

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e  
Infraestrutura**

**Roberta Picanço Casarin**

**Análise da eficiência da ação autolimpante em diferentes tipos de acabamentos superficiais de argamassas com adição de  $\text{TiO}_2$**

Porto Alegre  
2019

ROBERTA PIKANÇO CASARIN

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA AÇÃO AUTOLIMPANTE EM  
DIFERENTES TIPOS DE ACABAMENTOS SUPERFICIAIS  
DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE TiO<sub>2</sub>**

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

**Prof. Angela Borges Masuero**  
Dr<sup>a</sup> pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul  
Orientadora

**Prof. Denise Carpena Coitinho Dal Molin**  
Dr<sup>a</sup> pela Universidade de São Paulo  
Orientadora

Porto Alegre  
2019

**ROBERTA PICANÇO CASARIN**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA AÇÃO AUTOLIMPANTE EM  
DIFERENTES TIPOS DE ACABAMENTOS SUPERFICIAIS DE  
ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE TiO<sub>2</sub>**

Porto Alegre, 13 de junho de 2019.

**Prof. Angela Borges Masuero**  
Dr<sup>a</sup> pela Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul  
Orientadora

**Prof. Denise Carpena Coitinho Dal Molin**  
Dr<sup>a</sup> pela Universidade de São Paulo  
Orientadora

**Prof. Angela Borges Masuero**  
Coordenadora do PPGCI/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof<sup>o</sup> Alexandre Silva de Vargas**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof<sup>a</sup> Lais Zucchetti**  
Dr<sup>a</sup>. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof<sup>a</sup> Monica Regina Garcez**  
Dr<sup>a</sup>. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à toda minha família, pelo suporte de sempre – especialmente à minha tia, Eva Beatriz, que me direcionou e apoiou em uma fase em que nem eu mesma reconhecia precisar de ajuda.



## AGRADECIMENTOS

A lista de agradecimentos é extensa, visto que grande parte do que se é feito, do que se é aprendido e aplicado, e do crescimento que isso gera é devido à ação conjunta de várias pessoas. Agradeço, primeiramente, à Deus e à espiritualidade, por serem meu amparo e caminho de força em todos os momentos. Também aos meus pais, pois nada do que sou hoje seria alcançado sem que houvesse o carinho, o amor e o suporte incessante deles – à eles dedico tudo que faço e me inspiro para ser e fazer o melhor que eu posso, todos os dias. Igualmente agradeço aos meus irmãos, Renata e Márcio, pelo suporte e amizade de sempre, pelos conselhos e disponibilidade para ajuda, sempre. Também a minha avó Izaura, pelo incansável cuidado e auxílio; e aos tios César e Beatriz pelo apoio de perto nesse período.

Afirmo que tudo que aprendi e que me fez crescer pessoal e profissionalmente, em todos os momentos maravilhosos passados no mestrado, foi muito melhor do que eu poderia imaginar. Agradeço especialmente às minhas orientadoras, professoras Angela e Denise, que são muito mais que exemplos – são fontes de inspiração para a nossa construção na vida acadêmica, e donas de corações enormes. A minha gratidão por todos o conhecimento passado, por todas as longas reuniões e por todo o auxílio sempre que as dúvidas surgiam - mas principalmente por me encorajar a crescer como profissional, a assumir responsabilidades e pela confiança na realização deste trabalho.

O trabalho de pesquisa em laboratório deixa muitos outros agradecimentos: ao técnico Ari, por me auxiliar desde o princípio, em tudo que fosse necessário, desde a montagem de formas até o longo trabalho de tentativas para se encontrar o traço ideal da argamassa de acabamento. Também ao técnico Airton, pelo auxílio e disponibilidade para realização de todos os ensaios e para o controle diário das câmaras. Agradeço aos bolsistas desse período, visto que todos, em algum momento, me auxiliaram: Bianca, Caio, Milena, Thiago, Dimitrius, Lucas, Gabriel, Fernanda, Jéssica, Yasmin, Cesar, Felipe, Amanda, entre outros. Agradeço especialmente à Eduarda, que me acompanhou desde o início da pesquisa e que auxiliou muito, sempre. Obrigada pelo companheirismo e amizade em tantos momentos não muito fáceis (como coletando fuligem diariamente, de muitos carros estacionados).

Também agradeço à todos os professores que contribuíram muito na minha formação no mestrado: Miguel Sattler, Daniel Pagnussat, João Masuero, Angela Graeff, Luciani Lorenzi, Carlos Formoso, Daniela Viana, Luis Carlos Bonin e Lais Zucchetti. Agradeço à CAPES, pelo provimento de bolsa de mestrado, e à universidade, pela disponibilidade de laboratório, materiais e equipamentos.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos pelo suporte, e também aos que conheci no NORIE e que tornaram essa trajetória nada menos que incrível. Obrigada à turma da salinha, por compartilhar tantos bons momentos, e por me auxiliar sempre que necessário, seja com instruções e troca de conhecimento ou com boas risadas, biscoitinhos, e suporte nos momentos mais intensos. Em especial, agradeço pela amizade sem limites da Camila, Deividi (que auxiliou muito explicando sobre a importação de dados do espectrofotômetro para o Excel, e fazendo a análise fotográfica com o ImageJ), Jordana, Iago, Maxwell (especialmente pelo auxílio com o *Statistica*, agilizando muito a análise de dados), Maurício e Roberta: todos me auxiliaram muito mais do que imaginam a seguir em frente. Agradeço também à Fernanda e à Carol pelo auxílio incansável em inúmeras questões envolvendo a minha pesquisa, a utilização do fotocatalisador e o manuseio do espectrofotômetro. E a tantos outros que me ajudaram muito e que são pessoas pelas quais tenho grande carinho: Rafa Socoloski, Lais, Naty, Vanessa, Bridi, Mauro, Márlon, Ana Maran, Maria Fernanda, Gustavo, Janaíne, Gabi Sartori, Isa, Fernanda Brandalise, Mirela e Rafa Schumacher. Esse trabalho foi muito mais facilmente concluído com o apoio de vocês ao meu lado. Meu eterno obrigada a todos.

“If you can't fly then run, if you can't run then walk, if you  
can't walk then crawl. But whatever you do, you have to  
keep moving forward.”  
*(Martin Luther King Jr.)*

## RESUMO

CASARIN, R. P. **Análise da eficiência da ação autolimpante em diferentes tipos de acabamentos superficiais de argamassas com adição de TiO<sub>2</sub>**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

A poluição ambiental em áreas urbanas é uma das principais fontes da degradação e perda de desempenho de edificações, causando problemas de durabilidade e estéticos. A ação de autolimpeza em materiais cimentícios contendo dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) já foi demonstrada em muitos estudos e pode ser aplicada com sucesso em edificações, a fim de reduzir esses efeitos e até mesmo atenuar os poluentes atmosféricos. A atividade fotocatalítica, como a existente em produtos com TiO<sub>2</sub>, é induzida pela luz UV e provou ser eficiente na remoção de sujidades de diferentes tipos de manchamentos em superfícies lisas, mas não foi avaliada em argamassas que utilizam variadas técnicas de acabamentos de superfície comumente empregadas nos dias de hoje. Este trabalho tem como objetivo investigar a influência de diferentes acabamentos superficiais (rugoso, rústico e friccionado) em argamassas com TiO<sub>2</sub>, em adições de 5% e 10% sob a massa de cimento. Avaliou-se o comportamento das argamassas quando submetidas ao envelhecimento acelerado, através da exposição a duas diferentes câmaras de intemperismo, e inclinações de 45° e 90° no ambiente urbano natural. Medições de cor através de espectrofotometria e registro fotográfico foram avaliadas para três tipos de manchamentos aplicados nas amostras (fuligem proveniente da combustão de automóveis a diesel, cinza da queima do eucalipto e o corante Rodamina B). Se observou que a adição de 10% de TiO<sub>2</sub> produz melhores resultados na eficiência da autolimpeza e que o acabamento superficial friccionado apresenta um valor mais elevado de mudança de cor quando comparado aos outros dois, sendo mais eficiente na inclinação de 45° no ambiente urbano, para todos os tipos de manchamentos.

**Palavras-chave:** argamassas; autolimpeza; dióxido de titânio; sujidade; manchamento; mudança de cor; acabamento superficial.

## ABSTRACT

CASARIN, R. P. **Examination of the self-cleaning efficiency of diverse mortar surface finishes containing TiO<sub>2</sub>**. 2019. Dissertation (Masters of Science in Civil Engineering) - Postgraduate Program in Civil Engineering: Construction and Infrastructure, Engineering School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

Environmental pollution in urban areas is a major source of building degradation and resultant deterioration, responsible for soiling, reduced performance and considered as an aesthetic issue. The self-cleaning action in cementitious materials containing titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) has previously shown in a number of studies that it can be successfully applied in buildings to reduce these effects and further soften air pollutants. The photocatalytic activity of metal oxides induced by UV light, like the one present in TiO<sub>2</sub>, has been proven effective in de-soiling different kind of dyes in smooth surfaces but is yet to be assessed in diverse mortar surfaces (rough, rustic and scratched) constructed by varied techniques frequently used. This study aims to investigate the influence of different surface finishes in mortars with added TiO<sub>2</sub>, by replacing 5% and 10% of the cement mass. The samples were exposed to accelerated weathering conditions through two different artificial apparatuses with accelerated UV exposure and humidity/rain conditions and were placed to 45° and 90° inclinations in the urban environment conditions. Spectrophotometric color measurements and photography registration were taken for also three soiling types applied to the samples (soot from diesel engines, ash resultant of wood burning, and B Rhodamine). Results show that 10% of TiO<sub>2</sub> addition in the mortars creates better efficiency on the self-cleaning effect and the scratched surface finish results in a higher value of color changing, which is also more efficient when the samples are inclined to 45° in the urban environment, for all types of applied soilings.

**Keywords: mortars; self-cleaning; titanium dioxide; soiling; stain; colour change; surface finish.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sujidade e manchamentos em prédio histórico no campus central da UFRGS .....	20
Figura 2 – Resistência à compressão de diferentes composições de revestimentos de argamassa de acordo com a absorvidade do substrato (adptado de SANDIN, 1995) .....	27
Figura 3 – Acabamento feltrado ou alisado.....	30
Figura 4 – Acabamento polido/friccionado.....	31
Figura 5 – Acabamento travertino.....	31
Figura 6 – Acabamento raspado.....	32
Figura 7– Manifestações patológicas encontradas em 135 fachadas frontais de diferentes edificações do centro de Porto Alegre/RS.....	34
Figura 8 – Distribuição da produção global de dióxido de titânio em 2014, por país.....	39
Figura 9 – Formas cristalográficas do TiO <sub>2</sub> : (a) rutilo, (b) anatase e (c) bruquita .....	40
Figura 10 – Representação do princípio físico da fotocatalise.....	41
Figura 11 – Representação da evolução dos processos de hidrofília (ângulo de contato muito pequeno) e de hidrofobia (ângulo de contato grande, em que superfície não molha).....	42
Figura 12 – Mecanismos de autolimpeza e de despoluição do ar em superfícies com TiO <sub>2</sub> devido à fotocatalise: (a) autolimpeza da superfície; (b) despoluição do ar .....	43
Figura 13 – Autolimpeza da superfície com aspersão de TiO <sub>2</sub> após 36 meses da aplicação: (1) faixas sem a aplicação de TiO <sub>2</sub> ; (2) faixas com a aplicação de TiO <sub>2</sub> .....	45
Figura 14 – Igreja Dives in Misericordia, em Roma, com uso de concreto branco com adição de TiO <sub>2</sub> .....	46
Figura 15 – Acabamento superficiais por Diamanti <i>et al.</i> (2015).....	47
Figura 16 – Esquema da matriz experimental geral .....	50
Figura 17 – Esquema do projeto piloto executado .....	52
Figura 18 – Propriedades físico-químicas do cimento branco utilizado .....	54
Figura 19 – Curva granulométrica da cal .....	54
Figura 20 – Análise DRX do TiO <sub>2</sub> .....	57
Figura 21 – MEV por elétrons secundários das nanopartículas do TiO <sub>2</sub> utilizado em aumentos de: (a) 1000x; (b) 2500x; (c) 5000x; (d) 10000x.....	57
Figura 22 - Acabamentos superficiais das argamassas em definição: (a) friccionado; (b) rugoso; (c) rústico.....	58
Figura 23 – Representação esquemática utilizada para moldagem das argamassas: placas de base moldadas individualmete e colocadas lado a lado para recebimento de acabamento superficial .....	59
Figura 24 – Adição de TiO <sub>2</sub> (a) Dispersão de TiO <sub>2</sub> com equipamento de ultrassom e (b) mistura com argamassa .....	60

Figura 25 - União de cinco amostras para execução de dois tipos dos acabamentos superficiais: rugoso, à esquerda, e friccionado, à direita.....	61
Figura 26 - Amostras em cura em câmara climatizada .....	61
Figura 27 – Aplicação de fuligem sobre placa de argamassa.....	62
Figura 28 – Preparo da solução aquosa de Rodamina B em concentração de 0,5 g/L em água deionizada (a) mistura do corante em água; (b) agitação mecânica para mistura .....	63
Figura 29 – Placas imersas em solução aquosa de Rodamina B em concentração de 0,5 g/L.....	63
Figura 30 – Placas de argamassa com os seguintes manchamentos finalizados: (a) fuligem em acabamento A3 (friccionado); (b) Rodamina B em acabamento A1 (rugoso); (c) cinza em acabamento A2 (rústico) .....	64
Figura 31 – Placas após procedimentos de manchamento: (a) Fuligem; (b) Rodamina B; (c) Cinza...	65
Figura 32 – Exposição das amostras ao ambiente natural, em estruturas metálicas pintadas com tinta impermeabilizante .....	66
Figura 33 – Câmara 1 de intemperismo: (a) estrutura externa e (b) colocação de amostras nos moldes para posterior encaixe na estrutura da câmara.....	66
Figura 34 – Câmara 2 de intemperismo com amostras posicionadas antes do acionamento .....	67
Figura 35 – Equipamento utilizado para obtenção de resultados para o módulo de elasticidade dinâmico.....	68
Figura 36 – Representação do sólido de cor do espaço $L^*a^*b^*$ .....	70
Figura 37 – Medições com espectrofotômetro em placas de argamassa com seus respectivos moldes .....	71
Figura 38 – Exemplo de análise em imagens com o <i>software</i> ImageJ: (a) foto da placa no dia do manchamento com fuligem; (b) imagem anterior tratada no <i>software</i> para quantificação de pixels pretos; (c) foto da mesma placa após 140 dias de exposição ao ambiente natural; (d) imagem anterior tratada no <i>software</i> para quantificação de pixels pretos.....	72
Figura 39 – Aspecto visual da argamassa de revestimento com 5% de adição de $TiO_2$ , ao final do ensaio de índice de consistência.....	74
Figura 40 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de $90^\circ$ , manchadas com Rodamina B (a) sem adição de $TiO_2$ (placa n° 5); (b) com 5% de adição de $TiO_2$ (placa n° 70); (c) com 10% de adição de $TiO_2$ (placa n° 82) .....	81
Figura 41 – Amostras expostas ao ambiente nas estruturas (a) primeiro dia de exposição; (b) após 7 dias de exposição.....	81
Figura 42 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de $90^\circ$ , manchadas com Rodamina B (a) sem adição de $TiO_2$ (placa n° 30); (b) com 5% de adição de $TiO_2$ (placa n° 66); (c) com 10% de adição de $TiO_2$ (placa n° 94) .....	82

Figura 43 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação de 90°, manchadas com Rodamina B (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 17); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 57); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 106).....	83
Figura 44– Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 90°, manchadas com fuligem (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 1); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 38); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 73).....	84
Figura 45 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de 90°, manchadas com fuligem (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 25); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 46); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 85).....	85
Figura 46 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação 90°, manchadas com fuligem (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 14); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 50); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 98).....	85
Figura 47 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 90°, manchadas com cinza (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 9); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 41); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 77).....	86
Figura 48 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de 90°, manchadas com cinza (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 33); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 61); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 91).....	87
Figura 49 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação de 90°, manchadas com cinza (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 21); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 53); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 101).....	88
Figura 50– Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 1 (cinza), manchadas com Rodamina B (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 13); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 31); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 50).....	88
Figura 51 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 1 (cinza), manchadas com fuligem (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 17); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 35); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 54).....	89
Figura 52 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 1 (cinza), manchadas com cinza (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 15); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 33); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 51).....	90
Figura 53 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), submetidas à câmara 2, manchadas com Rodamina B (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 17); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 35); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 53).....	91
Figura 54 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), submetidas à câmara 2, manchadas com fuligem (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 14); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 31); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 49) .....	92

Figura 55 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), submetidas à câmara 2, manchadas com cinza (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 16); (b) com 5% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 34); (c) com 10% de adição de TiO <sub>2</sub> (placa n° 51).....	92
Figura 56 – ANOVA, efeito isolado do acabamento superficial em ΔE, análise geral.....	96
Figura 57 – ANOVA, efeito isolado da inclinação em ΔE, análise geral .....	97
Figura 58 – ANOVA, efeito isolado da adição em ΔE, análise geral .....	97
Figura 59 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em ΔE, análise geral .....	98
Figura 60 – ANOVA, efeito da interação entre acabamento e adição em ΔE, análise geral .....	98
Figura 61 – Comparação de médias para a variável C (adição), análise geral .....	99
Figura 62 – ANOVA, efeito da interação entre acabamento, adição e manchamento em ΔE, análise geral.....	99
Figura 63 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em ΔE; análise sem Rodamina B.....	101
Figura 64 – Comparação de médias para a variável A (acabamento); análise sem Rodamina B .....	101
Figura 65 – ANOVA, efeito isolado da inclinação em ΔE; análise sem Rodamina B.....	103
Figura 66 – ANOVA, efeito isolado da adição em ΔE; análise sem Rodamina B.....	106
Figura 67 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em ΔE; análise sem Rodamina B.....	107
Figura 68 – ANOVA, efeito de combinação das variáveis acabamento e adição em ΔE; análise sem Rodamina B.....	109
Figura 69 – ANOVA, efeito de combinação das variáveis acabamento e manchamento em ΔE; análise sem Rodamina B .....	109
Figura 70 – ANOVA, efeito de combinação das variáveis inclinação, adição e manchamento em ΔE; análise sem Rodamina B .....	110
Figura 71 – ANOVA, efeito de combinação das variáveis acabamento, adição e manchamento em ΔE; análise sem Rodamina B .....	111
Figura 72 – Variável L ao longo do tempo, para acabamento rugoso, inclinação a 90°; placas expostas ao ambiente: (a) sem adição de TiO <sub>2</sub> ; (b) 5% de adição e (c) 10% de adição .....	112
Figura 73 – ANOVA, efeito isolado do acabamento em ΔE, análise na câmara 1 .....	113
Figura 74 – ANOVA, efeito isolado da adição em ΔE, análise na câmara 1 .....	115
Figura 75 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em ΔE, análise na câmara 1 .....	116
Figura 76 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em ΔE, análise na câmara 1 .....	116
Figura 77 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em ΔE, análise na câmara 1 .....	117
Figura 78– ANOVA, efeito isolado do acabamento em ΔE, análise na câmara 2; sem Rodamina B. 119	
Figura 79 – ANOVA, efeito isolado da adição em ΔE, análise na câmara 2; sem Rodamina B .....	119
Figura 80 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em ΔE, análise na câmara 2; sem Rodamina B .....	120
Figura 81 – ANOVA, efeito de combinação da adição com o manchamento em ΔE, análise na câmara 2; sem Rodamina B .....	121



Figura 82 – ANOVA, efeito de combinação do acabamento, adição e manchamento em $\Delta E$ , análise na câmara 2; sem Rodamina B.....	121
Figura 83 – Efeito isolado do acabamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ .....	124
Figura 84 – Efeito isolado da inclinação na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ .....	124
Figura 85– Efeito isolado da adição na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ.....	125
Figura 86 – Efeito isolado do manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ.....	125
Figura 87 – Efeito da combinação dos fatores acabamento e inclinação na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ .....	126
Figura 88 – Efeito da combinação dos fatores acabamento e adição na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ .....	127
Figura 89 – Efeito da combinação dos fatores acabamento e manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ .....	127
Figura 90 – Efeito da combinação dos fatores adição e manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ .....	128
Figura 91 – Efeito da combinação dos fatores inclinação e manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ .....	128
Figura 92 – Efeito da combinação dos fatores acabamento, adição e manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ.....	129
Figura 93 – Efeito da combinação dos fatores adição, inclinação e manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ.....	130

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Massa unitária e massa específica da cal utilizada .....	53
Tabela 2 – Propriedades físico-químicas do agregado miúdo oriundo de rocha calcária .....	55
Tabela 3 – Propriedades físico-químicas da areia normal utilizada .....	56
Tabela 4 – Caracterização química e física do TiO <sub>2</sub> utilizado .....	56
Tabela 5 – Classificações de $\Delta E$ quanto a visibilidade da diferença de cor .....	71
Tabela 6 – Índice de consistência médio das argamassas .....	73
Tabela 7 – Densidade de massa das argamassas no estado fresco .....	74
Tabela 8 – Análise simples de variância (ANOVA) para a densidade de massa no estado fresco .....	75
Tabela 9 – Teor de ar incorporado nas argamassas no estado fresco .....	75
Tabela 10 – Análise simples de variância (ANOVA) para o teor de ar aprisionado; argamassas de acabamento no estado fresco .....	75
Tabela 11 – Densidade de massa aparente das argamassas .....	76
Tabela 12 – Análise simples de variância (ANOVA) para a densidade de massa no estado endurecido .....	77
Tabela 13 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas .....	77
Tabela 14 – Absorção de água por capilaridade das argamassas .....	78
Tabela 15 – Resistência à tração na flexão média das argamassas .....	78
Tabela 16 – Resistência à compressão na flexão média das argamassas .....	78
Tabela 17 – Análise simples de variância (ANOVA) para a resistência à tração na flexão .....	79
Tabela 18 – Análise simples de variância (ANOVA) para a resistência à compressão na flexão .....	79
Tabela 19 – Análise de variância geral por ANOVA, para amostras expostas ao ambiente natural....	95
Tabela 20– Análise de variância sem o machamento Rodamina B por ANOVA, para amostras expostas ao ambiente natural.....	100
Tabela 21 – Resultados da comparação de médias para o acabamento, fixando-se as variáveis de inclinação, adição e manchamento; análise das amostras expostas ao ambiente sem Rodamina B....	102
Tabela 22 – Resultados da comparação de médias para a inclinação, fixando-se as variáveis de acabamento, adição e manchamento; análise das amostras expostas ao ambiente sem Rodamina B .	104
Tabela 23 – Resultados da comparação de médias para a adição, fixando-se as variáveis de acabamento, inclinação e manchamento; análise das amostras expostas ao ambiente sem Rodamina B .....	106
Tabela 24– Resultados da comparação de médias para o manchamento, fixando-se as variáveis de acabamento, inclinação e adição; análise das amostras expostas ao ambiente sem Rodamina B .....	108
Tabela 25 – Análise de variância ANOVA, para amostras à Câmara 1 .....	113
Tabela 26 – Resultados da comparação de médias para o acabamento, fixando-se as variáveis de adição e manchamento .....	114

Tabela 27 – Análise de variância ANOVA, para amostras expostas à Câmara 2 .....	118
Tabela 28 – Análise de variância ANOVA, para amostras expostas à Câmara 2; análise sem Rodamina B .....	118
Tabela 29 – Resultados obtidos com o software ImageJ para obtenção da taxa de autolimpeza; acabamento rugoso .....	122
Tabela 30 – Resultados obtidos com o software ImageJ para obtenção da taxa de autolimpeza; acabamento rústico .....	123
Tabela 31– Resultados obtidos com o software ImageJ para obtenção da taxa de autolimpeza; acabamento friccionado.....	123

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM: *American Society for Testing and Materials*

ANOVA: Análise de variância

Ca(OH)<sub>2</sub>: Hidróxido de cálcio

CIENTEC: Fundação de Ciência e Tecnologia

DRX: Difração de raios X

EE: Escola de Engenharia

FRX: Fluorescência de raios X

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LACER: Laboratório de Materias Cerâmicos

LAMTAC: Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído

MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura

NBR: Norma Brasileira

NM: Normalização do Mercosul

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Construção

NO<sub>x</sub>: Óxidos de nitrogênio

°C: Graus Celsius

PAHs: Hidrocarbonos aromáticos policíclicos

PPGCI: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura

Rpm: rotações por minuto

SO<sub>x</sub>: Óxidos de enxofre

SVVIE: Sistema de vedação vertical interno e externo

TiO<sub>2</sub>: Dióxido de titânio

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UV: Ultravioleta

VOCs: Compostos orgânicos voláteis

W: Watts

ΔE: variação de cor no tempo

ΔL: variação de luminosidade no tempo

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>22</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	<b>23</b>
1.2.1 Objetivo principal .....	23
1.2.2 Objetivos específicos .....	24
<b>1.3 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES</b> .....	<b>24</b>
<b>1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA</b> .....	<b>25</b>
<b>2 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1 ACABAMENTOS SUPERFICIAIS EM ARGAMASSA</b> .....	<b>27</b>
2.1.1 Feltrado ou alisado .....	30
2.1.2 Texturas polidas/acabamento friccionado .....	30
2.1.3 Acabamento raspado .....	31
2.1.4 Acabamento lançado por espátula.....	32
<b>2.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COMUNS EM FACHADAS</b> .....	<b>33</b>
<b>2.3 DURABILIDADE</b> .....	<b>36</b>
<b>3 O DIÓXIDO DE TITÂNIO</b> .....	<b>39</b>
<b>3.1 HISTÓRICO</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2 FUNCIONAMENTO DA AÇÃO FOTOCATALÍTICA</b> .....	<b>41</b>
<b>3.3 USO DE TIO<sub>2</sub> EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA</b> .....	<b>44</b>
<b>4 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>48</b>
<b>4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>48</b>
4.1.1 Variáveis de resposta .....	48
4.1.2 Fatores controláveis .....	49
4.1.3 Fatores não controláveis .....	49
4.1.4 Fatores constantes .....	49
<b>4.2 MATRIZ EXPERIMENTAL GERAL</b> .....	<b>50</b>
<b>4.3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>53</b>

4.3.1 Materiais utilizados .....	53
4.3.1.1 Cimento .....	53
4.3.1.2 Cal hidratada .....	53
4.3.1.3 Agregado miúdo .....	55
4.3.1.4 Dióxido de titânio .....	56
4.3.1.5 Água.....	58
4.3.2 Métodos de moldagem, machamento e exposição .....	58
4.4 MÉTODOS DE ANÁLISE .....	68
4.4.1 Ensaios no estado fresco .....	68
4.4.2 Ensaios no estado endurecido.....	68
4.4.3 Ensaios principais.....	69
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	73
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	73
5.1.1 Índice de consistência.....	73
5.1.2 Densidade de massa e teor de ar aprisionado .....	74
5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	76
5.2.1 Densidade de massa aparente.....	76
5.2.2 Módulo de elasticidade dinâmico.....	77
5.2.4. Resistência à compressão e à tração na flexão.....	78
5.3 REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	80
5.3.1 Placas expostas ao ambiente e manchadas com Rodamina B .....	80
5.3.2 Placas expostas ao ambiente e manchadas com fuligem.....	83
5.3.3 Placas expostas ao ambiente e manchadas com a cinza da queima do eucalipto .....	86
5.3.4 Placas expostas à câmara de intemperismo 1 .....	88
5.3.5 Placas expostas à câmara de intemperismo 2 .....	91
5.4. ENSAIO COLORIMÉTRICO.....	94
5.4.1 Análise geral .....	95
5.4.2 Análise sem o manchamento de Rodamina B .....	100
5.4.3 Análise de eficiência da ação autolimpante na Câmara 1 .....	113

5.4.4 Análise de eficiência da ação autolimpante na Câmara 2 .....	118
5.5 ANÁLISE DE IMAGENS COM O SOFTWARE IMAGEJ ®.....	122
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	131
6.1 Conclusões.....	131
6.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	133
REFERÊNCIAS .....	135
ANEXO A – Dados meteorológicos do período de exposição.....	144
** Os anexos estão em arquivos enviados separadamente. ....	145
ANEXO B – Resultados da etapa piloto.....	151
ANEXO C – Ensaio de medição de tensão superficial.....	157
ANEXO D – Registro fotográfico .....	160
ANEXO E – Caracterização das argamassas .....	203
ANEXO F – Dados de medição colorimétrica .....	207

# 1 INTRODUÇÃO

A poluição ambiental decorrente das indústrias e dos ambientes urbanos está constantemente crescendo, e é fonte de problemas de durabilidade e estéticos nas estruturas expostas à atmosfera das cidades. Junto às políticas de redução de poluentes, uma rota promissora para a redução de manchamentos nas edificações é o provimento de materiais de construção com a habilidade de autolimpeza, pela ação de fotocatalise (SASSONI *et al.*, 2018). A atividade fotocatalítica do dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), induzida pela absorção da radiação ultravioleta (UV), tem comprovadamente promovido a autolimpeza de superfícies cimentícias com adição do material, e pode e vem sendo explorada para suavizar os efeitos da poluição urbana (DIAMANTI *et al.*, 2013).

Um dos aspectos mais importantes sobre o papel ambiental da fotocatalise é a disponibilidade de material com essa propriedade, que é o caso do dióxido de titânio. O  $\text{TiO}_2$  pode ser considerado um produto fotocatalisador ideal em muitos aspectos, pois a sua disponibilidade gera relativamente um baixo custo e é altamente estável quimicamente (FUJISHIMA *et al.*, 2000). Foi durante os anos 1970 que se verificou a excelente propriedade de decomposição orgânica pelo  $\text{TiO}_2$ , sendo que, de uma forma simples, Fujishima *et al.* (2000) explica esse processo sugerindo que se o pó ativo de  $\text{TiO}_2$  for colocado em uma piscina com água poluída e com luz solar incidente, a água irá gradualmente se purificar.

A sujidade e os manchamentos são manifestações patológicas muito comuns nos grandes centros urbanos (Figura 1). A autolimpeza das fachadas das edificações nesses locais promove não só a economia com os custos de manutenção, mas também aumenta, em longo prazo, a durabilidade das edificações.

Figura 1 – Sujidade e manchamentos em prédio histórico no campus central da UFRGS



Fonte: própria da autora.



Segundo Werle (2015), que estudou a ação autolimpante e a vida útil em revestimentos frios, a degradação de uma superfície por sujeira pode ocorrer de maneira reversível por limpeza, ou irreversivelmente. A limpeza que torna reversível a degradação acontece quando há a remoção de partículas superficiais ou quando existe o crescimento de microorganismos superficialmente sem danos. Já a degradação irreversível se dá quando há alterações físico-químicas das substâncias existentes na superfície (WERLE, 2015). Essa situação de irreversibilidade dificilmente será alcançada se as superfícies externas das edificações apresentarem as referidas propriedades fotocatalíticas.

A aplicação de  $\text{TiO}_2$  em materiais cimentícios proporciona a degradação de uma série de compostos orgânicos, e alguns compostos inorgânicos, que são agressivos para as propriedades de materiais cimentícios e para o meio ambiente. Isso porque, sob efeito da radiação UV, o  $\text{TiO}_2$  proporciona tanto a reação de redução das substâncias adsorvidas à superfície quanto a conversão hidrofóbica<sup>1</sup>, que podem ser usadas juntas ou separadamente para diversas funções como purificação do ar de poluentes como óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), compostos orgânicos voláteis (VOCs), autolimpeza e ações anti-embaçamento, anti-microbiana e anti-bioincrustação de superfícies (FRANZONI *et al.*, 2014). Além disso, com a diminuição da concentração de poluentes do ar nas áreas urbanas, pode-se aumentar o ciclo de vida de materiais cimentícios (OHAMA; GEMERT, 2011).

Com base no histórico de vantagens com a aplicação do  $\text{TiO}_2$  em fachadas das edificações, prevê-se que as superfícies de argamassas, que recebem acabamentos superficiais (similares a texturas), também serão eficientes na autolimpeza. O fator de acabamento das superfícies foi, de fato, uma limitação apresentada no trabalho de Austria (2015), em que se verificou que superfícies mais rugosas podem acumular mais sujeiras, e Treviso (2016) sugere uma comparação entre acabamentos superficiais lisos e rugosos para trabalhos futuros. Melo (2011), por outro lado, pode observar que quanto mais aberta for a textura da peça (maior superfície específica), maior é a quantidade de partículas de  $\text{TiO}_2$  expostas, e mais eficiente é a ação autolimpante. Portanto, há uma indefinição sobre esse tipo de uso, ao mesmo tempo em que a prática de se executar revestimentos com acabamentos em argamassa é muito comum – abrindo portas para o estudo mais aprofundado dessa aplicação.

---

<sup>1</sup> é a propriedade que faz com que o ângulo de contato da água com a superfície reduza para valores muito pequenos (próximos à zero), gerando a tendência de que a água em contato se espalhe perfeitamente ao longo da superfície.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A ideia de se analisar o efeito da adição do dióxido de titânio em acabamentos superficiais de argamassa é resultado de um requisito de mercado de empresas da cidade de Porto Alegre/RS. Esse interesse surgiu pelo fato de que outras pesquisas da universidade constataran resultados satisfatórios quando analisaram a eficiência da ação autolimpante em superfícies cimentícias fotocatalíticas submetidas ao ambiente urbano. Treviso (2016), por exemplo, verificou a diminuição dos manchamentos de origem inorgânica, enquanto Austria (2015) concluiu que, caso o manchamento não seja excessivo e crie uma barreira à radiação ultravioleta, mais claras (brancas) ficam as argamassas com o aumento do teor de adição de  $\text{TiO}_2$ .

Além disso, como fundamental à justificativa da pesquisa está a lacuna de conhecimento na comunidade científica no que se refere ao estudo do comportamento do  $\text{TiO}_2$  em diferentes tipos de acabamentos de superfície de argamassa. A falta de pesquisas que investiguem esse comportamento pode ser explicada pela ampla utilização, em alguns países, de outros tipos de revestimento externo nas edificações. No entanto, pela tradição e por questões econômicas, no Brasil ainda predomina o uso de diferentes técnicas de acabamentos superficiais em argamassa, sem a aplicação de outros materiais (também conhecidos como acabamentos texturizados).

Ainda, os manchamentos em sistemas de vedação vertical externos das edificações são muito comuns, e foram identificados no estudo de Oliveira (2013) em aproximadamente 83% das fachadas frontais de 135 edificações na cidade de Porto Alegre/RS. Em referência a isso, pesquisas tem sido desenvolvidas para que a ação autolimpante em argamassas previna a colonização biológica ou o depósito de fuligem (SMITS *et al.*, 2013; VASCONCELOS *et al.*, 2014; GUERRA, 2018), que são alguns dos agentes mais importantes para o aparecimento de manchas em fachadas. No Rio Grande do sul, onde o índice de chuva dirigida apresenta grande concentração em algumas orientações de fachadas (ZUCCHETTI *et al.*, 2014), o revestimento texturizado é utilizado correntemente como forma de dissipar, através da rugosidade, a umidade que atinge as paredes externas e pode ocasionar manchas. O problema com sujidades em superfícies de edificações é tão significativo que a Comissão Europeia, que é a parte executiva da União Europeia, tem financiado projetos de pesquisa com o objetivo de especificar concentrações limites de poluentes atmosféricos, de forma a gerar sujidades toleráveis em edificações que só necessitariam ser limpas após um número aceitável de anos. No entanto, mesmo com as políticas de regularização de tráfego adotadas, sucedendo na redução de óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) e concentrações elementares de carbono, os machamentos em fachadas que já

aconteceram provavelmente continuarão sendo um grande problema no futuro (SASSONI *et al.*, 2018). O acúmulo de fuligem nas fachadas, além de acelerar o processo de degradação das edificações, diminui a refletância à luz solar das mesmas. Essa refletância tem sido buscada em materiais de envelopamento de edificações para reduzir as necessidades energéticas (principalmente de resfriamento artificial) e para contribuir para a atenuação de microclimas urbanos. A esse respeito, os materiais autolimpantes e fotocatalíticos tem o valor de potencialmente prolongar e manter a performance térmica de uma edificação, ao diminuir a deposição de fuligens e matéria particulada - ao mesmo tempo em que mitigam a poluição atmosférica (DIAMANTI *et al.*, 2015).

Alguns trabalhos sugerem que quanto mais rugosa é a superfície de acabamento final da argamassa, maior é a quantidade de partículas de  $\text{TiO}_2$  expostas, estimulando ainda mais a ação autolimpante (MELO, 2011; PEREIRA *et al.*, 2009). Da mesma forma, sabe-se que a inclinação de amostras a  $45^\circ$  faz com que as mesmas sejam submetidas fisicamente à maiores índices de incidência solar no ambiente – e essa é uma variável a ser analisada, juntamente com a inclinação a  $90^\circ$  que é idêntica à das fachadas dos edifícios. Por motivos de possível aceleração das ações ambientais, câmaras que simulam o intemperismo em diferentes configurações podem ser utilizadas. Também espera-se que quanto maior a adição de dióxido de titânio nas superfícies expostas, maior seja a ação de autolimpeza. Assim, o tema em questão ainda tem base em hipóteses e é também uma sugestão para aprofundamento em pesquisas futuras nos trabalhos de Austria (2015) e Melo (2011).

Por fim, a diminuição de diferentes tipo de depósitos de sujidade, da absorção de poluentes e a inibição do crescimento biológico podem resultar na diminuição dos custos e trabalhos de manutenção das edificações. Além do mais, em longo prazo, a autolimpeza das superfícies promove o aumento de durabilidade, pois com a lavagem das sujidades, a edificação fica menos suscetível à entrada de agentes agressivos.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo principal e os objetivos específicos dessa pesquisa estão descritos a seguir.

### **1.2.1 Objetivo principal**

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência da ação autolimpante de diferentes tipos de acabamentos superficiais em revestimentos de argamassa com adição de  $\text{TiO}_2$ .

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) analisar a influência das **inclinações de 45° e 90°** na ação autolimpante em diferentes acabamentos de argamassas fotocatalíticas, quando em exposição ao microclima urbano da cidade de Porto Alegre/RS;
- b) avaliar a capacidade de **duas diferentes câmaras de intemperismo acelerado** de proporcionar mecanismos de autolimpeza nas argamassas fotocatalíticas similares aos que acontecem em condições de ambientes naturais;
- c) verificar a **influência do teor de adição de TiO<sub>2</sub>** nas argamassas produzidas nos diferentes acabamentos superficiais quanto a sua capacidade autolimpante;
- d) verificar a capacidade de degradação de **três diferentes tipos de manchamentos** em decorrência do efeito autolimpante de acabamentos superficiais distintos de argamassas fotocatalíticas;

### 1.3 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES

As limitações desta pesquisa estão descritas a seguir:

- a) a análise das técnicas de acabamento superficial não inclui as que consideram que uma textura diferente é criada pela alteração na distribuição granulométrica do agregado (por exemplo, em Dikici *et al.*, 2017);
- b) a análise das técnicas de acabamento superficial não inclui as que são obtidas com uso de tintas acrílicas sobre o revestimento, próprias à criação de texturas;
- c) o estudo não engloba a análise de coberturas de tintas sobre os diferentes tipos de acabamentos de argamassa para a análise da eficiência da ação autolimpante.

