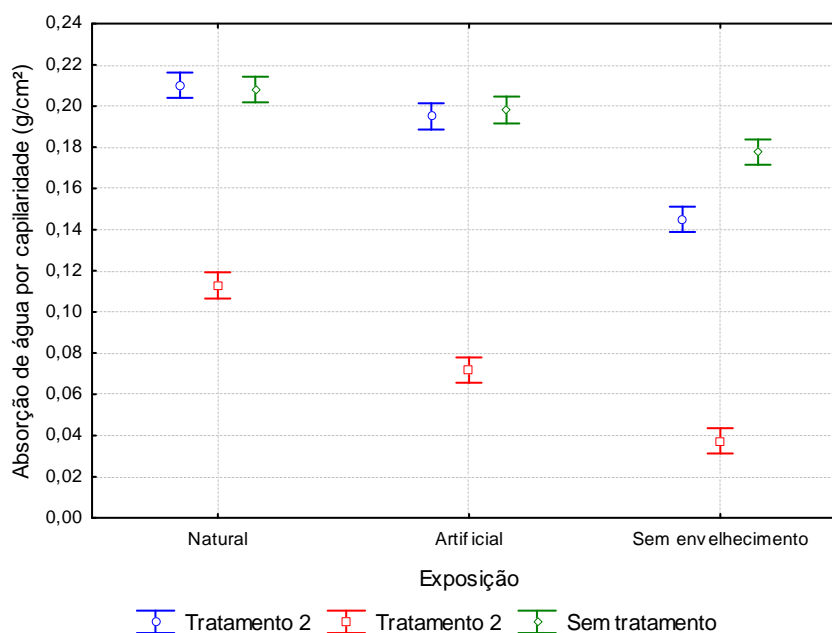
O gráfico aponta que o tratamento causa alteração no comportamento dos diferentes fabricantes uma vez que as argamassas com aplicação de produtos têm uma linha de tendência, porém em níveis destoantes como já foi indicado no efeito isolado, enquanto as argamassas referência não seguem o mesmo comportamento. O principal motivo para a análise estatística ser significativa está no fato de que o fabricante B teve maior absorção em relação aos fabricantes A e C nas argamassas referenciais (sem tratamento).

Figura 65 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor e tratamento na absorção de água por capilaridade



Com base na figura 65, verifica-se que, variando a cor das argamassas, o tratamento 2 é o responsável pela significância da análise estatística, uma vez que nessa situação a cor preta apresenta menor absorção do que as demais cores.

Figura 66 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição e tipo de tratamento na variável absorção de água por capilaridade

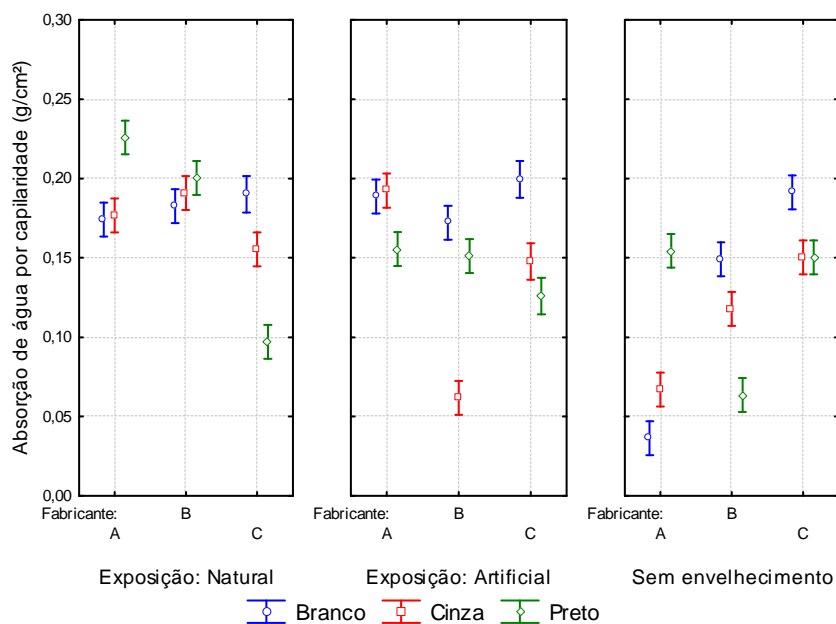


Através da figura 66 percebe-se que as argamassas com tratamento 2 apresentam comportamento diferenciado quando exposto em simulador ambiental (com valores mais baixos).

5.3.9 Efeitos de terceira ordem

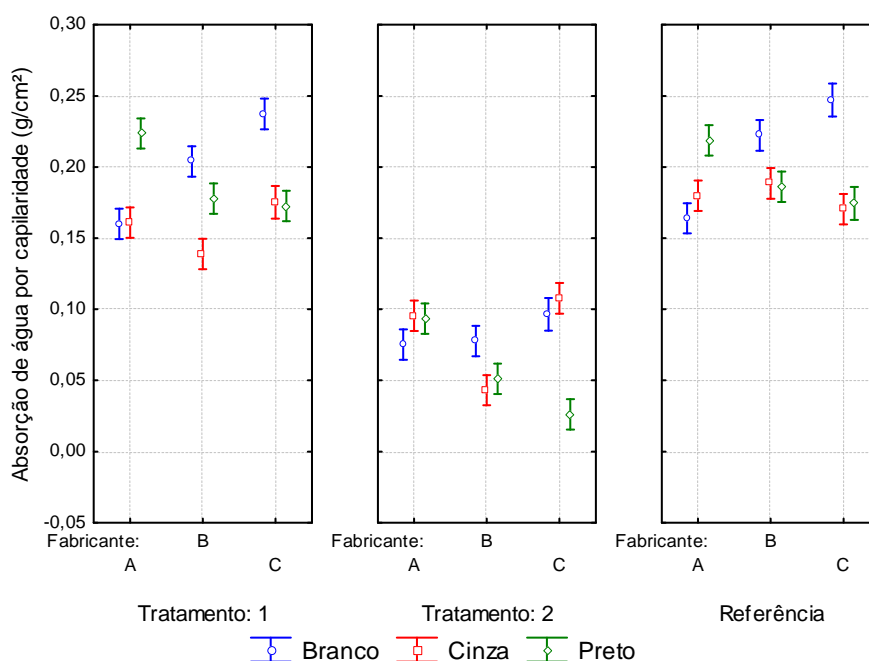
Para a absorção de água das argamassas analisadas nessa pesquisa, todas as interações de terceira ordem foram significativas. As figuras 67 a 70 apresentam os efeitos das interações fabricante*cor*exposição, fabricante*cor*tratamento, fabricante*exposição*tratamento e cor*exposição*tratamento.

Figura 67 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição, fabricante e cor na variável absorção de água por capilaridade



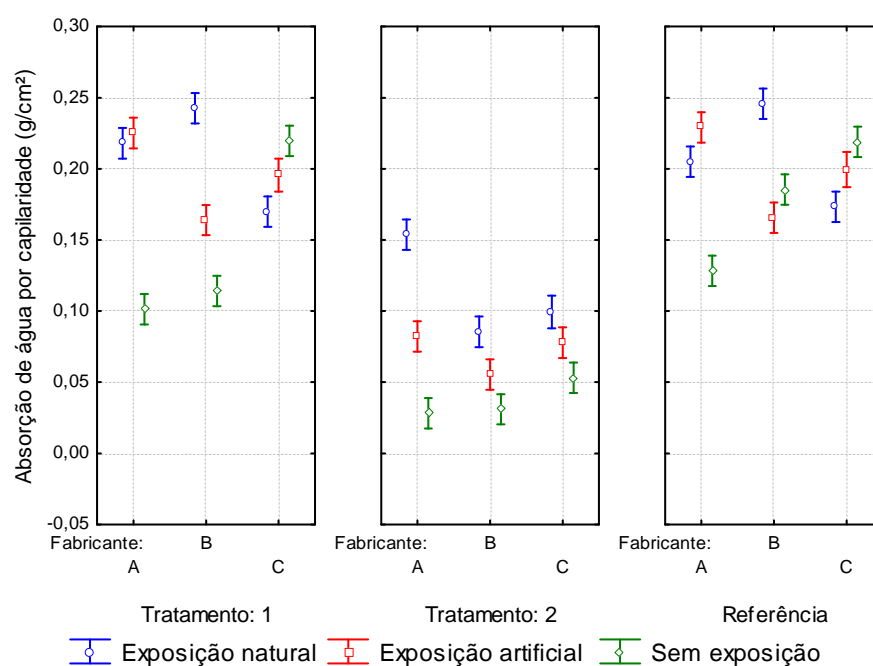
Em geral, a exposição ambiental aumenta o nível de absorção de água das argamassas. No entanto, no caso do fabricante C, a absorção de água para as argamassas brancas e cinzas praticamente não alteram após envelhecimento. Já as argamassas pretas desse fabricante diminuíram o nível de absorção após exposição natural e artificial, sendo possivelmente explicado pelas reações de hidratação e carbonatação.

Figura 68 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis tratamento, fabricante e cor na variável absorção de água por capilaridade



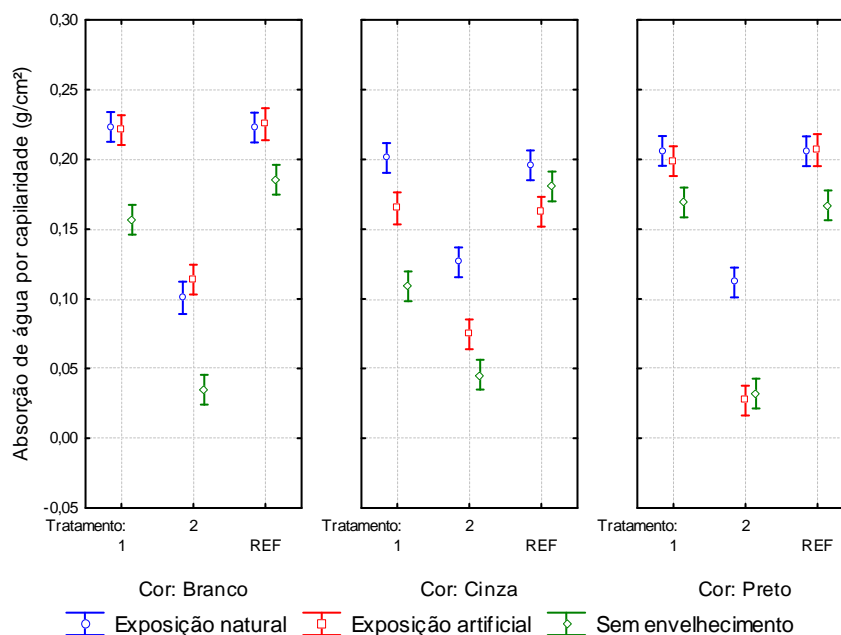
A partir da figura 68 constata-se que os resultados isolados da variável tratamento ocorrem de forma generalizada para as diferentes argamassas, sendo que o tratamento 2 (produto à base de silano/siloxano) apresenta melhor comportamento. Observa-se, também, que o tratamento 1 (produto à base de metil siliconato de potássio) apresentou vantagem apenas para a argamassa cinza do fabricante B e resultados ligeiramente melhores para as argamassas brancas dos fabricante B e C em relação à situação referência. Para as demais argamassas, não houve vantagem na aplicação desse tratamento.

Figura 69 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis tratamento, fabricante e exposição na variável absorção de água por capilaridade



A figura 69 percebe-se a um comportamento muito semelhante entre as argamassas referência (sem tratamento) e as com aplicação de tratamento 1, com exceção das argamassas pretas do fabricante B. No geral, ratifica-se a ineficácia do tratamento 1 do ponto de vista de absorção de água para todos os fabricantes frente a todos os tipos de exposição avaliados nessa pesquisa.

Figura 70 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis cor, exposição e tratamento na variável absorção de água por capilaridade



A figura 70 representa que todas as cores apresentam comportamento semelhante quando passam por diferentes exposições. O produto hidrofugante a base de silano/siloxano (tratamento 2) apresenta os menores valores de absorção para todas as cores e todas as exposições.

5.3.10 Efeito da interação entre fabricante, cor, exposição e tratamento

A análise de variância (ANOVA) para a interação de quarta ordem (fabricante*cor*exposição*tratamento) referente aos valores de absorção de água por capilaridade apresentou-se significativa e está demonstrado nas figuras 71 a 73 para as diferentes exposições ambientais.