Quanto às delimitações do trabalho, se tem:

- a) exposição ao ambiente urbano da cidade de Porto Alegre/RS, com variáveis climáticas monitoradas;
- b) exposição a apenas uma orientação solar (com mais alta radiação): norte;
- c) uso de TiO<sub>2</sub> como adição à argamassa (sem aspersão sobre as superfícies, como em Treviso, 2016);
- d) avaliação com três tipos de manchamentos: rodamina B (referência como agente manchador em trabalhos da área), fuligem proveniente da combustão de automóveis à

- diesel, e particulado da queima da madeira de eucalipto (ambos particulados comuns no ambiente urbano da cidade);
- e) estudo de dois teores de adição de  $\text{TiO}_2$  sob a massa de cimento (5% e 10%) e de uma referência (sem  $\text{TiO}_2$ );
  - f) análise de três tipos de acabamentos superficiais: friccionado, rugoso e rústico;
  - g) utilização de somente um traço para a argamassa;
  - h) uso de uma coloração de cimento: branco;
  - i) disposição das amostras segundo duas inclinações:  $45^\circ$  e  $90^\circ$ .

## 1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

O trabalho está estruturado em seis capítulos. No primeiro, está apresentada a introdução sobre o assunto escolhido, o cenário atual e as justificativas e motivações que deram origem à escolha do tema. Também são apresentados os objetivos da pesquisa e suas limitações e delimitações.

No segundo capítulo é abordado o tema de revestimentos em argamassa, incluindo as principais técnicas de acabamento superficial utilizadas no Brasil e no mundo. Também é abordada a questão do manchamento nas superfícies externas das edificações e a relação desses assuntos com a durabilidade.

O capítulo seguinte se aprofunda nas questões referentes ao uso do dióxido de titânio em materiais cimentícios da construção civil. O histórico de seus primeiros estudos e aplicações, o princípio químico que produz a ação fotocatalítica, a autolimpeza e aplicações são brevemente apresentados.

O planejamento experimental desta pesquisa é apresentado no capítulo 4, com a descrição dos materiais, métodos e ensaios escolhidos. Além disso, são elencadas as variáveis possivelmente relevantes e é mostrada a matriz experimental.

O capítulo 5 inclui a análise e a discussão dos resultados obtidos, a partir do planejamento experimental proposto no capítulo anterior. Por fim, o capítulo 6 apresenta as considerações finais sobre os resultados da pesquisa, e as sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Os revestimentos de argamassa estão entre as técnicas mais antigas na construção civil, datadas do Egito Antigo, Assíria e Roma, com a função original de vedar paredes permeáveis e fornecer proteção da chuva e do vento. Essas ainda são as funções primordiais desses revestimentos, porém com o tempo as demandas foram aumentando, de maneira que a durabilidade, resistência mecânica, resistência à exposição a ambientes quimicamente agressivos e qualidade estética são também requisitos (SANDIN, 1995).

A constituição dos revestimentos é abordada na norma NBR 13749 (ABNT, 2013), que indica que os revestimentos de paredes e tetos podem ser constituídos por camada única (chapisco e emboço), ou por chapisco, emboço e reboco – sendo o chapisco uma camada de preparação em ambos os casos. Os emboços podem ser realizados das seguintes formas, de acordo com os acabamentos de superfície:

- sarrafeado: executado quando há posteriormente a aplicação do reboco;
- desempenado ou sarrafeado: quando a aplicação posterior é de placas cerâmicas;
- desempenado, camurçado ou chapiscado: realizado quando o emboço é a única camada de revestimento.

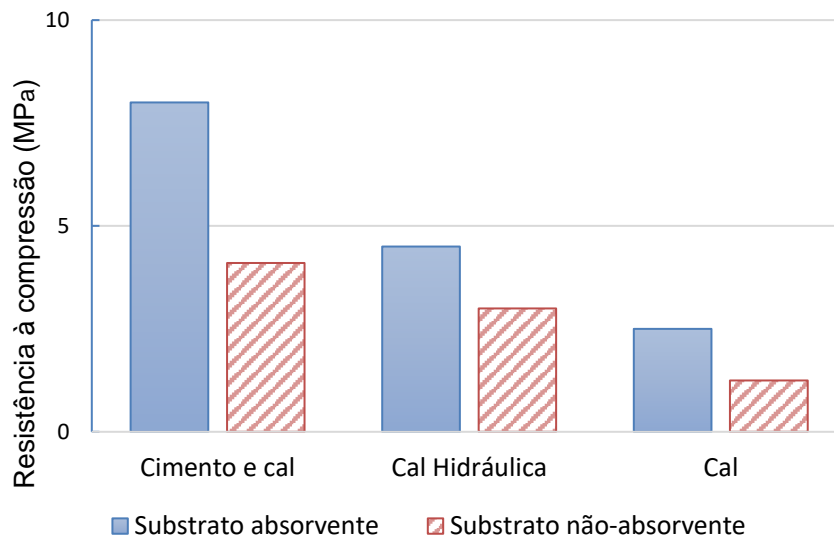
No entanto, segundo a norma recentemente atualizada, NBR 13755 (ABNT, 2017), o revestimento externo é um conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas. Ele é constituído pela estrutura de suporte, alvenaria, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final, cuja função é proteger a edificação da ação da chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação conjunta do vento e partículas sólidas, bem como dar acabamento estético.

Para que se obtenham as funções dos revestimentos, é necessário a correta execução dos mesmos. Sandin (1995) destaca essa importância da fase de execução na qualidade dos revestimentos em argamassa, atribuindo como regra que 50% da qualidade final do revestimento depende das propriedades da argamassa – a outra metade é oriunda da forma como o serviço foi executado. O autor também destaca a importância não somente da escolha do material e técnica previamente à execução, mas da análise das condições do ambiente, dos métodos tradicionais utilizados e das ferramentas e responsáveis pela execução disponíveis, pois todos esses fatores interferem na qualidade final do revestimento.

Quanto à resistência dos revestimentos, sabe-se que, embora a argamassa e o concreto sejam similares em composição, a característica de resistência final para argamassas não pode ser calculada previamente ao dimensionamento de materiais, porque o produto final depende

fortemente das condições de aplicação do mesmo (SANDIN, 1995). Esse fato é exemplificado na Figura 2, que demonstra a interdependência da resistência do revestimento de argamassa com a absorvidade do substrato em que é aplicado.

Figura 2 – Resistência à compressão de diferentes composições de revestimentos de argamassa de acordo com a absorvidade do substrato (adaptado de SANDIN, 1995)



Fonte: adaptado de Sandin (1995).

## 2.1 ACABAMENTOS SUPERFICIAIS EM ARGAMASSA

As técnicas de acabamento superficial em argamassa são utilizadas em grande escala nas fachadas das edificações brasileiras por um fator principalmente econômico. São métodos de revestimento que economizam tempo de mão de obra e que tem custo menor quando comparados a outros tipos de revestimentos, como o cerâmico. No entanto, Reichel *et al.* (2012) ressaltam que uma parte dos tradicionais tipos de acabamentos superficiais que resultam numa criação de textura nas fachadas dos edifícios tem desaparecido devido ao uso crescente de máquinas na construção civil, que aceleram esse processo de acabamento externo.

A norma NBR 13529 (ABNT, 2013) descreve o sistema de revestimento como o conjunto composto pelo revestimento de argamassa e o acabamento decorativo, e que tem compatibilidade com requisitos definidos em projeto, como a natureza da base, acabamento final, desempenho e exposição. A função das diferentes técnicas de acabamento superficial em argamassa é a de finalizar os revestimentos em fachadas ou em paredes internas das edificações. Segundo a norma NBR 13749 (ABNT, 2013), os revestimentos de argamassa devem cumprir as condições de compatibilidade com o acabamento decorativo e apresentar resistência

mecânica uniforme ou decrescente a partir da primeira camada que está em contato com o substrato, de forma a não comprometer a durabilidade ou acabamento final.

Essa norma também ressalta o cumprimento da propriedade hidrofugante no revestimento externo de argamassa aparente sem pintura. O tratamento para que uma superfície se torne hidrofugante não se baseia na criação de uma película que fecha os poros, e, portanto, não altera significativamente a permeabilidade do substrato aos gases e ao vapor – ao contrário dos produtos impermeabilizantes que se baseiam na hidrofobia, que fecha os poros ao controlar a extrema repelência à água e a não-molhabilidade de uma superfície.

A norma NBR 13529 (ABNT, 2013) aborda, de modo específico, a questão dos tipos de acabamentos superficiais – parte fundamental desta pesquisa – sendo que sete técnicas de acabamento superficial são definidas: camurçado (feltrado); chapiscado; desempenado; sarrafeado; imitação travertino; lavado e raspado. Complementando, a norma NBR 13749 (ABNT, 2013) cita que quando há a execução de reboco, os acabamentos de superfície podem ser dos tipos “desempenado, camurçado, raspado, chapiscado, lavado ou tratado com produtos químicos e imitação travertina”. A bibliografia que define exatamente a correta forma de execução de cada um desses tipos de acabamento de superfície em argamassa ainda é limitada.

No entanto, a NBR 13529 (ABNT, 2013) fornece uma descrição dos termos que definem acabamento superficial. Essas definições são mostradas no Quadro 1, em comparação às de Roman (2013), que explica algumas técnicas de acabamento superficial com referência à forma de execução de cada uma.

Quanto ao acabamento superficial, Sandin (1995) ressalta que ele deve ser adaptado ao substrato existente por uma boa adesão, que normalmente não acontece quando a argamassa tem pouca trabalhabilidade. Quanto à espessura do revestimento, a norma brasileira NBR 13749 (ABNT, 2013) indica que, para paredes externas, ele deve ser de 20 mm a 30 mm – embora tenham sido constatados casos de revestimentos externos de argamassa armada de até 15 cm de espessura quando há falta de prumo nas edificações de multipavimentos (SANTOS, 2013).

A maior parte da bibliografia encontrada define e exemplifica o acabamento de superfície com variados tipos de tintas PVA, acrílicas ou mesmo texturizadas (SANDIN, 1995), porém outros autores consideram que, de fato, a decoração das paredes pode ser feita utilizando tanto cor como textura (REICHEL *et al.*, 2012).



Quadro 1 – Termos relativos aos acabamentos de superfície

Tipos de acabamentos superficiais	Definição - NBR 13529 (ABNT, 2013)	Técnica - Roman (2013)
Camurçado/feltrado	Acabamento obtido quando a argamassa é sarrafeada, desempenada e a seguir alisada com esponja ou desempenadeira apropriada de feltro ou similar	Fricção com desempenadeira de aço ou colher de pedreiro
Chapiscado/rústico	Acabamento rústico obtido quando a argamassa é lançada sobre a base através de peneira	Projeção jateada do reboco sobre o emboço, com máquina própria ou através de peneira
Desempenado	Acabamento liso obtido quando a argamassa é sarrafeada e alisada com desempenadeira	Grosso: desempeno leve, com desempenadeira de madeira
		Liso: alisamento com desempenadeira de aço ou colher de pedreiro
Sarrafeado	Acabamento áspero obtido quando a argamassa é regularizada com régua	-
Imitação travertino	Acabamento com sulcos, imitando a textura do mármore travertino	-
Lavado	Acabamento granulado, imitando rocha, obtido com argamassa de agregado apropriado e por processo de lavagem superficial adequada.	-
Raspado/texturizado	Fricção do revestimento fresco com escova ou serra	-

Fonte: NBR 13529 (ABNT, 2013) e Roman (2013).

Com uma visão que parece ser mais abrangente que a das normas brasileiras, Reichel *et al.* (2012) indicam que existem as seguintes possibilidades para a criação de texturas nos revestimentos de argamassa:

- a) pelo uso de diferentes tipos de agregados (em tamanho, forma e cor);
- b) pela maneira como o revestimento é aplicado;
- c) por arremesso, aplicação com espátula, aplicação mecânica, entre outros (sendo que a textura final obtida quando executado manualmente depende do aplicador e do equipamento);
- d) pelo tratamento da superfície com a argamassa no estado fresco (por polimento, escovação, arranhamento ou por exposição dos agregados pela lavagem da superfície);
- e) por outros tratamentos na alvenaria com a argamassa de revestimento já no estado endurecido;
- f) pelo uso de tintas com composições e pigmentos específicos para a criação de texturas.

No que se refere ao descrito anteriormente, alguns modelos de acabamento superficiais já são considerados tradicionais, e são chamados de “*plastering methods*”, sendo os mais importantes: arranhamento (“*scratching*”), corte (“*cutting*”), “*incarsia*” e “*sgraffito*” (REICHEL *et al.*, 2012). Os modelos mais similares aos utilizados no Brasil estão apresentados a seguir:

### 2.1.1 Feltrado ou alisado

Somente um pouco antes de a argamassa fazer a cura, a superfície é friccionada com um tecido de feltro, uma esponja em disco, ou uma espátula lisa. Uma superfície muito fina e compacta é obtida e a qualidade do material usado é muito importante para a aparência final (Figura 3) (REICHEL *et al.*, 2012).

Figura 3 – Acabamento feltrado ou alisado



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

### 2.1.2 Texturas polidas/acabamento friccionado

Os grãos são friccionados contra o revestimento recém-acabado, resultando na formação de sulcos (Figura 4). A ferramenta utilizada é uma prancha de madeira, e vários estilos podem ser criados, como: acabamento Munique (fricção horizontal); vernicular (fricção circular); arrastamento (desenhos verticais feitos com espátula); antigo estilo alemão (friccionada com a prancha de madeira em todas as direções) (REICHEL *et al.*, 2012).

Esse é um acabamento comum nas edificações do país, e é também conhecido como acabamento “riscado” (BRITTEZ, 2007). Uma derivação do mesmo é o reboco decorativo “imitação travertino” – também mencionado no Quadro 1 – que imita a textura do mármore travertino (Figura 5), sendo um alvo de estudo neste trabalho.

Figura 4 – Acabamento polido/friccionado



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

Figura 5 – Acabamento travertino



Fonte: Britez (2007).

### 2.1.3 Acabamento raspado

São aplicados em uma camada de 10 a 15 mm de espessura, dependendo da máxima espessura do agregado (usualmente variam de 1 a 9 mm para esse tipo de acabamento, mas se o acabamento for executado manualmente pode-se utilizar até 16 mm). Esse tipo de acabamento deve ser aplicado mais grosseiramente e também ter agregados de maior diâmetro médio de partículas, quando comparado às outras técnicas. Após o período de endurecimento da argamassa aplicada, a superfície é friccionada, criando-se profundidades de 8 a 10 mm com o uso de desempenadeira raspadeira. A textura característica observada é formada pela elevação de conjuntos de grãos (Figura 6).

Um aspecto importante é que a superfície áspera significa que a água escorre pela fachada mais lentamente, porém a água se dispersa por todo o material através de forças capilares e não fica concentrada na superfície exposta, o que diminui o crescimento de agentes

de biodeterioração. Ainda, é destacado que esse acabamento pode manter a sua própria cor sem a necessidade de pintura, mas só pode ser limpo através de lavagem com alta pressão (REICHEL *et al.*, 2012).

Acabamentos similares em rugosidade ao da Figura 6 podem também ser obtidos através de rolos para textura. Os mesmos também serão objeto deste trabalho.

Figura 6 – Acabamento raspado



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

#### 2.1.4 Acabamento lançado por espátula

É obtido pelo simples lançamento da argamassa na superfície, porém utilizando uma espátula como base desse lançamento. Utilizam-se também normalmente agregados mais grossos (de 6 a 12 mm) que determinam em parte a aspereza da superfície. Essa técnica é muito dependente da maneira como o operário lança a argamassa, embora uma grande força de lançamento seja recomendada para garantir uma boa ligação (REICHEL *et al.*, 2012)..

Uma outra classificação das técnicas de acabamento superficial é dada segundo o Guia Educacional para as Propriedades de Acabamento em Argamassas (CEMEX MORTARS, 200-?), que mostra que a decisão sobre o tipo de acabamento final é geralmente baseada em critérios de utilidade e estéticos, sendo que as tradições locais interferem muito para essa escolha. Como houve uma evolução dos tipos de acabamentos superficiais realizados, não há um consenso sobre a nomenclatura de cada técnica, porém os autores classificam os métodos mais usuais com nomenclaturas breves:

- a) acabamento liso: é finalizado utilizando uma desempenadeira que produz uma superfície lisa. Tradicionalmente, esses acabamentos simples eram descritos como do tipo “Stucco”, e eram geralmente pintados;

- b) acabamento raspado: O agregado é selecionado pela sua cor e dimensão e a argamassa é raspada após algumas horas do seu endurecimento, com uma desempenadeira metálica com ranhuras. Esse processo remove parte da superfície rica em cimento e traz algumas partículas mais grossas de areia para fora da matriz, enquanto expõe outras;
- c) acabamento texturizado: é feito utilizando lâminas de serra ou espátula e régua ou, alternativamente, escovas de cerdas rígidas. Um acabamento texturizado garante melhor proteção contra a penetração de água da chuva e é menos suscetível à formação de fissuras;
- d) acabamento laminado: A argamassa endurecida pode receber a textura de lâmina por jateamento abrasivo ou com o uso de um desincrustador de agulhas, para que o agregado seja exposto.

Além dos acabamentos apresentados, um novo sistema que vem sendo aplicado em revestimentos externos de edificações é o revestimento decorativo monocamada, constituído de argamassa inorgânica industrializada e reforços com fibras de vidro, que cumpre ao mesmo tempo as funções de regularização e de acabamento nas superfícies. Esse tipo de revestimento tem a vantagem de execução em menores espessuras, e sua principal função é dificultar a chegada de água na base, de forma que a eventual água que tenha penetrado no revestimento saia para o exterior em forma de vapor (SINAT, 2006). No entanto, alguns problemas encontrados nesse tipo de revestimento são fissuras e o aparecimento de fantones.

## **2.2 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS COMUNS EM FACHADAS**

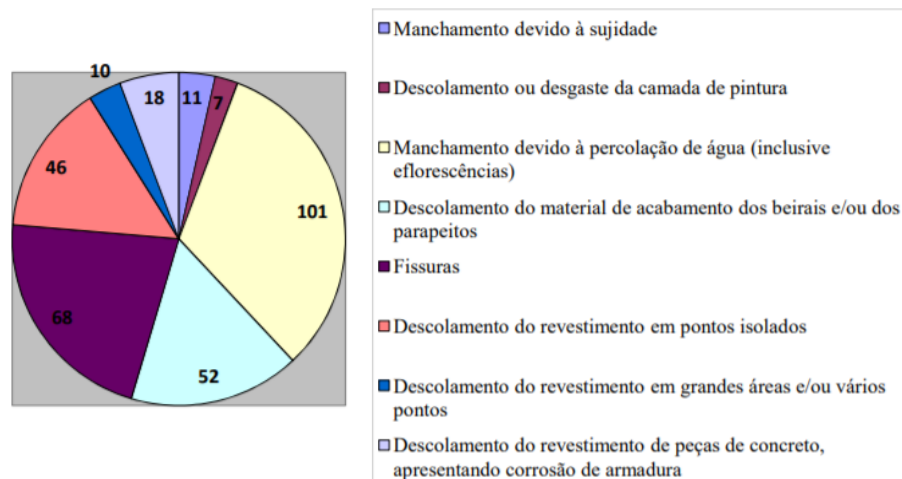
Autores como Consolli e Repette (2006) indicam que as ações externas e internas dos agentes que atuam sobre uma edificação, em complemento com o desgaste próprio dos elementos dessa edificação, levam ao surgimento das manifestações patológicas. Segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013), as manifestações patológicas usualmente observadas nos acabamentos finais de revestimentos de argamassa podem ser, na verdade, oriundas do próprio revestimento – prevê-se então nessa norma, a inspeção do revestimento anteriormente à aplicação do acabamento decorativo.

As manchas – ou machamentos, como nomenclatura usual – incluindo as que tem origem na umidade, são uma das principais manifestações patológicas nas edificações. É necessária a análise dos tipos de manchas que mais comumente acontecem nas fachadas para o correto diagnóstico dos agentes e mecanismos da manifestação, e também para que se encontre

uma solução para cada caso (AUSTRIA, 2015). O manchamento pode surgir em função da umidade em excesso nos revestimentos, o que pode intensificar a destruição do revestimento, pela dissolução e transporte de poluentes presentes no ar e sais solúveis (SOUSA *et al.*, 2005). Ainda segundo os autores, a atividade biológica na superfície de revestimentos resulta em manchas de diversas cores, elevações e formação de estruturas de reprodução, compondo biofilmes. Esses biofilmes, em edificações históricas, são formados por algas, cianobactérias, bactérias e fungos – e o tipo de colonização depende do substrato e do clima local (CRISPIM *et al.*, 2003).

Na análise de 135 fachadas de edificações em Porto Alegre/RS, realizada por Oliveira (2013), foi verificado que a manifestação patológica de manchamentos se deu por percolação de água ou por depósito de sujidade superficial. No entanto, é destacado neste mesmo trabalho que o aspecto visual de manchamento também pode ocorrer por impurezas presentes no cimento ou na areia – que podem resultar na formação de vesículas - ou até mesmo pelo excesso de água na argamassa de revestimento, sendo que essas últimas podem ser permanentes e não apresentar nenhum tipo de dano à edificação. Um resumo das principais manifestações patológicas encontradas neste estudo é apresentado na Figura 7, mostrando a predominância de manchamentos em 112 das 135 das fachadas observadas – aproximadamente em 83% delas.

Figura 7– Manifestações patológicas encontradas em 135 fachadas frontais de diferentes edificações do centro de Porto Alegre/RS



Fonte: Oliveira (2013).

A ação química e mecânica da água nos revestimentos de edificações históricas é apontada como a maior fonte de manifestações patológicas que geram a deterioração dessas edificações (GUERRA, 2016) enquanto, segundo Oliveira (2013), as fissuras e os descolamentos são as principais manifestações patológicas que aparecem em revestimentos de argamassas atuais.

Os descolamentos em placas acontecem quando não há aderência suficiente entre a camada de revestimento de argamassa e a base, sendo que essa deficiência pode ser oriunda de diversos fatores, como: a instabilidade do substrato (falta de rugosidade para aderência, presença de produtos desmoldantes e resíduos, entre outros); revestimento de argamassa em espessura excessiva; acabamento superficial inadequado entre as camadas de revestimento; aplicação de camadas de argamassa de resistências inadequadas e utilização de argamassas muito ricas em cimento (SARAIVA, 1998).

As superfícies expostas que apresentam detalhes arquitetônicos estão usualmente submetidas a maior chance de sujeira – fato comprovado em estudos como o de Petrucci (2000), que verificou a existência da interação entre os agentes ambientais que envolvem o processo de manchamento de fachadas por particulados atmosféricos e as características de geometria e de tipo de material nessas fachadas. Ou seja, esses elementos de detalhes sofrem escurecimento oriundo do acúmulo de matéria ao longo do tempo, principalmente por partículas finas ricas em carbono (SASSONI *et al.*, 2018). Essas partículas ricas em carbono (fonte nutricional para microorganismos) são, em sua quase totalidade, oriundas de processos de combustão incompleta de motores de automóveis e por indústrias – as partículas de fuligem. São compostos voláteis formados durante a pirólise que liberam partículas ricas em carbono e que ficam presentes na atmosfera e em superfícies, juntamente com outros poluentes orgânicos comuns como os hidrocarbonos aromáticos policíclicos (*PAHs*), que são ocluídos na fuligem em processos incompletos de combustão (DE LA ROSA *et al.*, 2017).

Diamanti *et al.* (2015) afirmam que a principal causa de manchamentos e variação de cor nas superfícies externas das edificações é a acumulação de fuligem. Essas substâncias podem ser dissolvidas em água (chuva e condensação nas superfícies) e/ou penetrar dentro dos poros dos materiais das fachadas, aumentando a degradação das mesmas, afetando a estética e, principalmente, diminuindo a refletância à luz solar das edificações.

A orientação para identificação de algumas dessas manifestações patológicas recorrentes em fachadas de edificações é apresentada pela norma NBR 13749 (ABNT, 2013), que dá prescrições quanto ao aspecto dos revestimentos de argamassa: os mesmos devem apresentar textura uniforme, com ausência de imperfeições como fissuras, manchas, cavidades e eflorescências. Nos Anexos A e B dessa mesma norma há o informativo de como os fenômenos patológicos de fissuras, vesículas, pulverulências, empolas pequenas e expansão e descolamento dos revestimentos ocorrem, de maneira que são indicativos da correta escolha de materiais e execução dos revestimentos de argamassa. Quando ocorre a expansão e o

descolamento dos revestimentos, por exemplo, é citado que uma das possíveis causas é o incorreto preenchimento de fissuras com gesso, que tem endurecimento rápido e forma a etringita na hidratação com o cimento da argamassa – o que ocasiona a reação de expansão.

### **2.3 DURABILIDADE**

A questão de desempenho e também durabilidade está inerente quando se estuda sobre manchamentos e autolimpeza de superfícies em edificações. A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) aborda tais assuntos, definindo desempenho como “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”, sendo que dentro dos sistemas de uma edificação, o sistema de vedação vertical interno e externo (SVVIE) é definido como “partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas”. Quanto aos revestimentos, essa mesma norma os cita diretamente no requisito de durabilidade, mencionando a limitação dos deslocamentos, fissurações e falhas nas paredes externas (sistema de vedação vertical), incluindo seus revestimentos.

A durabilidade em revestimentos de argamassa significa a boa resistência mecânica, a resistência aos choques, coesão interna adequada, aderência suficiente com o substrato e entre as camadas e resistência química. Além disso, para que exista uma maior durabilidade, a absorção de água deve ser relativamente lenta, deve-se ter facilidade de secagem da superfície e resistência ao crescimento biológico (que também se relaciona à necessidade de períodos curtos de exposição à água, para que a umidade não favoreça o crescimento de fungos) (VEIGA, 2009).

A escolha do tipo de revestimento superficial afeta diretamente a sua vida útil, podendo variar de poucos anos até 40-50 anos, principalmente porque alguns tipos de revestimento podem alterar significativamente o teor de umidade nas fachadas (SANDIN, 1995).

Quanto à manutenção dos revestimentos em fachadas, Sandin (1995) ressalta que há dois critérios fundamentais para se definir quando e como ela deve ser realizada: os efeitos estéticos e os fatores técnicos, que garantem o funcionamento da edificação. O autor também ressalta que em princípio, deve-se repetir na manutenção os mesmos materiais e técnicas utilizados originalmente, se não há evidências de que houve algum erro, somente o desgaste com o tempo.

No trabalho de Veiga (2009), que fez um diagnóstico dos revestimentos externos em edificações históricas, se verificou que a maioria das degradações eram superficiais, de maneira que a intervenção na maioria desses casos pode ser pontual, sem necessidade de completas



substituições de materiais. Em outros casos, mesmo que a degradação seja avançada, a conservação sem a substituição do revestimento é necessária pelo valor histórico da superfície danificada (como por exemplo, com pinturas, ornamentos ou vestígios de técnicas de acabamento tradicionais). Nos últimos casos, a aplicação do dióxido de titânio como aspensão às superfícies poderia ser considerada (FRANZONI *et al.*, 2014), visto que aumenta a vida útil dos revestimentos e não interfere na estética das edificações.

Assim, para edificações de patrimônio histórico e cultural, existem quatro principais maneiras de como a intervenção pode ser executada (VEIGA, 2009):

- a) a conservação do revestimento antigo por operações de manutenção preventiva e reparações pontuais. Exemplos dessas intervenções incluem o bloqueio de prováveis inícios de infiltrações, limpeza e reparação das camadas de acabamento assim que necessário;
- b) quando a opção (a) não é viável, deve-se proceder a consolidação do revestimento – porém a consolidação tem custo elevado e normalmente só é executada quando a edificação ou revestimento tem alto valor artístico/histórico;
- c) a substituição parcial de certas partes do revestimento, não possíveis de serem consolidadas (sendo primordial a escolha correta dos materiais);
- d) substituição total da última camada de revestimento (usualmente o reboco), normalmente quando já afetada por longo tempo com uma infiltração, por exemplo. Em caso extremo de degradação, em que todas as possibilidades anteriores foram esgotadas, pode acontecer a substituição total de todas as camadas do revestimento.

Muitos dos serviços de restauro de edificações antigas tem se atentado, quando em necessidade de substituição do revestimento, a utilizar as mesmas técnicas, materiais e condições quando da construção original da edificação. No entanto, é muito difícil determinar exatamente a composição das argamassas antigas e garantir um desempenho idêntico ao original, mesmo que os ensaios atuais indiquem a sua composição química (VEIGA, 2009). Ainda mais, os métodos de monitoramento nas etapas de fabricação dos materiais constituintes das argamassas eram rudimentares e tinham pouco controle de produção (KANAN, 2008). Assim, as argamassas utilizadas hoje para restauro devem levar em conta muitas outras questões para a compatibilidade, aparência similar e correto funcionamento dos revestimentos, mais importantes do que a reprodução fiel às características originais de composição (GUERRA, 2016).

Por causa disso, a porosidade dos revestimentos de argamassa é também de fundamental análise para a durabilidade da edificação, pois é essa propriedade que define a quantidade de água que é retida e evaporada da superfície. Além do mais, a porosidade controla a entrada e saída de ar – que pode acelerar os processos de carbonatação (GUERRA, 2016).

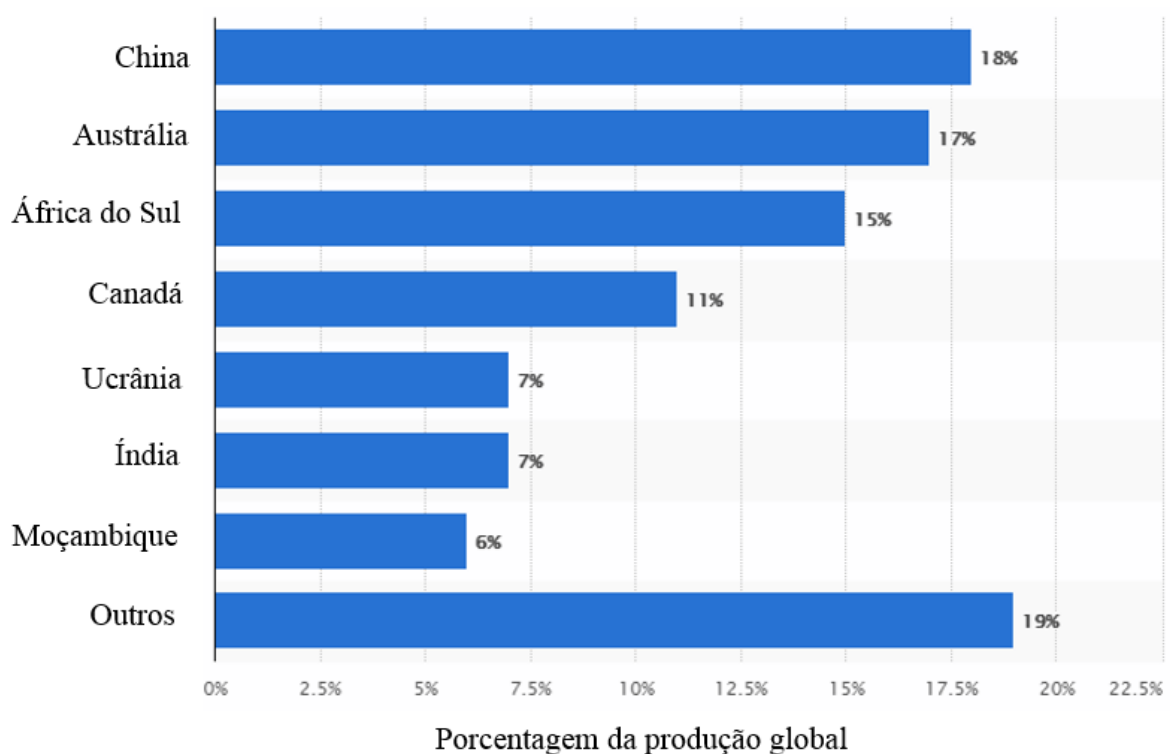
Assim, percebe-se que o manchamento nas fachadas das edificações é um problema recorrente e com múltiplos fatores de origem – sendo a acumulação de fuligem proveniente de poluentes atmosféricas levantada por Diamanti *et al.* (2015) como o principal agente manchante dos revestimentos externos. Aliado a esses processos de deposição de sujidade, pode existir a perda de durabilidade das edificações, visto que o crescimento biológico pode aumentar e a entrada de agentes agressivos na estrutura é facilitada.

O fato de que a forma da edificação vem a interferir nos processos de manchamento das fachadas (PETRUCCI, 2010; SASSONI *et al.*, 2018) indica que a diferença entre os acabamentos superficiais em argamassa pode ser relevante na avaliação da redução dessa manifestação patológica. Dessa forma, materiais com propriedades fotocatalíticas, como os com adição de dióxido de titânio, são esperados como tendo um efeito ativo fotocatalítico contra esses manchamentos, que normalmente ameaçam a integridade das edificações, principalmente as de patrimônios históricos (FRANZONI *et al.*, 2014).

### 3 O DIÓXIDO DE TITÂNIO

O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) é um pó ultrafino, de cor branca e com nanopartículas de diâmetros de 10 a 100 nm. De acordo com Baltar *et al.* (2005), o dióxido de titânio é extraído e comercializado nos Estados Unidos desde 1918, sendo que a Austrália é onde se encontra a maior quantidade de  $\text{TiO}_2$  na forma cristalina rutilo (MELO, 2011). Segundo o apresentado na Figura 8, em 2014, a China foi considerado o país com maior produção do dióxido de titânio.

Figura 8 – Distribuição da produção global de dióxido de titânio em 2014, por país



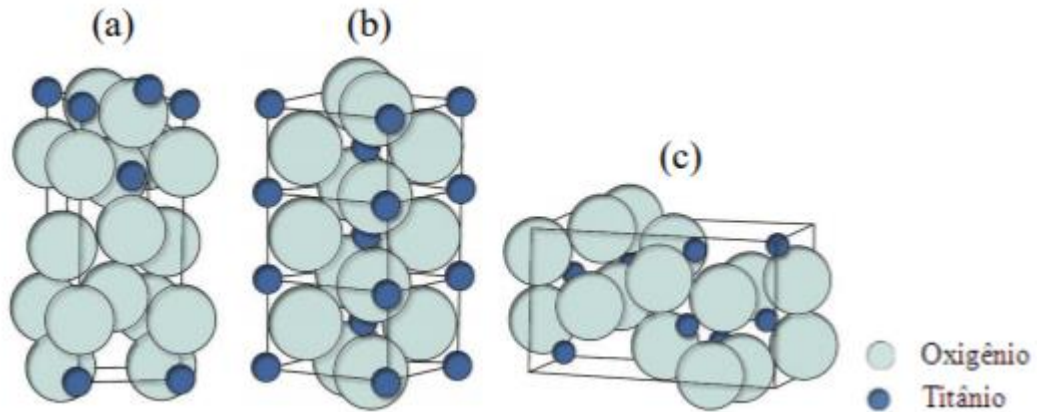
Fonte: STATISTA (2014).

No Brasil, a produção de  $\text{TiO}_2$  foi iniciada em 1971 (BRASIL, 2010). Atualmente, quase 80% da produção de  $\text{TiO}_2$  tem base na extração do material em uma mina no estado de Pernambuco, que é posteriormente utilizado na produção de pigmentos para tintas na Bahia (QUEIROZ FILHO; AMORIM NETO, 2014).

O dióxido de titânio pode ser cristalizado sob três formas principais: o rutilo, a anatase e a bruquita, sendo que as formas rutilo e anatase são tetragonais, e a bruquita é ortorrômbica (TREVISO, 2016), conforme apresentado na Figura 9. Além disso, à temperatura ambiente a forma mais estável é a anatase, que, paralelamente à forma rutilo, é utilizada em materiais de construção (concretos, argamassas e tintas). Além disso, a forma anatase foi identificada em

alguns estudos como a melhor alternativa para os biocidas convencionais porque é a única não-tóxica (POZO-ANTONIO; DIONISIO, 2017). O rutilo é muito utilizado como pigmento em tintas, pelo seu elevado índice de refração (que confere a coloração branca) e disponibilidade, enquanto a bruquita não possui atividade fotocatalítica e, portanto, não tem aplicações industriais (PEREIRA *et al.*, 2009).

Figura 9 – Formas cristalográficas do  $\text{TiO}_2$ : (a) rutilo, (b) anatase e (c) bruquita



Fonte: Melo (2011).

### 3.1 HISTÓRICO

As primeiras pesquisas sobre a ação fotocatalítica do  $\text{TiO}_2$  iniciaram na década de 1960 com o grupo de pesquisa em células solares fotoeletroquímicas, na Universidade de Tóquio, liderado por Akira Fujishima. Foi verificado que, quando a superfície do eletrodo de  $\text{TiO}_2$  recebia radiação ultravioleta, uma fotocorrente era criada do eletrodo de platina para o eletrodo de  $\text{TiO}_2$ , revelando que uma reação de oxidação ocorria no eletrodo de  $\text{TiO}_2$  ao mesmo tempo em que uma reação de redução ocorria no eletrodo de platina (FUJISHIMA *et al.*, 2000). Esses estudos foram base para a descoberta do fenômeno da fotocatalise pelo mesmo grupo em 1972, quando um outro eletrodo de  $\text{TiO}_2$  foi imerso em solução aquosa com luz de alta intensidade. Observou-se nesse estudo que bolhas de ar emergiam à superfície na presença de luz – representando a reação de oxidação – e as mesmas cessavam quando o foco de radiação se afastava (AUSTRIA, 2015).

Os estudos para aplicações do dióxido de titânio seguiram a partir daí, sendo que em 1998 foram obtidas as primeiras superfícies altamente hidrófilas e com propriedades de anti-embaçamento e autolimpeza (CARP *et al.*, 2004). Na década de 1990, no Japão, foram lançados os primeiros produtos fotocatalíticos com uso de filmes de  $\text{TiO}_2$ , como vidros, placas e telhas (FUJISHIMA *et al.*, 2000), e a partir de 2002 o Projeto PICADA desenvolveu na Europa produtos fotocatalíticos para as fachadas das edificações, como argamassas fotocatalíticas

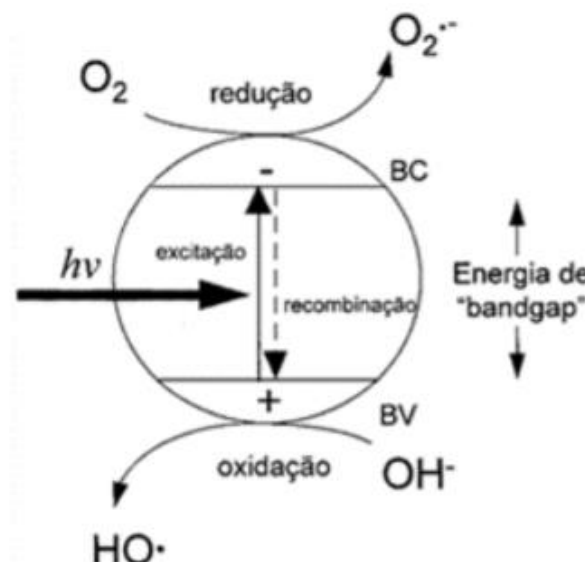
brancas de cimento e cal e coberturas translúcidas prontas (PICADA PROJECT, 2006). Atualmente, existem produtos fotocatalíticos prontos comercializados internacionalmente, como é o caso de cimentos com adições de  $\text{TiO}_2$ , argamassas industrializadas, tintas, blocos de concreto e placas cerâmicas (TREVISIO, 2016).