Figura 71 – ANOVA efeito da interação entre todos os fatores controláveis – sem exposição

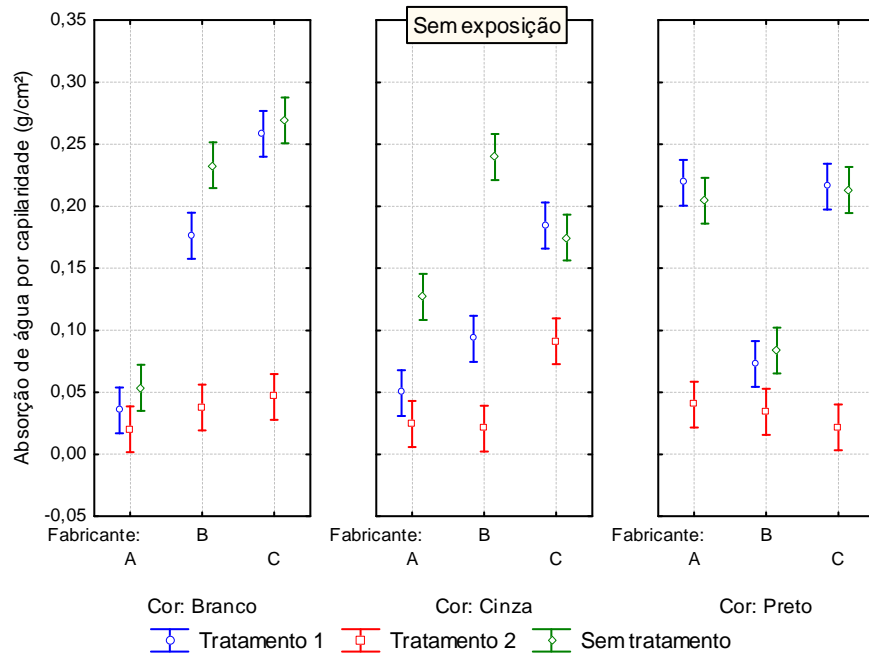


Figura 72 – ANOVA efeito da interação entre todos os fatores controláveis – exposição natural

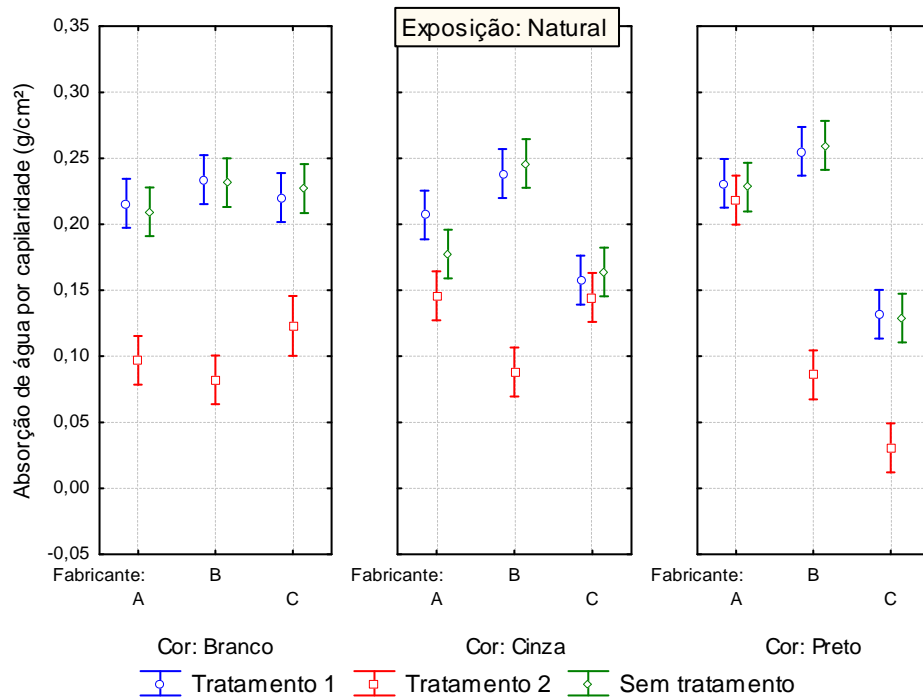
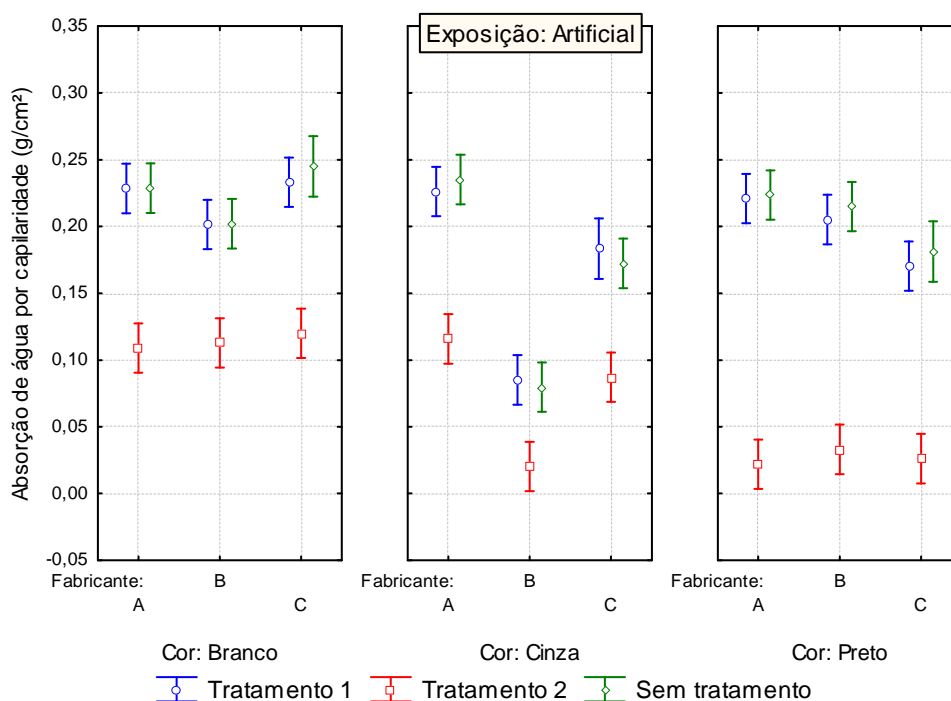


Figura 73 – ANOVA efeito da interação entre todos os fatores controláveis – exposição artificial



A partir das figuras 71 a 73 observa-se que, em geral, a significância da análise estatística para as argamassas em diferentes exposições está vinculada ao comportamento diferenciado do tratamento 2, com exceção das argamassas sem tratamento não expostas ao ambiente. Além disso, nota-se que para algumas cores ocorre diminuição da absorção de água após exposição ambiental principalmente para os fabricantes B e C, ou seja, efeito contrário ao comportamento da variável exposição quando analisada isoladamente. A ocorrência desse efeito para o fabricante B é maior em exposição artificial e para o fabricante C em exposição natural. Esses resultados podem ser explicados pelo aumento da hidratação do cimento ao longo do tempo, carbonatação e/ou lixiviação de lâmina superficial. Esse último fenômeno estaria relacionado ao fato de que, em alguns casos, a superfície pode ter ficado com menor resistência devido à maior relação água/cimento nessa região (fato que ocorreu principalmente nas argamassas do fabricante B em função da exsudação de água) e, portanto, pode ser mais porosa que o restante da argamassa facilitando o desgaste com posterior lixiviação dessa camada. Com essa lixiviação, a mais nova camada exposta possivelmente apresenta maior resistência e, portanto, menor absorção de água por capilaridade.

Uma parcela do envelhecimento das argamassas (indicado pelo aumento da absorção) ocorre pela degradação da própria argamassa e outra pela degradação do produto aplicado como tratamento de proteção. Apesar de não ser possível separar essas parcelas, observa-se, com maior frequência, o envelhecimento do produto à base de silano/siloxano (tratamento 2)

quando exposto ao ambiente natural. Os gráficos ainda apontam que as argamassas brancas sem tratamento e com tratamento 1 do fabricante C já apresentavam nível elevado de absorção para a situação referência (sem exposição), indicando que, nesse caso, não houve prejuízo da propriedade com a presença de condições de envelhecimento.

5.4 RESISTÊNCIA À ABRASÃO

Os valores de resistência à abrasão são representados pelo % de desgaste da argamassa (massa perdida em relação à massa inicial do corpo de prova), ou seja, quanto menor o %, maior a resistência superficial do material cimentício à abrasão. A tabela 20 apresenta esses valores médios bem como a estatística básica sobre os resultados.

Tabela 20 – Valores médios e estatística básica dos resultados de desgaste superficial por abrasão (%)

| Cor | Fabricante | Tratamento | S/ ENVELHECIMENTO | | NATURAL | | ARTIFICIAL | | |
|--------|------------|------------|----------------------|--------|---------|--------|------------|-----------|--------|
| | | | Média | CV (%) | Média | CV (%) | Média | Desv. Pad | CV (%) |
| BRANCO | A | Referência | 8,54 | 6,72 | 4,83 | 7,34 | 8,15 | 1,16 | 14,29 |
| | | 1 | 8,45 | 10,06 | 5,42 | 9,24 | 7,80 | 0,46 | 5,87 |
| | | 2 | 11,18 | 5,95 | 4,58 | 16,63 | 7,84 | 0,05 | 0,64 |
| | B | Referência | 9,13 | 4,63 | 13,05 | 8,57 | 14,95 | 2,54 | 16,97 |
| | | 1 | 8,66 | 7,71 | 13,23 | 4,18 | 10,30 | 0,01 | 0,10 |
| | | 2 | 15,46 | 0,46 | 11,50 | 10,21 | 10,42 | 0,31 | 2,99 |
| | C | Referência | 12,75 | 10,26 | 9,79 | 7,76 | 12,93 | 0,74 | 5,70 |
| | | 1 | 11,28 | 7,33 | 9,48 | 7,15 | 12,75 | 0,22 | 1,75 |
| | | 2 | 13,95 | 16,23 | 7,19 | 15,22 | 13,28 | 0,89 | 6,72 |
| CINZA | A | Referência | 9,89 | 0,16 | 4,81 | 3,35 | 5,59 | 0,00 | 0,00 |
| | | 1 | 8,94 | 9,72 | 4,47 | 19,31 | 4,76 | 0,07 | 1,52 |
| | | 2 | 9,67 | 13,03 | 5,17 | 9,11 | 4,96 | 0,54 | 10,85 |
| | B | Referência | 14,23 | 24,74 | 11,29 | 12,18 | 9,57 | 1,03 | 10,76 |
| | | 1 | 15,07 | 11,28 | 12,00 | 0,14 | 9,77 | 0,51 | 5,22 |
| | | 2 | 16,36 | 3,93 | 11,01 | 13,50 | 10,83 | 0,31 | 2,85 |
| | C | Referência | 9,17 | 12,29 | 3,40 | 4,77 | 3,55 | 1,37 | 38,72 |
| | | 1 | 7,44 | 16,05 | 4,12 | 6,79 | 3,67 | 0,43 | 11,67 |
| | | 2 | 10,40 | 13,85 | 4,48 | 0,04 | 3,22 | 0,35 | 10,87 |
| PRETO | A | Referência | 15,71 | 14,72 | 4,63 | 4,64 | 5,58 | 0,81 | 14,44 |
| | | 1 | 17,53 | 6,90 | 4,98 | 6,02 | 6,47 | 0,54 | 8,38 |
| | | 2 | 16,99 | 16,10 | 4,45 | 9,65 | 6,89 | 0,28 | 4,00 |
| | B | Referência | 11,53 | 18,98 | 12,42 | 0,69 | 13,61 | 1,54 | 11,33 |
| | | 1 | 10,89 | 17,21 | 11,42 | 1,70 | 11,47 | 1,15 | 10,00 |
| | | 2 | 11,15 | 22,46 | 11,05 | 0,15 | 13,31 | 0,49 | 3,69 |
| | C | Referência | 5,68 | 13,11 | 2,84 | 11,73 | 3,10 | 0,22 | 7,18 |
| | | 1 | 5,28 | 29,46 | 2,24 | 1,34 | 4,18 | 1,10 | 26,19 |
| | | 2 | 7,77 | 16,94 | 2,65 | 22,36 | 4,92 | 0,41 | 8,39 |

Os valores de desgaste passaram por análise de variância (ANOVA) que apresentou os resultados expostos na tabela 21.

Tabela 21 – Análise de variância para variável resistência à abrasão

| Fatores | SQ | GL | MQ | F (calc) | p-valor | Efeito |
|---------------------------------|---------|-----|--------|----------|----------|--------|
| Fabricante (1) | 1092,03 | 2 | 546,01 | 430,69 | 0,000000 | S |
| Cor (2) | 208,61 | 2 | 104,31 | 82,27 | 0,000000 | S |
| Exposição (3) | 658,95 | 2 | 329,48 | 259,89 | 0,000000 | S |
| Tratamento (4) | 18,43 | 2 | 9,21 | 7,27 | 0,000964 | S |
| Fabricante*cor | 672,12 | 4 | 168,03 | 132,54 | 0,000000 | S |
| Fabricante*exposição | 292,94 | 4 | 73,23 | 57,77 | 0,000000 | S |
| Cor*exposição | 180,60 | 4 | 45,15 | 35,61 | 0,000000 | S |
| Fabricante*tratamento | 5,90 | 4 | 1,47 | 1,16 | 0,329599 | NS |
| Cor*Tratamento | 3,69 | 4 | 0,92 | 0,73 | 0,573872 | NS |
| Exposição*tratamento | 62,70 | 4 | 15,68 | 12,36 | 0,000000 | S |
| Fabricante*cor*exposição | 274,39 | 8 | 34,30 | 27,05 | 0,000000 | S |
| Fabricante*cor*tratamento | 23,73 | 8 | 2,97 | 2,34 | 0,021197 | S |
| Fabricante*exposição*tratamento | 26,36 | 8 | 3,30 | 2,60 | 0,010804 | S |
| Cor*exposição*tratamento | 52,10 | 8 | 6,51 | 5,14 | 0,000011 | S |
| 1*2*3*4 | 37,14 | 16 | 2,32 | 1,83 | 0,031571 | S |
| Erro | 195,24 | 154 | 1,27 | | | |

SO: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; MO: quadrado médio; F (calc): F calculado
p-valor: probabilidade do efeito do fator sobre a variável de resposta ser devido ao acaso

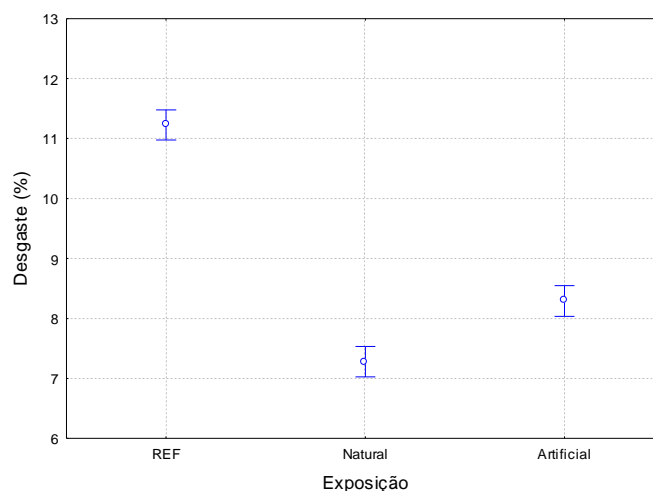
S: significativo; NS: não significativo

Analisando a tabela acima, pode-se verificar que a análise de variância para a variável desgaste por abrasão foi significativa para todas as variáveis quando analisados os efeitos isoladamente. Quando analisadas as interações de segunda ordem, as interações fabricante*tratamento e cor*tratamento não foram significativas. As interações de terceira ordem foram todas significativas e a interação de quarta ordem, apesar de menor força estatística, também se apresentou significativa. A seguir, são apresentadas as figuras relativas aos gráficos dos efeitos significativos.

5.4.1 Efeito isolado da variável exposição

A análise de variância (ANOVA) para verificação da influência do tipo de exposição sobre o desgaste superficial de forma isolada é apresentada na figura 74, mostrando-se significativo. As argamassas sem exposição (denominadas como REF na figura abaixo), foram ensaiadas com, aproximadamente, 6 meses de cura em ambiente laboratorial em virtude do cronograma e procedimentos de demais ensaios anteriores ao de abrasão.

Figura 74 – ANOVA efeito da variável exposição na resistência à abrasão

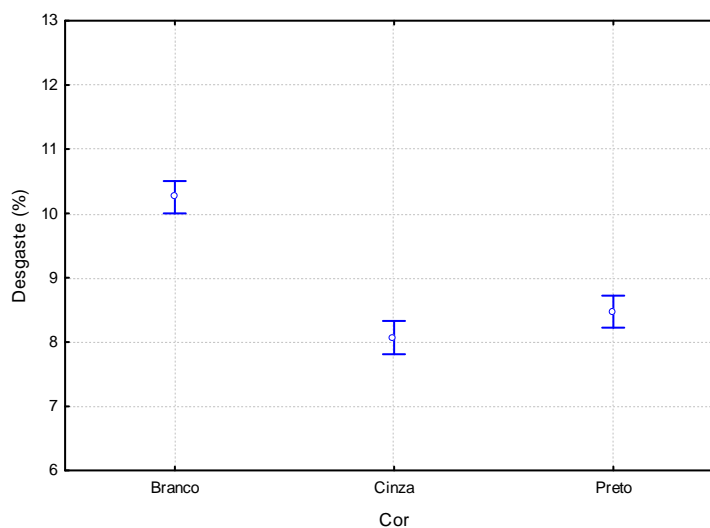


De acordo com a figura 74, os maiores valores de desgastes são observados nas argamassas que não sofreram exposição ao intemperismo, apontando efeito contrário aos resultados de variação cromática e de absorção de água. O aumento de resistência ao longo do tempo verificado em argamassas expostas ao intemperismo pode ser explicado através dos fenômenos de hidratação e carbonatação que diminuem os poros superficiais, aumentando a resistência ao desgaste uma vez que a exposição a temperaturas mais elevadas acelera as reações. No entanto, como a absorção de água aumentou após exposição ambiental, a possibilidade de aumento de resistência devido à hidratação não é compatível.

5.4.2 Efeito isolado da variável cor

A figura 75 apresenta o efeito isolado da variável cor sobre os resultados de resistência à abrasão a partir de uma análise de variância (ANOVA).

Figura 75 – ANOVA efeito da variável cor na resistência à abrasão

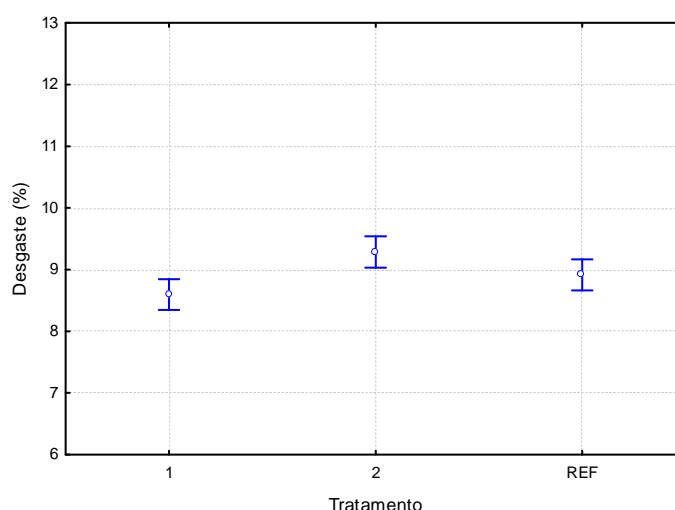


A figura 75 apresenta maiores valores de desgaste para as argamassas de cor branca, corroborando com os resultados de absorção de água. Tal fato está associado à maior presença de poros nas argamassas dessa cor já aos 28 dias de cura, como apontado na análise dos efeitos de quarta ordem das variáveis de controle sobre a variável absorção de água. Outra possível explicação é o efeito filler devido a presença de pigmento nas argamassas coloridas (cinza e preto). Observa-se resultado ligeiramente melhor para as argamassas de cor cinza em relação às argamassas pretas, assim como nos resultados de absorção de água e de resistência à compressão.

5.4.3 Efeito isolado da variável tratamento

A figura 76 apresenta o efeito isolado da variável tratamento superficial sobre os resultados de resistência à abrasão a partir de uma análise de variância (ANOVA).

Figura 76 – ANOVA efeito da variável tratamento na resistência à abrasão

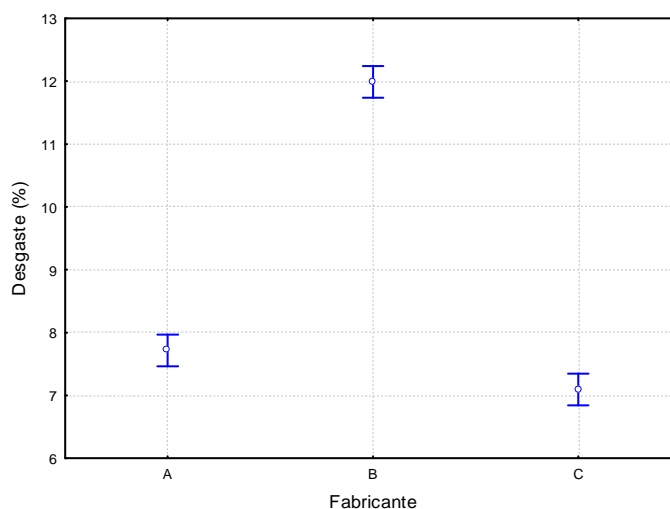


Através da figura 76, observa-se grande semelhança entre os valores de abrasão ao alterar o tipo de tratamento de proteção, com maiores valores para o produto à base de silano/siloxano (tratamento 2). Como os produtos não funcionam por formação de película, o resultado esperado era que o tipo de tratamento não fosse significativo. Dessa forma, é necessário avaliar os resultados de interações de ordem superior.

5.4.4 Efeito isolado da variável fabricante

A análise de variância (ANOVA) para os resultados de resistência à abrasão apontam efeito significativo da variável fabricante da argamassa quando analisado isoladamente (figura 77).

Figura 77 – ANOVA efeito da variável fabricante na resistência à abrasão



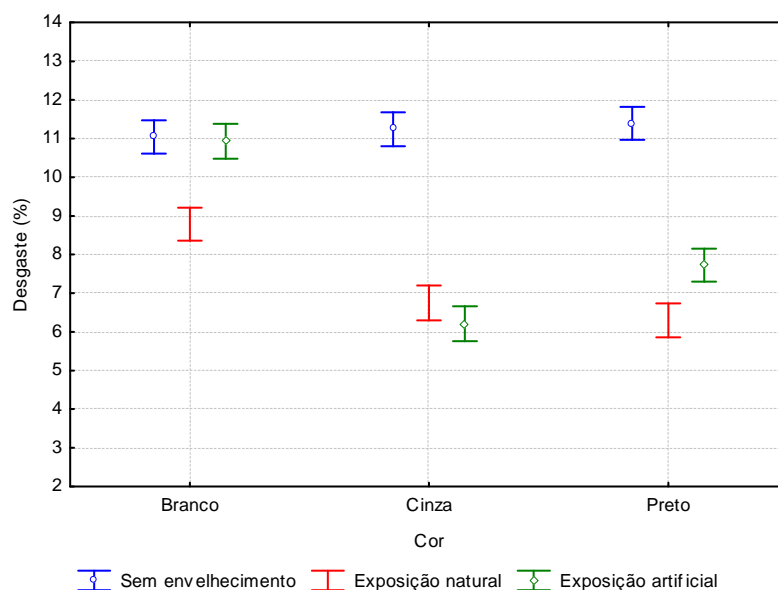
A partir da figura 77, observam-se resultados significativamente maiores para o fabricante B em relação aos demais. Esse resultado aponta efeito contrário aos resultados de variação cromática, em que o fabricante B apresentou os menores resultados, no entanto, corrobora com os ensaios de caracterização mecânica (ver tabela 6). As possíveis explicações para os resultados são: (a) presença de agregados muito finos, como pode ser constatado pelos valores dos índices de finura (SELMO, 1995); (b) elevado teor de aditivos hidrofugantes, diminuindo a resistência à compressão e à abrasão (MAGALHÃES, 2008); (c) baixo consumo de aglomerante (SELMO, 1995); (d) camada superior com intensa quantidade de finos e maior relação a/c, derivado do acabamento superficial no momento da moldagem.

O menor desgaste do fabricante C está associado ao uso de partículas com tamanho de grão maior do que os demais fabricantes (elevado diâmetro médio e baixo índice de finura), bem como pela presença de grãos de quartzo em algumas cores desse fabricante, como pode ser visualmente verificado em microscópio, uma vez que os grãos de quartzo apresentam elevadas resistências e colaboram para a resistência à abrasão (RIBEIRO, 2011).

5.4.5 Efeito da interação entre as variáveis cor e exposição

A figura 78 apresenta o efeito significativo da interação entre as variáveis cor e exposição, verificado através da análise de variância (ANOVA).

Figura 78 – ANOVA efeito da interação das variáveis cor e exposição na resistência à abrasão

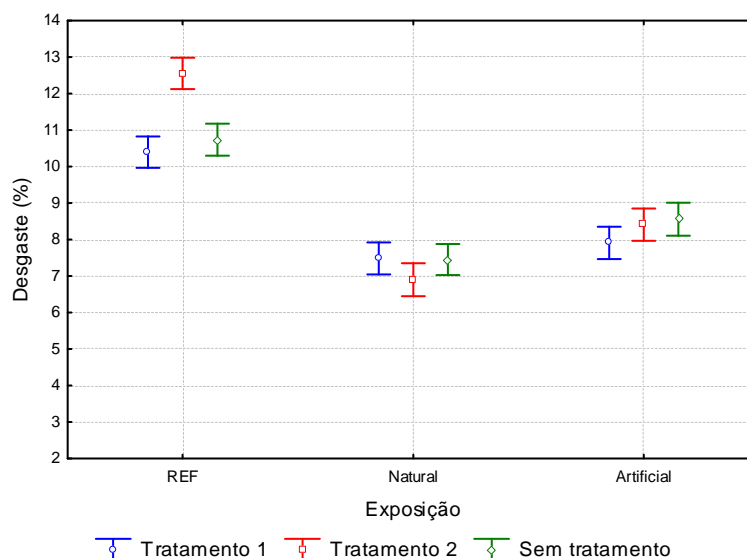


De acordo com a figura 78 observa-se que o efeito significativo da análise estatística está atrelado ao resultado de desgaste das argamassas que não foram expostas às intempéries, uma vez que todas cores apresentaram nível aproximado de desgaste nessa situação, enquanto dentre as argamassas envelhecidas, as argamassas cinzas e pretas apresentaram menores desgastes em relação a cor branca. Como já apontado anteriormente, uma das opções para menores desgastes nas argamassas de cor cinza e preto é a possibilidade de que o pigmento dessas cores, devido a elevada finura, proporcione o efeito filer.

5.4.6 Efeito da interação entre as variáveis exposição e tratamento

A figura 79 apresenta a interação entre as variáveis tipo de exposição e tratamento aplicado que, de acordo com a análise de variância (ANOVA), apresenta-se significativo para a variável de resposta resistência à abrasão.

Figura 79 – Efeito da interação das variáveis exposição e tratamento na resistência à abrasão

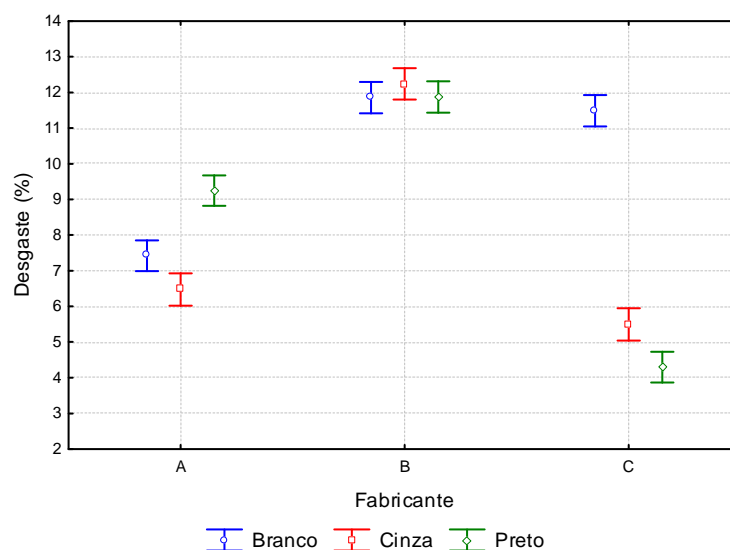


Através da figura 79, observa-se que, para as argamassas não expostas, a presença do tratamento 2 (produto à base de silano/siloxano) aponta nível de desgaste um pouco maior do que os demais tratamentos, porém não há justificativas para esse resultado, uma vez que o princípio de funcionamento do produto é por penetração nos poros. De modo geral, o desgaste das argamassas com diferentes tratamentos depende do tipo de exposição.

5.4.7 Efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante

A fim de verificar o efeito da interação entre as variáveis de controle cor e fabricante, a ferramenta análise de variância (ANOVA) foi realizada aponta efeito significativo para a situação (figura 80).

Figura 80 – ANOVA efeito da interação das variáveis cor e fabricante na resistência à abrasão

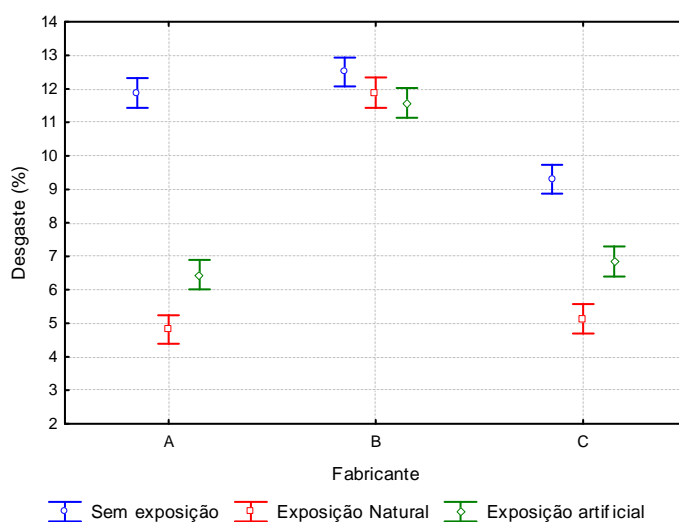


De acordo com a figura 80, observa-se que a argamassa branca do fabricante C apresenta maior desgaste do que as argamassas escuras em função de suas propriedades físicas diferenciadas como: empacotamento dos grãos mais uniforme, maior índice de finura e menor diâmetro médio. Para os fabricantes A e B, as diferenças entre as diferentes cores são consideravelmente menores e, portanto, pode-se atribuir a significância da análise à argamassa apontada anteriormente.