### 3.2 FUNCIONAMENTO DA AÇÃO FOTOCATALÍTICA

A fotocatalise é um processo natural que acontece em semicondutores quando estimulados pela radiação ultravioleta. Os materiais semicondutores possuem uma camada de valência incompleta e uma camada condutora, de forma que a fotocatalise acontece pelo deslocamento dos elétrons da camada de valência para a outra, quando há a incidência dos raios UV (MARANHÃO, 2009).

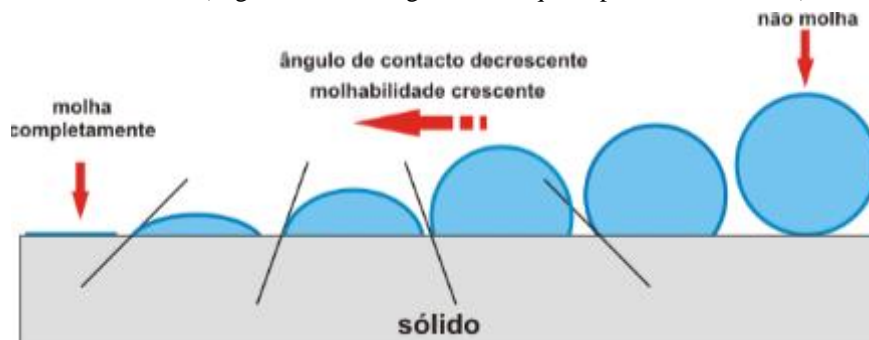
Assim, como apresentado na Figura 10, em consequência desse deslocamento de elétrons que resulta do *bandgap* (a lacuna entre as camadas que resulta na energia de ativação), ocorrem reações de oxi-redução das substâncias que estão adsorvidas na superfície do material ao mesmo tempo em que a hidroflicidade é aumentada. Essa hidroflicidade significa que o ângulo de contato de líquidos na superfície diminui, molhando completamente a superfície e facilitando o carregamento de impurezas (Figura 11) (MARANHÃO, 2009).

Figura 10 – Representação do princípio físico da fotocatalise



Fonte: Maranhão (2009).

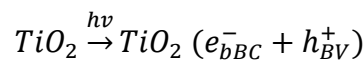
Figura 11 – Representação da evolução dos processos de hidrofília (ângulo de contato muito pequeno) e de hidrofobia (ângulo de contato grande, em que superfície não molha)



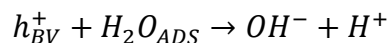
Fonte: Garcia (2013).

Segundo Maranhão (2009), as reações que acontecem para que a fotocatalise ocorra em uma superfície podem ser apresentadas em uma sequência:

- a) há o deslocamento dos elétrons da camada de valência para a camada semicondutora em decorrência da radiação UV, criando o par chamado elétron/buraco (“*electron/hole*”):



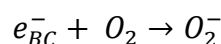
- b) a camada de valência fica com uma falta de elétrons, e dissocia a água adsorvida com a qual está em contato na superfície em  $OH^-$  e  $H^+$ :



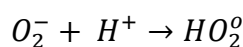
- c) ainda pela falta de elétrons na camada de valência, a mesma age na  $OH^-$  que está dissociada da água, formando o radical hidroxila:



- d) ao mesmo tempo, o elétron que foi deslocado para a camada condutora promove a redução do oxigênio, formando o ânion superóxido:



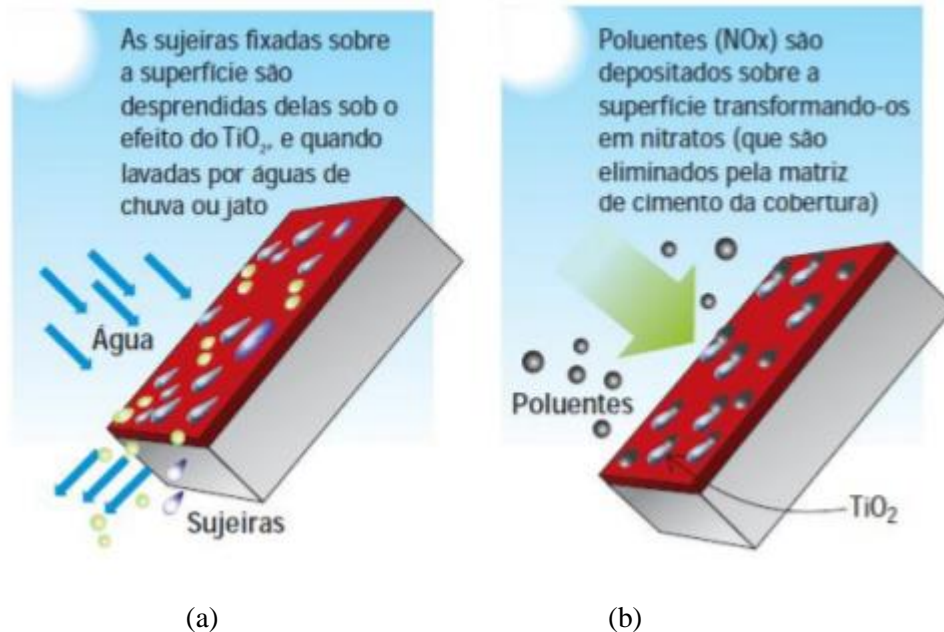
- e) por fim, o ânion superóxido formado reage com o  $H^+$  que havia sido dissociado da água, e radicais hidroperóxidos ( $HO_2^\circ$ ) são produzidos:



Ao mesmo tempo em que a fotocatalise em superfícies com o  $TiO_2$  ocorre pelas equações apresentadas, a ação autolimpante é promovida. Isso se dá, como ilustrado no processo de hidrofília na Figura 11, pela redução do ângulo de contato de gotículas de água

com a superfície, e o arraste das partículas de sujeira. Esse mecanismo de autolimpeza é representado por Maranhão (2009), com base em Picada Project (2006), na Figura 12.

Figura 12 – Mecanismos de autolimpeza e de despoluição do ar em superfícies com  $\text{TiO}_2$  devido à fotocatalise: (a) autolimpeza da superfície; (b) despoluição do ar



Fonte: Maranhão (2009), adaptado de Picada Project (2006).

A Figura 12 (a) ilustra que, para que ocorra a autolimpeza da superfície, as condições necessárias são somente a presença de radiação ultravioleta, de uma superfície com propriedades fotocatalíticas e da água – de maneira que as impurezas presas ao revestimento se dissociam e são retiradas pela água. Já para o caso de despoluição do ar, apresentado na Figura 12 (b), as impurezas presas à superfície que são oriundas de poluentes do tipo óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) se transformam em nitratos, e são eliminados pela própria matriz de cimento do revestimento (PICADA PROJECT, 2006).

### 3.3 USO DE TiO<sub>2</sub> EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Para se desenvolver materiais cimentícios mais sustentáveis, a fotocatalise do TiO<sub>2</sub> tem sido aplicada em materiais de edificações como uma estratégia para fornecer aos produtos propriedades autolimpantes, antimicrobiais e de purificação do ar (GUO *et al.*, 2015). Aliado a isso, produtos químicos de limpeza ou mesmo os de impermeabilização, que fazem repelência à água, podem ser aplicados nas edificações, com propriedades que buscam prevenir a biodeterioração e a deposição de fuligem nas superfícies externas. Essas aplicações se voltam principalmente à conservação e proteção do patrimônio histórico em muitos países devido à crescente deterioração de materiais, dentre eles a argamassa (POZO-ANTONIO *et al.*, 2017), que é o foco de estudo neste trabalho.

A importância da camada superficial em revestimentos de argamassa com dispersão de TiO<sub>2</sub> tem tido novas abordagens. As aplicações de coberturas com dispersões de TiO<sub>2</sub> tem seu desempenho baseado fundamentalmente nas características do substrato: rugosidade, distribuição e tamanho de poros, composições químicas e mineralógicas. Essas camadas têm sido chamadas de “coberturas-ativas” (PEREZ-NICOLAS, 2018). Em relação ao acabamento da superfície que recebe essas coberturas, substratos com alta porosidade e alta rugosidade demonstraram melhor retenção de partículas dos fotocatalíticos, de forma a aumentar a resistência dos materiais a diferentes mecanismos de degradação (PEREZ-NICOLAS, 2018).

No trabalho de Viapiana *et al.* (2017) se verificou o efeito autolimpante após aplicação da dispersão de 5% de TiO<sub>2</sub> em água deionizada em fachadas com manchamentos de origem biológica (Figura 13). No entanto, Perez-Nicolas (2018) relata que poucas pesquisas têm se voltado à otimização de suspensões aquosas utilizadas como *sprays* para se conseguir melhor desempenho das coberturas – principalmente devido à aglutinação das nano-partículas e à ineficiência dos métodos convencionais de dispersão.

Ainda sobre a composição das argamassas, o trabalho de Cedillo-Gonzalez *et al.* (2018), que avaliou os efeitos dos agentes de deterioração internos e externos aos ambientes na eficiência de revestimentos densos e porosos com TiO<sub>2</sub>, indica que revestimentos mais densos apresentam melhor eficiência na ação fotocatalítica. Sobre a questão da durabilidade, a pesquisa de Diamanti *et al.* (2015) aborda a performance a longo prazo de materiais de construção contendo dióxido de titânio, através de um estudo de exposição de dois anos de argamassas fotoativas reforçadas com fibras. As amostras foram expostas em Milão, na Itália, e foram avaliadas propriedades de luminosidade, refletância solar, porosidade e fotoatividade em diferentes acabamentos superficiais. A atividade fotocatalítica das argamassas contendo TiO<sub>2</sub>



foi mínima após os dois anos, e então, após ciclos alternados de radiação ultravioleta visível (*UV-Vis*), quase 70% da eficiência fotocatalítica inicial foi recuperada.

Figura 13 – Autolimpeza da superfície com aspersão de  $\text{TiO}_2$  após 36 meses da aplicação: (1) faixas sem a aplicação de  $\text{TiO}_2$ ; (2) faixas com a aplicação de  $\text{TiO}_2$



Fonte: própria da autora.

Atualmente, muitos materiais que reagem com a luz solar estão disponíveis comercialmente (MILLS; LEE, 2002) e o interesse na fotocatalise é confirmado pelo crescente número de artigos publicados: mais de 16800 artigos em diversas áreas de aplicação da fotocatalise, de 2008 a 2017 (CEDILLO-GONZALEZ *et al.*, 2018). No setor da construção, produtos com propriedades ecoeficientes geradas pelo  $\text{TiO}_2$  em nanoescala são uma promessa para o suporte de novas estratégias sustentáveis e econômicas no gerenciamento de edificações, com benefícios simultâneos para o ambiente e para as condições de vida dos moradores de centros urbanos (LETTIERI *et al.*, 2019). Quanto às aplicações, uma das edificações mais conhecidas que fizeram uso de concreto branco já preparado com adição de  $\text{TiO}_2$  é a Igreja *Dives in Misericordia*, construída na cidade de Roma, em 2003 (ARCVISION, 2003) (Figura 14).

Com relação à despoluição do ar propiciada por superfícies cimentícias fotocatalíticas, há um crescente número de pesquisas que indicam a habilidade de significativa redução de gases de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) (GUO *et al.*, 2018; SEO; Yun, 2017; KARAPATI *et al.*, 2014). No Brasil, ainda são limitadas as pesquisas sobre a remoção de gases poluentes por meio de superfícies fotoativadas, sendo o trabalho de Melo (2011) um dos pioneiros, apresentando que peças pré-moldadas de concreto fotocatalíticas podem ter eficiência de 45% a 95% na degradação dos gases  $\text{NO}_x$ .

Figura 14 – Igreja Dives in Misericordia, em Roma, com uso de concreto branco com adição de  $\text{TiO}_2$



Fonte: Arcvision (2003).

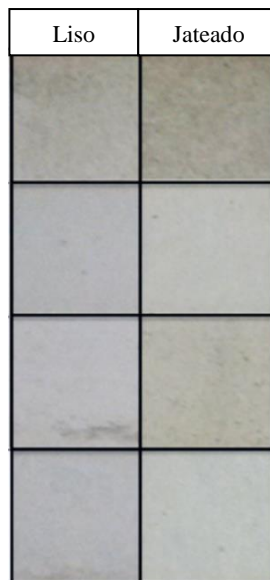
As pesquisas nacionais sobre o tema são reduzidas, sendo relevantes os resultados de Treviso (2016) que, ao avaliar a capacidade autolimpante de amostras de argamassas e coberturas fotocatalíticas de  $\text{TiO}_2$  expostas a diferentes configurações no microclima urbano da cidade de Porto Alegre, concluiu que a adição de 5% de  $\text{TiO}_2$  nas argamassas era a mais adequada quanto aos custos e eficiência da autolimpeza. Maranhão (2009) produziu um modelo de argamassas autolimpantes baseado na sobreposição de uma camada externa à base de  $\text{TiO}_2$  em uma camada de hidrofugante que cobre os poros das amostras de argamassa, resultando na redução do manchamento e inibição do crescimento de microorganismos. Guerra (2018), ao avaliar a eficiência do fotocatalisador  $\text{TiO}_2$  contra fungos filamentosos, apresentou resultados visíveis na redução do manchamento com dois diferentes tipos de fungos, em amostras de argamassa com cal similares às de edificações históricas.

Analisando as propriedades da superfície relacionadas ao acabamento, o Manual de Revestimentos de Argamassa (2002) ressalta a importância da rugosidade e da porosidade para a compatibilização com o sistema de pintura ou outro revestimento decorativo, para funções estéticas e também porque influenciam na estanqueidade, na resistência mecânica e na durabilidade dos revestimentos. A rugosidade de um revestimento varia de lisa a áspera, em consequência do tipo, teor e granulometria do agregado utilizado e também pela técnica de execução do revestimento. Quanto à influência da rugosidade em revestimentos com presença de material fotocatalítico, nos estudos de Austria (2015) se concluiu que superfícies mais rugosas podem acumular mais sujidades, no entanto para Pereira (2010) elas apresentaram um

melhor desempenho devido a maior retenção de água na superfície, potencializando a formação de agentes oxidativos – fundamentais nas reações fotocatalíticas de autolimpeza. Melo (2011) também indica em seus estudos de blocos de concreto com adição de  $\text{TiO}_2$  que quanto mais aberta for a textura da peça (maior superfície específica), maior é a quantidade de partículas de  $\text{TiO}_2$ , e mais eficiente será a ação autolimpante.

O mesmo trabalho de Diamanti *et al.* (2015), com argamassas fotoativas reforçadas com fibras, testou a eficiência da autolimpeza em dois tipos acabamentos superficiais: o liso (“*smooth*”) e o jateado (“*sandblasted*”), mostrados na Figura 15.

Figura 15 – Acabamento superficiais por Diamanti *et al.* (2015)



Fonte: Diamanti *et al.* (2015)

Embora resultados relevantes tenham sido levantados no estudo – como o fato de o acabamento jateado (“*sandblasted*”) apresentar, pela presença de maior rugosidade, maior manchamento e diminuição da porosidade - não se pode perceber uma diferença significativa visualmente na rugosidade dos dois tipos de acabamento pela Figura 15, e também não foram aplicados acabamentos superficiais comuns como os mostrados anteriormente.

Assim, buscou-se nesse trabalho formular argamassas em adições de  $\text{TiO}_2$  similares às utilizadas nos trabalhos citados neste item, e também em inclinações semelhantes as de Treviso (2016). Entende-se a necessidade de uma diferenciação mais clara entre os diferentes acabamentos superficiais do que a apresentada no trabalho de Diamanti *et al.* (2015), e o uso de agentes manchantes que estão, de fato, presentes no microclima urbano da cidade de Porto Alegre, além do uso de Rodamina B para comparação com as outras pesquisas da área.

## 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental desta pesquisa foi embasado nas técnicas existentes para a avaliação da eficiência de autolimpeza nos diferentes tipos de acabamentos superficiais em argamassas fotocatalíticas. Para esse fim, se optou pela confecção e exposição das amostras a condições mais próximas possíveis da realidade, tais como o uso de técnicas de acabamento comuns nas obras atuais e a exposição ao ambiente urbano com incidência de luz solar e chuva natural.

No entanto, para simular uma avaliação em longo prazo, se optou também pela exposição em câmaras de intemperismo, que reproduzem os efeitos de radiação ultravioleta (A e B), de chuva e de umidade de uma forma acelerada. Além disso, para que as condições de sujidade se assemelhassem às condições reais, foi decidido fazer o manchamento das argamassas com dois particulados de poluição presentes no ambiente urbano do centro de Porto Alegre/RS: a fuligem de automóveis e a cinza proveniente da queima do eucalipto, utilizada para o aquecimento de caldeiras.

São apresentados a seguir o planejamento experimental, com as variáveis e fatores determinados/esperados, além da matriz experimental com os materiais a serem utilizados. Em seguida, são indicados os métodos de ensaios, materiais e procedimentos de exposição.

### 4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A partir da revisão bibliográfica pôde-se definir as variáveis dependentes e independentes do programa experimental para a correta avaliação da eficiência da autolimpeza nas argamassas com diferentes acabamentos, conforme proposto. Optou-se pela realização de uma parte da matriz experimental geral da pesquisa, como etapa de teste, que foi repetida posteriormente. A seguir são descritas as variáveis de resposta seguidas das variáveis independentes (que incluem os fatores controláveis, os não controláveis e os constantes).

#### 4.1.1 Variáveis de resposta

São as variáveis que vão, de fato, avaliar a eficiência da autolimpeza das amostras de argamassas com diferentes acabamentos superficiais. Para esse estudo, há duas variáveis principais, que são:

- a) variação da cor no tempo ( $\Delta E$ );

- b) análise visual ao longo do tempo (registro fotográfico e análise de imagens com auxílio do *software* ImageJ ®).

A variável (a) é obtida pela análise colorimétrica com espectrofotômetro, e a variável (b) é resultado de análise por fotografia (ambas descritas no item 4.4.3).

#### 4.1.2 Fatores controláveis

Os fatores definidos como controláveis neste trabalho são:

- a) idades de coleta dos dados: 1, 7, 14, 21, 28, 56, 84 e 140 dias para o ambiente natural; após metade dos ciclos e ao fim dos ciclos para as câmaras de intemperismo (36 ciclos e 82 ciclos no total para cada uma das câmaras, de acordo com o item 4.3.2);
- b) teor de TiO<sub>2</sub> em relação à massa de aglomerante da mistura: 0%, 5% e 10%;
- c) tipos de acabamentos superficiais: rugoso, rústico e friccionado;
- d) inclinação de exposição em ambiente natural: 45° (padrão) e 90°.

#### 4.1.3 Fatores não controláveis

Os fatores definidos como não controláveis são os chamados erros ou ruídos experimentais. Os mesmos acontecem devido a fatores que interferem na execução dos ensaios e que não podem ser controlados, ou quando há erro ou falha na correta sequência e técnica de execução. Os fatores não controláveis neste trabalho incluem:

- a) a temperatura e a umidade relativa do ar durante a execução e moldagem das argamassas;
- b) pequenas variações no manchamento aplicado a cada placa (descrito no item 4.3.2);
- c) condições climáticas durante o período de exposição natural (temperatura, umidade, incidência de chuva e intensidade da radiação UV).

#### 4.1.4 Fatores constantes

Os fatores definidos como constantes neste trabalho são:

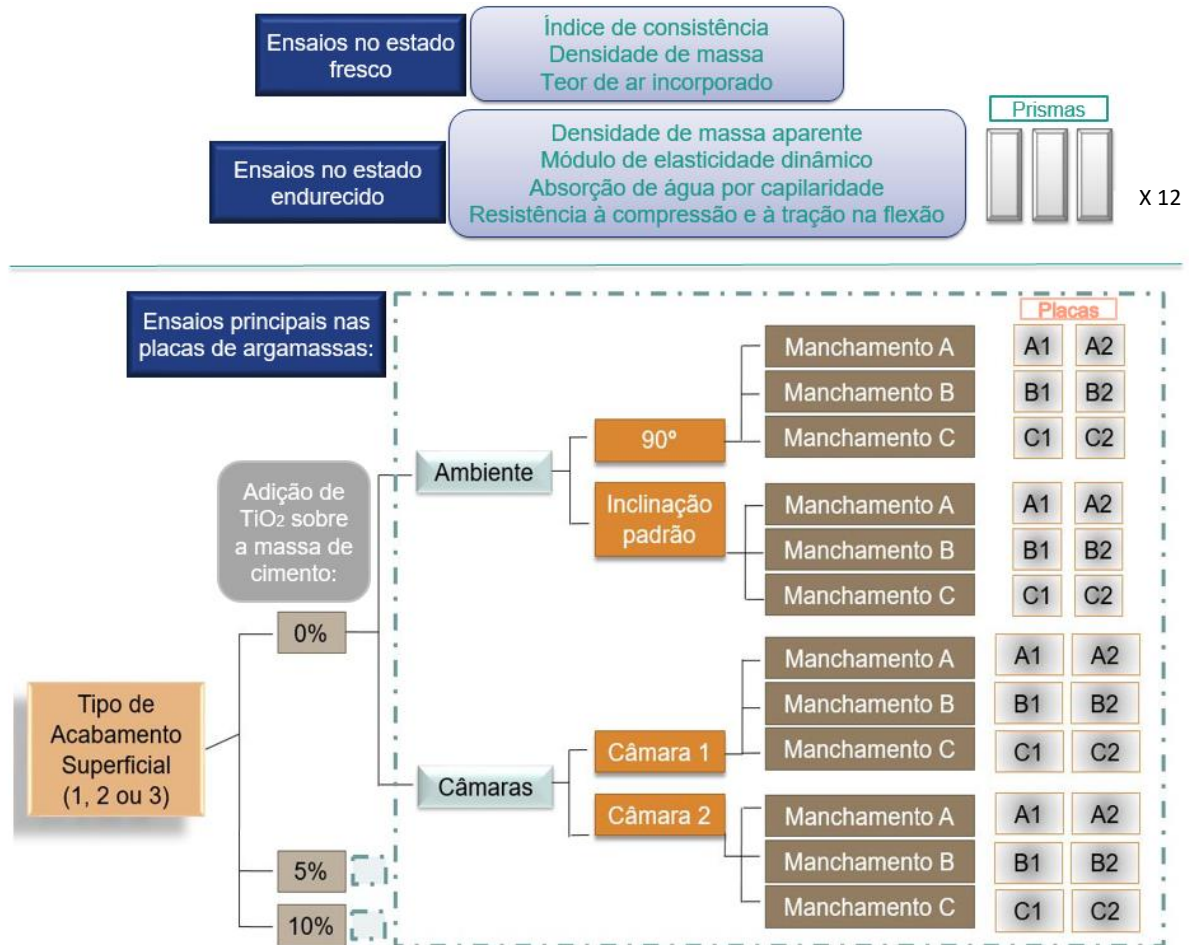
- a) argamassadeira utilizada na preparação das argamassas;
- b) uso de materiais de mesmo lote;
- c) traço da argamassa para placas de base: 1:1:6 (cimento:cal:areia) em volume;
- d) traço da argamassa para acabamento superficial: 1:4 (cimento:areia), em volume;
- e) sequência de adição de materiais na argamassadeira;
- f) cura das argamassas para acabamento superficial de 21 dias;

- g) aplicação de três manchamentos: Rodamina B, particulados da queima do eucalipto e fuligem de automóveis;
- h) espessura da argamassa de acabamento superficial sobre as placas de base: 4 mm;
- i) uso de espectrofotômetro portátil calibrado;
- j) uso de duas câmaras de intemperismo artificial com propriedades constantes.

## 4.2 MATRIZ EXPERIMENTAL GERAL

A matriz experimental desta pesquisa está apresentada na Figura 16, mostrando a configuração, condições de exposições, adições de  $\text{TiO}_2$  e técnicas de acabamentos superficiais e de manchamentos. A região da Figura 16 envolta pela área circulada-pontilhada é repetida para cada teor de adição. Cada uma dessas condições será explicada no item 4.3 a seguir.

Figura 16 – Esquema da matriz experimental geral



Fonte: elaborada pela autora.

Os corpos de prova para exposição ao ambiente tem dimensões 100 mm x 100 mm x 14 mm, enquanto os corpos de prova para as câmaras tem dimensões de 100 mm x 80 mm x 24 mm para a Câmara 1 e de 115 mm x 70 mm x 14 mm para a Câmara 2, definidos em função do melhor encaixe nas estruturas das diferentes câmaras e da economia de material. As espessuras totais de todas as placas incluem a espessura base (de 10 mm para exposição ao ambiente e à câmara 2, e de 20 mm para exposição à câmara 1) acrescida da espessura dos acabamentos (de 4 mm para todos os casos). Para cada conjunto de fatores, foram moldados dois corpos de prova.

Para a exposição ao ambiente natural foram necessários 108 corpos de prova (sendo 36 para cada valor de adição de  $\text{TiO}_2$ ), enquanto para cada uma das câmaras foram necessárias 54 amostras (18 para cada valor de adição, visto que não há o fator inclinação). No total, portanto, foram moldadas pelo menos 216 amostras.

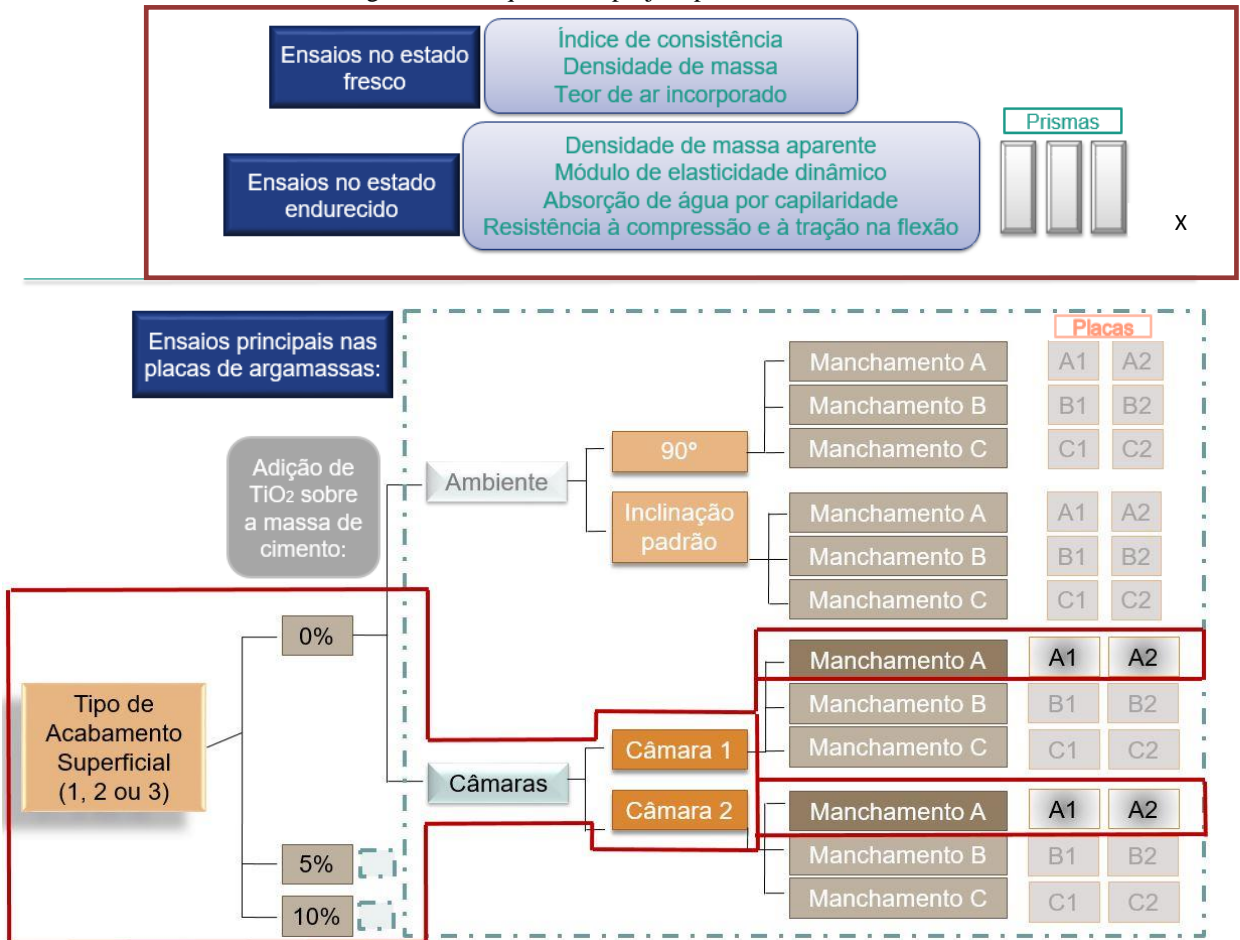
Optou-se pela execução de parte da matriz experimental geral como ensaio piloto para realizar todos os ajustes necessários. Definiu-se como relevante para essa fase a execução dos três tipos de acabamentos superficiais nas duas adições de  $\text{TiO}_2$ , juntamente com a terceira, que significa a referência (sem adição de  $\text{TiO}_2$ ). Foi feita apenas a exposição em ambas as câmaras artificiais, pela possibilidade de apresentarem resultados mais rapidamente, já que simulam condições aceleradas de intemperismo. Também se optou pela aplicação de somente um tipo de manchamento (A, no esquema da Figura 17), que foi o oriundo da fuligem de automóveis.

Os procedimentos dessa etapa serviram para que fosse aprimorado o traço adequado pelo qual foi possível a moldagem dos três diferentes acabamentos superficiais nas argamassas, além do entendimento do funcionamento das câmaras de intemperismo, e dos tamanhos de placas de argamassas mais adequados. Além disso, pode-se visualizar que o manchamento com fuligem na quantidade por área utilizada por Diamanti *et al.* (2015) era muito elevado – o que cobriria totalmente as amostras, resultando em uma barreira à penetração dos raios UV, como reportado no trabalho de Austria (2015).

De forma geral, os resultados foram positivos e indicaram a autolimpeza das placas submetidas a essas condições, embora a moldagem dessa parte da matriz tenha sido repetida quando da execução da matriz experimental geral (para que não fossem criados outros fatores de variabilidade). Os resultados desta etapa estão apresentados no Anexo B.



Figura 17 – Esquema do projeto piloto executado



Fonte: elaborado pela autora.



## 4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.3.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados na moldagem das argamassas estão descritos nos itens a seguir. Optou-se pela utilização de materiais que resultassem em uma coloração mais clara, pois a sujidade poderia ser de difícil visualização nas variadas nuances de corpos de prova com cimento Portland comum, que tem cor acizentada, e no uso de areia fina de origem quartzosa, por exemplo, que é mais escura.

#### 4.3.1.1 Cimento

O cimento utilizado tanto nas argamassas de base quanto nas de acabamento é do tipo Portland estrutural branco, fabricado no México e importado por uma empresa de cimentos nacional. Como mencionado anteriormente, a escolha da cor branca se deu para a melhor análise da autolimpeza. Este cimento é o mesmo utilizado em pesquisas de Weinmann (2017), que constatou que há compatibilidade do mesmo com a especificação brasileira de cimento Portland estrutural branco CPB40, e apresentou a caracterização física do mesmo por rastreamento de lote, conforme Figura 18.

Além disso, o ensaio de massa específica do cimento, segundo a NBR NM 23 (2001), resultou no valor de  $3,06 \text{ g/cm}^3$  para este material (WEINMANN, 2017).

#### 4.3.1.2 Cal hidratada

Utilizou-se um tipo de cal hidratada calcítica CH-I em pó, produzida no país e utilizada por Guerra (2018), com faixa de concentração de hidróxido de cálcio entre 89 e 95%, peso molecular de  $74,09 \text{ g/mol}$ , pH 12,6 (solução saturada, temperatura  $20^\circ\text{C}$ ) e ponto de fusão à  $580^\circ\text{C}$ , conforme especificação do fabricante. Os valores de massa unitária e de massa específica estão apresentados na Tabela 1. Também é mostrada a curva granulométrica do material na Figura 19, obtida por ensaio de granulometria a laser.

Tabela 1 – Massa unitária e massa específica da cal utilizada

MASSA UNITÁRIA ( $\text{g/cm}^3$ )	MASSA ESPECÍFICA ( $\text{g/cm}^3$ )
0,522	2,306

Fonte: Guerra (2018).

Figura 18 – Propriedades físico-químicas do cimento branco utilizado

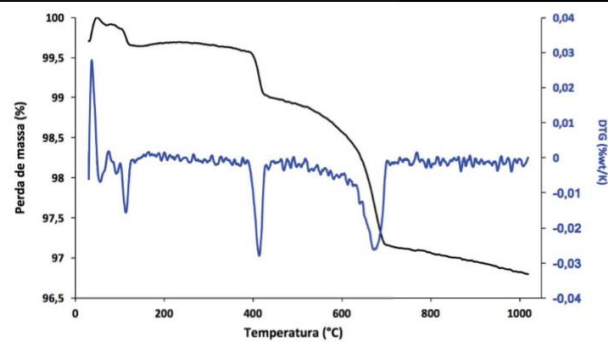
Dados do cimento Portland branco estrutural utilizado (CIMENTO CPB-40 - BIG BAG)

Propriedades físicas		
Propriedade	Resultado	Limite (NBR 12989)
Massa específica (gm/cm <sup>3</sup> )	3,06	
Superfície específica (m <sup>2</sup> /g) - BET	2,133	
Finura (resíduo acima de 45µm) (%)*	0,11	≤ 12,0
Diâmetro médio (µm)	10,91	
Diâmetro a 10% (µm)	0,91	
Diâmetro a 50% (µm)	8,02	
Diâmetro a 90% (µm)	24,78	
Resistência à compressão - 3 dias (MPa)	30,55	≥ 15,0
Resistência à compressão - 7 dias (MPa)	36,63	≥ 25,0
Resistência à compressão - 28 dias (MPa)	44,73	≥ 40,0
Propriedades químicas		
Elemento	Resultado	Limite (NBR 12989)
Perda ao fogo (teor - % em massa)**	2,89	≤ 12,0
CaO (teor - % em massa)***	68,44	
SiO <sub>2</sub> (teor - % em massa)***	20,61	
SO <sub>3</sub> (teor - % em massa)***	6,82	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (teor - % em massa)***	3,53	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (teor - % em massa)***	0,39	
K <sub>2</sub> O (teor - % em massa)***	0,14	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (teor - % em massa)***	0,04	
SrO (teor - % em massa)***	0,03	
MgO (teor - % em massa)***	0,00	

\* Resultado obtido por Granulometria a Laser

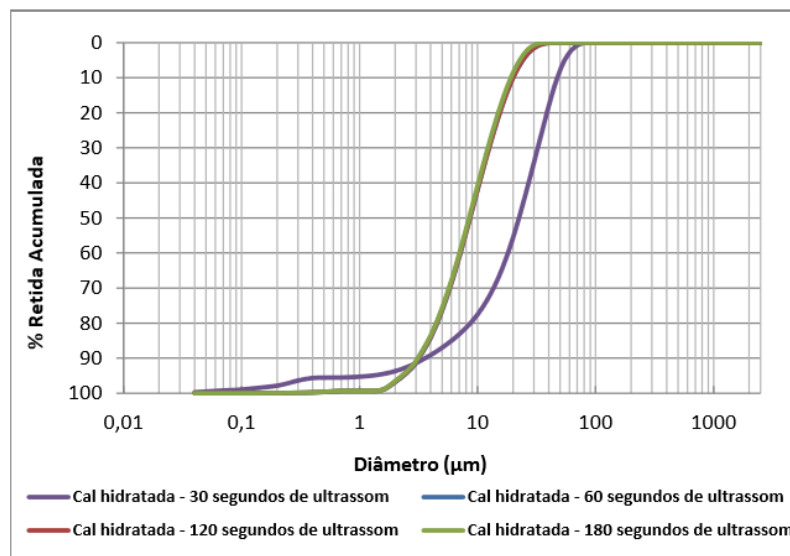
\*\* Resultados obtidos por Análise Termogravimétrica

\*\*\* Resultados obtidos por Fluorescência de RX, sem considerar a perda ao fogo da amostra



Fonte: Weinmann (2017).

Figura 19 – Curva granulométrica da cal



Fonte: Guerra (2018).

#### 4.3.1.3 Agregado miúdo

Foram utilizados dois tipos de agregados miúdos. O de menor diâmetro médio tem como matéria-prima a rocha calcária - apresentando coloração clara – e tem a sua caracterização apresentada na Tabela 2. Quanto à caracterização granulométrica, cabe-se ressaltar que o agregado foi peneirado, utilizando-se o material passante na peneira N° 16, com abertura de 1,2 mm.

Tabela 2 – Propriedades físico-químicas do agregado miúdo oriundo de rocha calcária

Tipo de caracterização	Método de ensaio	Resultados		
		Abertura da peneira ABNT (mm)	Porcentagem retida (%)	
			Individual	Acumulada
Composição granulométrica	NBR NM 248/2003	4,8	0	0
		2,4	0	0
		1,2	0	0
		0,6	5	5
		0,3	51	56
		0,15	43	99
		fundo	1	100
		Dimensão máxima característica	NBR NM 248/2003	0,6 mm
Módulo de finura	NBR NM 248/2003	1,61		
Massa unitária	NBR NM 45/2006	1520 kg/m <sup>3</sup>		
Massa específica	NBR NM 52/2009	2,60 g/cm <sup>3</sup>		

Fonte: própria da autora.

Para que se pudesse obter acabamentos superficiais mais rugosos era necessário também um agregado de maior diâmetro médio de partículas, optando-se pela utilização da Areia Normal Brasileira, que é um material de referência produzido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), na fração granulométrica grossa (#16). A caracterização química e física deste último agregado, bem como a sua granulometria, foram obtidos a partir da informação de seu lote, e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades físico-químicas da areia normal utilizada  
AREIA NORMAL PARA ENSAIO DE CIMENTO- NBR 7214/82

1- Composição granulométrica - NBR-7214/82 e NBR NM-248/03

Peneira ABNT		Material retido acumulado (%)	Limites - NBR-7214/82
Nº	Abertura (mm)		
8	2,4	0	0
10	2,0	3	5 ± 5
16	1,2	25	25 ± 5
30	0,6	50	50 ± 5
50	0,3	74	75 ± 5
100	0,15	98	97 ± 3

2- Outras determinações

Determinação	Resultados	Limites NBR-7214/82
Material fino passante na peneira 0,075 mm - NBR NM-46/03	0,0 %	≤ 1,0%
Umidade - NBR-7214/82	0,0 %	≤ 0,2%
Conglomerados argilosos - NBR-7214/82	0,0 %	≤ 1,0%
Teor de feldspato entre peneiras 2,4 e 1,2 mm - NBR-7214/82	3,8 %	≤ 15,0%
Teor de mica entre peneiras 0,3 e 0,15 mm - NBR-7214/82	1,6 %	≤ 2,0%
Impurezas orgânicas - NBR NM-49/01	< 100 ppm	≤ 100 ppm

Fonte: IPT (2013).

#### 4.3.1.4 Dióxido de titânio

O TiO<sub>2</sub> foi o mesmo utilizado por diversos pesquisadores (GUERRA, 2018; FUJISHIMA *et al.*, 2008; RUFFOLO *et al.*, 2010; MANSUROV *et al.*, 2017), tem tamanho de partículas em dimensões nanométricas, e é proveniente da Alemanha. A caracterização química e física desse produto está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização química e física do TiO<sub>2</sub> utilizado

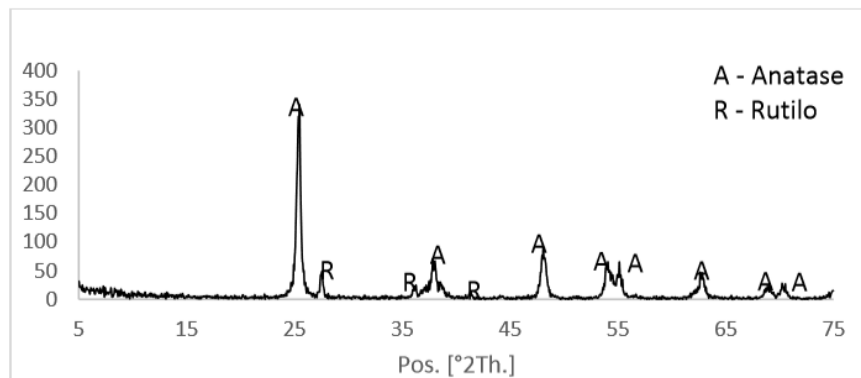
TiO <sub>2</sub> utilizado		
Características	Unidade	Valor
Diâmetro médio das partículas	nm	21
Área específica superficial (EN ISO 9277, modificada)	m <sup>2</sup> /g	35-65
Valor de pH (EN ISO 787-9, modificada)	-	3,5-4,5
Conteúdo de HCl (EN ISO 3262-20, modificada)	%	≤0,300
Densidade compactada (DIN EN ISO 787)	g/L	130
Proporção anatase/rutilo	-	80/20

Fonte: informação do fabricante (2015).

Para complementar a caracterização do material, foi realizada a caracterização mineralógica por ensaio de Difração de Raios-X (DRX) e a caracterização morfológica pelo uso de microscópio eletrônico de varredura (MEV), apresentados nas Figuras 20 e 21, respectivamente. A Figura 20 mostra os pontos cristalinos do material, evidenciando a presença mais significativa de compostos cristalográficos na fase de anatase, o que vai ao encontro com

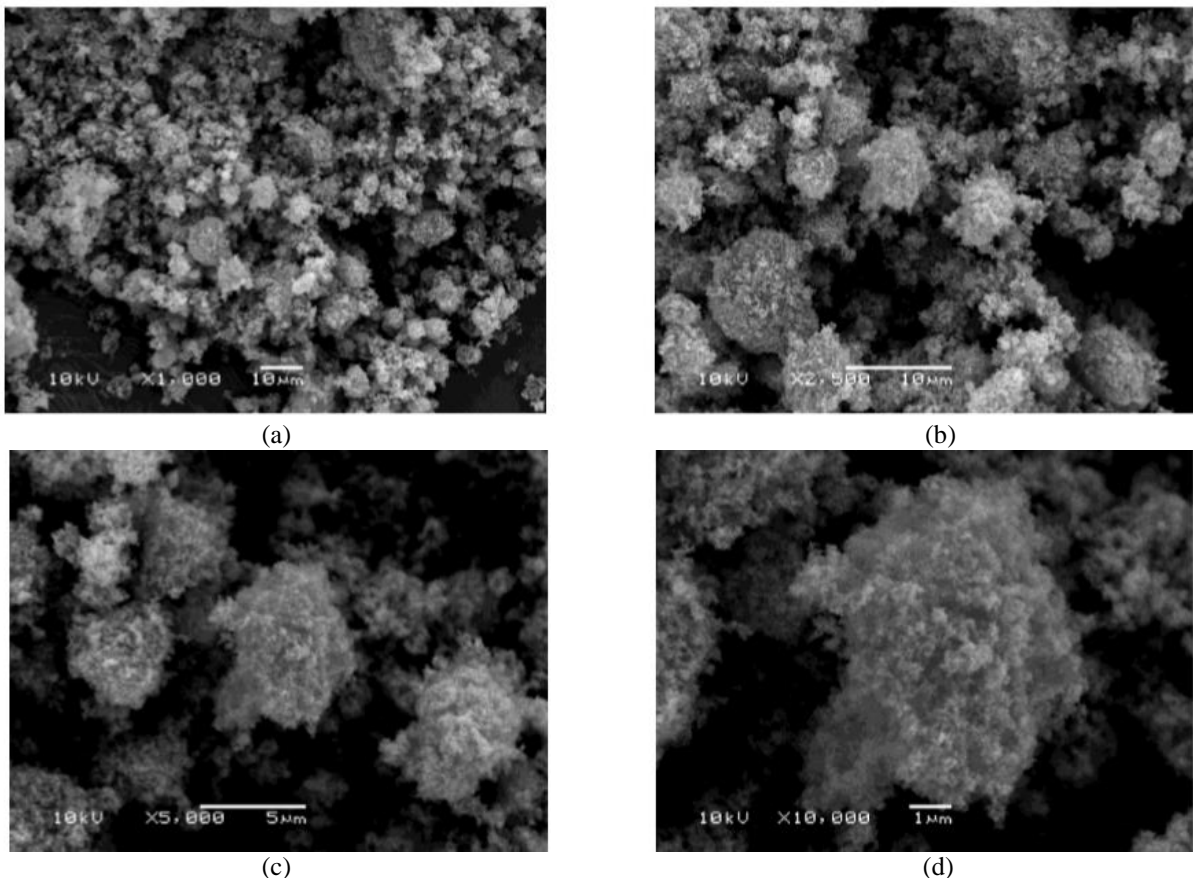
as especificações fornecidas pelo fabricante, enquanto a Figura 21 mostra nitidamente a aglomeração das nanopartículas do material. O fato de o diâmetro médio das partículas ser de 21 nm pode ser verificado pela Figura 21(d), que mostra que, mesmo na aproximação de 10.000 vezes, existem aglomerados de partículas de reduzida dimensão. A análise MEV foi realizada no Centro de Microscopia Eletrônica (CME/UFRGS), com uso de equipamento JEOL JSM 6060.

Figura 20 – Análise DRX do TiO<sub>2</sub>



Fonte: Guerra (2018).

Figura 21 – MEV por elétrons secundários das nanopartículas do TiO<sub>2</sub> utilizado em aumentos de: (a) 1000x; (b) 2500x; (c) 5000x; (d) 10000x



Fonte: própria da autora.

#### 4.3.1.5 Água

A água utilizada é proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Porto Alegre/RS, fornecida pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE). Para algumas aplicações que serão citadas, foi utilizada água deionizada, através de coluna deionizadora.

#### 4.3.2 Métodos de moldagem, machamento e exposição

Foram previamente determinados três tipos de acabamentos superficiais em argamassa para serem testados, com base nos que são mais comumente utilizados em edificações na cidade de Porto Alegre/RS. Dois deles teriam certa rugosidade (similares às Figuras 4 e 5 e 6 nas páginas 31 e 32) e o terceiro apresentaria um acabamento alisado (semelhante ao da Figura 3). Porém, pela necessidade de se manter o mesmo traço para os três tipos de acabamentos, não foi possível se obter um que fosse propriamente liso, pois os agregados de maior diâmetro emergiam à superfície e não permitiam essa finalização. Assim, optou-se pela execução do terceiro tipo de acabamento também com rugosidade.

O resultado final dos três tipos de acabamentos superficiais utilizados, com as respectivas ferramentas capazes de produzi-los, é mostrado com definição na Figura 22. Os mesmos foram nomeados segundo a ordem da figura, da esquerda para a direita, como: acabamento friccionado (obtido por desempenadeira para grafiato), acabamento rugoso (obtido por rolo para textura baixa) e acabamento rústico (executado com rolo para textura alta).

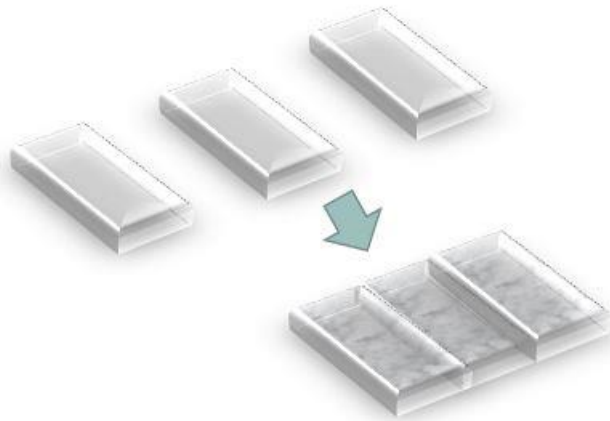
Figura 22 - Acabamentos superficiais das argamassas em definição: (a) friccionado; (b) rugoso; (c) rústico



Fonte: próprio da autora.

A ideia inicial para moldagem das argamassas era a de confeccionar uma grande placa de argamassa que serviria de base para o recebimento dos acabamentos superficiais após 28 dias de cura. Após a cura dos acabamentos superficiais se pretendia cortar essa grande placa de base mecanicamente, de maneira a separá-la em diversas amostras. No entanto, pela alta probabilidade de que essas placas se rompessem no momento do corte, se optou pela moldagem das amostras de base já nos tamanhos desejados, e a colocação das mesmas lado a lado com travamento para receberem o acabamento superficial (Figura 23).

Figura 23 – Representação esquemática utilizada para moldagem das argamassas: placas de base moldadas individualmete e colocadas lado a lado para recebimento de acabamento superficial



Fonte: elaborado pela autora.

Assim, as bases das argamassas foram feitas utilizando argamassa de cimento e cal hidratada, no traço 1:1:6 em volume (cimento:cal:areia), utilizando areia seca. Essas placas não recebem adição de  $\text{TiO}_2$  pois só tem a função de substrato para recebimento dos acabamentos de argamassa. Para essa moldagem, estabeleceu-se índice de consistência em  $260 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ , e moldaram-se prismas para os ensaios no estado endurecido.

Após pelo menos 28 dias de cura em ambiente climatizado ( $21,5 \pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $88,5 \pm 1,5 \%$ ) das placas de base, são moldadas as três argamassas de acabamento com adições de 0%, 5% e 10% de  $\text{TiO}_2$ . O traço utilizado para essas argamassas foi um ponto de questionamento, pois é muito limitada (quase inexistente) a bibliografia referente à execução de acabamentos superficiais com argamassas de cimento ou de cimento e cal. Após inúmeros testes, optou-se por escolher o traço 1:4 (cimento: areia), definido por Carvalho (2018) como um reboco do tipo rústico. A quantidade de areia foi dividida em 50% de areia fina de origem calcária e 50% da areia normal do IPT (#16) – sendo a última areia necessária para que fosse possível criar um acabamento com rugosidade visível.



Um aspecto importante sobre as adições de  $\text{TiO}_2$  é a necessidade de dispersão em água dessas partículas que são nanométricas e em condições naturais ficam aglomeradas, conforme comprovado na análise de imagens por MEV (Figura 21). Vidmar (2016) recomenda para o  $\text{TiO}_2$  o uso de ultrassom sem agentes dispersores para não comprometer as propriedades originais das nanopartículas. Assim, para todas as adições nas argamassas, o  $\text{TiO}_2$  foi disperso em água deionizada na concentração de 3% (massa do  $\text{TiO}_2$  sobre a massa de água) por 180s, com auxílio de equipamento para dispersão por ultrassom disponível no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER/UFRGS), conforme Figura 24, e imediatamente misturado aos materiais secos para a moldagem da argamassa.

Figura 24 – Adição de  $\text{TiO}_2$  (a) Dispersão de  $\text{TiO}_2$  com equipamento de ultrassom e (b) mistura com argamassa



Fonte: próprio da autora.

Os acabamentos superficiais foram executados no momento de aplicação da argamassa sobre a base, de forma a se tentar obter espessura máxima de 4 mm. As amostras permaneceram em temperatura ambiente por 24h e depois foram desprendidas manualmente com cuidado sobre o contato lateral criado quando da execução do acabamento (Figura 25). Após, as mesmas foram mantidas em câmara climatizada ( $21,5 \pm 1,5$  °C e umidade relativa do ar de  $88,5 \pm 1,5$  %) novamente para cura de 21 dias (Figura 26).



Figura 25 - União de cinco amostras para execução de dois tipos dos acabamentos superficiais: rugoso, à esquerda, e friccionado, à direita



Fonte: próprio da autora.

Figura 26 - Amostras em cura em câmara climatizada



Fonte: próprio da autora.

As argamassas foram submetidas a três diferentes tipos de manchamentos. O primeiro foi com a fuligem proveniente de canos de descarga de veículos automotores, pelo entendimento de que essa é uma das principais fontes de sujeira das fachadas das edificações. Adotou-se procedimento similar ao de De La Rosa *et al.* (2017) para o manchamento das placas com fuligem, o qual consiste na formação de soluções aquosas a partir do recolhimento de particulados dos canos de descarga de automóveis movidos à diesel na zona urbana em análise. Assim, após a medição de cor inicial (branca) mostrada na Figura 26, o procedimento foi o de

aspergir o material seco particulado na superfície, passar um pincel para espalhá-lo (Figura 27) e, após 24h em temperatura ambiente, aspergir em torno de 5 ml de água deionizada sobre cada placa, com dispensador *spray*, e espalhar o material aquoso com pincel mais uma vez.

O único procedimento não adotado similarmente ao daquele trabalho foi a quantidade de fuligem: De La Rosa *et al.* (2017) adotaram uma quantidade de 8 mg/cm<sup>2</sup>, o que resultaria em uma quantidade muito grande de fuligem para cada placa: a argamassa ficaria totalmente coberta pela sujidade. Assim, cada placa recebeu uma quantidade adotada de 0,75 mg/cm<sup>2</sup> de pó de fuligem coletado, seguidos de 5 mL de água deionizada aspergidos na superfície da placa.

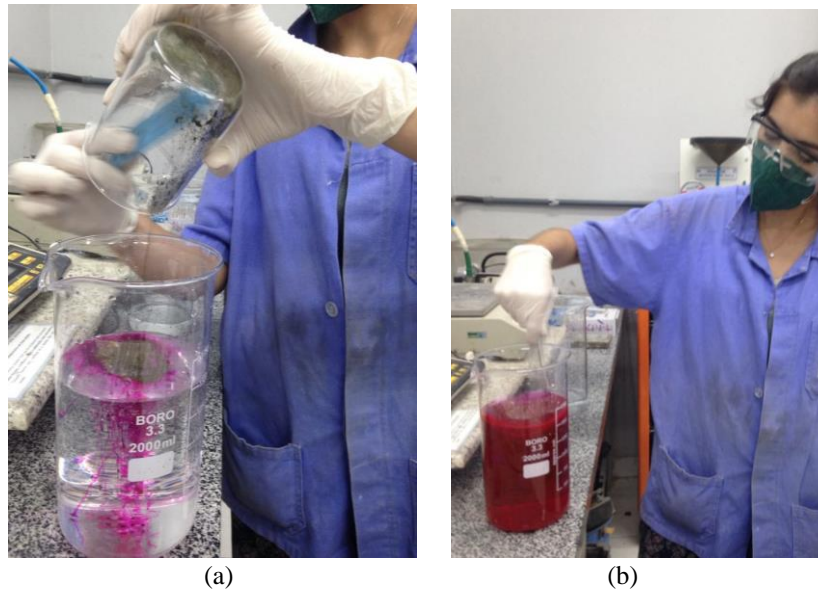
Figura 27 – Aplicação de fuligem sobre placa de argamassa



Fonte: própria da autora.

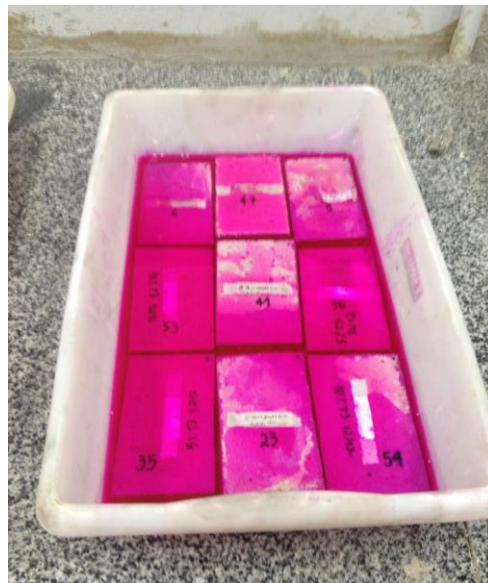
O segundo tipo de manchamento realizado foi com o produto químico e corante Rodamina B em concentração de 0,5 g/L, por ser largamente utilizado como referência na maioria das pesquisas internacionais que estudam o efeito autolimpante produzido pelo dióxido de titânio (DIAMANTI *et al.*, 2015; TREVISO, 2016). O procedimento de manchamento das amostras com esse produto foi por imersão das placas em solução aquosa preparada com água deionizada e agitada manualmente (Figura 28). As placas permaneciam imersas na solução por 24h, e eram posteriormente secas em ambiente local (Figura 29).

Figura 28 – Preparo da solução aquosa de Rodamina B em concentração de 0,5 g/L em água deionizada (a) mistura do corante em água; (b) agitação mecânica para mistura



Fonte: própria da autora.

Figura 29 – Placas imersas em solução aquosa de Rodamina B em concentração de 0,5 g/L

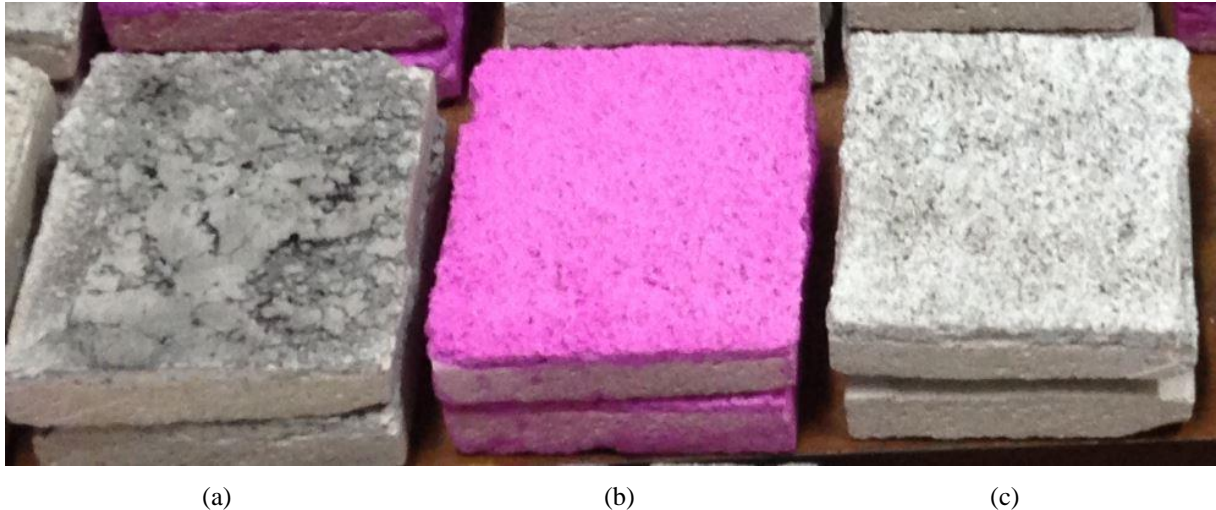


Fonte: própria da autora.

Como último manchamento, se optou pela solução com particulados provenientes da queima de árvores de eucalipto, que é oriunda das caldeiras do Complexo Santa Casa de Misericórdia, no centro da cidade. Esse tipo de manchamento foi também utilizado no trabalho de Austria (2015). O procedimento de manchamento foi similar ao do realizado com a fuligem, com deposição do particulado sobre a superfície das placas, espalhamento e posterior aspersão de 5 mL de água deionizada sobre a superfície das placas – apenas com concentração de 1,50 mg/cm<sup>2</sup>, visto que o material não se espalhava sobre a superfície tão facilmente quanto a

fuligem. O resultado final de algumas das placas manchadas pelos diferentes agentes manchantes é mostrado nas Figuras 30 e 31.

Figura 30 – Placas de argamassa com os seguintes manchamentos finalizados: (a) fuligem em acabamento A3 (friccionado); (b) Rodamina B em acabamento A1 (rugoso); (c) cinza em acabamento A2 (rústico)



Fonte: própria da autora.

Uma vez concluído o processo de manchamento, as placas foram posicionadas em ambientes distintos. A exposição ao ambiente natural (microclima urbano) foi feita em duas inclinações: a de 90°, que é idêntica à exposição de uma parede externa comum de uma edificação, e a inclinação padrão, próxima aos 45°, já utilizada em outros trabalhos. Para isso foram confeccionadas estruturas metálicas de suporte adaptadas ao tamanho das placas de 100 mm x 100 mm (Figura 32). A exposição aconteceu no terraço do prédio “Salas de Aula”, no campus centro da UFRGS, com início no dia 18/12/2018, e tempo de exposição de 140 dias – permanecendo por praticamente todo o período de solstício de verão. Cabe ressaltar que esse era um local que recebia sombreamento em alguns períodos, particularmente na parte da manhã, e as placas ficaram expostas com orientação solar de 343° Norte, com coordenadas geográficas de 30°01'58.5"S 51°13'18.2"W. Os dados meteorológicos desse período estão apresentados no Anexo A.

As exposições às câmaras de intemperismo foram feitas em duas existentes no Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC-NORIE/UFRGS), já utilizadas em outros trabalhos como o de Lopes (2011). As mesmas simulam condições de intemperismo acelerado através de lâmpadas de luz fluorescente UVA ou UVB e de umidade, representando as condições de deterioração causadas pela luz solar, chuva, umidade do ar e orvalho por anos de exposição, através de testes em ciclos programados (LOPES, 2015).



Figura 31 – Placas após procedimentos de manchamento: (a) Fuligem; (b) Rodamina B; (c) Cinza



(a)



(b)



(c)

Fonte: própria da autora.

A primeira câmara utilizada – denominada “Câmara 1” (Figura 33) consiste em um simulador ambiental desenvolvido por Fioretti (2010), seguindo padrões sugeridos pelas normas americanas ASTM G155-13 (2013) e ASTM G154-16 (2016). Esta câmara tem uma estrutura circular de suporte das amostras que se movimenta à rotação de 1 rpm, passando por

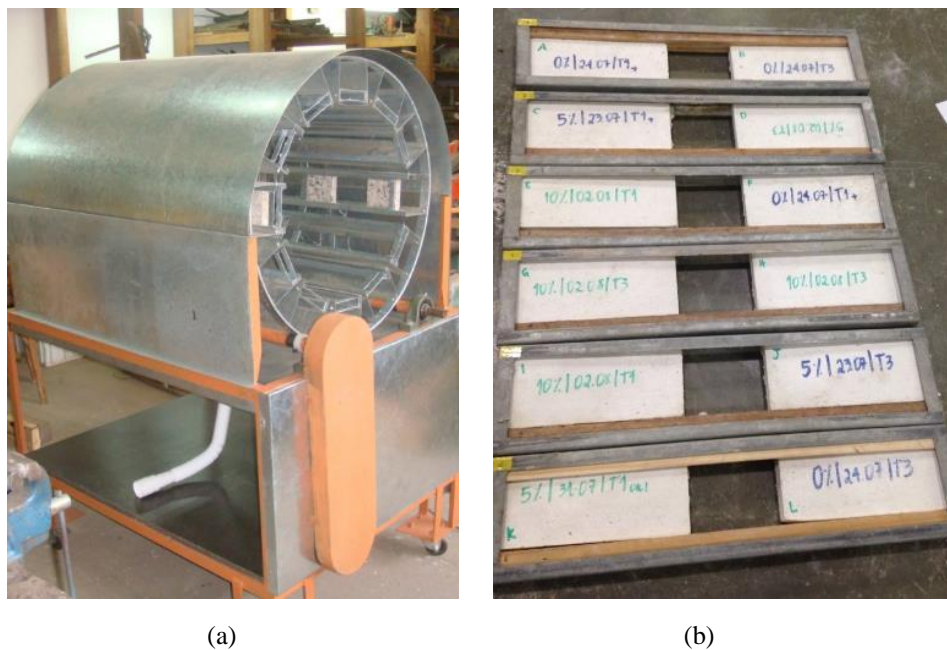
lâmpadas de gás xenônio, que tem espectro similar ao da luz solar ao meio dia no solstício de verão, e com duas resistências blindadas de 750 W cada (FIORETTI, 2010).

Figura 32 – Exposição das amostras ao ambiente natural, em estruturas metálicas pintadas com tinta impermeabilizante



Fonte: própria da autora.

Figura 33 – Câmara 1 de intemperismo: (a) estrutura externa e (b) colocação de amostras nos moldes para posterior encaixe na estrutura da câmara



(a)

(b)

Fonte: própria da autora.

Assim, este simulador foi programado para realizar ciclos de temperatura e umidade que consistem em 102 minutos de exposição direta e única às lâmpadas, com temperatura de 63 °C,

seguido de 18 minutos sem radiação e com pulverização de água constante, assim como em Fioretti (2010). Foi medida a intensidade da luz, através de equipamento portátil Medidor de Luz UV-A INSTRUTHERM, que resultou no valor médio de  $368 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . As amostras foram expostas por 82 ciclos, totalizando aproximadamente, 164h de utilização.

A segunda câmara de intemperismo – denominada “Câmara 2” (Figura 34) - é padronizada pela norma ASTM G154-16 (2016) e apresenta oito lâmpadas UVA paralelas às amostras, além de uma bandeja de armazenamento de água e sistema de ventilação. A programação deste simulador é também realizada em dois ciclos: o primeiro ciclo de umidade, com temperatura constante de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  e duração de 8 h; e o segundo de temperatura (luz), durando também 8 h e em temperatura constante de  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , com repetição desses ciclos, seguindo novamente o procedimento adotado por Fioretti (2010). As amostras ficaram expostas nesta câmara por 36 ciclos de 16h, totalizando, aproximadamente, 576h de utilização. A intensidade da luz medida para este equipamento resultou no valor médio de  $300 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

Figura 34 – Câmara 2 de intemperismo com amostras posicionadas antes do acionamento



Fonte: própria da autora.



## 4.4 MÉTODOS DE ANÁLISE

Primeiramente, foram realizados ensaios de caracterização no estado fresco e no estado endurecido, tanto para as argamassas de base quanto para as de revestimento. Para os ensaios no estado endurecido foram moldados prismas de argamassa de dimensões 40 mm x 40 mm x 160 mm. Os mesmos foram confeccionados no mesmo dia de execução das argamassas para acabamento superficial, e foram necessários 12 unidades para cada teor de adição de  $\text{TiO}_2$  (36 no total).

### 4.4.1 Ensaios no estado fresco

Os ensaios de caracterização no estado fresco e suas respectivas normas de execução foram:

- a) índice de consistência – NBR 13276 (2016);
- b) densidade de massa – NBR 13278 (2005)
- c) teor de ar incorporado – NBR 13278 (2005).

### 4.4.2 Ensaios no estado endurecido

Já os ensaios de caracterização no estado endurecido realizados são:

- a) densidade de massa aparente – NBR 13280 (2005);
- b) módulo de elasticidade dinâmico – NBR 15630 (2008) (Figura 35);
- c) absorção de água por capilaridade – NBR 9779 (2012);
- d) resistência à compressão e à tração na flexão – NBR 13279 (2005).

Figura 35 – Equipamento utilizado para obtenção de resultados para o módulo de elasticidade dinâmico



Fonte: próprio da autora.



#### 4.4.3 Ensaios principais

Três análises foram realizadas como as principais, para que se possa avaliar corretamente a eficiência da autolimpeza das superfícies. As mesmas são as de análise visual, através de registro fotográfico, ensaio de análise colorimétrica (resistência ao manchamento) por espectrofotometria, e análise qualitativa das imagens com auxílio do *software* ImageJ ®. As últimas duas análises foram quantificadas e analisadas estatisticamente.

O registro através de fotos foi realizado nos mesmos intervalos de tempo das análises espectrofotométricas, a fim de traçar um paralelo entre as duas formas de avaliação da autolimpeza. A câmera utilizada para esta análise é do tipo digital, da marca Sony, modelo Cyber-shot DSC W-35 Zeiss, com resolução de 7,2 megapixels e alta sensibilidade. Tomou-se o cuidado de fazer o registro das fotos sempre no mesmo ambiente de laboratório (fechado e iluminado com lâmpadas fluorescentes, porém com luminosidade externa incidente), com as placas em local fixo em fundo de papel branco e altura fixa de aproximadamente 26 cm entre a câmera e cada placa registrada.

O ensaio de análise colorimétrica faz uso do espectrofotômetro portátil modelo Konica Minolta CM 2500d. Objetiva-se, com essas medições, se obter as coordenadas cromáticas da cor. Essas características são medidas de acordo com as definições feitas pela Comissão Internacional da Iluminação (CIE), o sistema CIELab. Nesse sistema a cor é representada por três valores (RUFFOLO *et al.*, 2010):

- a)  $L^*$ : luminosidade (ou brilho), que varia de 0 (preto) a 100 (branco);
- b)  $a^*$  e  $b^*$ : coordenadas cromáticas que indicam a intensidade da cor em um plano bidimensional, sendo que a coordenada  $a^*$  varia de verde (-a) a vermelho (+), e a coordenada  $b^*$  vai de azul (-b) a amarelo (+b).

Esse sistema é caracterizado por uma esfera sólida, que representa o espaço de cor tridimensional, conforme a Figura 36.

A variação da cor no tempo, que é a variável de resposta  $\Delta E$ , é a medida da distância entre dois pontos correspondentes, que são a cor no tempo  $t$  e a cor no tempo  $t_0$  (tempo inicial) (DIAMANTI *et al.*, 2008). Essa distância é expressa pela equação:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (\text{equação 1})$$

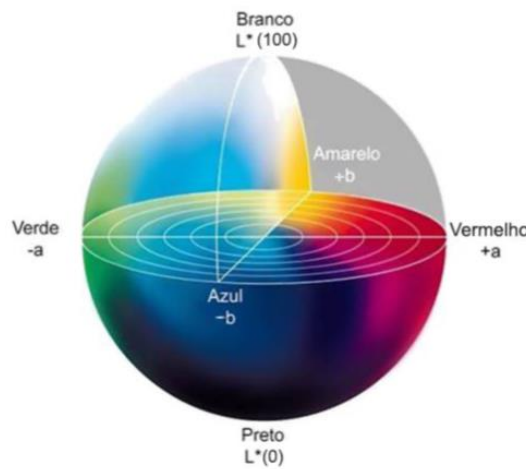
Na qual  $\Delta E$  = variação da cor no tempo, e:

$$\Delta L^* = L_t^* - L_{t_0}^* \quad (\text{equação 2})$$

$$\Delta a^* = a_t^* - a_{t_0}^* \quad (\text{equação 3})$$

$$\Delta b^* = b_t^* - b_{t_0}^* \quad (\text{equação 4})$$

Figura 36 – Representação do sólido de cor do espaço  $L^*a^*b^*$



Fonte: adaptado de Minolta<sup>1</sup>, 1998 *apud* Passuelo (2004).

De acordo com Diamanti *et al.* (2013), é fundamental para a correta análise da variação de cor o monitoramento da refletância ( $L^*$ ) quando as amostras estão expostas ao ambiente urbano. Isso porque a análise dessa variável isoladamente dá um indicativo da mudança da cor branca para a mais acinzentada, que pode significar a aderência de partículas poluentes do ar na superfície em análise.

Optou-se por fazer cinco medições em cada placa de argamassa, todas centralizadas para que caso, existissem ajustes ou deformações nas bordas das placas durante o encaixe das mesmas nas câmaras, elas não interferissem nos resultados. Também se teve o cuidado de fixar o ponto do topo esquerdo, para garantir que todas as medições fossem tomadas exatamente nos mesmos locais. A Figura 37 mostra o aparelho e o molde para medição.

Para cada idade, tomaram-se as coordenadas cromáticas  $L$ ,  $a$  e  $b$  (sistema CIE  $L^*a^*b^*$  de espaço de cor) dos cinco pontos de leitura por amostra, obtendo-se, a partir disso, dez dados de referência  $L^*a^*b^*$  para cada combinação de faroers (visto que havia duas amostras para cada combinação). Com esses dados, calculou-se a variação de cor ( $\Delta E$ ) – conforme a equação 1. É importante ressaltar quais foram as variáveis utilizadas nos cálculos dessas variações: as variáveis com tempo  $t$  inicial ( $L_{t0}$ ,  $a_{t0}$  e  $b_{t0}$ ) foram tomadas do **Dia 1** (ou seja, o primeiro dia de manchamento, quando as cores dos agentes manchadores estavam mais intensas nas placas); enquanto as variáveis com tempo final  $t$  ( $L_t$ ,  $a_t$  e  $b_t$ ) foram tomadas da **última medição** (140 dias para amostras do ambiente natural, após 82 ciclos para a Câmara 1 e após 36 ciclos para a Câmara 2).

<sup>1</sup> MINOLTA. Precise color communication: color control from perception to instrumentation. Japão: Minolta Co. Ltd., 1998.

Figura 37 – Medições com espectrofotômetro em placas de argamassa com seus respectivos moldes



Fonte: própria da autora.

Segundo Mokrzycki e Tatol (2011), para o sistema CIEL\*a\*b de espaço de cor, um observador padrão observa uma diferença clara de cor quando os resultados de  $\Delta E$  estão entre 3,5 e 5 - e duas cores diferentes são notadas quando o valor de  $\Delta E$  é maior que 5. Um resumo dessa classificação é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificações de  $\Delta E$  quanto a visibilidade da diferença de cor

Percepção de diferença de cor por um observador padrão	
$0 < \Delta E < 1$	O observador não nota a diferença de cor
$1 < \Delta E < 2$	Somente um observador com experiência consegue notar a diferença de cor
$2 < \Delta E < 3,5$	Observador sem experiência também consegue notar a diferença de cor
$3,5 < \Delta E < 5$	Diferença clara de cor é notada
$\Delta E > 5$	O observador nota duas cores diferentes

Fonte: adaptado de Mokrzycki e Tatol (2011).

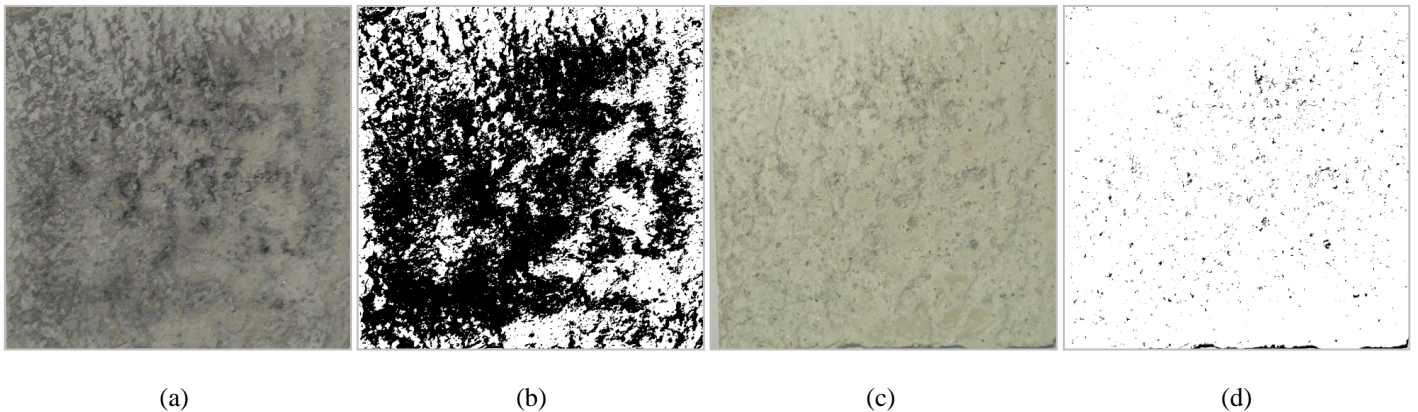
A última análise foi realizada a partir das fotos obtidas, com uso do *software* de análise de imagens ImageJ ®. A partir de uma transformação da foto para as cores preta e branca, o mesmo faz uma compilação da quantidade de pixels brancos e pretos – fornecendo uma análise quantitativa sobre o clareamento das amostras (Figura 38).

Essa análise foi realizada apenas para as placas que tiveram exposição ao ambiente natural urbano, e, a partir da mesma, criou-se um outro método de quantificar a taxa de autolimpeza das amostras. Alguns cuidados tomados foram o de selecionar as áreas das placas a serem analisadas de forma que o corte das mesmas eliminasse imperfeições das bordas, que

poderiam ser consideradas como áreas de manchamento pelo programa. Além disso, se manteve uma resolução de 675 pixels x 675 pixels para todas as imagens, ou seja, se manteve a proporção da forma quadrada que as placas tem na realidade (100 mm x 100 mm), ao mesmo tempo em que se padronizou a área de todas as figuras.

O programa seleciona automaticamente as áreas manchadas após a transformação da figura para tons de cinza (formato 8-bit), e a intensidade dessa seleção, que pode ser controlada, foi definida no valor de 120 para todas as imagens, em uma faixa que varia do 0 ao 255, de acordo com recomendações do *software*.

Figura 38 – Exemplo de análise em imagens com o *software* ImageJ: (a) foto da placa no dia do manchamento com fuligem; (b) imagem anterior tratada no *software* para quantificação de pixels pretos; (c) foto da mesma placa após 140 dias de exposição ao ambiente natural; (d) imagem anterior tratada no *software* para quantificação de pixels pretos



Fonte: própria da autora.

O método aqui desenvolvido para obtenção de uma taxa de autolimpeza foi definido a partir da contabilização do número de pixels pretos na figura com a amostra recém-manchada e na figura com a placa após os 140 dias de exposição, para cada combinação de fatores. Assim, a equação desenvolvida para representar essa eficiência de autolimpeza foi:

$$\text{Taxa de autolimpeza} = \left(1 - \frac{\text{n}^\circ \text{ de pixels pretos após o fim da exposição}}{\text{n}^\circ \text{ de pixels pretos no 1}^\circ \text{ dia de manchamento}}\right) \times 100\%, \quad (\text{equação 5})$$

que dá o indicativo da diminuição de pixels pretos, que é a sujidade, através de uma porcentagem.

Por fim, foi também realizado o ensaio para medição da tensão superficial através do método da gota - que seria considerado um dos indicadores da hidroflicidade dos acabamentos, porém o mesmo não forneceu resultados conclusivos devido à rugosidade ou absorção das superfícies. Os resultados deste ensaio estão apresentados no Anexo C.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas produzidas, nos estados fresco e endurecido. Como resultado da análise de eficiência da ação autolimpante, são mostrados os resultados do ensaio de medição colorimétrica, através de espectrofotometria, além da análise fotográfica com quantificação através de *software* de imagem. Para os dados obtidos com espectrofotômetro portátil, a análise é feita também com amparo estatístico, através de análise de variância (ANOVA).

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

A seguir estão apresentados os resultados médios dos ensaios estipulados no item 4.4.1 para as argamassas no estado fresco. Os valores de todos os dados obtidos estão apresentados no Anexo E.