5.4.8 Efeito da interação entre as variáveis exposição e fabricante

A interação entre as variáveis tipo de exposição e fabricante das argamassas de rejuntamento apresenta-se significativo para os valores de resistência à abrasão. A figura 81 é resultado da análise de variância (ANOVA).

Figura 81 – ANOVA efeito da interação das variáveis exposição e fabricante na resistência à abrasão

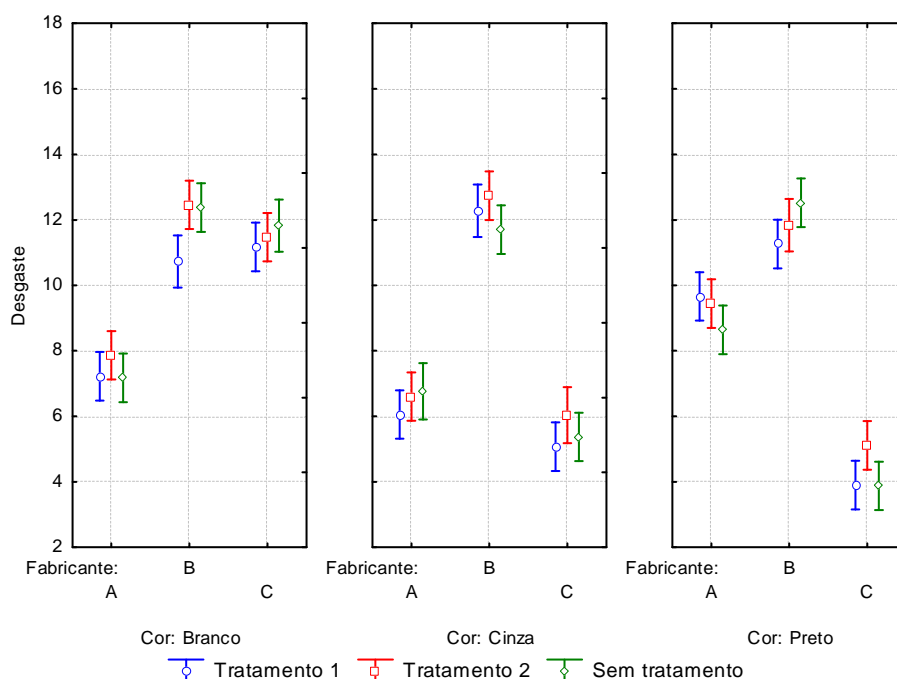


A figura 81 apresenta um desgaste superficial acentuado para o fabricante B na condição em que as argamassas são envelhecidas (tanto em ambiente natural quanto artificial), pelos motivos já expostos anteriormente. Os demais fabricantes tiveram um aumento de resistência à abrasão após envelhecimento (sendo um pouco maior para a exposição natural). Tal fato reafirma que o ensaio de exposição em ambiente natural foi mais intenso do que o ambiente artificial. Nesse caso, as argamassas avaliadas tiveram um incremento de resistência ao longo de 9 meses de exposição ambiental devido à hidratação e carbonatação da argamassa.

5.4.9 Efeito da interação entre as variáveis cor, fabricante e tratamento

A figura 82 apresenta a interação entre as variáveis tipo de exposição e tratamento aplicado que, de acordo com a análise de variância (ANOVA), apresenta-se significativo para a variável de resposta resistência à abrasão.

Figura 82 – ANOVA efeito da interação das variáveis cor, fabricante e tratamento na resistência à abrasão

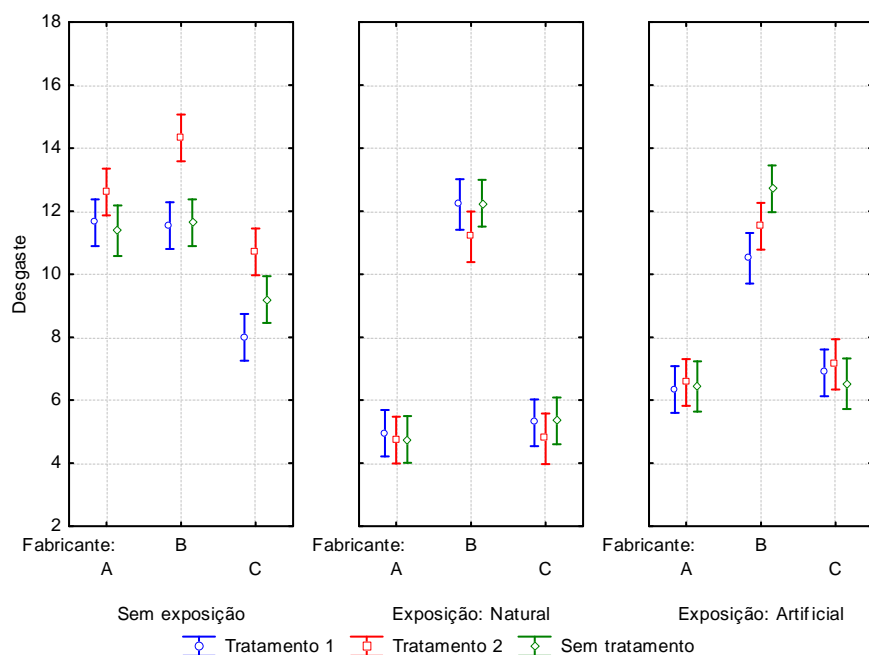


Através da figura 82, verifica-se que, de forma uniforme, as argamassas do fabricante B apresentam elevado desgaste para todas as cores em função do efeito da exsudação já mencionado. Além disso, a argamassa branca do fabricante C apresentou elevados níveis de desgaste devido às características físicas do material, como já apontado anteriormente.

5.4.10 Efeito da interação entre as variáveis fabricante, exposição e tratamento

A fim de analisar a interação de terceiro grau entre as variáveis cor, fabricante e tipo de exposição, os valores de resistência à abrasão passaram por análise de variância (ANOVA) mostrando-se uma interação significativa para tal situação (figura 83).

Figura 83 – ANOVA efeito da interação das variáveis fabricante, exposição e tratamento na resistência à abrasão

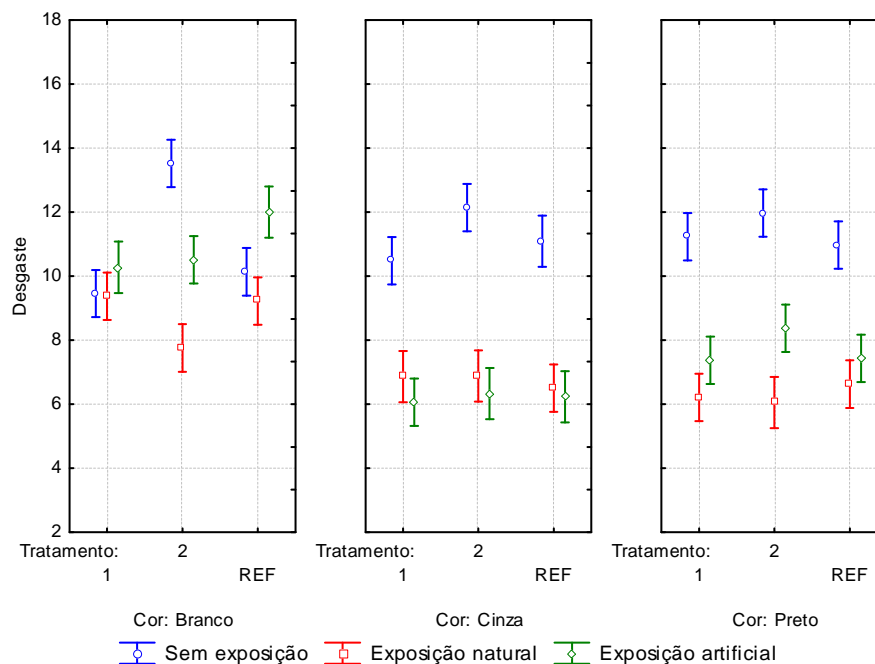


A partir da figura 83, dentre os resultados de desgaste das argamassas não expostas ao ambiente, observa-se maior diferença para o fabricante C com menores desgastes devido à utilização de agregados de maior diâmetro médio (incluindo grãos de quartzo observados em microscópio). As argamassas expostas ao ambiente possuem tendências semelhantes, com maiores desgastes para o fabricante B, evidenciando que não houve alteração dessas argamassas em relação ao estado inicial (sem exposição). Já as argamassas do fabricante A apresentaram melhoria nas propriedades mecânicas após ação do intemperismo para todas as cores, bem como o fabricante C.

5.4.11 Efeito da interação entre as variáveis cor, exposição e tratamento

A figura 84 apresenta a análise de variância (ANOVA), do ponto de vista de resistência à abrasão, da interação entre os fatores de influência cor da argamassa, tipo de exposição e tratamento superficial aplicado sobre as argamassas.

Figura 84 – ANOVA efeito da interação das variáveis cor, exposição e tratamento na resistência à abrasão

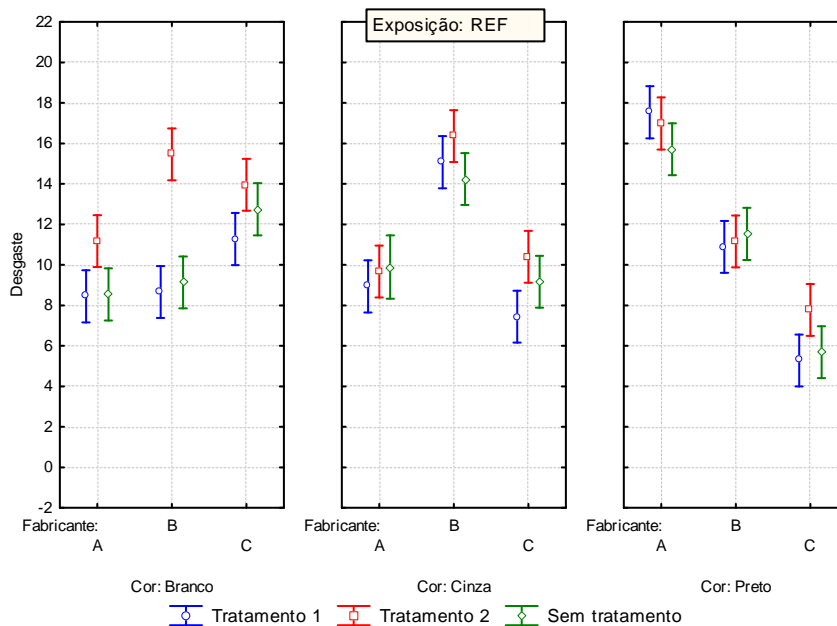


A partir da figura 84, observa-se que para as argamassas envelhecidas não há efeito diferenciado entre os tipos de tratamento durante o processo de abrasão de argamassas de diferentes cores. Para ambos tipos de exposição (artificial e natural), as cores de argamassas que sofreram maior desgaste, frente à aplicação de tratamento superficial, também foram as argamassas brancas, evidenciando que os tratamentos não influenciam significativamente sobre a variável resistência à abrasão frente ao intemperismo. No caso das argamassas sem exposição, as argamassas de cores preto e cinza apresentam resultados semelhantes, já as brancas apresentam desgaste consideravelmente maior para as argamassas tratadas com produto à base de silano/siloxano, porém não há justificativa conhecida para tal resultado.

5.4.12 Efeito da interação entre as variáveis cor, exposição, fabricante e tratamento

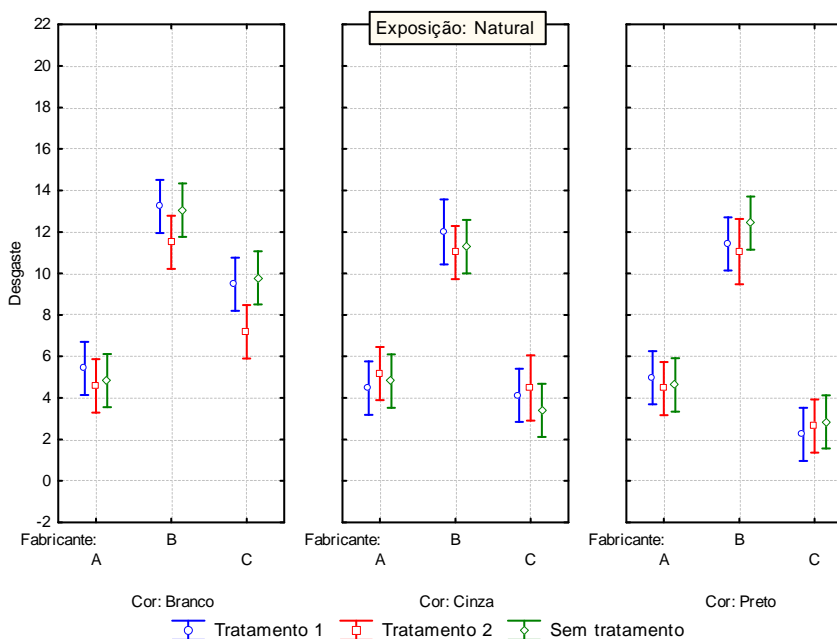
As figuras 85 a 87 representam o efeito da interação de quarta ordem (interação entre todos fatores controláveis) sobre a variável de interesse para as exposições referência, natural e artificial, respectivamente, oriundo da análise de variância (ANOVA).