#### 5.1.1 Índice de consistência

O índice de consistência foi definido em  $260 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ , tanto para as argamassas que serviram como base quanto para as argamassas com os diferentes acabamentos superficiais, como ilustrado na Figura 39. A Tabela 6 apresenta o resultado médio para esse índice, sendo identificadas como “Base” as argamassas que serviram de base aos acabamentos (de traço em volume 1:1:6, cimento:cal:areia, com areia seca) e “A” as argamassas de revestimento para acabamento superficial, nas adições de 0% (sem  $\text{TiO}_2$ ), 5% e 10% (R0, R5 e R10, respectivamente) e traço em volume 1:4 (cimento:agregados, com areia seca).

Tabela 6 – Índice de consistência médio das argamassas

Identificação	Índice de consistência médio (mm)		
	Médias (mm)	DP (mm)	CV
Base	259	4,90	1,89%
A0	264	8,20	3,11%
A5	265	6,12	2,31%
A10	266	4,15	1,56%

DP: Desvio-padrão; CV: Coeficiente de variação

Fonte: elaborado pela autora.

A escolha de uma faixa de variação desse índice serviu de parâmetro para que todas as argamassas produzidas atingissem uma consistência semelhante, que é usual na prática da construção civil. Outros trabalhos que fizeram uso do  $\text{TiO}_2$  em argamassas também fixaram

esse índice, como em Guerra (2018), com  $250 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$  e em Treviso (2016), com  $250 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ .

Figura 39 – Aspecto visual da argamassa de revestimento com 5% de adição de  $\text{TiO}_2$ , ao final do ensaio de índice de consistência



Fonte: próprio da autora.

### 5.1.2 Densidade de massa e teor de ar aprisionado

Os valores referentes a esses resultados estão apresentados nas Tabelas 7 e 9.

Tabela 7 – Densidade de massa das argamassas no estado fresco

Identificação	Densidade de massa ( $\text{kg/m}^3$ )		
	Médias ( $\text{kg/m}^3$ )	DP (mm)	CV
Base	2480,08	26,34	1,06%
A0	4342,37	109,25	2,52%
A5	2735,56	209,41	7,66%
A10	2539,53	255,38	10,06%

DP: Desvio-padrão; CV: Coeficiente de variação

Fonte: elaborado pela autora.

Os resultados de densidade de massa indicam que, quanto maior a adição do agente fotocatalisador, menor se torna a densidade de massa das argamassas no estado fresco. Comparando-se esses resultados com outros trabalhos que fizeram uso do  $\text{TiO}_2$  em argamassas, pode-se notar que esse é um comportamento inverso ao apresentado por Austria (2015), porém com valores médios próximos aos obtidos por Treviso (2016).



Uma análise simples de variância (ANOVA) foi realizada para avaliar a influência da adição de  $\text{TiO}_2$  na densidade de massa no estado fresco, com todos os dados apresentados no Anexo E (Tabela 8). Os resultados mostram que há, de fato, interferência das diferentes adições de  $\text{TiO}_2$  nessa variável.

Tabela 8 – Análise simples de variância (ANOVA) para a densidade de massa no estado fresco

Efeito	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Média Quadrada	Teste F	Probabilidade	Influência S.
Interseção	123327257,6	1	123327257,6	2293,19	0,000000	
Adição de $\text{TiO}_2$	7827299,4	2	3913649,7	72,77	0,000003	S
Erro	484018,5	9	53779,8			

Fonte: elaborado pela autora.

Quanto ao teor de ar aprisionado nas argamassas, os valores obtidos (apresentados na Tabela 9) indicam que, quanto maior a adição do fotocatalisador nas argamassas, menor o teor de ar aprisionado. Esses resultados são coerentes com o que se é esperado, pois a adição de  $\text{TiO}_2$  nas argamassas introduz partículas de diâmetros muito reduzidos, que auxiliam no fechamento dos poros existentes na argamassa. Os valores obtidos também são coerentes com os valores de densidade de massa no estado fresco.

Da mesma forma, uma análise ANOVA foi realizada com todos os valores obtidos (Tabela 10). Verifica-se a influência significativa da adição do fotocatalisador nos resultados de teor de ar aprisionado para as argamassas de acabamento no estado fresco.

Tabela 9 – Teor de ar incorporado nas argamassas no estado fresco

Teor de ar aprisionado (%)			
Identificação	Médias (%)	DP (mm)	CV
Base	3,54	0,29	8,11%
A0	3,35	0,11	3,34%
A5	2,67	0,23	8,51%
R10	2,30	0,16	6,87%

DP: Desvio-padrão; CV: Coeficiente de variação

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 10 – Análise simples de variância (ANOVA) para o teor de ar aprisionado; argamassas de acabamento no estado fresco

Efeito	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Média Quadrada	Teste F	Probabilidade	Influência S.
Interseção	92,4	1	92,4	2326,34	0,000000	
Adição de $\text{TiO}_2$	2,3	2	1,1	28,51	0,000128	S
Erro	0,4	9	0,0			

Fonte: elaborado pela autora.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Na sequência, estão apresentados os resultados médios dos ensaios estipulados no item 4.4.2 para as argamassas no estado endurecido. Os valores de todos os dados obtidos estão apresentados no Anexo E. Da mesma forma, as argamassas aqui identificadas como “Base” são as que serviram de base aos acabamentos e as identificadas como “A” são as de revestimento para acabamento superficial, nas adições de 0, 5% e 10% (R0, R5 e R10, respectivamente).

### 5.2.1 Densidade de massa aparente

Este ensaio foi realizado aos 28 dias de cura. O resultado de média da densidade aparente, para todas as argamassas, está apresentado na Tabela 11. Os resultados individuais, obtidos de cada corpo de prova, estão apresentados no Anexo E.

Tabela 11 – Densidade de massa aparente das argamassas

Densidade de Massa Aparente (kg/m <sup>3</sup> )			
Identificação	Médias (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV
Base	1622,82	26,99	1,66%
A0	1970,63	7,93	0,40%
A5	1934,43	18,82	0,97%
A10	1876,45	39,63	2,11%

DP: Desvio-padrão; CV: Coeficiente de variação

Fonte: elaborado pela autora.

Esses resultados tem comportamento semelhante ao encontrado por Austria (2015), quando utilizado o traço 1:2 (cimento:areia) nas argamassas fotocatalíticas: há uma diminuição do valor de densidade de massa aparente no estado endurecido conforme aumenta-se o teor de adição de TiO<sub>2</sub>. Esses valores também seguem o comportamento na densidade de massa no estado fresco (Tabela 7).

Para auxiliar, a análise estatística (ANOVA) sobre a influência da adição de TiO<sub>2</sub> na densidade de massa aparente (Tabela 12), mostra que a adição é, de fato, significativa para que exista o comportamento descrito.



Tabela 12 – Análise simples de variância (ANOVA) para a densidade de massa no estado endurecido

Efeito	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Média Quadrada	Teste F	Probabilidade	Influência S.
Interseção	33425937,4	1	33425937,4	33632,30	0,000000	
Adição de TiO <sub>2</sub>	13541,5	2	6770,7	6,81	0,028577	S
Erro	5963,2	6	993,9			

Fonte: elaborado pela autora.

### 5.2.2 Módulo de elasticidade dinâmico

Este ensaio também foi realizado aos 28 dias de cura em corpos de prova prismáticos das argamassas, seguindo instruções de uso de aparelho ultrassom segundo a norma NBR 15630 (ABNT, 2008). O resultado de média desse valor, para todas as argamassas, está apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas

Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)			
Identificação	Ed médio (GPa)	DP (GPa)	CV
Base	3,09	0,04	1,36%
A0	18,05	0,32	1,79%
A5	18,37	0,35	1,90%
A10	14,56	0,69	4,71%

DP: Desvio-padrão; CV: Coeficiente de variação

Fonte: elaborado pela autora.

Esses valores são menores do que os reportados nos trabalhos de Treviso (2016) e Austria (2015), que encontraram valores na faixa de 30 a 40 GPa. No entanto os mesmos são, de forma geral, maiores do que os obtidos por Guerra (2018). Esses resultados possivelmente podem ser explicados pelo uso do agregado proveniente do IPT, que apresenta maior dimensão de partícula quando em comparação aos utilizados por Austria (2015) e Treviso (2016).

### 5.2.3 Absorção de água por capilaridade

Este ensaio também foi realizado aos 28 dias de cura em todas as argamassas. O resultado de média deste dado, para todas as argamassas, está apresentado na Tabela 14. Esses resultados são semelhantes aos apresentados por Treviso (2016) e Austria (2015), que apresentaram valores na faixa de 0,3 a 1,5 g/cm<sup>2</sup> – indicando que as argamassas produzidas tiveram comportamento similar na absorção de água.

Tabela 14 – Absorção de água por capilaridade das argamassas

Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )			
Identificação	Média (g/cm <sup>2</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV
Base	2,10	0,2351	11,20%
A0	1,25	0,0970	7,74%
A5	1,17	0,1150	9,86%
A10	1,23	0,1631	13,26%

DP: Desvio-padrão; CV: Coeficiente de variação

Fonte: elaborado pela autora.

#### 5.2.4. Resistência à compressão e à tração na flexão

Os ensaios de resistência à tração na flexão foram realizados com seis prismas, enquanto que para os ensaios de resistência à compressão, cada metade rompida desses seis prismas era utilizada, resultando em 12 amostras. Os resultados desses ensaios estão apresentados nas Tabelas 15 e 16, e os valores obtidos para cada amostra estão apresentados no Anexo E.

Tabela 15 – Resistência à tração na flexão média das argamassas

Resistência à tração na flexão (MPa)			
Identificação	Média (MPa)	DP (MPa)	CV
Base	0,67	0,0646	9,59%
A0	3,95	0,4941	12,51%
A5	18,31	0,5009	2,74%
A10	19,07	4,7438	24,87%

DP: Desvio-padrão; CV: Coeficiente de variação

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 16 – Resistência à compressão na flexão média das argamassas

Resistência à compressão na flexão (MPa)			
Identificação	Média (MPa)	DP (MPa)	CV
Base	1,85	0,2607	14,07%
A0	16,25	1,6632	10,23%
A5	18,30	0,5215	2,85%
A10	15,19	0,7143	4,70%

DP: Desvio-padrão; CV: Coeficiente de variação

Fonte: elaborado pela autora.

Pode-se perceber uma notável menor resistência das placas de argamassa usadas como base, as do tipo “A”, quando comparadas às argamassas para acabamento superficial, R0 e R5. Isso pode ser explicado pela presença de cal hidratada como aglomerante na mesma proporção que o cimento branco nas argamassas de base, deixando-as mais enfraquecidas – e pelo tempo necessário para que ocorra a carbonatação.

A análise estatística para a resistência à tração na flexão é apresentada na Tabela 17, e para a resistência à compressão na flexão, na Tabela 18. Ambas indicam que a adição de TiO<sub>2</sub> interfere significativamente nos resultados de resistência.

Tabela 17 – Análise simples de variância (ANOVA) para a resistência à tração na flexão

Efeito	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Média Quadrada	Teste F	Probabilidade	Influência S.
Interseção	1386,6	1	1386,6	3018,35	0,000000	
Adição de TiO <sub>2</sub>	817,7	2	408,8	889,99	0,000000	S
Erro	6,9	15	0,5			

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 18 – Análise simples de variância (ANOVA) para a resistência à compressão na flexão

Efeito	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Média Quadrada	Teste F	Probabilidade	Influência S.
Interseção	9899,1	1	9899,1	7671,95	0,000000	
Adição de TiO <sub>2</sub>	60,0	2	30,0	23,24	0,000001	S
Erro	42,6	33	1,3			

Fonte: elaborado pela autora.

Como era esperado, a resistência tanto à compressão quanto à tração na flexão aumentou nas argamassas com adição de 5% de TiO<sub>2</sub> em relação às argamassas sem adição, devido ao provável melhor empacotamento das argamassas, embora o mesmo não aconteça nas argamassas de 10% de adição submetidas à compressão.

Quando comparando-se com o trabalho de Treviso (2016), nota-se o comportamento idêntico: também houve uma diminuição da resistência à compressão nas argamassas com 10% de adição do fotocatalisador quando em comparação com as de 5%. Como diversos autores relatam o aumento da resistência com o aumento do teor de adição de TiO<sub>2</sub> (CHEN *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2015) acredita-se que a diminuição deste valor pode ter sido dada pela variabilidade das amostras.

## 5.3 REGISTRO FOTOGRÁFICO

Embora todas as fotos tenham sido feitas com os cuidados citados na metodologia e com a utilização de *flash*, objetivando-se eliminar a ação da luz externa e do possível efeito de sombras, acredita-se que a luminosidade natural indireta pode ter influenciado a análise - visto que algumas fotos apresentaram nuances voltadas à luz amarela. A seguir são apresentadas algumas fotos que permitem comparar, qualitativamente, as variáveis envolvidas com a autolimpeza das placas. Pelo caráter qualitativo desta análise, apenas algumas placas serão utilizadas nessa discussão, e a mesma será complementada com a verificação quantitativa no item 5.5. De qualquer forma, como essa é uma das principais análises, o Anexo D apresenta a compilação de todos os outros registros ao longo do tempo, totalizando aproximadamente 1500 fotos reunidas.

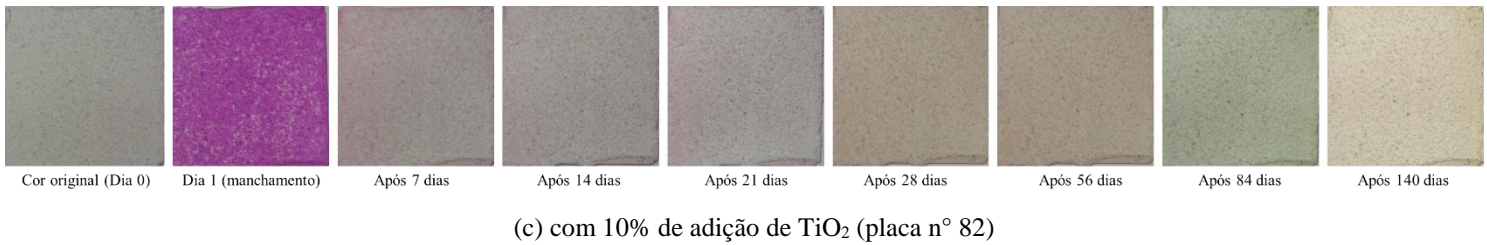
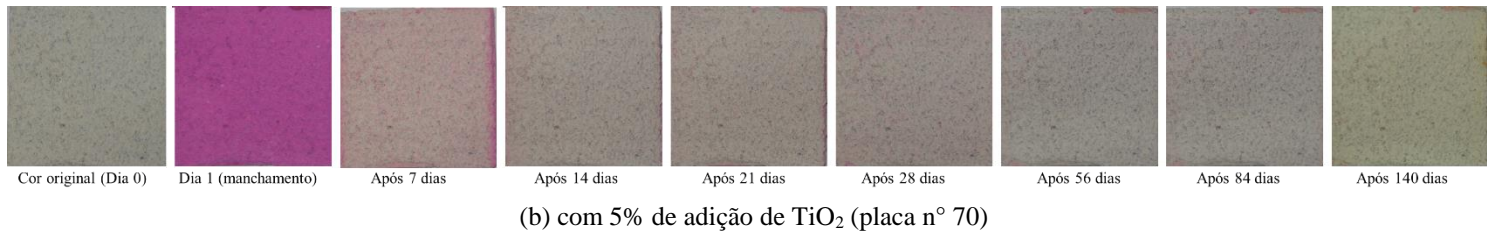
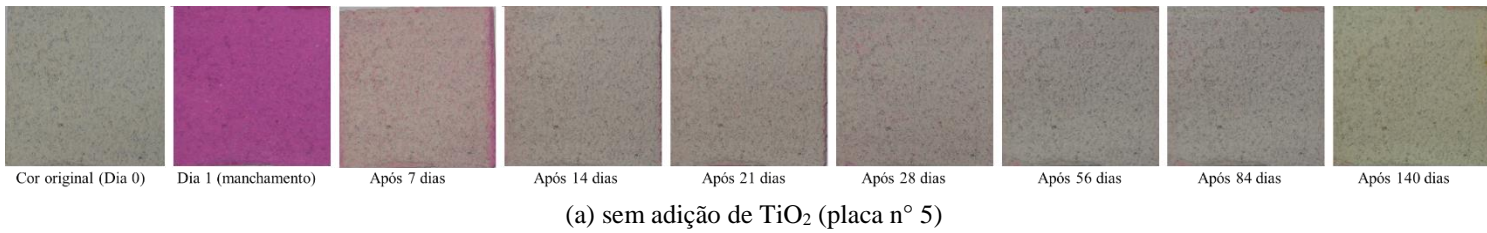
### 5.3.1 Placas expostas ao ambiente e manchadas com Rodamina B

A seguir são mostrados os resultados para as placas manchadas com o corante Rodamina B em algumas inclinações, acabamentos superficiais e adições de  $\text{TiO}_2$  escolhidos, de maneira a facilitar a comparação.

Algumas das placas com acabamento superficial definido como A1 (Rugoso) e posicionadas na estrutura com inclinação de  $90^\circ$  estão mostradas na Figura 40, para as diferentes adições de  $\text{TiO}_2$ .

Cabe ressaltar que um fenômeno interessante e não esperado aconteceu com essas placas: logo após 7 dias de exposição se verificou uma limpeza muito significativa das mesmas (como também pode ser observado na Figura 41, a e b). Embora visualmente a placa com adição de 10% de  $\text{TiO}_2$  se apresente mais clara, pode-se observar a limpeza de todas as placas – praticamente voltando à cor original – inclusive para as placas sem o uso do produto semiconductor. Buscou-se explicar esse fato, sendo encontrado na bibliografia que o corante Rodamina B pode, ele mesmo, se degradar pela ação da radiação ultravioleta de alta intensidade (PEREZ-NICOLAS, 2018). Ou seja, o fato das placas manchadas com a Rodamina B terem sido limpas tão facilmente é provavelmente explicado pela alta intensidade de radiação no período de solstício de verão no qual as placas foram expostas, aliado ao fato de que o corante já foi reportado como tendo uma ação de auto-degradação frente à radiação UV sem que nenhum material fotocatalisador estivesse presente junto à ele.

Figura 40 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 90°, manchadas com Rodamina B (a) sem adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 5); (b) com 5% de adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 70); (c) com 10% de adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 82)



Fonte: própria da autora

Figura 41 – Amostras expostas ao ambiente nas estruturas (a) primeiro dia de exposição; (b) após 7 dias de exposição

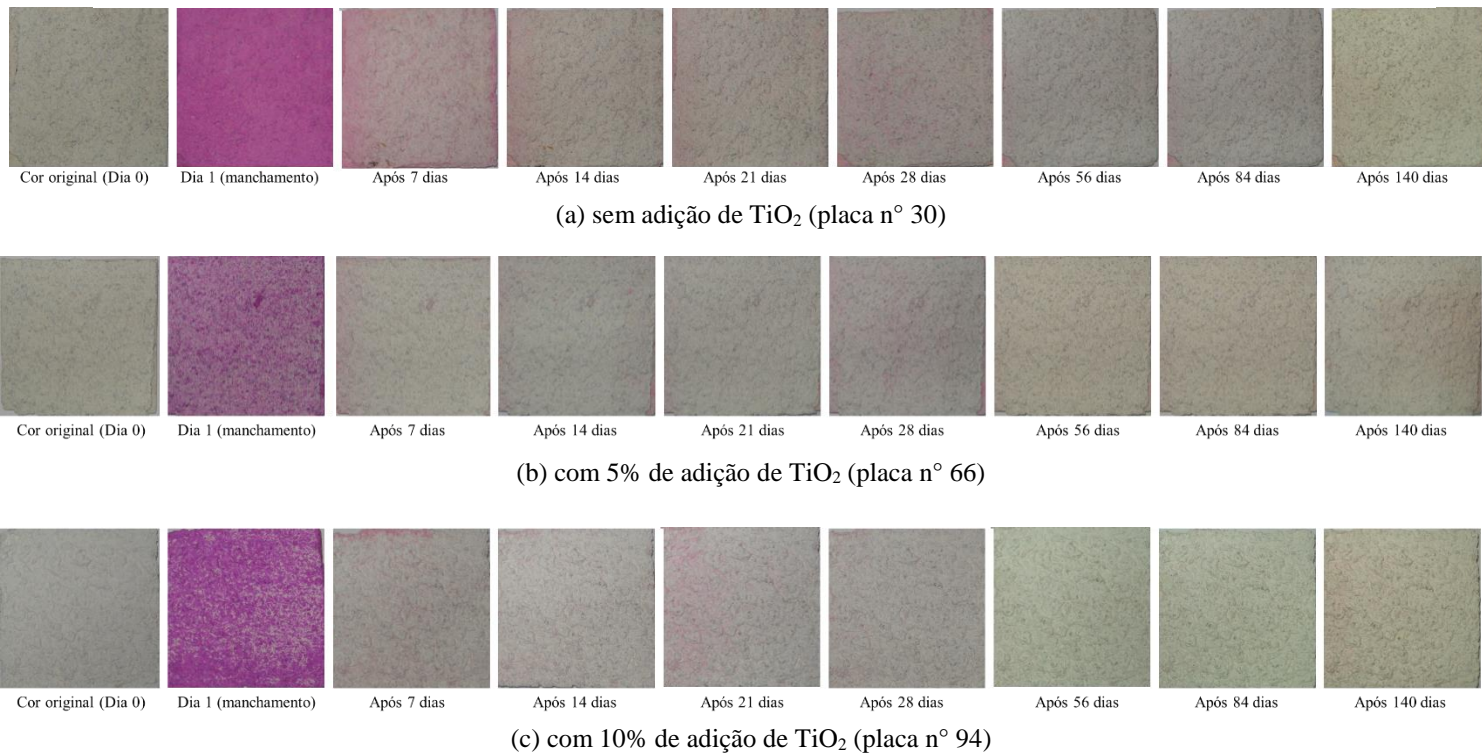


Fonte: própria da autora



Para o acabamento superficial A2 (Rústico), o acabamento com mais reentrâncias de maior tamanho e profundidade, o fenômeno acontece similarmente, conforme a Figura 42.

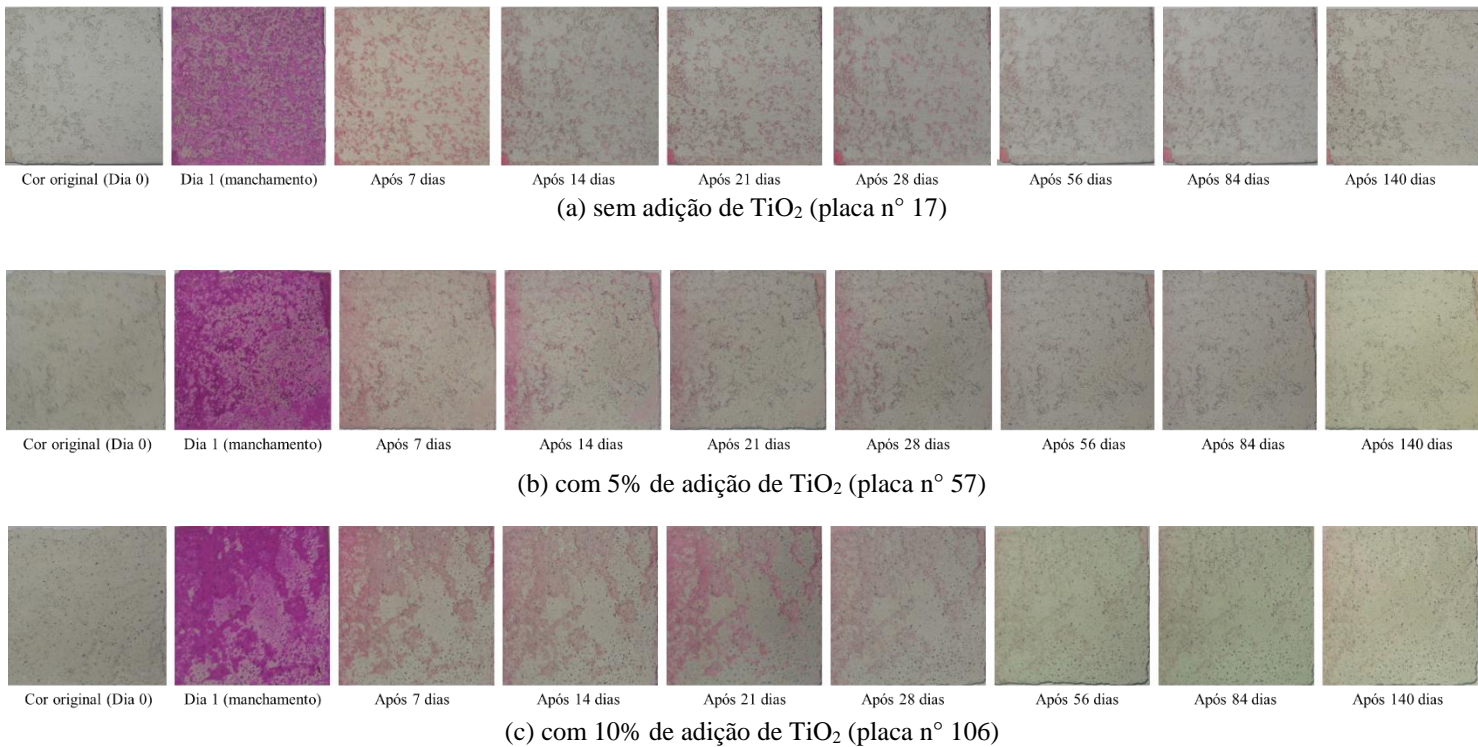
Figura 42 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de 90°, manchadas com Rodamina B (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 30); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 66); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 94)



Fonte: própria da autora

Para o acabamento A3 (Friccionado), que contém reentrâncias e partes mais lisas, a limpeza ao longo dos dias é mostrada na Figura 43. Pode-se observar que, embora todas as placas apresentem condição final muito próxima à inicial, em todas as fotos aqui apresentadas pode-se notar que o processo é mais lento para as placas sem adição de TiO<sub>2</sub> (observa-se que após 7 dias, nas fotos das figuras (a), as placas ainda tem um aspecto mais próximo à cor rosa do que as das figuras (b) e (c) correspondentes). De qualquer forma, o fato de que pode existir a autodegradação do agente manchador, a Rodamina B, pela ação da luz ultravioleta de alta intensidade é uma observação muito importante, que pode servir de base para trabalhos futuros, e que justifica o fenômeno observado nas fotos dessa seção.

Figura 43 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação de 90°, manchadas com Rodamina B (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 17); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 57); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 106)



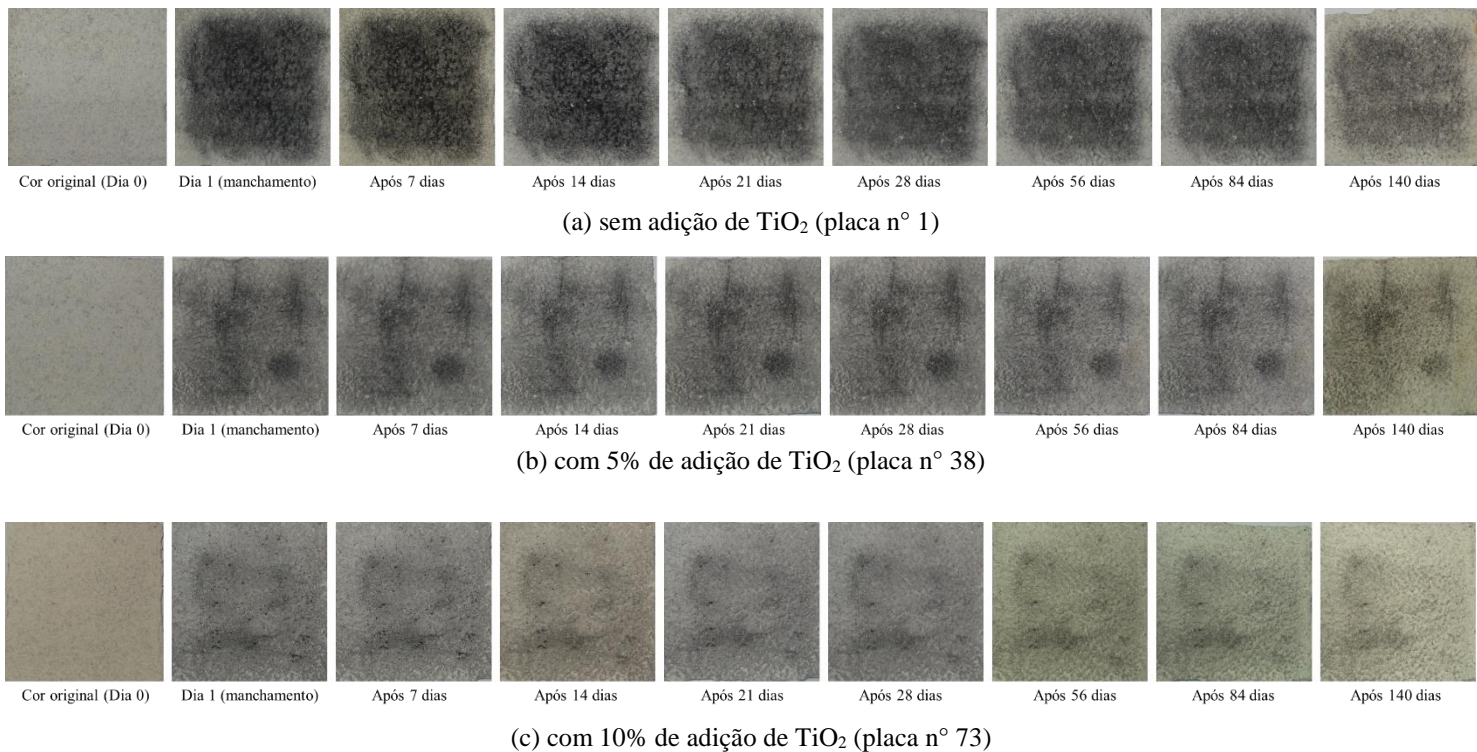
Fonte: própria da autora

### 5.3.2 Placas expostas ao ambiente e manchadas com fuligem

A fuligem proveniente dos canos de descarga de automóveis à diesel foi notada, durante seu manuseio, como uma substância de alta aderência nas superfícies que entravam em contato com ela. Com essa constatação visual e qualitativa, há uma provável justificativa para o maior período necessário para que essas placas apresentassem um aspecto visual de limpeza, conforme as Figuras 44, 45 e 46 a seguir.

Analisando visualmente a Figura 44, nota-se, por comparação, que há a provável maior eficiência na limpeza progressivamente nas placas com 5 e 10% adição de TiO<sub>2</sub>. Acontece também o clareamento da placa sem adição do fotocatalisador (Figura 44a), porém ela parece ser menos significativa do que nas figuras (b) e (c) – e que pode ter acontecido pelo efeito de carregamento de partículas com a água da chuva.

Figura 44— Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 90°, manchadas com fuligem (a) sem adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 1); (b) com 5% de adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 38); (c) com 10% de adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 73)



Fonte: própria da autora

Pode-se notar, na Figura 45, um fenômeno similar acontecendo. Cabe-se ressaltar, no entanto, a dificuldade de promover a autolimpeza nas reentrâncias desse tipo de acabamento, que é muito rugoso (como exemplo, o canto superior esquerdo da Figura 45c, onde profundas saliências tiveram pouca redução do manchamento, visualmente).

Observando-se a comparação das fotos nas Figuras 46 (a), (b) e (c), a placa com adição de 10% de  $\text{TiO}_2$ , após 140 dias, aparenta ter sido a que mais chegou próxima à condição de cor inicial - o que também vai ao encontro do que era esperado. Comparando-se visualmente os três acabamentos superficiais com a fuligem como agente de manchamento, pode-se acreditar que é provável que os acabamentos superficiais A1 e A3 apresentaram maior eficiência na autolimpeza, visto que os mesmos não tem grande saliências que podem acumular os particulados, como no caso do acabamento A2.



Figura 45 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de 90°, manchadas com fuligem (a) sem adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 25); (b) com 5% de adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 46); (c) com 10% de adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 85)

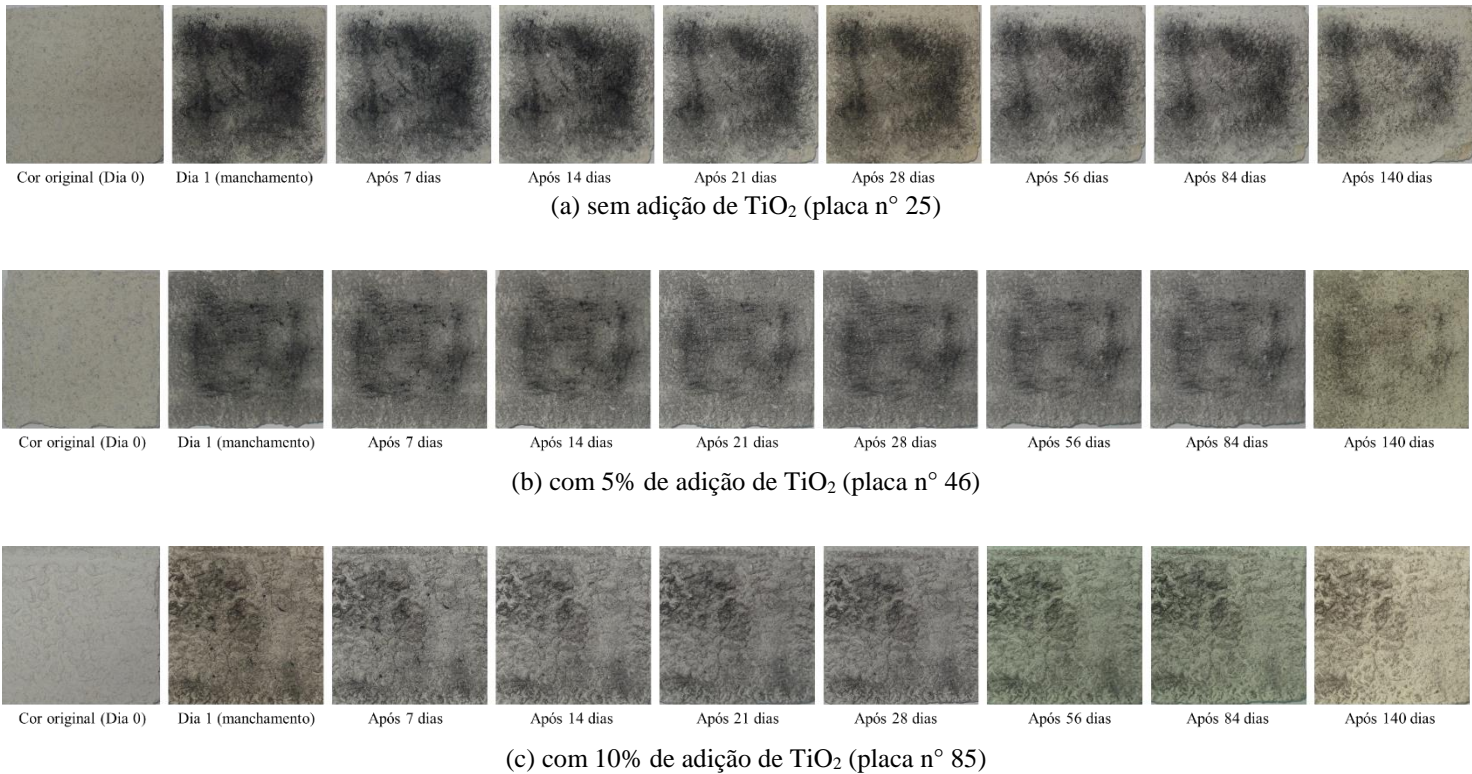
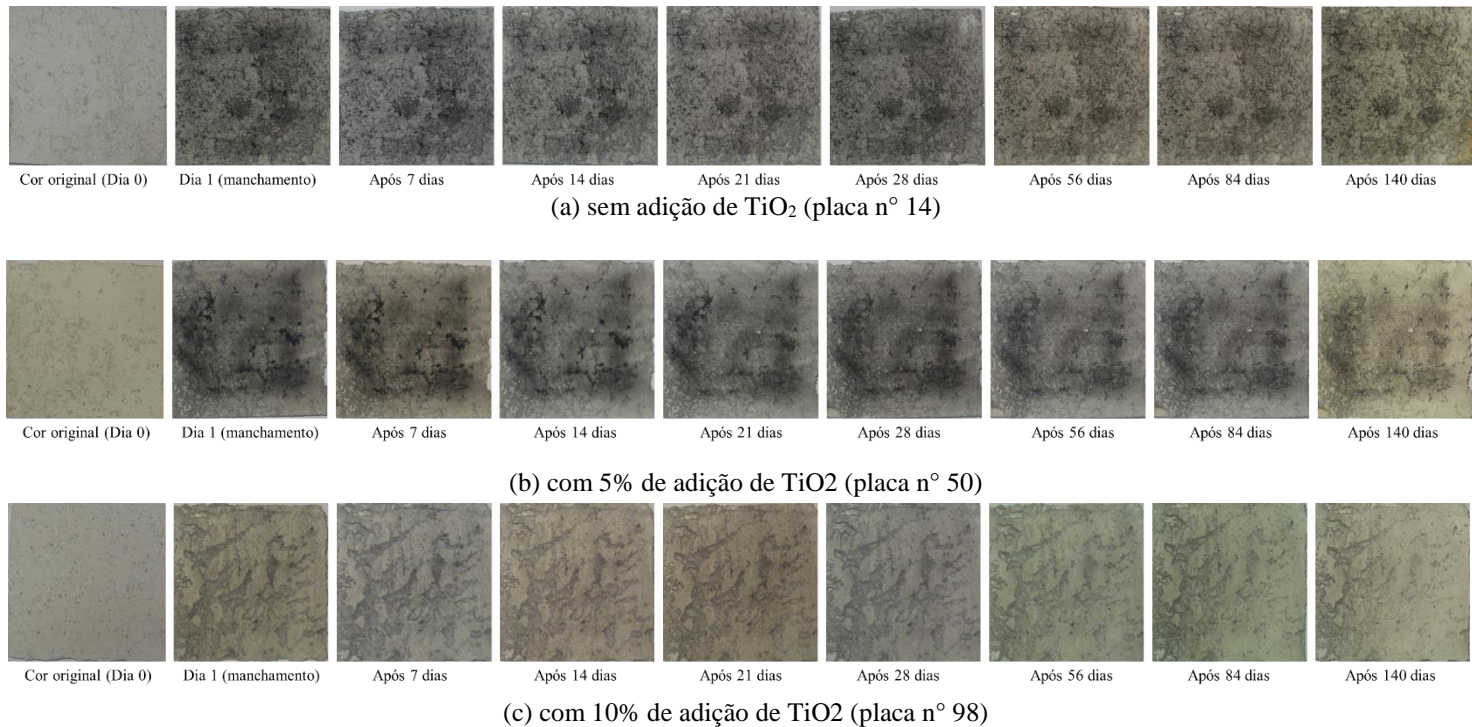


Figura 46 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação 90°, manchadas com fuligem (a) sem adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 14); (b) com 5% de adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 50); (c) com 10% de adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 98)

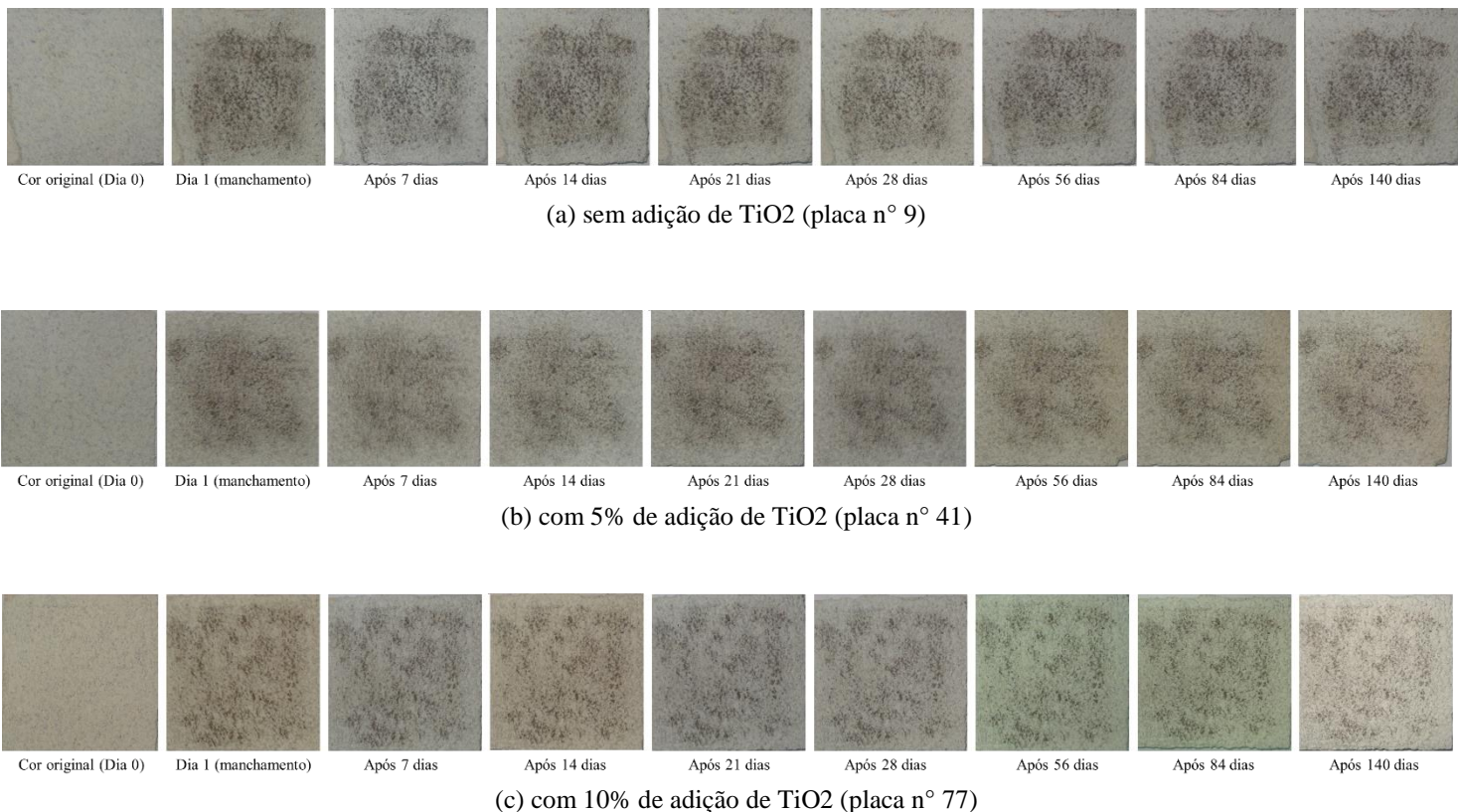


Fonte: própria da autora

### 5.3.3 Placas expostas ao ambiente e manchadas com a cinza da queima do eucalipto

A análise para esse agente manchante é mostrada da mesma forma, nas Figuras 47, 48 e 49. Assim como com as placas manchadas com a fuligem, as placas submetidas a esse manchamento demoraram um maior período para apresentarem sinais de clareamento.

Figura 47 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 90°, manchadas com cinza (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 9); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 41); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 77)

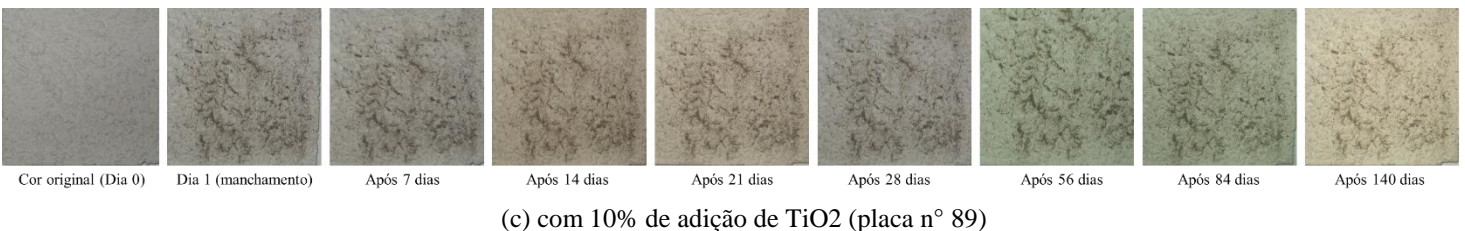
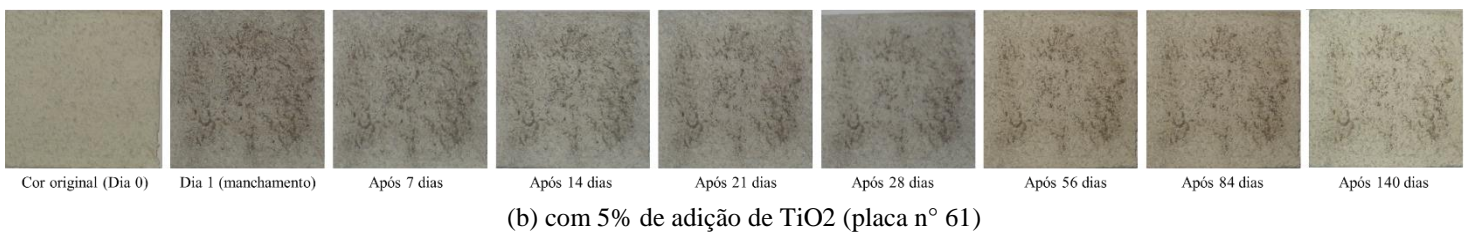


Fonte: própria da autora

Comparando-se com os itens 5.3.1 e 5.3.2, as placas manchadas com o particulado da cinza da queima do eucalipto apresentaram visualmente maior dificuldade de promover a sua autolimpeza, para o acabamento superficial A1. Mesmo assim, segundo a Figura 48, a placa com adição de 10% do fotocatalisador nesse acabamento aparenta ter sofrido um maior clareamento, conforme o comportamento já reportado nos casos anteriores.



Figura 48 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de 90°, manchadas com cinza (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 33); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 61); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 91)

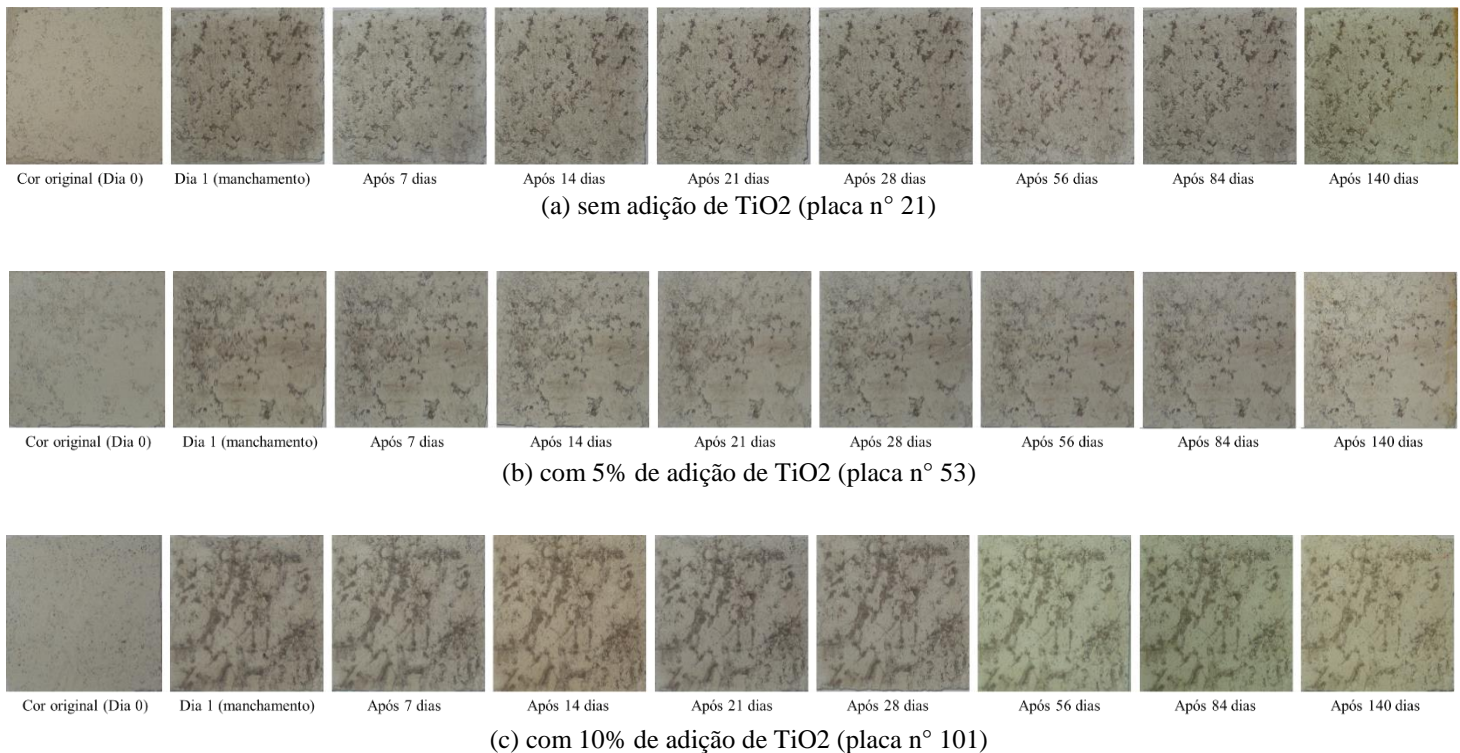


Fonte: própria da autora

Conforme constatado no item anterior, nota-se que as reentrâncias do tipo de acabamento superficial rugoso acumulam boa parte do manchamento, que não consegue ser removido facilmente. Analisando-se visualmente, e comparando-se com os manchamentos com Rodamina B e com fuligem, é possível notar que parece existir uma maior dificuldade de promoção da limpeza nas placas manchadas com a cinza da queima do eucalipto.

Esse fato pode ser observado quando compara-se a placa com adição de 10% de TiO<sub>2</sub> no acabamento friccionado após 140 dias de exposição com a placa de mesmo acabamento e adição manchada com fuligem (figuras 46c e 49c, respectivamente): a placa manchada com fuligem parece ter chegado mais próxima a cor original do que a que foi manchada com a cinza. Pela Figura 49, não se pode identificar, visualmente, grande diferença na autolimpeza entre as diferentes adições do fotocatalisador.

Figura 49 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação de 90°, manchadas com cinza (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 21); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 53); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 101)

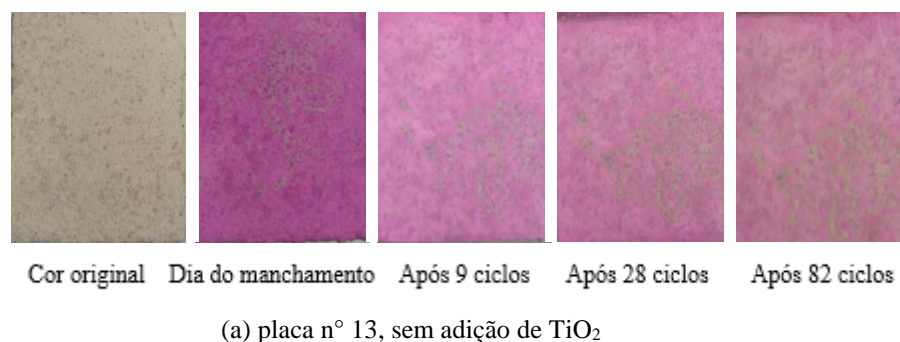


Fonte: própria da autora

### 5.3.4 Placas expostas à câmara de intemperismo 1

Escolheu-se apresentar apenas um tipo de acabamento nesta seção, visto que os efeitos na câmara que tem aspersão de água seguiram um comportamento similar, visualmente, para todos os tipos de acabamentos. No entanto, todos os tipos de acabamento foram ensaiados e analisados nesta câmara, conforme metodologia – e estão apresentados no Anexo D.

Figura 50– Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 1, manchadas com Rodamina B (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 13); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 31); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 50)



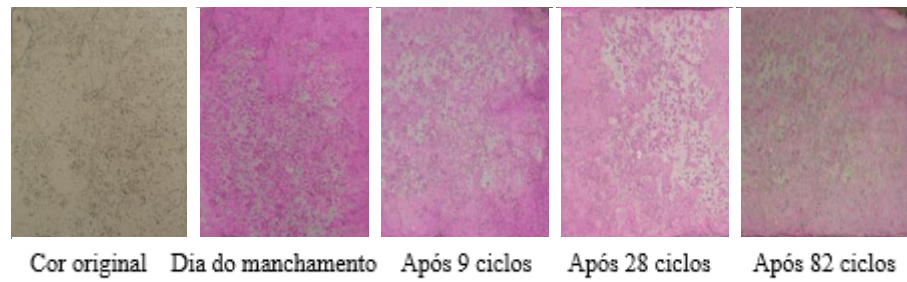
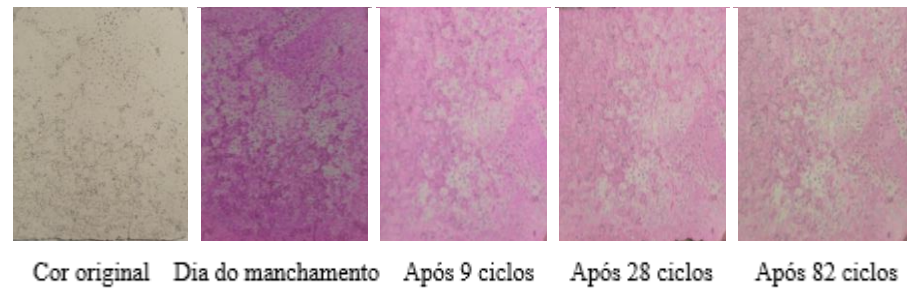
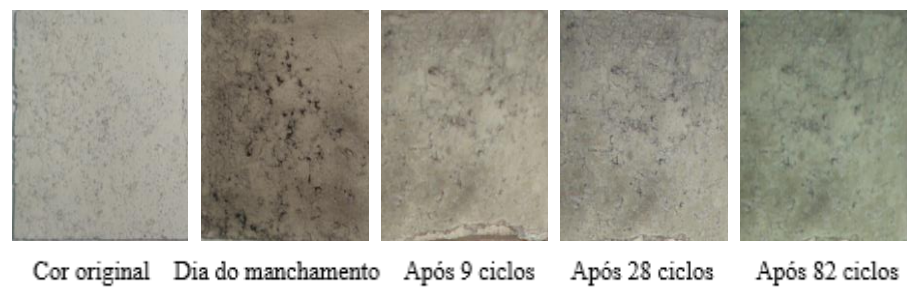
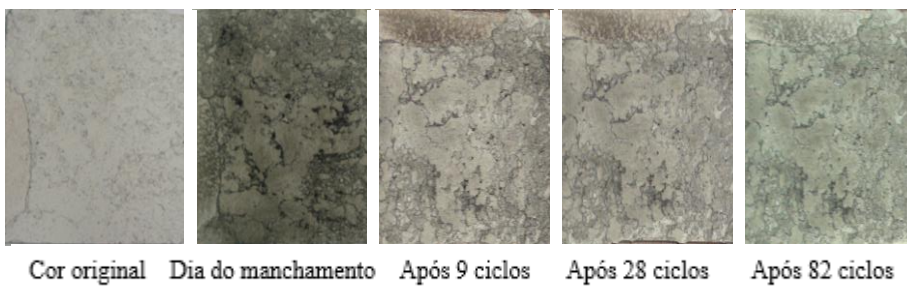
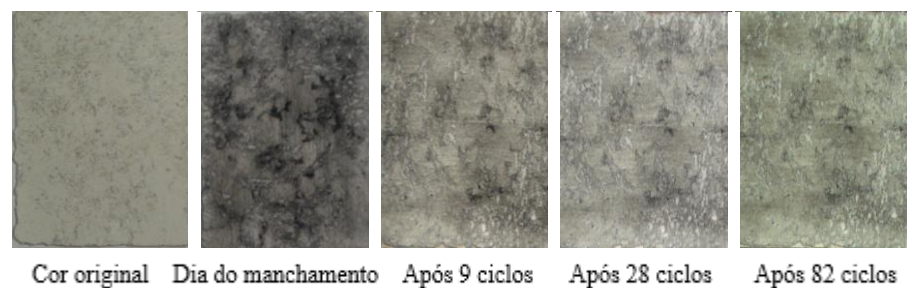
(b) placa n° 31, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>(c) placa n° 50, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

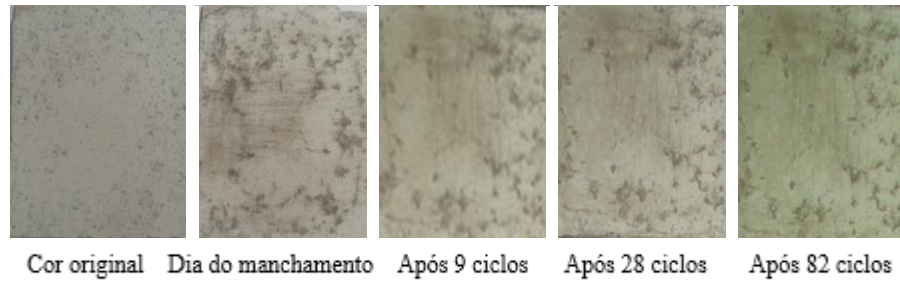
Figura 51 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 1, manchadas com fuligem (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 17); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 35); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 54)

(a) placa n° 17, sem adição de TiO<sub>2</sub>(b) placa n° 35, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>(c) placa n° 54, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

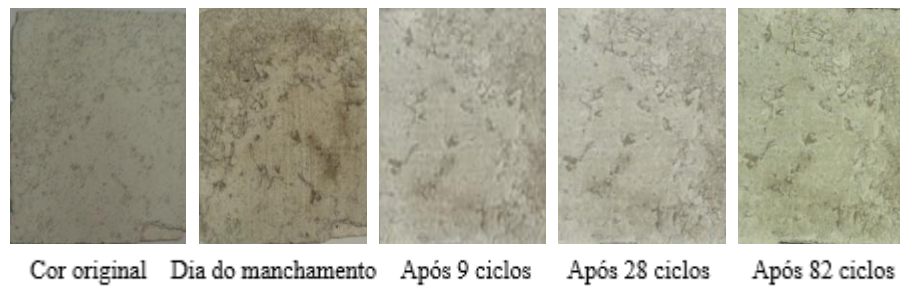
Fonte: própria da autora



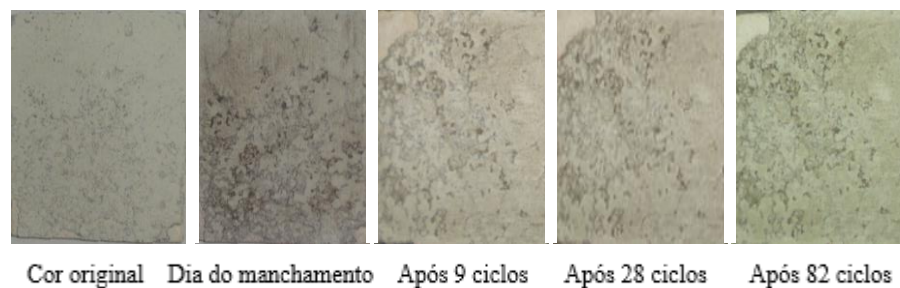
Figura 52 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 1, manchadas com cinza (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 15); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 33); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 51)



(a) placa n° 15, sem adição de TiO<sub>2</sub>



(b) placa n° 33, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>



(c) placa n° 51, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

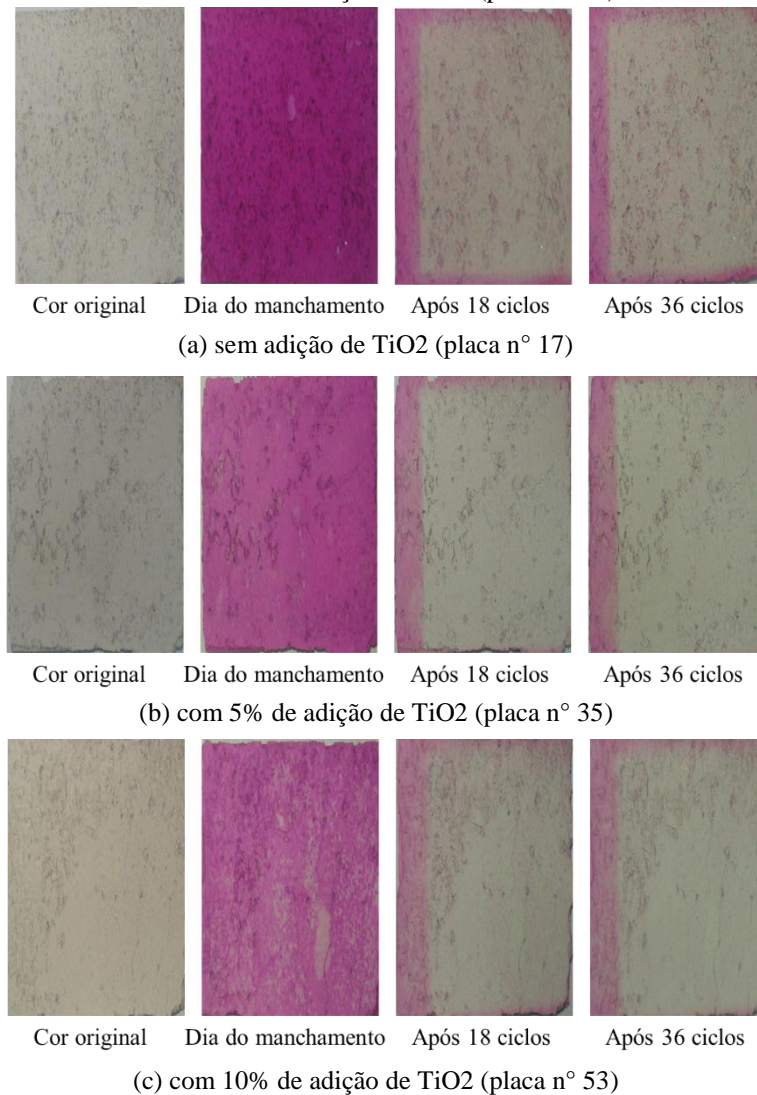
Fonte: própria da autora

Nota-se, pelas Figuras 50, 51 e 52, que houve pouca variação de cor para todas as amostras e adições quando comparando-se com as amostras expostas ao ambiente natural. Isso representa, provavelmente, uma baixa eficiência da câmara – especialmente em representar condições aceleradas da ação do tempo. Isso pode ter acontecido pelo tipo de lâmpada não ter sido eficiente na degradação do TiO<sub>2</sub> devido ao grande tempo de uso prévio em outras pesquisas. O restante das imagens está apresentado no Anexo D.

### 5.3.5 Placas expostas à câmara de intemperismo 2

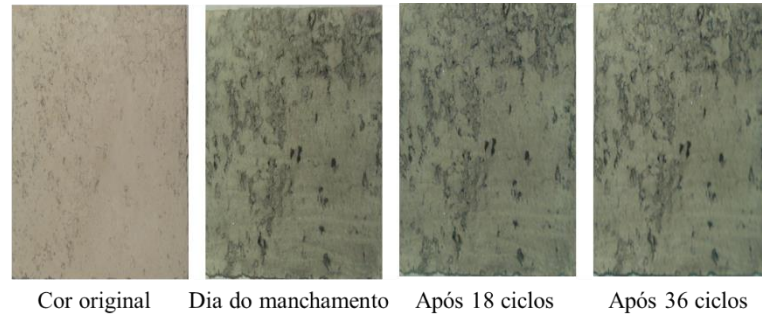
Nesta seção também foi escolhido apresentar apenas um tipo de acabamento para análise, visto que os efeitos na câmara com umidade no ar seguiram um comportamento similar, visualmente, para todos os tipos de acabamentos (a análise visual para todos os acabamentos está no Anexo D). Nota-se, na Figura 53, que as bordas das imagens após 18 e 36 ciclos apresentam ainda uma coloração mais semelhante à da apresentada no dia do manchamento, o que é resultado da fixação dessas laterais na estrutura da câmara, impedindo que a luz UV fosse recebida nesses trechos. No entanto, isso não interferiu nas medições com espectrofotômetro, que sempre foram realizadas em pontos centrais das placas.

Figura 53 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), submetidas à câmara 2, manchadas com Rodamina B (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 17); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 35); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 53)

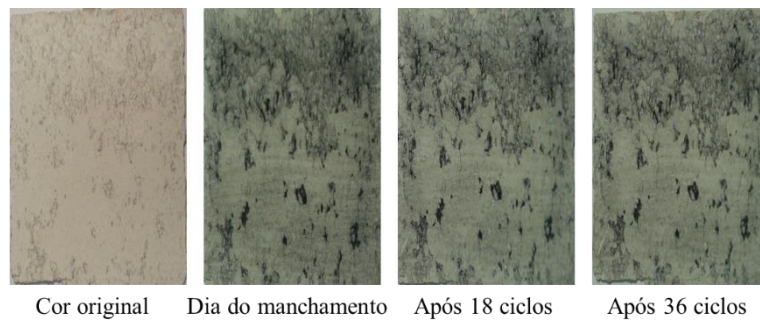


Fonte: própria da autora

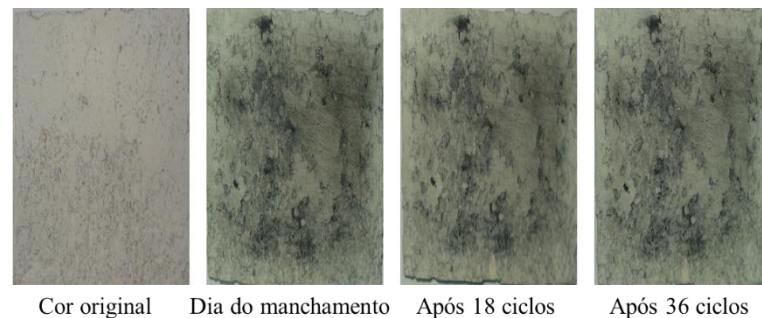
Figura 54 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), submetidas à câmara 2, manchadas com fuligem (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 14); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 31); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 49)



(a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 14)



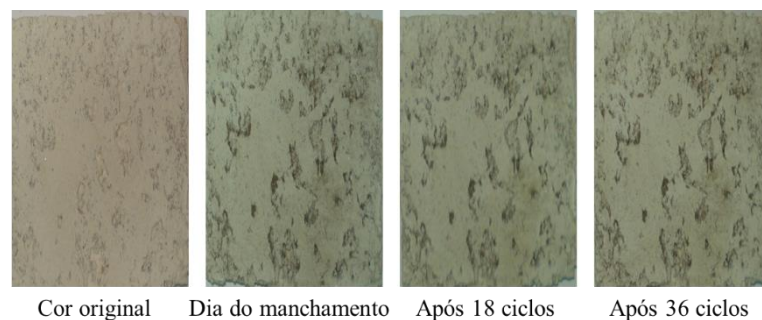
(b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 31)



(c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 49)

Fonte: própria da autora

Figura 55 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), submetidas à câmara 2, manchadas com cinza (a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 16); (b) com 5% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 34); (c) com 10% de adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 51)



(a) sem adição de TiO<sub>2</sub> (placa n° 16)





Cor original Dia do manchamento Após 18 ciclos Após 36 ciclos

(b) com 5% de adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 34)



Cor original Dia do manchamento Após 18 ciclos Após 36 ciclos

(c) com 10% de adição de  $\text{TiO}_2$  (placa n° 51)

Fonte: própria da autora

Pode-se notar, de forma geral, que exceto para o caso da Rodamina B, em todas as adições de  $\text{TiO}_2$  e nas placas de referência, não se nota visualmente diferenças no manchamento ao longo do tempo. Isso pode ser explicado possivelmente pelo elevado número de horas de utilização das lâmpadas.

As análises por registro fotográfico dão um indicativo do comportamento ocorrido pelas amostras em cada ambiente e condições de exposição. Embora as mesmas permitam que se visualize com clareza a autolimpeza das argamassas, as medições com espectrofotometria dão resultados seguros e quantitativos de resposta sobre a eficiência do mecanismo autolimpante.

## 5.4. ENSAIO COLORIMÉTRICO

As medições das cores das amostras foram feitas segundo procedimento e equipamentos detalhados em 4.4.3. Os valores médios de  $\Delta E$  dos cinco pontos medidos para cada placa de argamassa, e a classificação quanto à visibilidade de duas cores diferentes para todos os casos estão apresentados no Anexo F.

A seguir, esses dados receberam tratamento estatístico por análise de variância (ANOVA), utilizando-se o *software* Statistica 7, a um nível de confiança de 95%. Complementarmente, analisou-se o efeito dos fatores controláveis sobre as variáveis de resposta (isoladamente ou associado a outros) e foi realizada a comparação múltipla de médias. A fim de proporcionar uma análise estatística mais adequada para os dados, optou-se por agrupá-los segundo quatro abordagens distintas:

a) análise geral das amostras expostas ao ambiente, a qual contempla os seguintes fatores e níveis:

- tipo de acabamento: A1 (rugoso), A2 (rústico) e A3 (friccionado);
- inclinação: 45° e 90°;
- teor de TiO<sub>2</sub>: 0%, 5%, e 10%;
- manchamentos: fuligem, Rodamina B e cinza.

b) análise sem o manchamento Rodamina B das amostras expostas ao ambiente, visto que o mesmo resultou em valores de  $\Delta E$  muito mais elevados do que com os outros dois manchamentos. Assim, essa segunda análise contempla os seguintes fatores e níveis:

- tipo de acabamento: A1 (rugoso), A2 (rústico) e A3 (friccionado);
- inclinação: 45° e 90°;
- teor de TiO<sub>2</sub>: 0%, 5%, e 10%;
- manchamentos: fuligem e cinza.

c) análise geral das amostras expostas à Câmara 1, a qual contempla os seguintes fatores e níveis:

- tipo de acabamento: A1 (rugoso), A2 (rústico) e A3 (friccionado);
- teor de TiO<sub>2</sub>: 0%, 5%, e 10%;
- manchamentos: fuligem, Rodamina B e cinza.

d) análise geral das amostras expostas à Câmara 2, a qual contempla os seguintes fatores e níveis:

- tipo de acabamento: A1 (rugoso), A2 (rústico) e A3 (friccionado);
- teor de TiO<sub>2</sub>: 0%, 5%, e 10%;
- manchamentos: fuligem, Rodamina B e cinza.

### 5.4.1 Análise geral

O resumo da análise de variância para a variação de cor ( $\Delta E$ ), para todos os dados, para o ambiente natural, está apresentado na Tabela 19. A apresentação das médias de todos os dados está no Anexo F. É possível verificar que todos os fatores controláveis propostos exerceram influência significativa sobre esta variável de resposta, o que confirma a significância dos fatores escolhidos.

Em relação às interações entre os fatores, pode-se observar que a interação entre os fatores inclinação-adição de TiO<sub>2</sub>, inclinação-acabamento, inclinação-acabamento-adição, e inclinação-acabamento-manchamento não foram considerados significativos. Isso provavelmente se dá pela fraca influência da inclinação nesses fatores.

Tabela 19 – Análise de variância geral por ANOVA, para amostras expostas ao ambiente natural

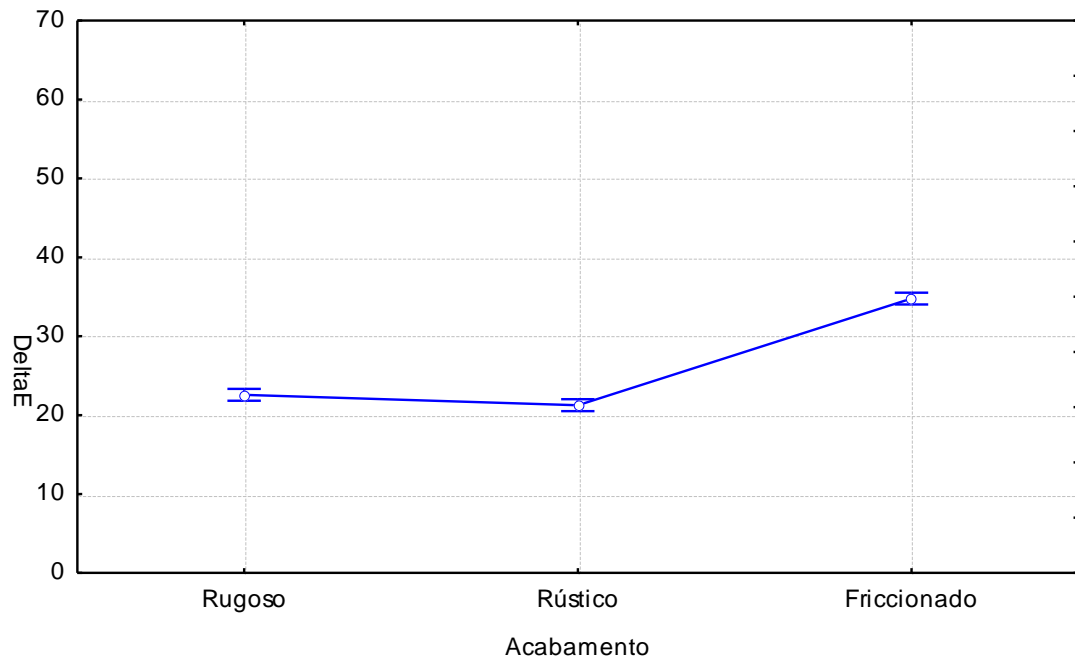
Efeito	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Média Quadrada	Teste F	Probabilidade	Influência S.
Interseção	370332,3	1	370332,3	14071,39	0,000000	S
Acabamento (A)	20109,2	2	10054,6	382,04	0,000000	S
Inclinação (B)	2133,9	1	2133,9	81,08	0,000000	S
Adição ©	1127,9	2	564,0	21,43	0,000000	S
Manchamento (D)	67003,9	2	33501,9	1272,96	0,000000	S
Acabamento*Inclinação (AB)	27,3	2	13,7	0,52	0,595587	N
Acabamento*Adição (AC)	54801,9	4	13700,5	520,57	0,000000	S
Inclinação *Adição (BC)	76,9	2	38,5	1,46	0,232938	N
Acabamento*Manchamento (AD)	293,8	4	73,4	2,79	0,025920	S
Inclinação*Manchamento (BD)	1461,4	2	730,7	27,76	0,000000	S
Adição *Manchamento (CD)	14900,2	4	3725,0	141,54	0,000000	S
Acabamento*Inclinação*Adição (ABC)	18,9	4	4,7	0,18	0,949074	N
Acabamento*Inclinação*Manchamento (ABD)	243,2	4	60,8	2,31	0,056914	N
Acabamento*Adição*Manchamento (ACD)	3505,7	8	438,2	16,65	0,000000	S
Inclinação*Adição*Manchamento (BCD)	735,5	4	183,9	6,99	0,000018	S
Acabamento*Inclinação*Adição*Manchamento (ABCD)	471,1	8	58,9	2,24	0,023691	S
Erro	12790,6	486	26,3			

Fonte: elaborada pela autora.

Os efeitos isolados das variáveis que tiveram significância estão apresentados nas figuras 56 a 61. Cabe-se ressaltar que, para todos os gráficos apresentados nesta seção e na próxima, os valores médios de medição de cor no eixo y verificaram o valor de  $\Delta E > 5$ , indicando que houve diferença significativa na mudança de cor para todos os casos apresentados

(MOKRZYCKI; TATOL, 2011). Nota-se, pela Figura 56, uma significativa diferença no comportamento de autolimpeza entre os diferentes acabamentos superficiais: o acabamento friccionado apresenta um valor mais elevado quando comparado aos outros dois. Isso pode ser explicado provavelmente pelo fato de que esse acabamento, embora tenha reentrâncias, apresenta algumas partes mais lisas – o que pode facilitar o processo de carregamento de impurezas. Os acabamentos A1 (rugoso) e A2 (rústico) são totalmente rugosos, não apresentando trechos lisos e provavelmente tendo maior facilidade de conter a sujeira dentro de suas pequenas concavidades.

Figura 56 – ANOVA, efeito isolado do acabamento superficial em  $\Delta E$ , análise geral



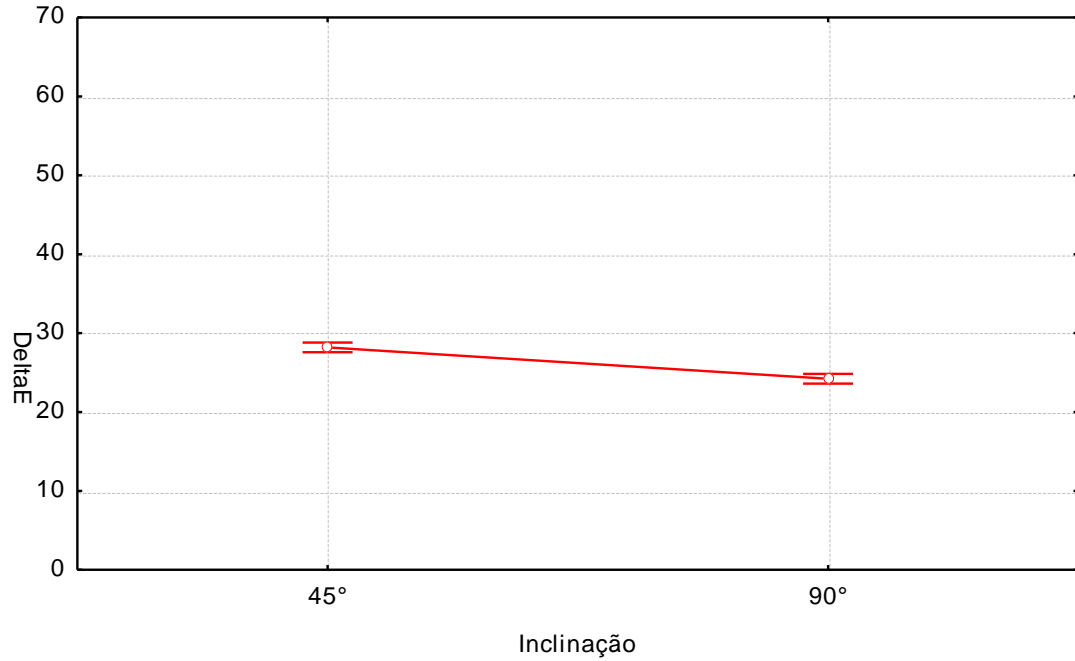
Fonte: elaborado pela autora.