Figura 85 – ANOVA efeito da interação das variáveis tratamento, fabricante e cor para argamassas sem exposição ao ambiente na resistência à abrasão – sem exposição



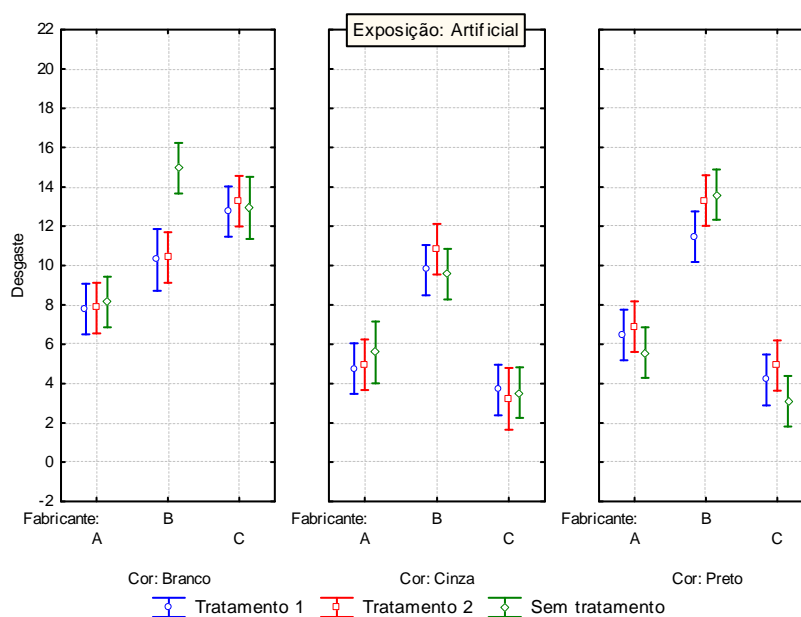
Com base na figura 85, observa-se que para a situação em que as argamassas não passam por exposição ambiental, cada cor apresenta um comportamento diferenciado frente aos diferentes fabricantes, evidenciando o proporcionamento diferenciado dos materiais em função das cores. Como já comentado anteriormente, a resistência à abrasão das argamassas brancas são levemente alteradas pelo uso do tratamento 2 (produto à base de silano/siloxano), porém essa pesquisa não encontrou explicação para esse fenômeno.

Figura 86 – ANOVA efeito da interação das variáveis tratamento, fabricante e cor para exposição natural na resistência à abrasão – exposição natural



Quando expostas ao ambiente natural, as argamassas de todas as cores apresentam comportamento similar para os diferentes fabricantes do ponto de vista de resistência à abrasão, com maior desgaste para o fabricante B devido à diversas características físicas desse fabricante já expostas anteriormente. A exceção é a resistência da argamassa branca do fabricante C que se apresenta maior que a resistência das argamassas de cor cinza e preto desse mesmo fabricante. Conforme já explicado, a justificativa está nas características físicas diferenciadas dessa cor em relação às demais cores desse mesmo fabricante.

Figura 87 – ANOVA efeito da interação das variáveis tratamento, fabricante e cor para exposição artificial na resistência à abrasão – exposição artificial



Se comparado à exposição natural, a exposição artificial implica em comportamento diferenciado para as argamassas brancas frente à resistência à abrasão. No caso dessa cor, o fabricante C apresenta maior valor de desgaste do que o fabricante B, representando que o tempo de exposição ambiental artificial não foi suficiente para aumentar a hidratação ao nível atingido em exposição natural.

Em uma análise geral, verifica-se através das figuras 85 a 87 que as argamassas de cor branca apresentam comportamento diferenciado em relação aos diferentes tipos de exposição ao intemperismo avaliados nessa pesquisa, uma vez que apresentam maior porosidade já no estado inicial, fato percebido nos resultados de absorção de água. De modo geral, as argamassas do fabricante A passaram por diminuição da porosidade através da hidratação dos compósitos cimentícios. E as argamassas do fabricante C das cores cinza e preto já

apresentavam bons resultados sem a exposição ao ambiente devido à maior granulometria e presença de grãos de quartzo na composição.

5.5 PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

Devido a problemas em manter a umidade da câmara climatizada durante períodos de extrema variação da temperatura externa, o ensaio de permeabilidade ao vapor teve a análise bastante reduzida em relação à proposta inicial. No entanto, tratando-se de um ensaio ainda não normatizado para argamassas de rejuntamento, optou-se por apresentar tais resultados para que contribuam para o desenvolvimento de estudos nessa linha.

Assim, a tabela 22 apresenta os valores médios e a estatística básica dos resultados das argamassas de cores cinza e preto expostas ao ambiente natural e artificial, ou seja, as argamassas brancas não foram incluídas, bem como as argamassas curadas em ambiente laboratorial (exposição referência) de todas as cores. Os valores de permeabilidade ao vapor foram definidos de acordo com a norma EN 12086 (equação 1 apresentada no subcapítulo 4.3).

Tabela 22 – Valores médios de permeabilidade ao vapor (mg/mhPa)

| Cor | Fabricante | Tratamento | NATURAL | | | ARTIFICIAL | | |
|-------|------------|------------|---------|-----------|--------|------------|-----------|--------|
| | | | Média | Desv. Pad | CV (%) | Média | Desv. Pad | CV (%) |
| CINZA | A | Referência | 0,01019 | 0,00159 | 15,61 | 0,01337 | 0,00126 | 9,44 |
| | | 1 | 0,01066 | 0,00091 | 8,49 | 0,01534 | 0,00141 | 9,17 |
| | | 2 | 0,01110 | 0,00047 | 4,25 | 0,01647 | 0,00034 | 2,06 |
| | B | Referência | 0,01165 | 0,00010 | 0,83 | 0,01346 | 0,00097 | 7,23 |
| | | 1 | 0,01147 | 0,00045 | 3,95 | 0,01263 | 0,00098 | 7,75 |
| | | 2 | 0,01188 | 0,00057 | 4,77 | 0,01340 | 0,00064 | 4,80 |
| | C | Referência | 0,00895 | 0,00058 | 6,51 | 0,01380 | 0,00068 | 4,93 |
| | | 1 | 0,00897 | 0,00039 | 4,36 | 0,01309 | 0,00076 | 5,83 |
| | | 2 | 0,00911 | 0,00081 | 8,89 | 0,01310 | 0,00007 | 0,53 |
| PRETO | A | Referência | 0,01355 | 0,00069 | 5,10 | 0,01310 | 0,00091 | 6,95 |
| | | 1 | 0,01238 | 0,00096 | 7,77 | 0,01187 | 0,00045 | 3,82 |
| | | 2 | 0,01254 | 0,00082 | 6,56 | 0,01267 | 0,00127 | 10,06 |
| | B | Referência | 0,01357 | 0,00040 | 2,98 | 0,01302 | 0,00057 | 4,34 |
| | | 1 | 0,01392 | 0,00068 | 4,91 | 0,01220 | 0,00040 | 3,31 |
| | | 2 | 0,01372 | 0,00074 | 5,36 | 0,01235 | 0,00023 | 1,84 |
| | C | Referência | 0,00828 | 0,00006 | 0,67 | 0,00923 | 0,00057 | 6,20 |
| | | 1 | 0,00906 | 0,00049 | 5,37 | 0,01023 | 0,00050 | 4,90 |
| | | 2 | 0,00884 | 0,00091 | 10,27 | 0,01075 | 0,00064 | 5,92 |

Através de uma análise de variância (ANOVA), foram avaliados a influência dos fatores controláveis de forma isolada e as interações de segundo, terceiro e quarto grau. Na tabela 23 são apresentados os efeitos de cada uma das variáveis de forma isolada e as interações.

Tabela 23 – Análise de variância para variável de resposta permeabilidade ao vapor

| Fatores | SQ | GL | MQ | F (calc) | p-valor | Efeito |
|---------------------------------|----------|----|----------|----------|----------|--------|
| Fabricante (1) | 0,000136 | 2 | 0,000068 | 119,57 | 0,000000 | S |
| Cor (2) | 0,000004 | 1 | 0,000004 | 7,54 | 0,007721 | S |
| Exposição (3) | 0,000072 | 1 | 0,000072 | 126,62 | 0,000000 | S |
| Tratamento (4) | 0,000002 | 2 | 0,000001 | 2,18 | 0,121118 | NS |
| Fabricante*cor | 0,000027 | 2 | 0,000013 | 23,37 | 0,000000 | S |
| Fabricante*exposição | 0,000033 | 2 | 0,000017 | 29,05 | 0,000000 | S |
| Cor*exposição | 0,000076 | 1 | 0,000076 | 134,26 | 0,000000 | S |
| Fabricante*tratamento | 0,000002 | 4 | 0,000001 | 1,06 | 0,381482 | NS |
| Cor*Tratamento | 0,000001 | 2 | 0,000001 | 1,26 | 0,290493 | NS |
| Exposição*tratamento | 0,000001 | 2 | 0,000000 | 0,78 | 0,464013 | NS |
| Fabricante*cor*exposição | 0,000005 | 2 | 0,000002 | 4,39 | 0,016154 | S |
| Fabricante*cor*tratamento | 0,000014 | 4 | 0,000003 | 6,13 | 0,000285 | S |
| Fabricante*exposição*tratamento | 0,000003 | 4 | 0,000001 | 1,42 | 0,238293 | NS |
| Cor*exposição*tratamento | 0,000000 | 2 | 0,000000 | 0,14 | 0,872132 | NS |
| 1*2*3*4 | 0,000002 | 4 | 0,000001 | 0,95 | 0,441979 | NS |
| Erro | 0,000039 | 68 | 0,000001 | | | |

SO: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; MO: quadrado médio; F (calc): F calculado

p-valor: probabilidade do efeito do fator sobre a variável de resposta ser devido ao acaso

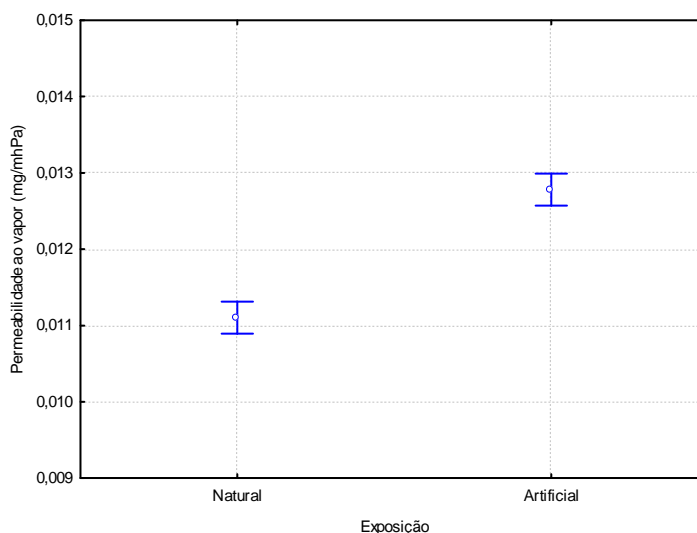
S: significativo; NS: não significativo

De acordo com a tabela 23, verifica-se que, com exceção da variável tratamento, as demais variáveis, isoladamente, são significativas na análise de variância para a variável de controle permeabilidade ao vapor. Para as interações de segundo grau, metade das interações são significativas (fabricante*cor, fabricante*exposição e cor*exposição). Dentre as interações de terceiro grau, as interações fabricante*exposição*tratamento e cor*exposição*tratamento não apresentaram-se significativas, bem como a interação de quarto grau.

5.5.1 Efeito isolado da variável exposição

A fim de avaliar o efeito do tipo de exposição a que as argamassas foram expostas sobre a propriedade de permeabilidade ao vapor de água, a figura 88 apresenta a análise de variância (ANOVA) significativa para tal situação.

Figura 88 – ANOVA efeito da variável exposição na permeabilidade ao vapor

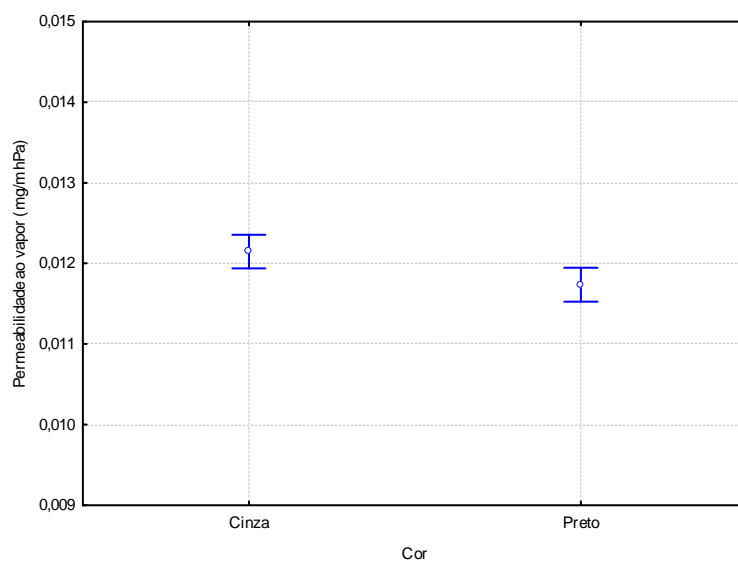


A análise representada na figura acima aponta maior permeabilidade para as argamassas expostas ao ambiente artificial. Uma vez que as argamassas expostas ao ambiente natural mostraram maior nível de hidratação nos ensaios de desgaste por abrasão, vincula-se esse resultado à existência de uma maior rede de poros nas argamassas expostas em ambiente artificial e que permitem maior permeabilidade do vapor de água (Farias et al., 2007).

5.5.2 Efeito isolado da variável cor

A análise de variância isolada da variável cor da argamassa para os resultados de permeabilidade ao vapor apresenta-se significativa e é demonstrada na figura 89.

Figura 89 – ANOVA efeito da variável cor sobre a variável permeabilidade ao vapor

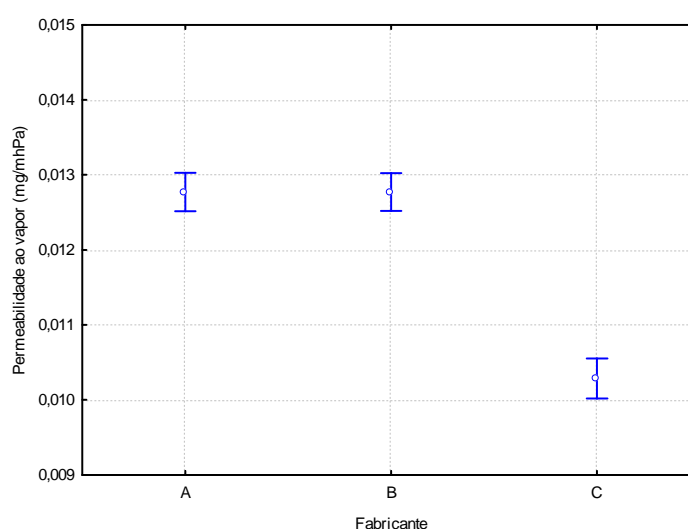


A figura 89 apresenta diferença significativa da variável cor, com menor permeabilidade para o preto e, portanto, pode estar associado ao efeito filler do pigmento. Porém como será visto adiante, quando analisadas as interações, verifica-se que essa diferença ocorre apenas para um dos fabricantes.