Ao se analisar as Figuras 57 e 58, que apresentam os efeitos isolados da inclinação e do teor de adição de  $\text{TiO}_2$ , nota-se que todos os valores estão muito próximos, com variações em um intervalo menor que  $\Delta E=10$ . Quando feita a comparação de médias desses valores para esse caso, que é geral, nota-se que muitas observações podem ser consideradas iguais, estaticamente.

Esse é um dos motivos pelos quais a análise mais aprofundada, que realmente pôde mostrar o comportamento dos fatores na variação de cor e que compara os resultados com os reportados na bibliografia teve de ser feita sem o manchamento oriundo da Rodamina B (Item 5.4.2). A Figura 59 evidencia claramente essa grande disparidade dos valores encontrados para o  $\Delta E$  com esse tipo de manchamento. O comportamento de elevada limpeza desse manchamento, que pôde também ser constatado visualmente, “encobre” o comportamento das

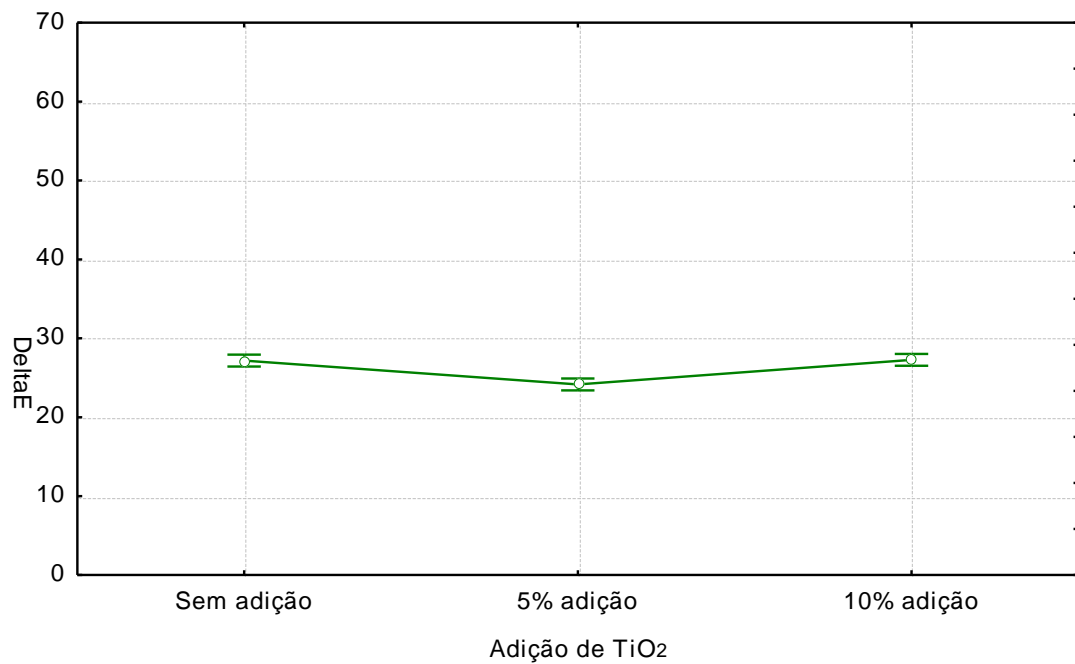
outras variáveis, não podendo ver claramente as suas influências, Assim, essa análise sem o agente manchador será apresentada na próxima seção com o objetivo de analisar com mais clareza os dados obtidos.

Figura 57 – ANOVA, efeito isolado da inclinação em  $\Delta E$ , análise geral

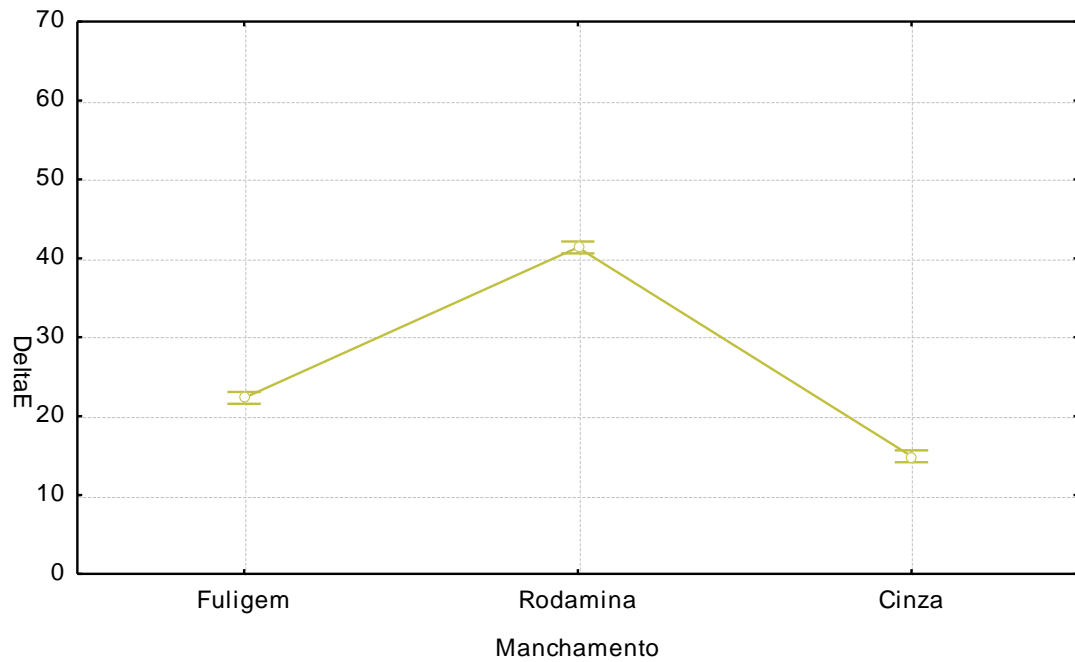


Fonte: elaborado pela autora.

Figura 58 – ANOVA, efeito isolado da adição em  $\Delta E$ , análise geral

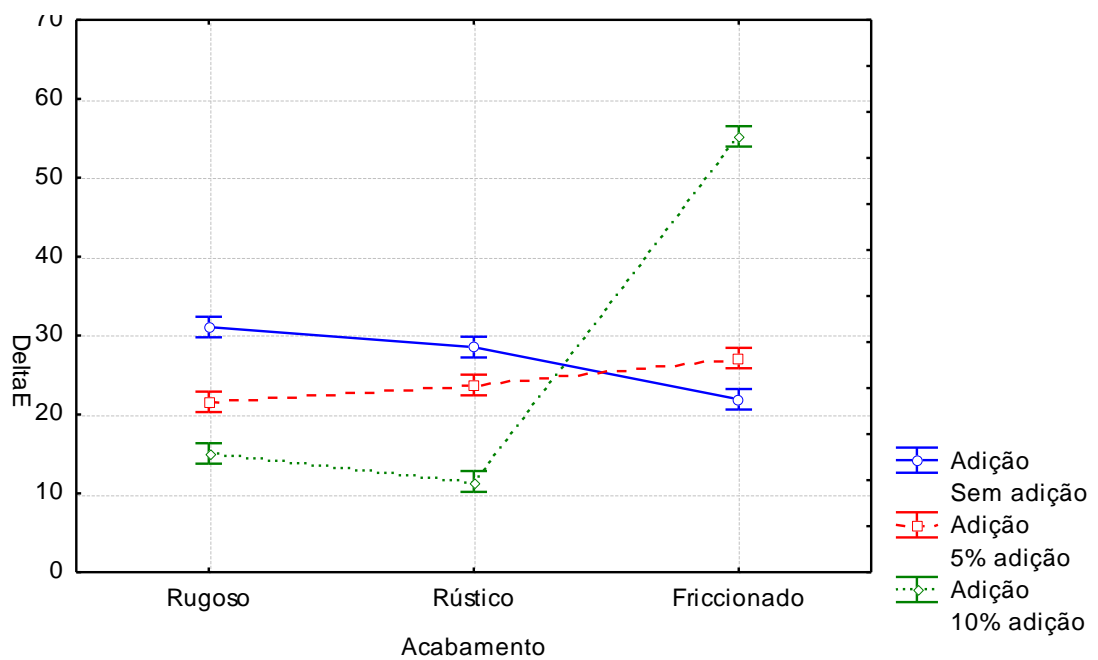


Fonte: elaborado pela autora.

Figura 59 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em  $\Delta E$ , análise geral

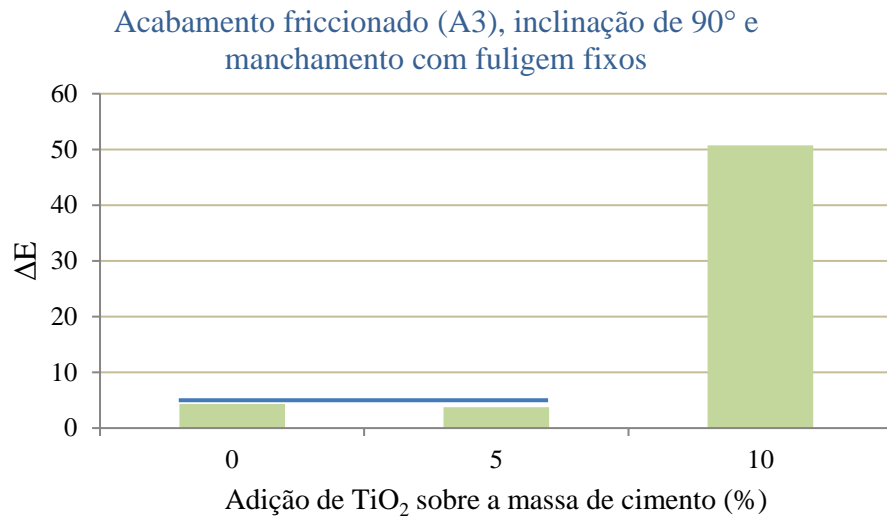
Fonte: elaborado pela autora.

Partindo-se para a observação das interações, se constata, pela Figura 60, a significância da eficiência do acabamento friccionado- como mencionado anteriormente – porém, sendo mais efetivo na adição de 10% do fotocatalisador. Esse fato pode ser comprovado pela comparação de médias, fixando-se a variável de acabamento (Figura 61).

Figura 60 – ANOVA, efeito da interação entre acabamento e adição em  $\Delta E$ , análise geral

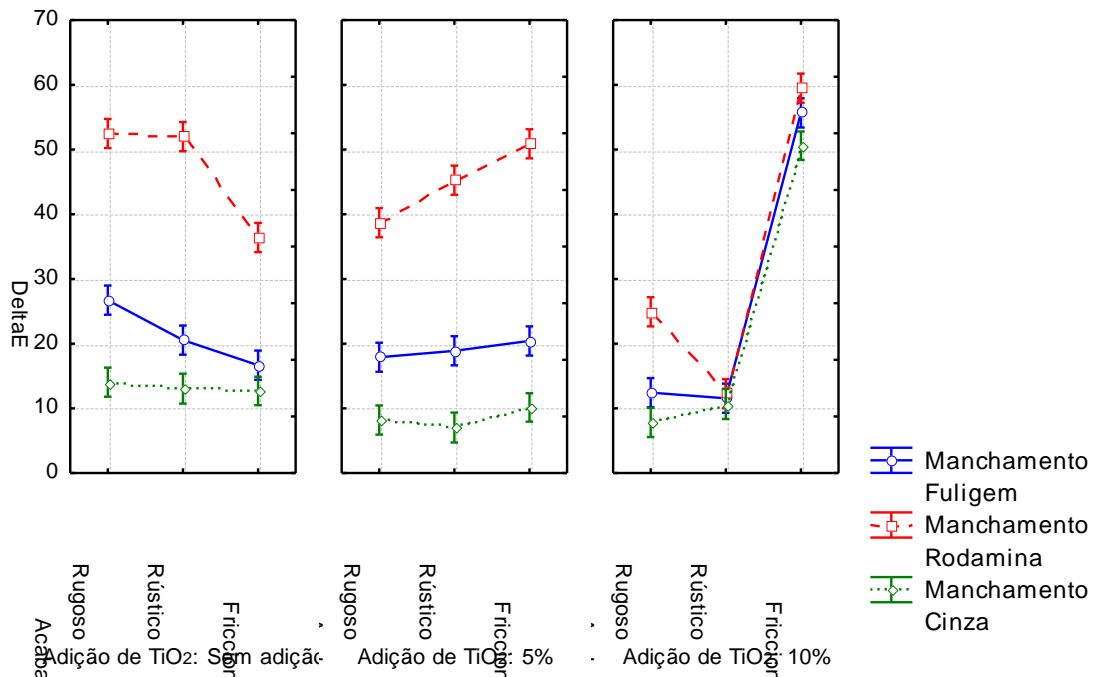
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 61 – Comparação de médias para a variável C (adição), análise geral



Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 61 mostra que adições de 0 e 5% podem ser consideradas iguais quando se isola esse fator, para o acabamento A3 – evidenciando a forte ação da adição de 10% de TiO<sub>2</sub>. Quando se analisa a interação entre os fatores acabamento, adição e manchamento (Figura 62), pode-se observar que o único momento em que os outros manchamentos conseguem alcançar níveis tão elevados de  $\Delta E$  quanto a Rodamina B, é no caso da adição de 10% de TiO<sub>2</sub> no acabamento friccionado, ressaltando o que foi levantado anteriormente.

Figura 62 – ANOVA, efeito da interação entre acabamento, adição e manchamento em  $\Delta E$ , análise geral

Fonte: elaborado pela autora.

### 5.4.2 Análise sem o manchamento de Rodamina B

A compilação com a análise de variância para a variação de cor ( $\Delta E$ ), para todos os dados, com exceção do manchamento com Rodamina B está apresentado na Tabela 20. É possível verificar que todos os fatores controláveis propostos aqui exerceram influência significativa sobre esta variável de resposta, o que confirma a significância dos fatores escolhidos, e também que todos os valores médios obtidos apresentaram  $\Delta E > 5$ .

Tabela 20– Análise de variância sem o manchamento Rodamina B por ANOVA, para amostras expostas ao ambiente natural

Efeito	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Média Quadrada	Teste F	Probabilidade	Influência S.
Inteseção	126310,4	1	126310,4	6500,77	0,000000	S
Acabamento (A)	15626,2	2	7813,1	402,11	0,000000	S
Inclinação (B)	2792,2	1	2792,2	143,70	0,000000	S
Adição de TiO <sub>2</sub> ©	8139,8	2	4069,9	209,46	0,000000	S
Manchamento (D)	4624,9	1	4624,9	238,03	0,000000	S
Acabamento*Inclinação (AB)	111,0	2	55,5	2,86	0,058997	N
Acabamento*Adição (AC)	35242,7	4	8810,7	453,46	0,000000	S
Inclinação *Adição (BC)	479,2	2	239,6	12,33	0,000007	S
Acabamento*Manchamento (AD)	164,1	2	82,1	4,22	0,015471	S
Inclinação*Manchamento (BD)	673,7	1	673,7	34,68	0,000000	S
Adição *Manchamento (CD)	945,4	2	472,7	24,33	0,000000	S
Acabamento*Inclinação*Adição (ABC)	172,8	4	43,2	2,22	0,066238	N
Acabamento*Inclinação*Manchamento (ABD)	109,3	2	54,7	2,81	0,061470	N
Acabamento*Adição*Manchamento (ACD)	336,5	4	84,1	4,33	0,002001	S
Inclinação*Adição*Manchamento (BCD)	209,4	2	104,7	5,39	0,004990	S
Acabamento*Inclinação*Adição*Manchamento (ABCD)	63,6	4	15,9	0,82	0,513847	N
Erro	6295,3	324	19,4			

Fonte: elaborada pela autora.

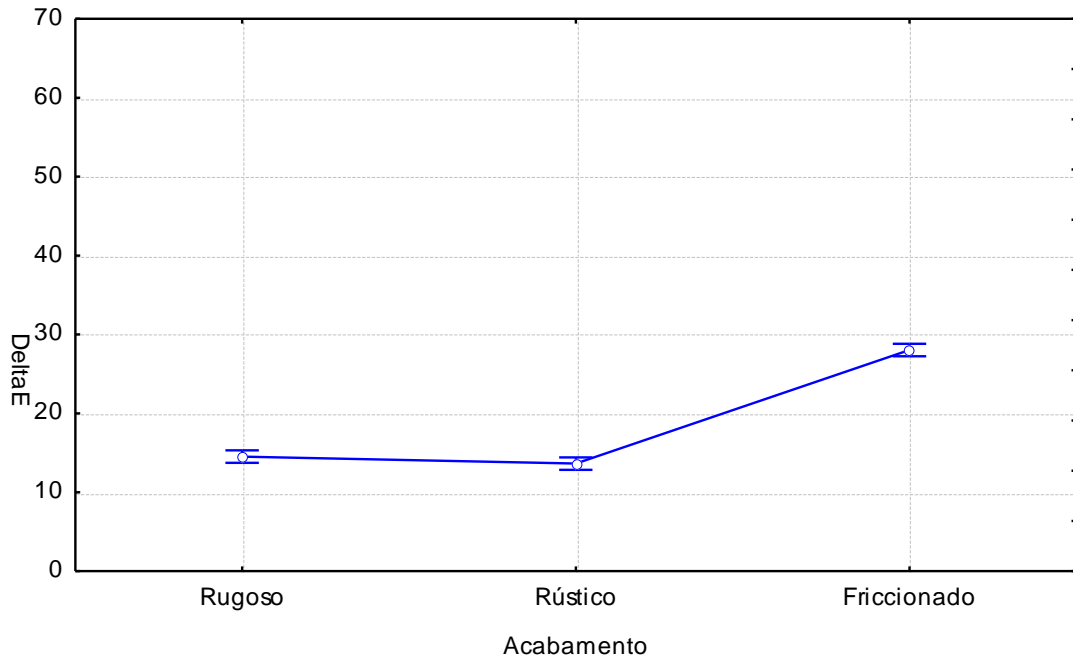
Em relação às interações entre os fatores, pode-se observar que a interação entre os fatores inclinação-acabamento, inclinação-acabamento-adição, inclinação-acabamento-manchamento, e entre os quatro fatores, não foram considerados significativos. Esse fato também confirma a fraca influência da inclinação nesses fatores.

Os efeitos isolados das variáveis sem combinações, que tiveram significância, estão apresentados nas figuras a seguir. Nota-se novamente, pela Figura 63, uma significativa diferença no comportamento de autolimpeza entre os diferentes acabamentos superficiais: o acabamento friccionado apresenta um valor mais elevado quando comparado aos outros dois – indicando a melhor eficiência na autolimpeza através desse acabamento. Isso pode ser verificado pela comparação de médias, por exemplo a apresentada na Figura 64 para a inclinação de 45°, adição de 5% de TiO<sub>2</sub> e manchamento com fuligem – mostrando que os acabamentos A1 e A2, mais rugosos, se comportam de forma idêntica entre si, diferentemente do acabamento A3. No entanto, na comparação de médias da variável acabamento, fixando-se



as variáveis inclinação, adição e manchamento, os casos em que os acabamentos A1 (rugoso) e A2 (rústico) foram considerados iguais foram apenas 3 (Tabela 21). Da mesma forma, os acabamentos A2 e A3 (friccionado) foram estatisticamente iguais em 2 combinações. Assim, pode-se verificar que os três tipos de acabamentos tiveram efeitos diferentes entre si em todas as combinações, mesmo que as médias dos acabamentos A1 e A2 estejam próximas na Figura 63.

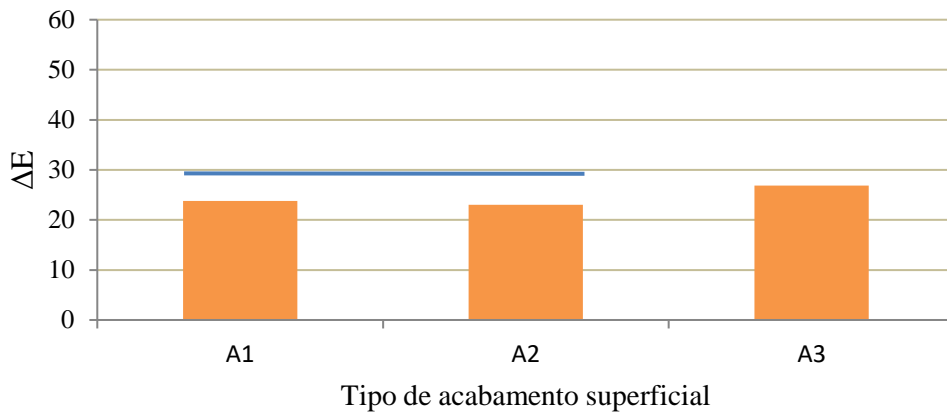
Figura 63 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em  $\Delta E$ ; análise sem Rodamina B



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 64 – Comparação de médias para a variável A (acabamento); análise sem Rodamina B

Inclinação de 45°, adição de 5% de  $TiO_2$  e manchamento com fuligem fixos



Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 21 – Resultados da comparação de médias para o acabamento, fixando-se as variáveis de inclinação, adição e manchamento; análise das amostras expostas ao ambiente sem Rodamina B

Comparando médias de A fixando B, C e D				
LD=1,272, n=120, s <sub>x</sub> =0,4024				
Combinação de fatores	Média de Delta E	Comparação de médias		Estaticamente iguais ou diferentes:
A1B1C1D1	19,5980	A1-A2	2,5154	Diferentes
A2B1C1D1	17,0826	A2-A3	6,3741	Diferentes
A3B1C1D1	10,7085	A1-A3	8,8895	Diferentes
A1B2C1D1	33,8414	A1-A2	9,8098	Diferentes
A2B2C1D1	24,0315	A2-A3	1,3999	Diferentes
A3B2C1D1	22,6317	A1-A3	11,2097	Diferentes
A1B1C2D1	12,0282	A1-A2	2,7722	Diferentes
A2B1C2D1	14,8004	A2-A3	0,8305	Iguais
A3B1C2D1	13,9699	A1-A3	1,9417	Diferentes
A1B2C2D1	23,7770	A1-A2	0,7831	Iguais
A2B2C2D1	22,9938	A2-A3	3,8872	Diferentes
A3B2C2D1	26,8810	A1-A3	3,1041	Diferentes
A1B1C3D1	9,7538	A1-A2	1,4414	Diferentes
A2B1C3D1	11,1951	A2-A3	43,1314	Diferentes
A3B1C3D1	54,3265	A1-A3	44,5727	Diferentes
A1B2C3D1	15,1163	A1-A2	3,1849	Diferentes
A2B2C3D1	11,9314	A2-A3	45,0819	Diferentes
A3B2C3D1	57,0133	A1-A3	41,8970	Diferentes
A1B1C1D2	12,1847	A1-A2	0,6485	Iguais
A2B1C1D2	11,5362	A2-A3	1,5177	Diferentes
A3B1C1D2	10,0185	A1-A3	2,1662	Diferentes
A1B2C1D2	15,9109	A1-A2	1,5905	Diferentes
A2B2C1D2	14,3204	A2-A3	1,1065	Iguais
A3B2C1D2	15,4269	A1-A3	0,4840	Iguais
A1B1C2D2	6,9422	A1-A2	0,6866	Iguais
A2B1C2D2	6,2555	A2-A3	1,7626	Diferentes
A3B1C2D2	8,0182	A1-A3	1,0760	Iguais
A1B2C2D2	9,4537	A1-A2	1,9660	Diferentes
A2B2C2D2	7,4877	A2-A3	5,1979	Diferentes
A3B2C2D2	12,6856	A1-A3	3,2320	Diferentes
A1B1C3D2	6,2381	A1-A2	2,4015	Diferentes
A2B1C3D2	8,6396	A2-A3	45,0984	Diferentes
A3B1C3D2	53,7379	A1-A3	47,4998	Diferentes
A1B2C3D2	9,4105	A1-A2	3,9716	Diferentes
A2B2C3D2	13,3822	A2-A3	37,6157	Diferentes
A3B2C3D2	50,9979	A1-A3	41,5873	Diferentes

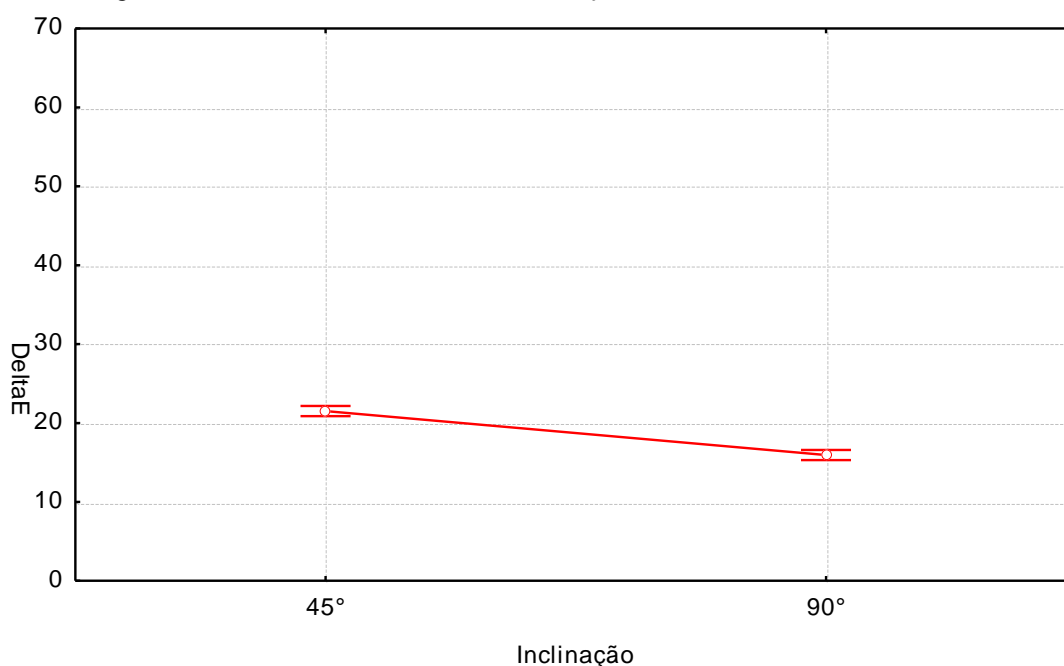
A1=rugoso; A2=rústico; A3=friccionado; B1=90°; B2=45°; C1=0%, C2=5%, C3=10%; D1=fuligem; D2=Cinza

Fonte: elaborada pela autora.

O trabalho de Diamanti *et al.* (2015), que comparou argamassas fotocatalíticas em um acabamento liso e outro de baixa rugosidade submetidas ao ambiente natural e expostas verticalmente, mostrou que, ao final de 700 dias de exposição, o acabamento mais liso apresentou valores superiores de luminosidade do que o outro acabamento. Os resultados aqui encontrados mostram um comportamento semelhante, no qual as argamassas com trechos mais lisos na superfície (acabamento friccionado) apresentaram maior eficiência na autolimpeza, quando comparadas às argamassas mais rugosas (acabamentos rugoso e rústico). Werle (2015) também indica que uma superfície totalmente lisa em revestimentos frios pode melhorar a limpeza da superfície.

A Figura 65 mostra uma eficiência melhor na autolimpeza nas placas inclinadas a 45°, o que é esperado, pois há maior incidência solar nas superfícies dessas placas. Aliado a isso, o escorregamento dos particulados de sujeira pela ação da água da chuva é facilitado pela inclinação. Dessa forma, quanto à variável inclinação, os resultados se apresentam conforme o esperado para esse fator, quando analisado isoladamente – o que é comprovado pela comparação múltipla de médias do fator inclinação (B), fixando-se as variáveis acabamento (A), adição (C) e manchamento (D), conforme a Tabela 22. Nessa tabela percebe-se que em somente um dos 18 casos envolvendo a comparação múltipla de médias as variáveis B1=90° e B2=45° foram consideradas estatisticamente iguais. Esse fato mostra a importância da variável inclinação na autolimpeza das superfícies.

Figura 65 – ANOVA, efeito isolado da inclinação em  $\Delta E$ ; análise sem Rodamina B



Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 22 – Resultados da comparação de médias para a inclinação, fixando-se as variáveis de acabamento, adição e manchamento; análise das amostras expostas ao ambiente sem Rodamina B

Comparando médias de B fixando A, C e D LD=0,9856, n=180, sx=0,3285				
Combinação de fatores	Média de Delta E	Comparação de médias		Estaticamente iguais ou diferentes:
B1A1C1D1	19,5980	B1-B2	14,2433	Diferentes
B2A1C1D1	33,8414			
B1A2C1D1	17,0826	B1-B2	6,9489	Diferentes
B2A2C1D1	24,0315			
B1A3C1D1	10,7085	B1-B2	11,9231	Diferentes
B2A3C1D1	22,6317			
B1A1C2D1	12,0282	B1-B2	11,7488	Diferentes
B2A1C2D1	23,7770			
B1A2C2D1	14,8004	B1-B2	8,1934	Diferentes
B2A2C2D1	22,9938			
B1A3C2D1	13,9699	B1-B2	12,9111	Diferentes
B2A3C2D1	26,8810			
B1A1C3D1	9,7538	B1-B2	5,3625	Diferentes
B2A1C3D1	15,1163			
B1A2C3D1	11,1951	B1-B2	0,7362	Iguais
B2A2C3D1	11,9314			
B1A3C3D1	54,3265	B1-B2	2,6868	Diferentes
B2A3C3D1	57,0133			
B1A1C1D2	12,1847	B1-B2	3,7262	Diferentes
B2A1C1D2	15,9109			
B1A2C1D2	11,5362	B1-B2	2,7842	Diferentes
B2A2C1D2	14,3204			
B1A3C1D2	10,0185	B1-B2	5,4084	Diferentes
B2A3C1D2	15,4269			
B1A1C2D2	6,9422	B1-B2	2,5115	Diferentes
B2A1C2D2	9,4537			
B1A2C2D2	6,2555	B1-B2	1,2321	Diferentes
B2A2C2D2	7,4877			
B1A3C2D2	8,0182	B1-B2	4,6675	Diferentes
B2A3C2D2	12,6856			
B1A1C3D2	6,2381	B1-B2	3,1725	Diferentes
B2A1C3D2	9,4105			
B1A2C3D2	8,6396	B1-B2	4,7426	Diferentes
B2A2C3D2	13,3822			
B1A3C3D2	53,7379	B1-B2	2,7400	Diferentes
B2A3C3D2	50,9979			

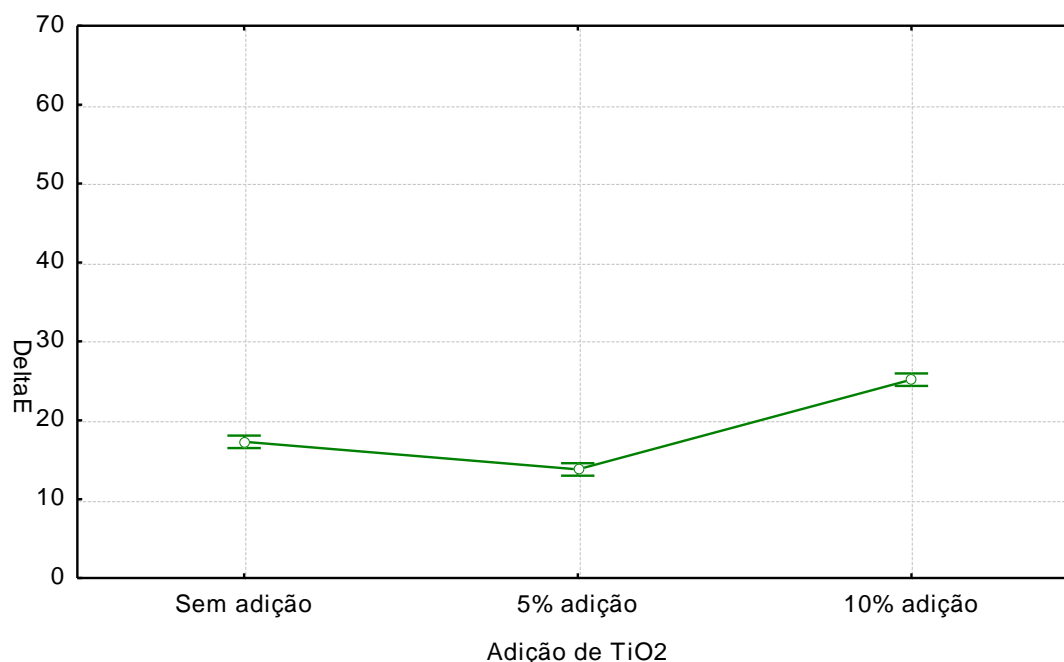
A1=rugoso; A2=rústico; A3=friccionado; B1=90°; B2=45°; C1=0%, C2=5%, C3=10%; D1=Fuligem; D2=Cinza

Fonte: elaborada pela autora.

O fato de a inclinação de 45° apresentar melhores resultados está de acordo com diversos outros trabalhos, como o de Treviso (2016), que verificou que as amostras de argamassas com adição de TiO<sub>2</sub> expostas a 90° necessitam de um tempo maior para atingirem valores de variação de cor semelhantes aos apresentados pelas amostras a 45°. Maranhão (2009) também ressalta que materiais com propriedades fotocatalíticas são ideais para serem usados em locais com elevada inclinação, como os telhados de edifícios, visto que o arraste das partículas – parte integrante do mecanismo de autolimpeza – é facilitado pela inclinação.

Além disso, o trabalho de Diamanti *et al.* (2015), que também expôs as argamassas nas posições vertical, horizontal e inclinada a 45°, relatou que as amostras expostas horizontalmente apresentaram manchamentos provenientes do ambiente urbano muito grandes, e que a medida de autolimpeza dos mesmos foi reduzida em comparação com as outras amostras. De qualquer forma, as medições de variação de cor nas amostras expostas verticalmente neste trabalho também apresentaram eficiência, visto que, para todos os casos,  $\Delta E$  foi maior 5. Assim, pode-se dizer que há eficiência da ação autolimpantes para argamassas expostas verticalmente, e as mesmas podem ser replicadas em revestimentos externos de edificações. Somando-se a isso, as fachadas das edificações sofrem constantemente a ação da chuva dirigida, que é a chuva conduzida pelo vento de maneira a incidir sobre as superfícies de forma inclinada (ZUCCHETTI, 2014) e que - dependendo do somatório de fatores de entorno, forma da edificação, pressão do vento e intensidade da chuva (POYASTRO, 2011) - pode gerar um grande molhamento das fachadas, facilitando o mecanismo de fotocatalise.

Continuando a análise, a Figura 66 mostra que o comportamento geral de variação de cor nas placas sem adição de TiO<sub>2</sub> é um pouco mais elevado que o das placas com adição de 5% de TiO<sub>2</sub> – resultado que não era esperado, visto que entende-se que quanto maior a porcentagem de adição do fotocatalisador, maior a ação de autolimpeza das superfícies. No entanto, quando se faz a comparação de médias desses fatores, para o fator C (adição), nota-se que apenas um dos resultados indica que o comportamento das placas sem adição é estaticamente igual ao das placas com adição de 5% (Tabela 23). Uma análise mais aprofundada sobre a influência das adições do fotocatalisador nas argamassas é feita quando se compara esse efeito com outros, com análises de variância sobre a combinação de diversos fatores.

Figura 66 – ANOVA, efeito isolado da adição em  $\Delta E$ ; análise sem Rodamina B

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 23 – Resultados da comparação de médias para a adição, fixando-se as variáveis de acabamento, inclinação e manchamento; análise das amostras expostas ao ambiente sem Rodamina B

Comparando médias de C fixando A, B e D LD=1,2072, n=120, sx=0,4024									
Combinação de fatores	Média de Delta E	Comparação de médias		Estaticamente iguais ou diferentes:	Combinação de fatores	Média de Delta E	Comparação de médias		Estaticamente iguais ou diferentes:
C1A1B1D1	19,5980	C1-C2	7,5698	Diferentes	C1A1B1D2	12,1847	C1-C2	5,2425	Diferentes
C2A1B1D1	12,0282	C2-C3	2,2744	Diferentes	C2A1B1D2	6,9422	C2-C3	0,7041	Iguais
C3A1B1D1	9,7538				C3A1B1D2	6,2381			
C1A2B1D1	17,0826	C1-C2	2,2822	Diferentes	C1A2B1D2	11,5362	C1-C2	5,2807	Diferentes
C2A2B1D1	14,8004	C2-C3	3,6053	Diferentes	C2A2B1D2	6,2555	C2-C3	2,3840	Diferentes
C3A2B1D1	11,1951				C3A2B1D2	8,6396			
C1A3B1D1	10,7085	C1-C2	3,2614	Diferentes	C1A3B1D2	10,0185	C1-C2	2,0004	Diferentes
C2A3B1D1	13,9699	C2-C3	40,3566	Diferentes	C2A3B1D2	8,0182	C2-C3	45,7198	Diferentes
C3A3B1D1	54,3265				C3A3B1D2	53,7379			
C1A1B2D1	33,8414	C1-C2	10,0644	Diferentes	C1A1B2D2	15,9109	C1-C2	6,4573	Diferentes
C2A1B2D1	23,7770	C2-C3	8,6607	Diferentes	C2A1B2D2	9,4537	C2-C3	0,0431	Iguais
C3A1B2D1	15,1163				C3A1B2D2	9,4105			
C1A2B2D1	24,0315	C1-C2	1,0377	Iguais	C1A2B2D2	14,3204	C1-C2	6,8327	Diferentes
C2A2B2D1	22,9938	C2-C3	11,0624	Diferentes	C2A2B2D2	7,4877	C2-C3	5,8945	Diferentes
C3A2B2D1	11,9314				C3A2B2D2	13,3822			
C1A3B2D1	22,6317	C1-C2	4,2494	Diferentes	C1A3B2D2	15,4269	C1-C2	2,7413	Diferentes
C2A3B2D1	26,8810	C2-C3	30,1323	Diferentes	C2A3B2D2	12,6856	C2-C3	38,3123	Diferentes
C3A3B2D1	57,0133				C3A3B2D2	50,9979			

A1=rugoso; A2=rústico; A3=friccionado; B1=90°; B2=45°; C1=0%, C2=5%, C3=10%; D1=fuligem; D2=Cinza

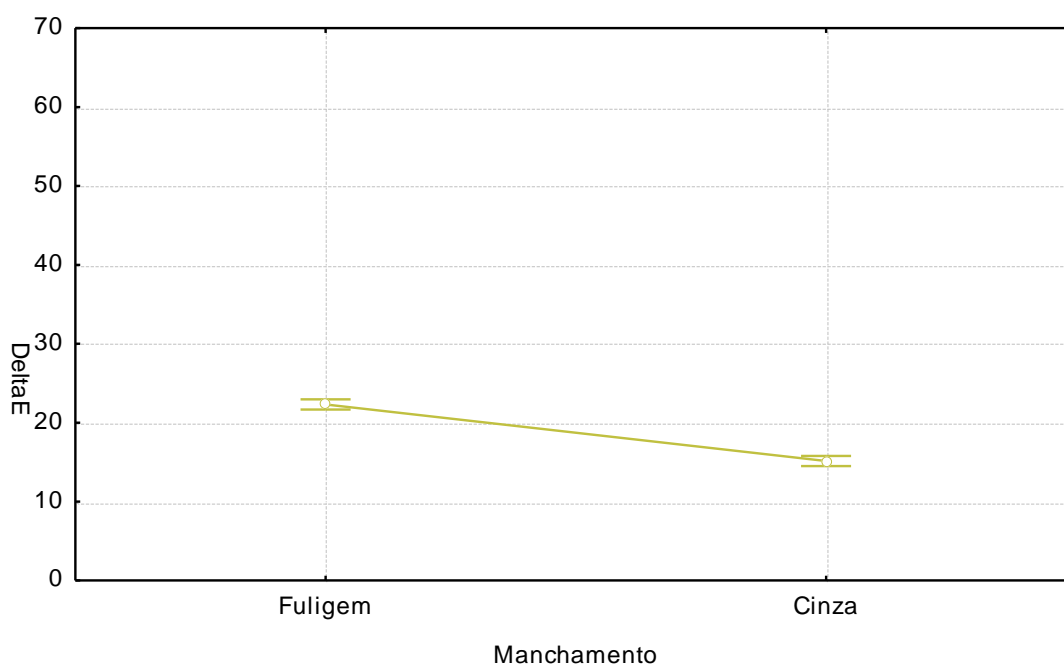
Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 67 mostra que as placas manchadas com fuligem apresentaram resultados melhores quando comparadas às placas manchadas com cinza. Esse resultado vai ao encontro

com o que foi observado visualmente no registro fotográfico e é provavelmente explicado pelas dimensões dos particulados: as partículas de fuligem se mostravam, visualmente, mais finas e leves do que os particulados de cinza. Esse fato provavelmente levou a um mais fácil desprendimento e desagregação dessa sujidade, que é oriunda dos motores de automóveis. Esse fato pode ser verificado pela comparação múltipla de médias apresentada na Tabela 24: para a maioria dos casos analisados, o manchamento com fuligem foi estatisticamente diferente do manchamento com a cinza.