5.5.3 Efeito isolado da variável fabricante

A partir da análise de variância (ANOVA), o efeito isolado da variável de controle fabricante da argamassa apresentou-se significativo para a variável permeabilidade ao vapor (figura 90).

Figura 90 – Efeito da variável fabricante na permeabilidade ao vapor

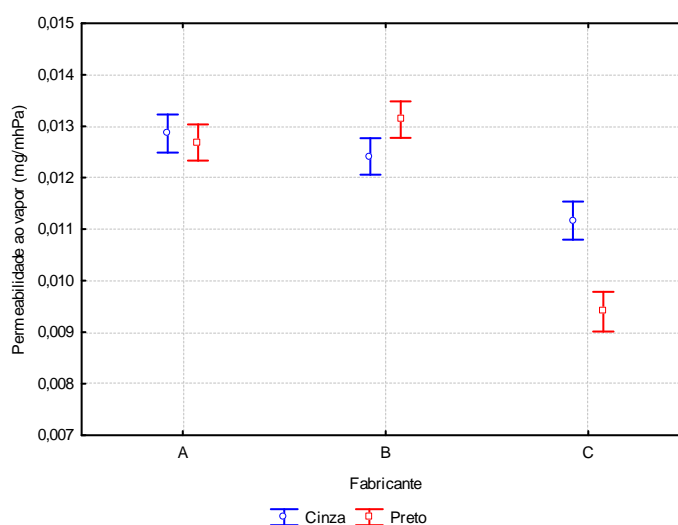


A figura 90 demonstra que o fabricante é uma variável significativa na avaliação da permeabilidade ao vapor uma vez que se apresentou consideravelmente menor para o fabricante C. Como a finura e a curva granulométrica do fabricante C (menor porção de finos e curva descontínua) são uma das maiores diferenças observadas pela caracterização realizada nessa pesquisa em relação aos demais fabricantes, há uma grande possibilidade de que a permeabilidade ao vapor também esteja vinculada a essas propriedades. De fato, quanto maior a porosidade, maior a permeabilidade ao vapor (FARIAS et al., 2007) e, portanto, as argamassas dos fabricantes A e B que possuem a distribuição granulometria mais uniforme (menor coeficiente de uniformidade) possuem mais vazios (CARASEK, 2010).

5.5.4 Efeito da interação entre as variáveis cor e fabricante

A figura 91 apresenta a análise de variância (ANOVA) para a interação entre as variáveis cor e fabricante das argamassas com efeito significativo sobre os resultados de permeabilidade ao vapor.

Figura 91 – ANOVA efeito da interação das variáveis cor e fabricante na permeabilidade ao vapor

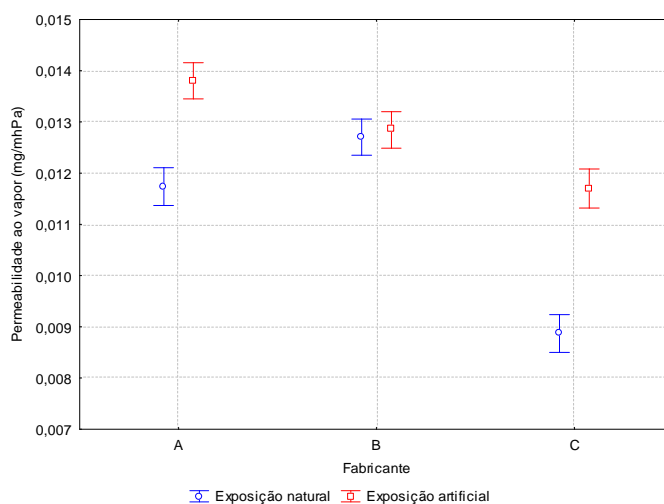


A partir da figura 91 observa-se que a cor da argamassa é uma variável significativamente influente sobre os resultados de permeabilidade ao vapor para o caso do fabricante C, uma vez que apresenta diferença no nível de permeabilidade entre as argamassas cinzas e pretas. Essa diferença decorre das diferentes características físicas de granulometria dessas cores, uma vez que a argamassa preta possui coeficiente de uniformidade maior, ou seja, curva granulométrica menos uniforme e, portanto, com menor quantidade de vazios em comparação à argamassa cinza desse mesmo fabricante.

5.5.5 Efeito da interação entre as variáveis fabricante e exposição

A figura 92 apresenta a análise de variância (ANOVA) para a interação entre as variáveis fabricante das argamassas e tipo de exposição com efeito significativo sobre os resultados de permeabilidade ao vapor.

Figura 92 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição e fabricante na permeabilidade ao vapor

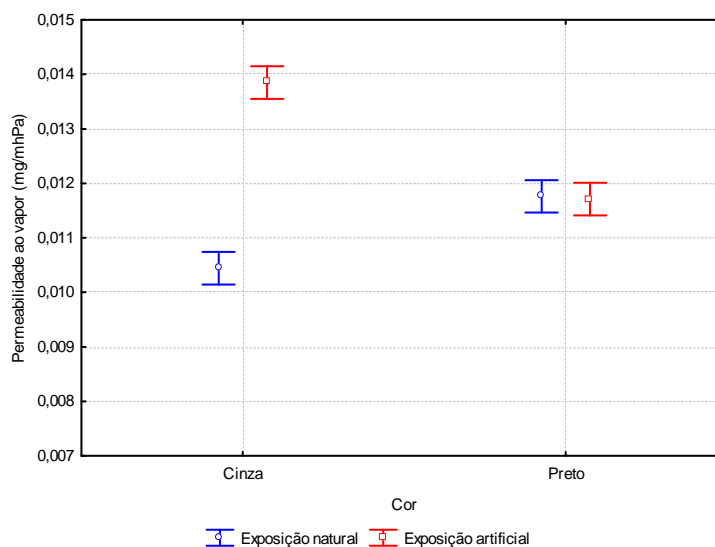


A figura 92 aponta que as argamassas do fabricante B não seguem a tendência de diferença considerável para a permeabilidade ao vapor entre exposição natural e artificial.

5.5.6 Efeito da interação entre as variáveis cor e exposição

A figura 93 apresenta o efeito significativo da interação entre as variáveis cor da argamassa e tipo de exposição ao intemperismo a partir de uma análise de variância (ANOVA).

Figura 93 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição e cor na permeabilidade ao vapor

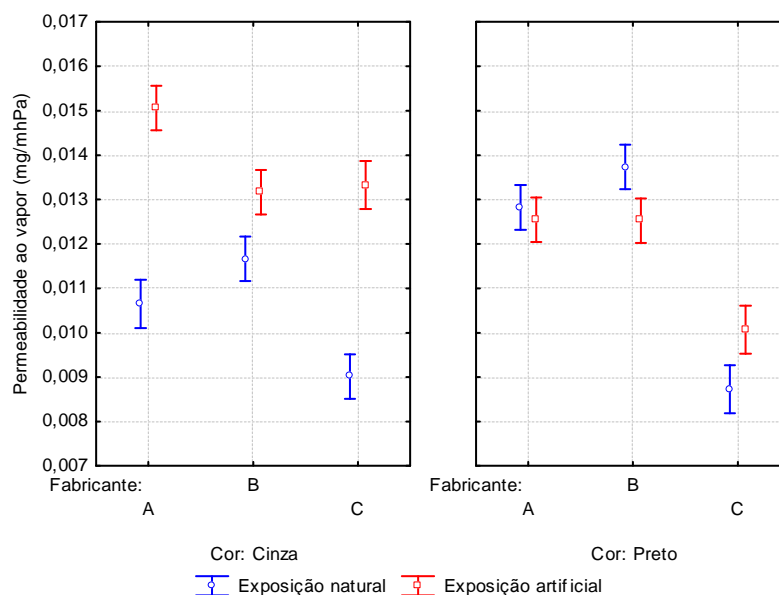


A figura 93 apresenta um comportamento diferenciado das análises isoladas, uma vez que demonstra que a exposição artificial resulta em argamassas mais permeáveis apenas para as argamassas de cor cinza. Já as argamassas pretas não alteram a permeabilidade ao vapor nas diferentes exposições, semelhante aos resultados de abrasão em que também há pequena diferença entre as diferentes exposições para as argamassas pretas.

5.5.7 Efeito da interação entre as variáveis fabricante, cor e exposição

A análise de variância (ANOVA) para o efeito da interação entre as variáveis fabricante, cor e exposição apresentam efeito significativo (figura 94).

Figura 94 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis exposição, cor e fabricante na permeabilidade ao vapor

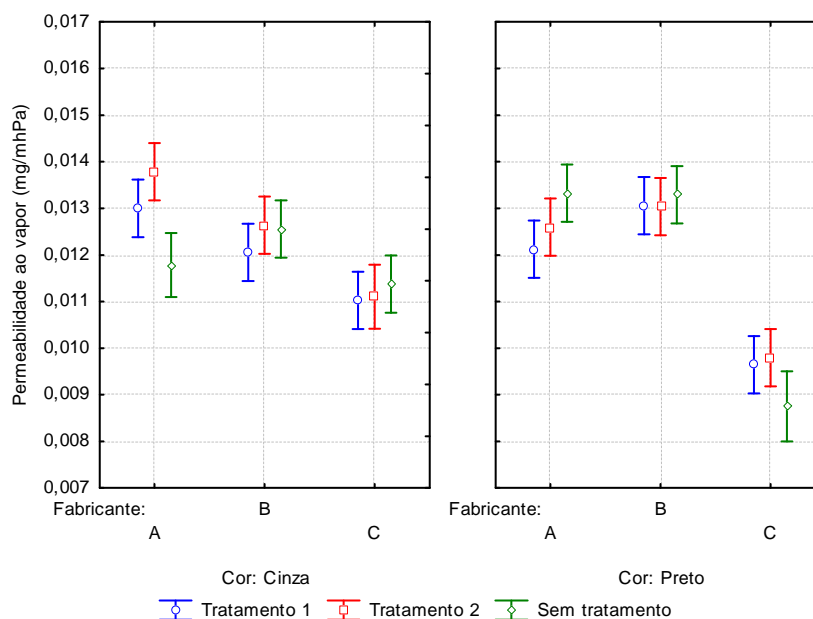


Pode-se observar pela figura 94 que há uma mesma tendência de comportamento estatístico das argamassas de cor preta para ambas exposições, apresentando menor permeabilidade para o fabricante C. No caso das argamassas de cor cinza, a exposição em ambiente natural diminuiu a permeabilidade ao vapor para os fabricantes A e C, ou seja, a quantidade de poros abertos diminuiu devido à hidratação, corroborando com os resultados de resistência à abrasão. Para as argamassas pretas, a exposição diferenciada não causa diferentes resultados na variável de estudo.

5.5.8 Efeito da interação entre as variáveis fabricante, cor e tratamento

A figura 95 representa o efeito significativo da interação entre as variáveis fabricante, cor e tratamento verificado através da ferramenta análise de variância (ANOVA).

Figura 95 – ANOVA efeito da interação entre as variáveis tratamento, cor e fabricante na permeabilidade ao vapor



A figura 95 demonstra que a aplicação de produto para proteção das amostras não apresentou diferenças significativas na permeabilidade ao vapor das argamassas de diferentes cores, apresentando comportamento esperado para produtos hidrofugantes, ou seja, não formam película e, portanto, não formam barreira à passagem do vapor de água. Em alguns casos, há uma sensível melhora da propriedade com a aplicação dos tratamentos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões aqui apresentadas são exclusivas para os materiais, equipamentos, condições climáticas, variáveis e metodologias empregadas durante essa pesquisa, portanto não devem ser tomadas como únicas nem generalizadas a outras condições sem novas comprovações.

Com relação aos resultados do ensaio de variação cromática:

- (a) todas variáveis independentes foram significativas na análise de alteração cromática;
- (b) a aplicação de produtos para tratamento de proteção das argamassas de rejuntamento influencia na cor das argamassas, modificando a tonalidade;
- (c) a aplicação de produto hidrofugante à base de metil siliconato de potássio (tratamento 1) causa manchamento nas argamassas pretas devido à simples aplicação, não sendo indicado para cores escuras.

Com relação aos resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade:

- (a) todas as variáveis de controle foram significativas na avaliação da absorção de água por capilaridade;
- (b) em geral, as argamassas que tiveram as maiores variações cromáticas também tiveram as maiores absorções de água por capilaridade;
- (c) no caso das argamassas brancas de alguns fabricantes, a argamassa já apresentava níveis elevados de absorção de água aos 28 dias de cura, mantendo-se ao longo do ensaio de exposição ao ambiente;
- (d) dentre os hidrofugantes utilizados para proteção das argamassas, o produto à base de metil siliconato de potássio não apresentou resultados diferentes da situação referência (sem tratamento) de acordo com a ANOVA e CMM;
- (e) as argamassas com menores coeficientes de uniformidade e maior presença de finos apresentaram maior absorção de água por capilaridade;

- (f) a exposição em ambiente natural foi capaz de detectar o início do envelhecimento do hidrofugante à base de silano/siloxano (tratamento 2), apesar do produto apresentar bons resultados ao longo do período avaliado.

Com relação aos resultados do ensaio de resistência à abrasão:

- (a) todos os fatores controláveis, de forma isolada, foram significativos na avaliação da propriedade resistência ao desgaste por abrasão;
- (b) a exposição ao ambiente possivelmente proporcionou a carbonatação dos compostos cimentícios, aumentando a resistência à abrasão das argamassas em relação à condição sem exposição;
- (c) como esperado, as argamassas com maior resistência à compressão, apresentaram os melhores resultados de resistência à abrasão.

Com relação aos resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor:

- (a) a variável tratamento, de forma isolada, não foi significativa na permeabilidade ao vapor, significando que os produtos hidrofugantes não impedem a permeabilidade ao vapor de água, conforme esperado;
- (b) as argamassas com características físicas de maior quantidade de vazios apresentaram as maiores permeabilidades ao vapor de água.

Com relação ao período de exposição ao intemperismo sobre a alteração de cor das argamassas avaliadas:

- (a) dentro do período analisado, as principais alterações cromáticas das argamassas expostas em câmara de intemperismo ocorreram nos primeiros 28 dias de exposição, sendo que depois as alterações se mantiveram com pequenas variações até o final do período (140 dias);
- (b) apesar das argamassas de cor branca apresentarem branqueamento inicial devido ao processo de secagem inicial, verificou-se em exposição natural uma tendência de amarelamento e sujidade por partículas de poluição a partir dos 168 dias de exposição;

- (c) a exposição de 168 dias para as argamassas pretas em ambiente natural foi suficiente para verificar as principais alterações cromáticas.

Com relação ao uso de câmara de intemperismo como ensaio acelerado em argamassas de rejuntamento:

- (a) o tempo de análise e as condições simuladas na câmara de intemperismo não foram suficientes para reproduzir a alteração detectada em ambiente natural para as argamassas pretas, nem a tendência ao amarelamento e sujidade das argamassas brancas.

Considerações gerais:

- (a) a exposição às intempéries causam degradações nas argamassas de rejuntamento, verificadas através da alteração cromática e aumento de absorção de água por capilaridade;
- (b) a ausência de requisitos em norma quanto às propriedades avaliadas nessa pesquisa é comprovada pela dificuldade da existência de alguma argamassa de rejuntamento disponível no mercado que atenda de forma satisfatória a todas propriedades avaliadas concomitantemente.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- (a) avaliar a alteração cromática de argamassas de rejuntamento sem pigmentos para avaliar possíveis descolorações da pasta de cimento;
- (b) avaliar a perda de massa dos corpos de prova comparar a massa dos corpos de prova antes e após ação do intemperismo;
- (c) avaliar argamassas de rejuntamento de outras cores;
- (d) avaliar a perda de resistência à compressão e tração após intemperismo natural;
- (e) avaliar as degradações de argamassas de rejuntamento câmara de intemperismo com lâmpadas UVB e aspersão de água.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, M. T. P. Superfícies e interfaces. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010.
- ALVES, A.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Influência da umidade do revestimento na resistência superficial avaliada por diferentes métodos de ensaio. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 3., 2010, Lisboa, **Actas...** Lisboa: APFAC, 2010. Não paginado.
- ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília – sistematização da incidência de casos**. 2010. 199 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- ARAÚJO, G. A. B. C. **Contribuição ao estudo das propriedades de argamassas com saibro da região de Maceió (AL) para revestimentos**. 1995. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995.
- ASSIS, W. A. Pigmentos inorgânicos. In: FAZENDA, J. M. R. (Coord.). **Tintas: ciência e tecnologia**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2009. p. 341-364.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR 14992**: A.R Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 13755**: Revestimentos de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante. Rio de Janeiro, 1996.
- _____. **NBR 15380**: Tintas para construção civil – método de desempenho de tintas para edificações não industriais – resistência à radiação UV e à condensação de água pelo ensaio acelerado. Rio de Janeiro, 2015.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **D4587**: Standard practice for fluorescent UV-condensation exposures of paint and related coatings. West Conshohocken, 2011.
- _____. **C1472**: Standard guide for calculating movement and other effects when establishing sealant joint width. West Conshohocken, 2010.
- BAUER, R. J. F.; RAGO, F. Argamassas de rejuntamento à base de cimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador, **Anais...** Salvador: CEPED, EPUFBA, UCSAL, UEFS, 1997. Não paginado.
- BAUER, R. J. F.; RAGO, F. Normalização de argamassas colantes para assentamento e argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 71-84, abr/jun 2002.

BIZAGLIA, C. The space between: a close look at grout standards. **Tile Q&O**. p. 48-50, nov/dec 2010. Disponível em: <www.tilemagonline.com.br>

BONDIOLI, F.; MAFREDINI, T.; OLIVEIRA, A. P. N. Pigmentos inorgânicos. **Cerâmica Industrial**, Porto Alegre, v. 3, n. 4-6, p. 13-17, jul/dez 1998.

BRAGANÇA, S. R.; BERGMANN, C. P. Materiais refratários e abrasivos. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010. p. 619-655.

BRENNAN, P.; FEDOR, C. Sunlight, UV and accelerated weathering. *Paint and Resin*, v. 58, p. 17, 1988.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 5385-2**: Wall and floor tiling – Part 2: Code of practice for the design and installation of external ceramic wall tiling and mosaics (including terra cotta and faience tiles). London, 1991.

_____ **EN 1510-21**: Determination of the compatibility of one-coat rendering mortars with substrates. London, 2002.

_____ **EN 12808-2**: Grouts for tiles. Determination of resistance to abrasion. London, 2008.

_____ **EN 12808-5**: Grouts for tiles. Determination of water absorption. London, 2008.

_____ **EN 13888**: Grouts for tiles – Requirements, evaluation of conformity, classification and designation. London, 2009.

BRUCE, S. M.; ROWE, G. H. The influence of pigments on mix designs for block paving units. In: **Proceedings of the 4th International Conference on Concrete Block Paving**. 1992. p. 117-124.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Brasília, 2013.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010. p. 893-944.

CHAROLA, E. Water-repellent treatments for building Stones: a practical overview. **APT Bulletin**, New York, v. 26, n. 2/3, p. 10-17, 1995.

CHEW, M. Y. L. Factors affecting ceramic tile adhesion for external cladding. **Construction and Building Materials**. v. 13, n. 5, p. 293-296, 1999.

CHEW, M. Y. L. **Maintainability of facilities**: for building professionals. 1. ed. Singapore: World Scientific, 2010.

CINCOTTO, M. A. Reações de hidratação e pozolânicas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 381-413.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 12086**: Thermal insulation products for building applications – determination of water vapour transmission properties. Brussels, 2013.

_____. **EN 927**: Paints and vernishes – Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 3: Natural weathering test. Brussels, 2000.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. Agregados para a construção civil. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010. p. 483-525.

FERES, J. P. I. **Estudo das argamassas de rejuntamento: análise crítica da norma NBR 14992/2003 - A.R. - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - requisitos e métodos de ensaios**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia do Ambiente Construído) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

FIGUEIREDO, E. P. Corrosão e degradação dos materiais. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010. p. 379-404.

FRAGATA, F.; AMORIM, C. C.; ORDINE, A. P. Desempenho de tintas de acabamento frente às radiações ultravioleta, UVA e UVB, e condensação de umidade. **Corrosão e Protecção de Materiais**, Portugal, v. 29, n. 3, p. 91-98, 2010.

FRASCÁ, M. H. B. O. Rocha como material de construção. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010. p. 439-481.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. Service life estimation of cement-rendered facades. **Building Research & Information**, v. 36, n. 1, p. 44-55, 2008.

GASTALDINI, A. L. G.; SICHIERI, E. P. Materiais cerâmicos para acabamentos e aparelhos. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010. p. 589-618.

GNECCO, C. Ensaio para determinação da composição e caracterização de tintas. In: FAZENDA, J. M. R. (Coord.). **Tintas: ciência e tecnologia**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2009. p. 1009-1082.

GLIESE, R. **Medição espectrofotométrica de polpas de caulim visando o controle do processo de beneficiamento**. 2003. 88 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

GOLDBERG, R. P. The effects and control of moisture in ceramic tile facades. In: CONGRESO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERÁMICO, 4., 1994, Castellón, **Anais...** Castellón: QUALICER, 1994. Não paginado.

GOLDBERG, R. P. **Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades: technical design manual**. Irvine: LATICRETE, 1998.

HONÓRIO, T.; CARASEK, H. Influência da absorção de água do substrato na resistência superficial de revestimentos de argamassa. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 3., 2010, Lisboa, **Actas...** Lisboa: APFAC, 2010. Não paginado.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13007**: ceramic tiles – grouts and adhesives. Part 3: terms, definitions and specifications for grouts. Geneva, 2010.

_____. **ISO 15686-2**: building and constructed assets – service life planning. Parte 2: service life prediction procedures. Geneva, 2002.

_____. **ISO 10545-6**: Ceramic tiles. Parte 6: determination of resistance to deep abrasion for unglazed tiles. Geneva, 2010.

INSTITUTO DE PROMOCIÓN DE LA CERÁMICA DE CASTELLÓN. **Guia de colocación de recubrimientos**. Castellón: IPC, 2008.

INSTITUTO DA HABITAÇÃO E DA REABILITAÇÃO URBANA. Guia prático da habitação. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território de Portugal. 2010.

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. **Road transport lighting for developing countries**. Technical Report. Vienna, 2007.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis**. 2003.141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

JUNGINGER, M.; RESENDE, M. M.; SABBATINI, F. H.; MEDEIROS, J. S. Influência de aditivos SBR na flexibilidade e no manchamento de rejuntamentos cimentícios. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL, V. 2002, Juiz de Fora, **Anais...** Juiz de Fora: UFJF, 2002. Não paginado.

JOHN, V. M.; SATO, N. M. N. Durabilidade de componentes da construção. **Construção e meio ambiente**. Coletânea Habitare, v. 7, p. 21-57, 2006.

KAZMIERCZAK, C. S. Proteções superficiais de estruturas de concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 1211-1231.

KRESSE, P. Colour changes resulting from the weathering of pigments concrete. In: **Fourth International Conference on Concrete Block Paving**, Auckland. 1992. p. 81-103.

KUS, H. **Long-term performance of water repellants on rendered autoclaved aerated concrete**. 2002. 46 f. Thesis (Doctoral in Engineering) – University of Gävle, Gävle, SW, 2002.

KURZ, G. E.; JUNGK, A. E. The use of coloured concrete in creative design. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Concrete Block Paving**, Pavitalia, Rome. 1988. p. 37-40.

- LEE, H. S.; LEE, J. Y.; YU, M. Y. Influence of inorganic pigments on the fluidity of cement mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 703-710, 2005.
- LIMA, E. Tratamento de estruturas em concreto aparente. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 2, n. 11, p. 22-24, jul/ago 1994.
- LIMA, M. G. Ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 733-772.
- LOH, K. Tintas na construção civil. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010. p. 1523-1564.
- MAGALHÃES, T. C. M. **Influência da pigmentação e/ou da quantidade de aditivo hidrorrepelente na patologia de desagregação da argamassa de rejauntamento**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- MALANHO, S. O. **Avaliação do desempenho de ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos**. 2011. 120 f. Dissertação – Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Aveiro, 2011.
- MARANHÃO, F. L.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. J. Influência do tipo de cimento nas propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas hidrofugadas com produtos à base de silicone. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2., 2007, Lisboa, **Actas...** Lisboa: APFAC, 2007. Não paginado.
- MARANHÃO, F. L.; LOH, K. O uso de hidrofugantes em materiais de construção porosos. **Revista Técnica**, São Paulo, v. 18, n. 155, p. 50-53, fev. 2010.
- MCGETTIGAN, Edward. Factors Affecting the Selection of water-repellent treatments. **APT Bulletin**, Springfield, v. 26, n. 4, p. 22-26, 1995.
- PAES, I. N. L.; CARASEK, H. Desempenho de argamassas de rejuntamento no sistema de revestimento cerâmico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 93-103, abr/jun 2002.
- PARNHAM, P. **Prevention of premature staining of new buildings**. London: E&FN Spon, 1997.
- PASSUELLO, A. **Análise de parâmetros influentes na cromaticidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco**. 2004. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- PINHEIRO, D. S.; LOPES, L. M. B. M.; AGUIAR, J. L. B. Descolagem de um revestimento cerâmico em fachada. ENCONTRO NACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2., 2006, Porto, **Actas...** Porto: FEUP, 2006. Não paginado.

PIOVESAN, A. Z. **Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco**. 2009. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

PORCAR, J. L. **Adhesivos e materiais de rejuntado**: colocación de baldosas cerâmicas y otros recubrimientos rígidos modulares. 1. ed. Barcelona: ANFAPA, 2008.

POSSER, N. D. **Proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação**. 2004. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

QUINTELA, M. B. O. A. **Durabilidade de revestimentos exteriores de parede em reboco monocamada**. 2006. 254 f. Dissertação (Mestre em Construção de Edifícios) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. 2006. 316 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2006.

RESENDE, M. M. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios**: limpeza de revestimentos cerâmicos. 2004. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

RIBEIRO, F. A. **Especificação de juntas de movimentação em revestimentos de fachadas de edifícios**: levantamento do estado da arte. 2006. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

RIBEIRO, M. C. S.; FERREIRA, A. J. M.; MARQUES, A. T. Effect of natural and artificial weathering on the long-term flexural performance of polymer mortars. **Mechanics of Composite Materials**, v. 45, n. 5, p. 515-526, 2009.

ROCHA, J. A.; VELARDE, J.; ROZOVIC, I. Ensayos de desempeño para la selección de esquemas de pintura en las atmósferas de La Paz y Santa Cruz. **Corrosão e Protecção de Materiais**, Portugal, v. 26, n. 4, p. 122-128, 2007.

ROCHA-GOMES, L. V. **Estudo de métodos de ensaio e comportamento físico e mecânico de argamassas para rejuntamento**. 2008. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

ROCHA-GOMES, L. V.; ALVARES, C. E. Análise Crítica dos Aspectos Ambientais no Uso de Pigmentos nas Argamassas de Rejuntamento do Espírito Santo (Brasil): Diagnóstico e recomendações. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2., 2007, Lisboa, **Actas...** Lisboa: APFAC, 2007. Não paginado.

ROCHA-GOMES, L. V.; TRISTÃO, F. A. Análise da normatização de argamassas para rejuntamento de revestimentos cerâmicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2008, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza: ENTAC, 2008. Não paginado.

RODRIGUES, P. P. F. Pisos industriais de concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 1493-1529.

ROJANO, A.; CONTRERAS, P.; CATALÁN, J. A. E.; CLARAMONTE, J. G.; BLÁZQUEZ, J. S. Caso práctico de eflorescencias em fachada. Como evitarlas? In: Congreso Mundial de la calidad del azulejo y del pavimento cerámico, 2000, Castellon, **Libros de actas...** Castellón: QUALICER, 2012. Não paginado.

ROMAN, L. M. F.; ROMAN, H. R.; SILVA, D. A.; ALARCON, O. E. Influencia del grosor del material de rejuntado en la adherencia de sistemas de revestimiento cerámico. In: Congreso Mundial de la calidad del azulejo y del pavimento cerámico, 2000, Castellon, **Libros de actas...** Castellón: QUALICER, 2000. p. GII31-GII32.

SANTOS, J. F.; QUINDICI, M. L. Z. Cor e colorimetria. In: FAZENDA, J. M. R. (Coord.). **Tintas e vernizes: ciência e tecnologia**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. p. 402-434.

SELMO, S. M. S. Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada de edificios. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SILVESTRE, J. D.; BRITO, J. Juntas utilizadas em revestimentos cerâmicos aderentes (RCA). In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Lisboa, **Actas...** Lisboa: APFAC, 2005. Não paginado.

SILVESTRE, J. D.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. Estratégia de manutenção pró-activa para juntas de revestimentos cerâmicos aderentes (RCA). CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Lisboa, **Actas...** Lisboa: APFAC, 2005. Não paginado.

SOUSA, R. D. B. **Previsão de vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada**. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

SZADKOWSKI, G. V. The effect of pigments on the quality of concrete blocks. In: **Proc. 1st International Conference on Concrete Block Paving**, Newcastle-Upon-Tyne, England. 1980. p. 155-156.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 1995. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

PEREIRA, M. A. C.; JALALI, S.; TORGAL, F. P. Argamassas aditivadas com dióxido de titânio. **Materiais de Construção**, v. 146; nov/dez 2009, APCMC: Porto, 2009.p. 42-45.

VARELA, J. J. **Caracterização de polpas de minerais industriais através do equipamento Colorcell visando o controle de qualidade do produto**. 2002. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

VEIT, A. M.; KÖNNECKE, E. Suggestions for improving coloured concrete products. In: **6th International Conference on Concrete Block Paving**. 2000. p. 179-194.

WETZEL, A.; ZURBRIGGEN, R.; HERWEGH, M.; GREMINGER, A.; KAUFMANN, J. Long-term study on failure mechanisms of exterior applied tilings. **Construction and Building Materials**, v. 30, p. 426-438, 2012.

YIU, C. Y.; HO, Daniel CW; LO, S. M. Weathering effects on external wall tiling systems. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 3, p. 594-600, 2007.

ANEXO A – Informações geográficas da cidade de Porto Alegre

Condições climáticas da cidade de Porto Alegre

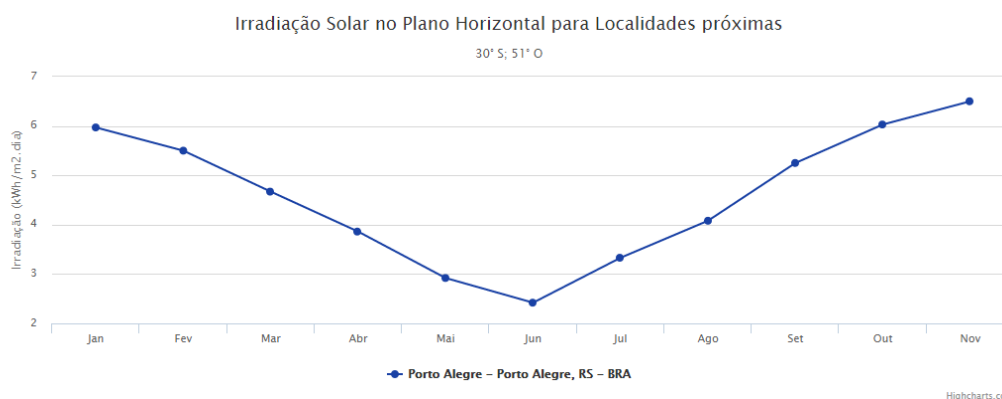
Porto Alegre é a capital do estado do Rio Grande do Sul (extremo sul do Brasil), localizada na porção leste do estado, há 100 Km do Oceano Atlântico, possui clima subtropical úmido. A cidade é determinada pelas coordenadas geográficas 30° 01' 59" S e 51° 13' 48" W, e 47 metros de altitude. A variabilidade de condições climáticas ao longo do ano é uma característica marcante da cidade. Massas de ar tropical marítimo (frequentemente no verão) alternam-se com massas de ar polar marítimo (frequentemente no inverno), gerando bruscas quedas de temperatura. Nas regiões centrais da cidade, densamente urbanizada e com alta impermeabilização, ocorrem as ilhas de calor que constituem-se em aumento de temperatura dessas regiões (MENEGAT et al.).

Segundo o Atlas de energia elétrica do Brasil (2008), a cidade de Porto Alegre tem duração solar diária variando entre 10 horas e 13 minutos, em 21 de junho (solstício de inverno), a 13 horas e 47 minutos em 22 de dezembro (solstício de verão). De acordo com a NBR 15575-1, os dias típicos de verão e de inverno em Porto Alegre são marcados pelos dados do quadro 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Quadro 1 - Características dos dias típicos de verão e inverno em Porto Alegre

| | Dia típico de verão | Dia típico de inverno |
|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Temperatura mínima/máxima | 35,9 °C | 4,3 °C |
| Amplitude diária térmica | 9,6 °C | 8,6 °C |
| Temperatura de bulbo úmido | 23,9 °C | 12,1 °C |
| Radiação solar | 5476 Wh/m ² | 2410 Wh/m ² |
| Nebulosidade | 5 décimos | 6 décimos |

Figura 1 – irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para a cidade de Porto Alegre



(fonte: Base de dados SunData²⁰, CRESESB)

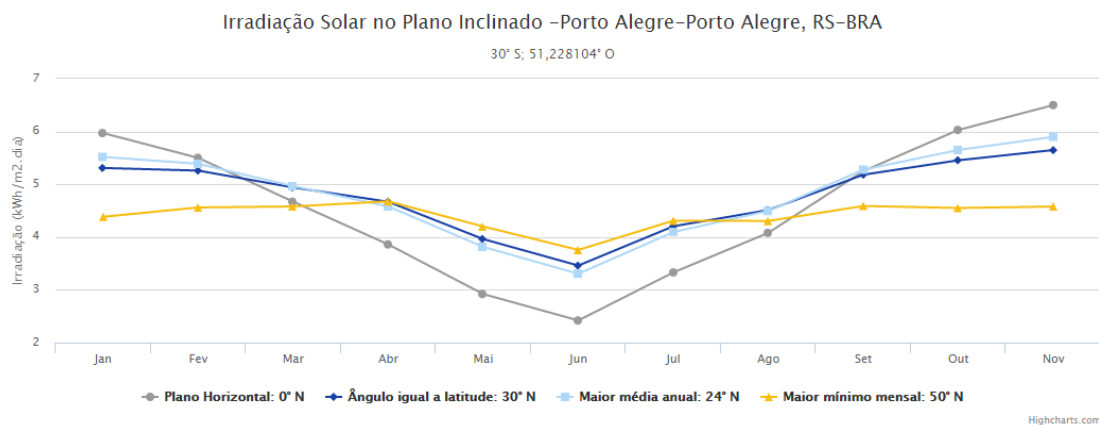
Figura 2 – irradiação solar diária média mensal em diversas inclinações para a cidade de Porto Alegre

²⁰ Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Porto Alegre
Município: Porto Alegre, RS - BRA
Latitude: 30° S
Longitude: 51,228104° O
Distância do ponto de ref. (30° S; 51° O): 22,0 km

| # | Ângulo | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia] | | | | | | | | | | | | Média | Delta |
|-------------------------------------|-------------------------|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Plano Horizontal | 0° N | 5,97 | 5,50 | 4,67 | 3,86 | 2,92 | 2,42 | 2,83 | 3,33 | 4,08 | 5,25 | 6,03 | 6,50 | 4,45 | 4,08 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ângulo igual a latitude | 30° N | 5,31 | 5,26 | 4,94 | 4,67 | 3,96 | 3,46 | 4,02 | 4,20 | 4,51 | 5,18 | 5,45 | 5,65 | 4,72 | 2,19 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maior média anual | 24° N | 5,52 | 5,39 | 4,96 | 4,58 | 3,81 | 3,30 | 3,84 | 4,09 | 4,50 | 5,28 | 5,65 | 5,90 | 4,74 | 2,59 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maior mínimo mensal | 50° N | 4,38 | 4,56 | 4,58 | 4,68 | 4,20 | 3,76 | 4,34 | 4,31 | 4,31 | 4,59 | 4,55 | 4,58 | 4,40 | ,92 |



(fonte: Base de dados SunData²¹, CRESESB)

No quadro 2 são apontadas as condições climáticas médias da cidade de Porto Alegre, com base em dados entre 1912 e 1997.

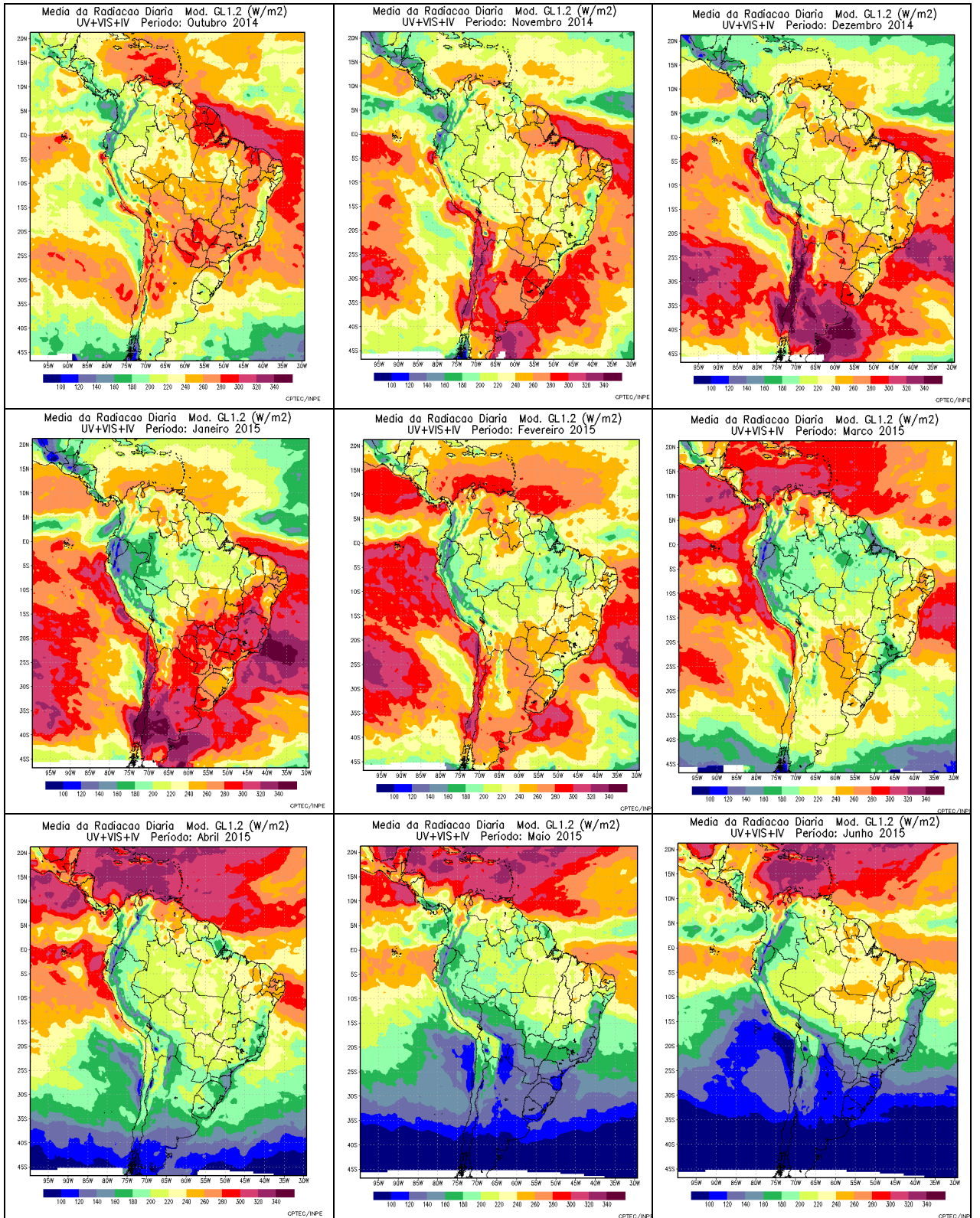
Quadro 2 - Valores médios de elementos climáticos para Porto Alegre entre 1912 e 1997

| | |
|---|------------|
| Temperatura média do ar | 19,4°C |
| Temperatura máxima média do ar | 24,9°C |
| Temperatura mínima média do ar | 15,2°C |
| Temperatura máxima absoluta anual média do ar | 37,8°C |
| Temperatura mínima absoluta anual média do ar | 1,4°C |
| Umidade relativa média do ar | 76% |
| Insolação (duração) anual | 2310 horas |
| Precipitação (chuva) anual média | 1324 mm |
| Número de dias de chuva anual médio | 135 dias |

(fonte: Atlas Ambiental de Porto Alegre)

²¹ Idem

**ANEXO B – Dados climáticos da cidade de Porto Alegre durante
realização de exposição natural**



Médias das condições climáticas a cada mês de exposição

| Mês/ano | Precipitação acumulada (mm) | Média temp máxima (°C) | Média temp mínima (°C) | Insolacao acumulada (h) | Umidade Relativa Media (%) | Velocidade do Vento Media (m/s) |
|---------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| out/14 | 10,70 | 30,88 | 18,48 | 78,70 | 74,17 | 2,05 |
| nov/14 | 101,90 | 28,88 | 18,42 | 247,20 | 72,57 | 2,02 |
| dez/14 | 172,20 | 29,59 | 20,36 | 223,80 | 74,96 | 2,27 |
| jan/15 | 160,40 | 30,89 | 21,66 | 219,60 | 75,52 | 2,07 |
| fev/15 | 95,00 | 30,23 | 21,17 | 210,10 | 77,40 | 2,29 |
| mar/15 | 52,90 | 29,52 | 20,13 | 216,10 | 75,62 | 2,13 |
| abr/15 | 72,50 | 26,80 | 17,08 | 188,90 | 77,23 | 1,70 |
| mai/15 | 136,00 | 23,61 | 14,75 | 132,30 | 83,23 | 1,69 |
| jun/15 | 170,00 | 21,18 | 11,80 | 132,70 | 82,78 | 1,36 |
| jul/15 | 163,70 | 18,83 | 12,40 | 31,00 | 88,75 | 1,59 |