Neste sentido, Rissler *et al.* (2013), que fizeram uma vasta análise sobre os parâmetros de caracterização de diferentes tipos de fuligem, indicam que as partículas de fuligem tem dimensões muito reduzidas, variando da faixa de 50 nm a 280 nm. Além disso, a mesma pesquisa indica que as massas específicas obtidas variam de 0,4 g/cm<sup>3</sup> a 1,3 g/cm<sup>3</sup>, enquanto a cinza oriunda da queima do eucalipto utilizada tem o valor de 2,47 g/cm<sup>3</sup> (VASKE, 2012) – indicando que a hipótese levantada de a fuligem ser mais facilmente desprendida pelas suas propriedades químicas e físicas pode acontecer, de fato.

Figura 67 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em  $\Delta E$ ; análise sem Rodamina B



Fonte: elaborado pela autora.

Os gráficos de efeitos de combinação dos fatores que foram significativos estão mostrados nas Figuras 68, 69, 70 e 71. A Figura 68 mostra novamente que o acabamento friccionado apresentou resultados melhores que os outros tipos de acabamentos, para as adições

de 5% e de 10% do fotocatalisador. Complementando isso, a Figura 69 ilustra que o acabamento friccionado também foi capaz de mostrar valores mais elevados de  $\Delta E$  para ambos os tipos de manchamento.

Tabela 24– Resultados da comparação de médias para o manchamento, fixando-se as variáveis de acabamento, inclinação e adição; análise das amostras expostas ao ambiente sem Rodamina B

Comparando médias de D fixando A, B e C LD=0,9856, n=180, sx=0,3285									
Combinação de fatores	Média de Delta E	Comparação de médias		Estaticamente iguais ou diferentes:	Combinação de fatores	Média de Delta E	Comparação de médias		Estaticamente iguais ou diferentes:
D1A1B1C1	19,5980	D1-D2	7,4133	Diferentes	D1A1B2C2	23,7770	D1-D2	14,3233	Diferentes
D2A1B1C1	12,1847				D2A1B2C2	9,4537			
D1A2B1C1	17,0826	D1-D2	5,5464	Diferentes	D1A2B2C2	22,9938	D1-D2	15,5061	Diferentes
D2A2B1C1	11,5362				D2A2B2C2	7,4877			
D1A3B1C1	10,7085	D1-D2	0,6900	Iguais	D1A3B2C2	26,8810	D1-D2	14,1954	Diferentes
D2A3B1C1	10,0185				D2A3B2C2	12,6856			
D1A1B2C1	33,8414	D1-D2	17,9304	Diferentes	D1A1B1C3	9,7538	D1-D2	3,5157	Diferentes
D2A1B2C1	15,9109				D2A1B1C3	6,2381			
D1A2B2C1	24,0315	D1-D2	9,7111	Diferentes	D1A2B1C3	11,1951	D1-D2	2,5556	Diferentes
D2A2B2C1	14,3204				D2A2B1C3	8,6396			
D1A3B2C1	22,6317	D1-D2	7,2047	Diferentes	D1A3B1C3	54,3265	D1-D2	0,5886	Iguais
D2A3B2C1	15,4269				D2A3B1C3	53,7379			
D1A1B1C2	12,0282	D1-D2	5,0860	Diferentes	D1A1B2C3	15,1163	D1-D2	5,7057	Diferentes
D2A1B1C2	6,9422				D2A1B2C3	9,4105			
D1A2B1C2	14,8004	D1-D2	8,5449	Diferentes	D1A2B2C3	11,9314	D1-D2	1,4508	Diferentes
D2A2B1C2	6,2555				D2A2B2C3	13,3822			
D1A3B1C2	13,9699	D1-D2	5,9518	Diferentes	D1A3B2C3	57,0133	D1-D2	6,0154	Diferentes
D2A3B1C2	8,0182				D2A3B2C3	50,9979			

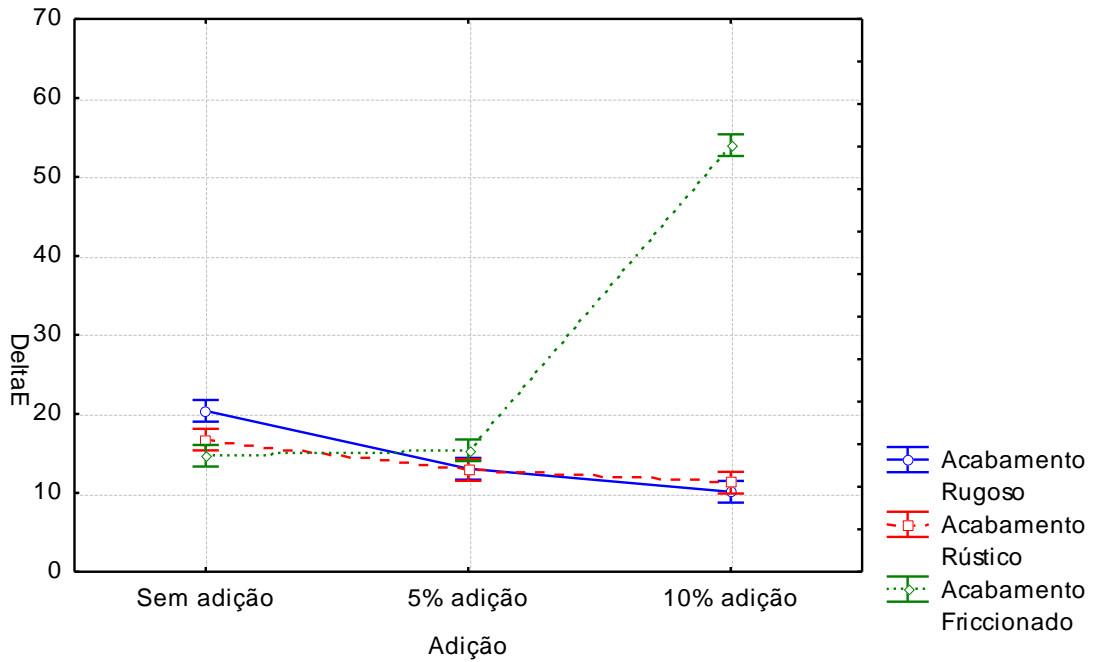
A1=rugoso; A2=rústico; A3=friccionado; B1=90°; B2=45°; C1=0%, C2=5%, C3=10%; D1=fuligem; D2=Cinza

Fonte: elaborado pela autora.

Analisando-se os efeitos da combinação dos diferentes acabamentos com as adições do fotocatalisador, se percebe que a mudança da adição de 5% para 10% de TiO<sub>2</sub> produz uma grande variação no valor de medição de cor para o acabamento friccionado. Não era esperado que as médias das placas sem adição do fotocatalisador apresentassem valores superiores aos das adições de 5% e 10%. Comparando-se com a bibliografia, Treviso (2016) também encontrou alguns casos em que a adição de 5% de TiO<sub>2</sub> foi mais eficiente que a de 10%, porém uma explicação possível para essa ocorrência pode estar no fato de que as amostras sem adição e as com 5% foram posicionadas fisicamente na parte superior das estruturas de exposição, que recebia maior tempo de radiação (sem sombreamento), e de que, possivelmente, a sujidade das placas superiores possa ter sido carregada para as inferiores.

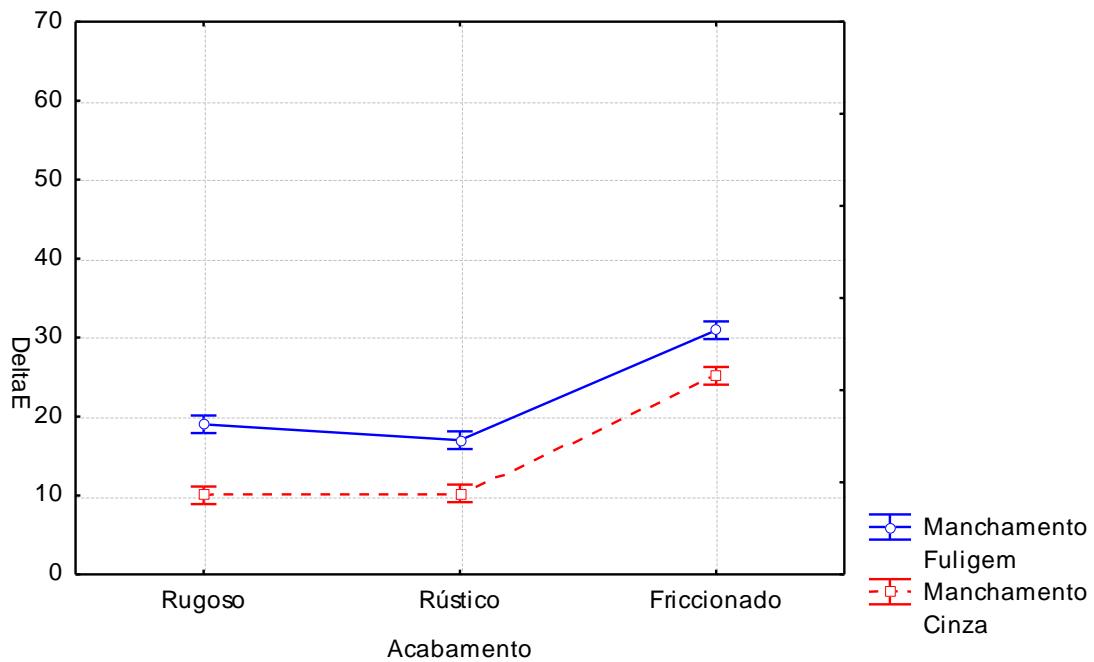


Figura 68 – ANOVA, efeito de combinação das variáveis acabamento e adição em ΔE; análise sem Rodamina B



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 69 – ANOVA, efeito de combinação das variáveis acabamento e manchamento em ΔE; análise sem Rodamina B

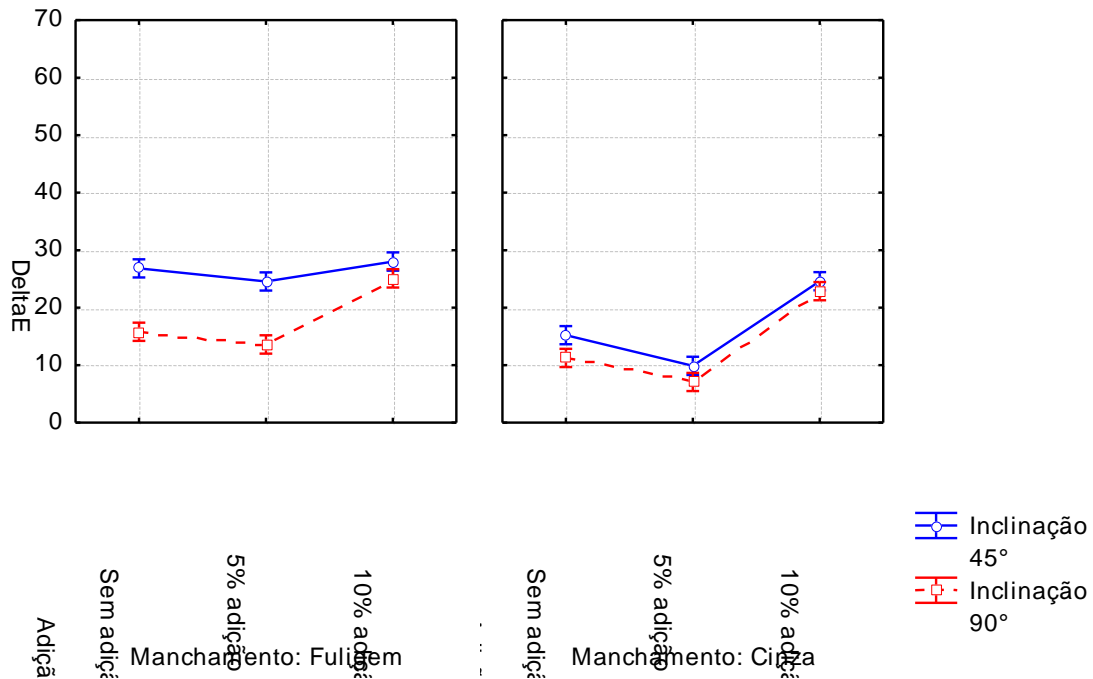


Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 69 mostra novamente o manchamento com fuligem apresentando valores mais significativos de mudança de cor, e também que o valor de diferença desse fator é praticamente constante entre o manchamento com fuligem e o com a cinza quando se observa todos os tipos de acabamentos superficiais. Para Treviso (2016), que também utilizou os manchamentos com

cinza, foi relatado que as placas manchadas com esse agente apresentaram maior eficiência quando submetidas à inclinação de 45°, e que os valores médios de  $\Delta E$  para as placas com esse manchamento foram estatisticamente iguais para as adições de 5% e de 10% de  $\text{TiO}_2$ , e superiores aos das amostras sem adição.

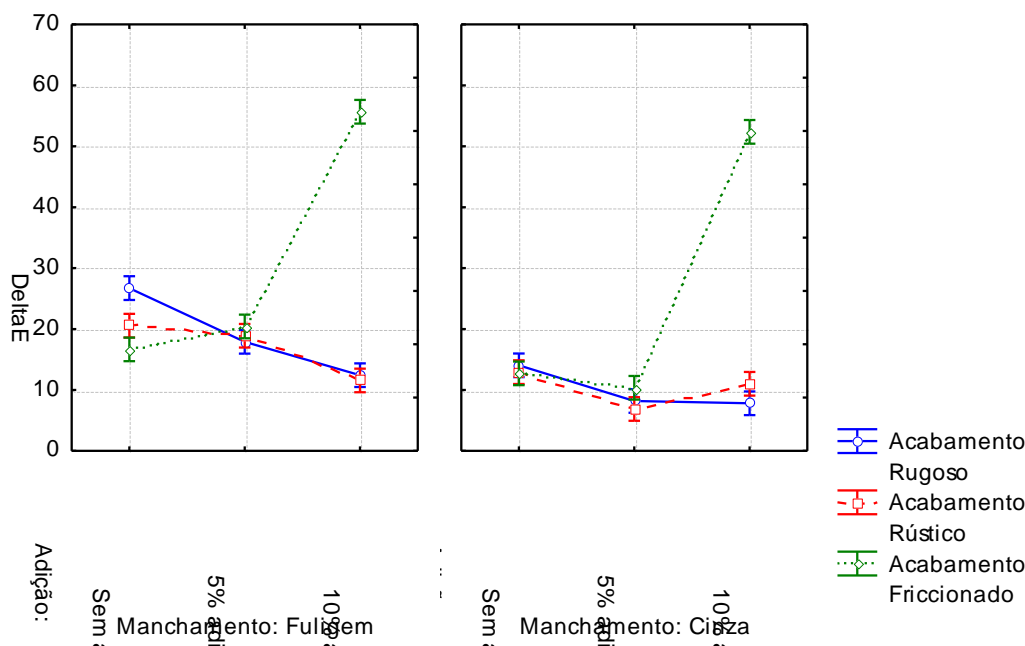
Figura 70 – ANOVA, efeito de combinação das variáveis inclinação, adição e manchamento em  $\Delta E$ ; análise sem Rodamina B



Fonte: elaborado pela autora.

Em relação as interações de três fatores, a Figura 70 mostra que, para o manchamento com cinza, os valores médios de  $\Delta E$  apresentam comportamento muito próximo entre as inclinações de 45° e 90°. Esse comportamento só é muito próximo para o manchamento com fuligem no caso da adição de 10% de  $\text{TiO}_2$ . Já a Figura 71 evidencia que o comportamento de variação de  $\Delta E$ , tanto para o manchamento com a fuligem quanto para o manchamento com a cinza é muito semelhante para os acabamentos rugosos e rústicos, e bem mais elevado para a adição de 10% do fotocatalisador no acabamento friccionado – o que demonstra a grande eficiência desse tipo de acabamento na adição de 10% de  $\text{TiO}_2$  sobre a massa de cimento das argamassas.

Figura 71 – ANOVA, efeito de combinação das variáveis acabamento, adição e manchamento em  $\Delta E$ ; análise sem Rodamina B

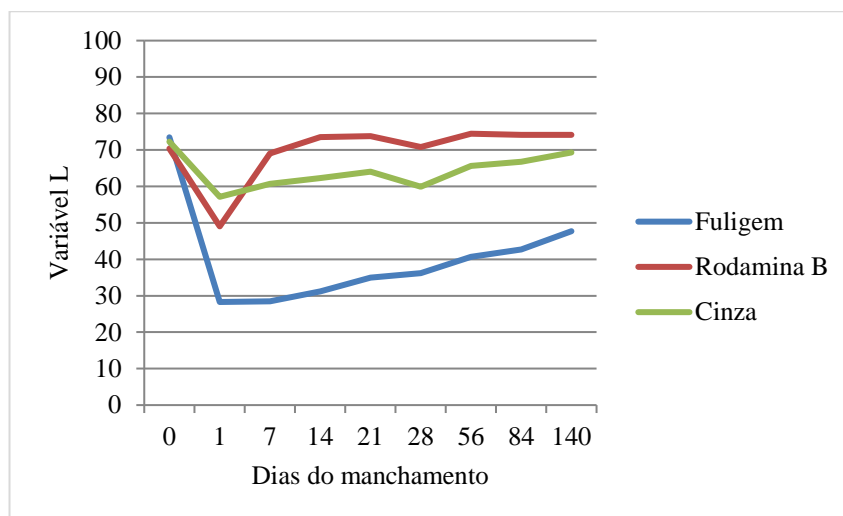


Fonte: elaborado pela autora.

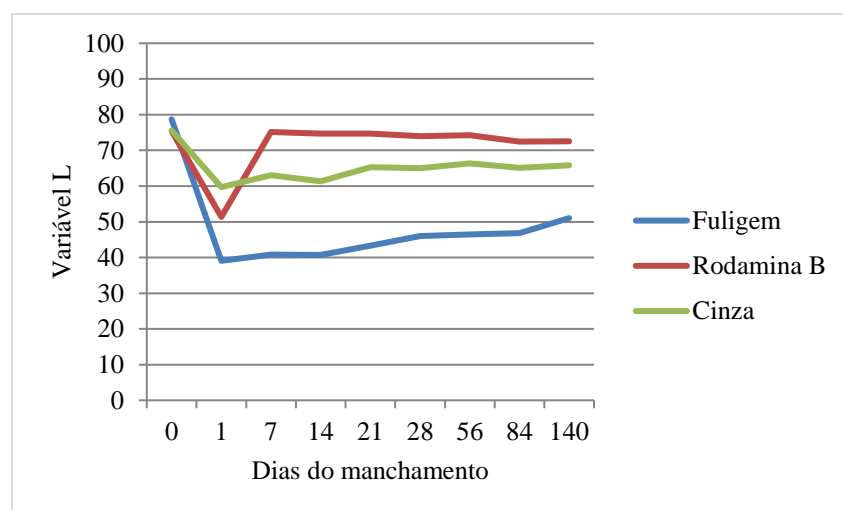
Para Mokrzycki e Tatol (2011), resultados que apresentem  $\Delta E$  superior ao valor de 5 já podem ser considerados como significativos, com uma diferença visível na cor. Dessa forma, pode-se afirmar que praticamente todas as placas que tiveram exposição ao ambiente natural, inclusive as com manchamentos de fuligem e de cinza, podem ser classificadas como tendo apresentado uma diferença visível na cor. A classificação de cada uma das amostras, assim como os valores individuais de  $\Delta E$ , estão apresentados, conforme já mencionado, no Anexo F deste trabalho.

Embora a variável L das medições não represente tão bem o comportamento de mudança de cor quanto a variável  $\Delta E$ , a mesma mostra a diferença das cores preta e branca que acontece nas placas ao longo do tempo. Para uma visualização dessa variação, foram feitos gráficos das médias da variável L para o acabamento rugoso, nas três adições e na inclinação de  $90^\circ$  ao longo do tempo (apresentados na Figura 72). Pode-se perceber claramente que o valor de L parte de um valor elevado no dia 0 (próximo ao 100, pois a placa tem a cor branca e ainda não foi manchada), decai significativamente no dia 1 (após o manchamento das placas) e ao longo do tempo, enquanto a autolimpeza vai ocorrendo, esse valor volta a se elevar. Esse comportamento é encontrado em praticamente todos os trabalhos aqui utilizados como referências, que fazem uso de argamassas fotocatalíticas.

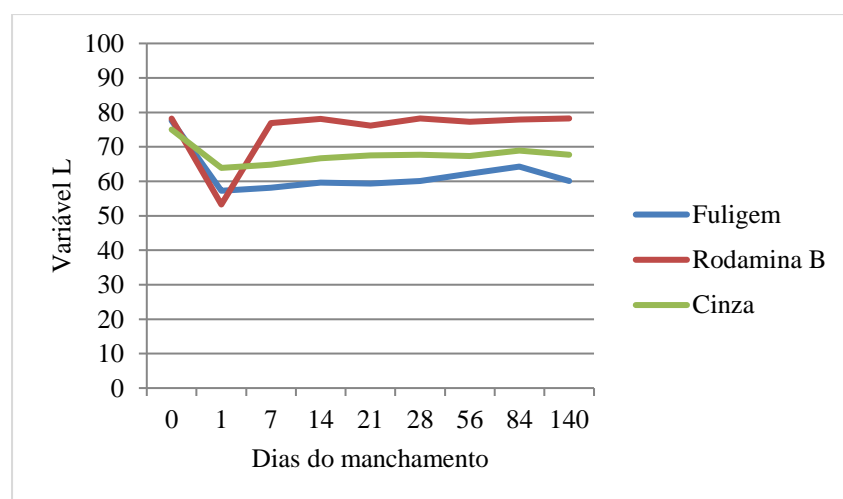
Figura 72 – Variável L ao longo do tempo, para acabamento rugoso, inclinação a 90°; placas expostas ao ambiente: (a) sem adição de TiO<sub>2</sub>; (b) 5% de adição e (c) 10% de adição



(a) sem adição de TiO<sub>2</sub>



(b) 5% de adição de TiO<sub>2</sub>



(c) 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

Fonte: elaborado pela autora.

### 5.4.3 Análise de eficiência da ação autolimpante na Câmara 1

Os resultados para as câmaras, segundo o registro fotográfico, foram ineficientes em relação à aceleração das condições de intemperismo. Dessa forma, aqui só são mostrados os resultados provenientes do resumo da análise de variância (ANOVA), evidenciando os fatores significativos e não significativos.

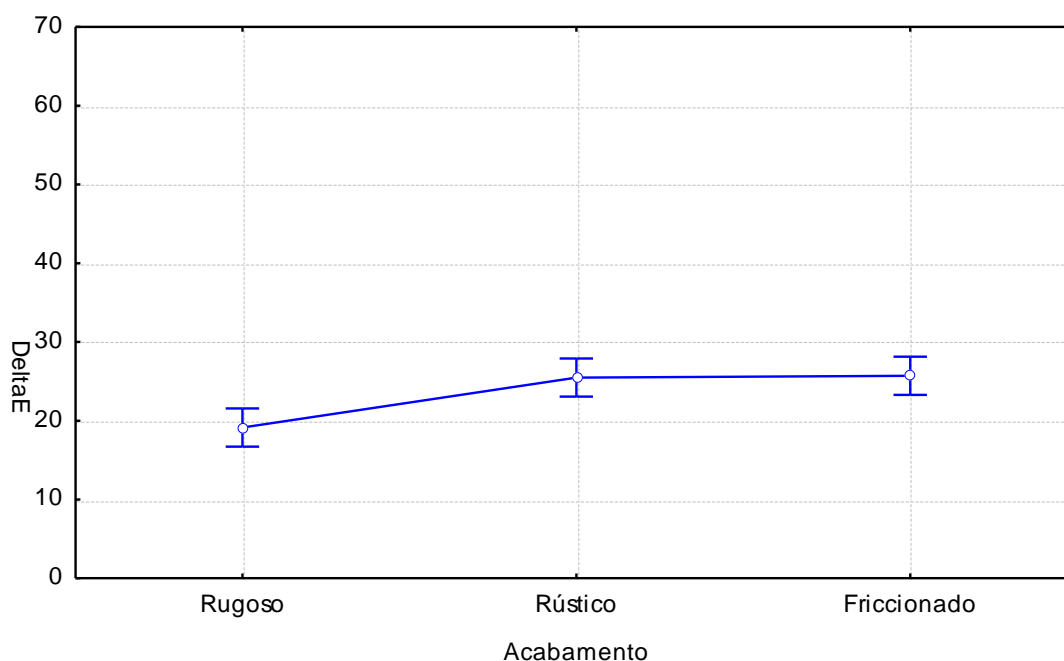
Tabela 25 – Análise de variância ANOVA, para amostras à Câmara 1

Efeito	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Média Quadrada	Teste F	Probabilidade	Influência S.
Inteseção	148400,1	1	148400,1	1087,959	0,000000	S
Acabamento (A)	2503,7	2	1251,9	9,178	0,000144	S
Adição de TiO <sub>2</sub> (B)	2893,2	2	1446,6	10,605	0,000038	S
Manchamento (C)	7118,4	2	3559,2	26,093	0,000000	S
Acabamento*Adição (AB)	3512,3	4	878,1	6,437	0,000061	S
Acabamento*Manchamento (AC)	799,3	4	199,8	1,465	0,213455	N
Adição *Manchamento (BC)	54567,1	4	13641,8	100,011	0,000000	S
Acabamento*Adição*Manchamento (ABC)	4177,2	8	522,1	3,828	0,000293	S
Erro	33145,8	243	136,4			

Fonte: elaborado pela autora.

Os gráficos que demonstram o efeito isolado das variáveis acabamento, adição e manchamento estão apresentados nas figuras 73 a 75. A seguir, são apresentados as figuras referentes à combinação dessas variáveis.

Figura 73 – ANOVA, efeito isolado do acabamento em  $\Delta E$ , análise na câmara 1



Fonte: elaborado pela autora.

Comparando-se a Figura 63 com a Figura 73, pode-se notar que há uma diferença no comportamento geral de autolimpeza para os diversos acabamentos nas amostras expostas ao ambiente e nas submetidas à Câmara 1 de intemperismo. Houve diferença significativa no acabamento do tipo 3 (friccionado) para as amostras expostas ao ambiente natural quando em comparação com os outros: a variação  $\Delta E$  praticamente dobrou para o acabamento friccionado com base nos outros dois. Já no caso da Figura 73, nota-se um comportamento diferente e muito similar entre os três tipos de acabamento, que foi verificado pela comparação múltipla de médias (Tabela 26).

Tabela 26 – Resultados da comparação de médias para o acabamento, fixando-se as variáveis de adição e manchamento

Comparando médias de A fixando B e C				
LD=3,6932, n=90, s <sub>x</sub> =1,2311				
Combinação de fatores	Média de Delta E	Comparação de médias		Estaticamente iguais ou diferentes:
A1B1C1	51,235144	A1-A2	1,143971	Iguais
A2B1C1	52,379115	A2-A3	2,8106654	Iguais
A3B1C1	55,18978	A1-A3	3,9546364	Diferentes
A1B2C1	13,314411	A1-A2	0,6414111	Iguais
A2B2C1	13,955822	A2-A3	0,6233676	Iguais
A3B2C1	13,332454	A1-A3	0,0180434	Iguais
A1B3C1	12,432998	A1-A2	4,5247879	Diferentes
A2B3C1	16,957786	A2-A3	0,5646551	Iguais
A3B3C1	17,522441	A1-A3	5,089443	Diferentes
A1B1C2	5,2049888	A1-A2	3,1850869	Iguais
A2B1C2	8,3900757	A2-A3	2,2510488	Iguais
A3B1C2	6,1390269	A1-A3	0,9340381	Iguais
A1B2C2	5,8455535	A1-A2	36,336348	Diferentes
A2B2C2	42,181901	A2-A3	0,6522591	Iguais
A3B2C2	42,834161	A1-A3	36,988607	Diferentes
A1B3C2	46,767106	A1-A2	4,7503125	Diferentes
A2B3C2	42,016794	A2-A3	0,4413076	Iguais
A3B3C2	41,575486	A1-A3	5,1916201	Diferentes
A1B1C3	4,8027611	A1-A2	0,0445987	Iguais
A2B1C3	4,7581624	A2-A3	1,852814	Iguais
A3B1C3	2,9053485	A1-A3	1,8974127	Iguais
A1B2C3	9,4410221	A1-A2	13,482524	Diferentes
A2B2C3	22,923546	A2-A3	2,585249	Iguais
A3B2C3	25,508795	A1-A3	16,067773	Diferentes
A1B3C3	23,213385	A1-A2	2,5643388	Iguais
A2B3C3	25,777724	A2-A3	0,6096192	Iguais
A3B3C3	26,387343	A1-A3	3,173958	Iguais

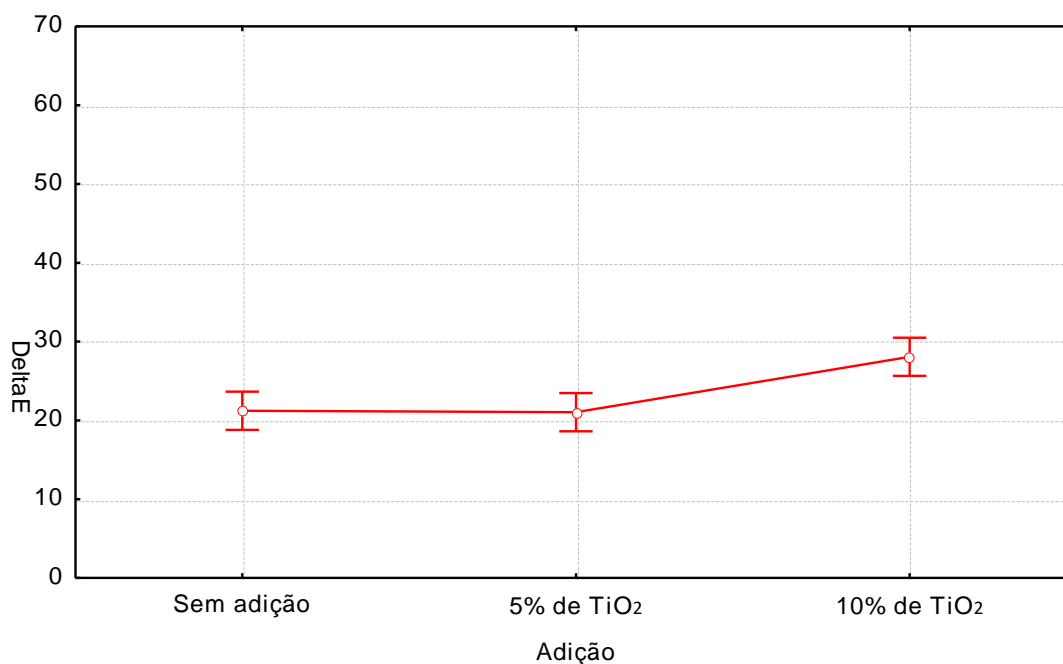
A1=rugoso; A2=rústico; A3=friccionado; B1=0%, B2=5%, B3=10%; C1=fuligem; C2=Cinza; C3=Rodamina

Fonte: elaborado pela autora.

É possível observar pela Tabela 26 que, para todos os casos da comparação múltipla de médias, a variação de  $\Delta E$  foi estaticamente igual para os acabamentos 2 (rústico) e 3 (friccionado). Isso quer dizer que, embora haja significância da variável acabamento, não se pode perceber uma diferença significativa quando se compara isoladamente os acabamentos 2 e 3 – resultado que se distingue bastante do obtido para a análise de amostras expostas ao ambiente e que pode ser explicado talvez pela falha de ativação do  $\text{TiO}_2$  pelas lâmpadas artificiais da câmara 1.

Quando é avaliado o efeito isolado da variável adição, o resultado é o exposto na Figura 74. O comportamento da adição é similar ao ocorrido nas placas expostas ao ambiente: a adição de 10% de  $\text{TiO}_2$  se mostra mais eficiente na autolimpeza, do que quando em comparação com as outras adições.

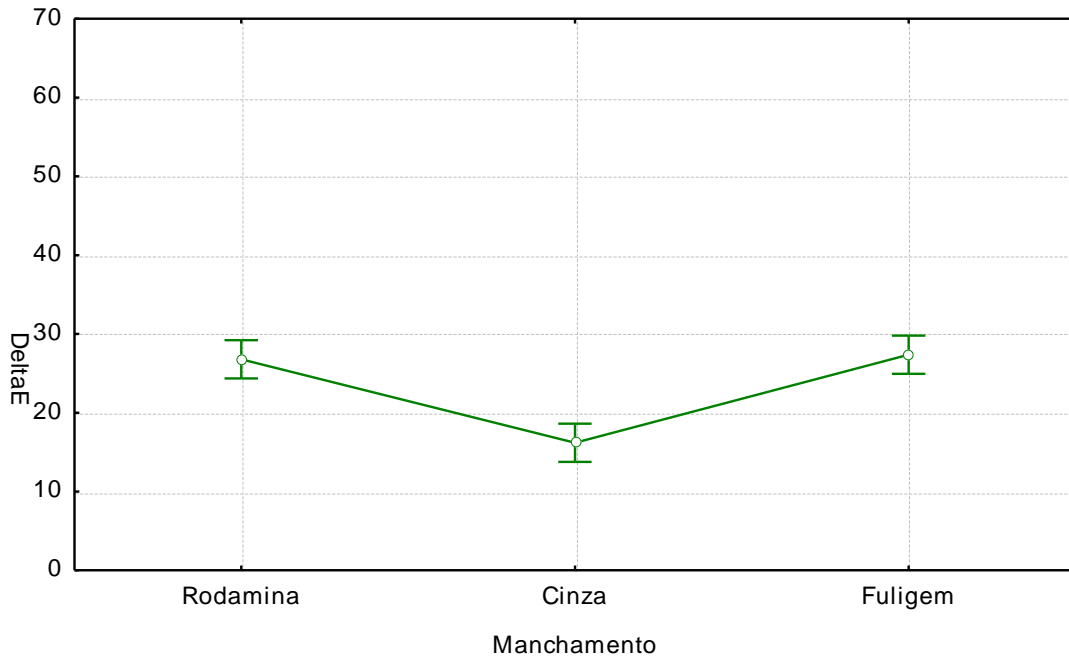
Figura 74 – ANOVA, efeito isolado da adição em  $\Delta E$ , análise na câmara 1



Fonte: elaborado pela autora.

Quanto à ação do manchamento, o gráfico que representa esse comportamento está apresentado na Figura 75, evidenciando um comportamento também bem diferente do que aconteceu nas placas expostas ao ambiente. Esse resultado, que mostra uma ação similar de autolimpeza entre os manchamentos Rodamina B e fuligem, pode provavelmente seguir o fato de que a Rodamina B se decompõe independentemente pela ação da radiação ultravioleta somente em algumas intensidades de luz – que provavelmente só foram obtidas na exposição natural (PEREZ-NICOLAS, 2018). Outros fatores possíveis podem ser a presença de  $\text{H}_2\text{O}_2$  no ar atmosférico (ALHAMED *et al.*, 2009) e o carregamento do corante com a água da chuva.

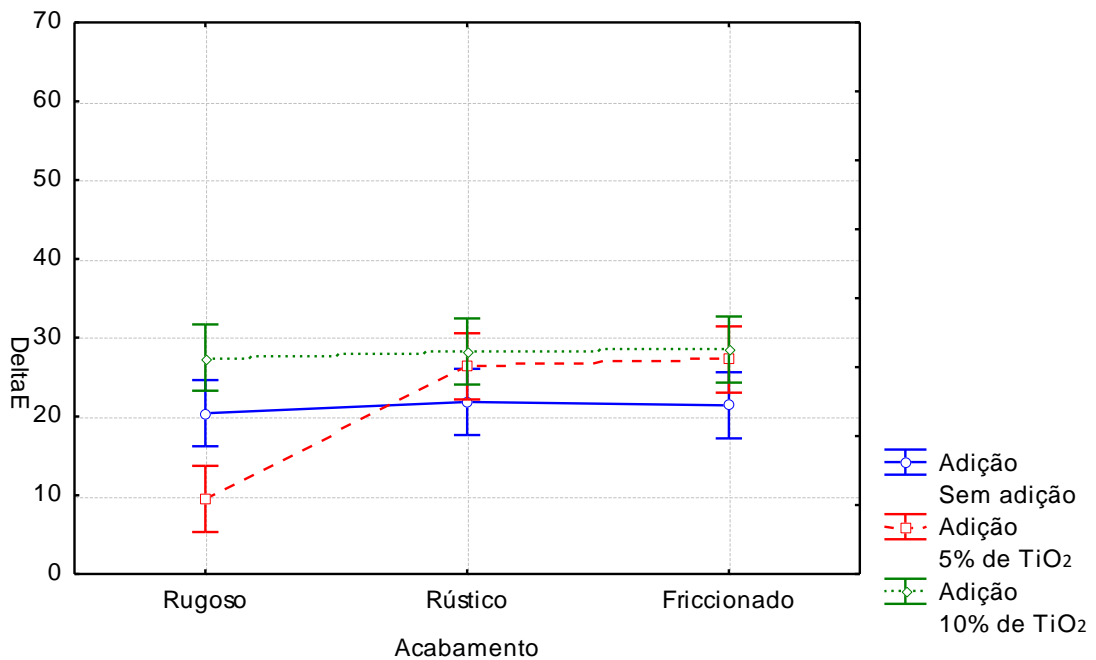
Figura 75 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em  $\Delta E$ , análise na câmara 1



Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 76 mostra o comportamento da adição de  $TiO_2$  para os diferentes acabamentos superficiais, evidenciando que a ação da adição de 10% do fotocatalisador foi mais eficiente para todos os casos. Esse comportamento já era esperado, e está de acordo com o encontrado nas medições do ambiente natural.

Figura 76 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em  $\Delta E$ , análise na câmara 1

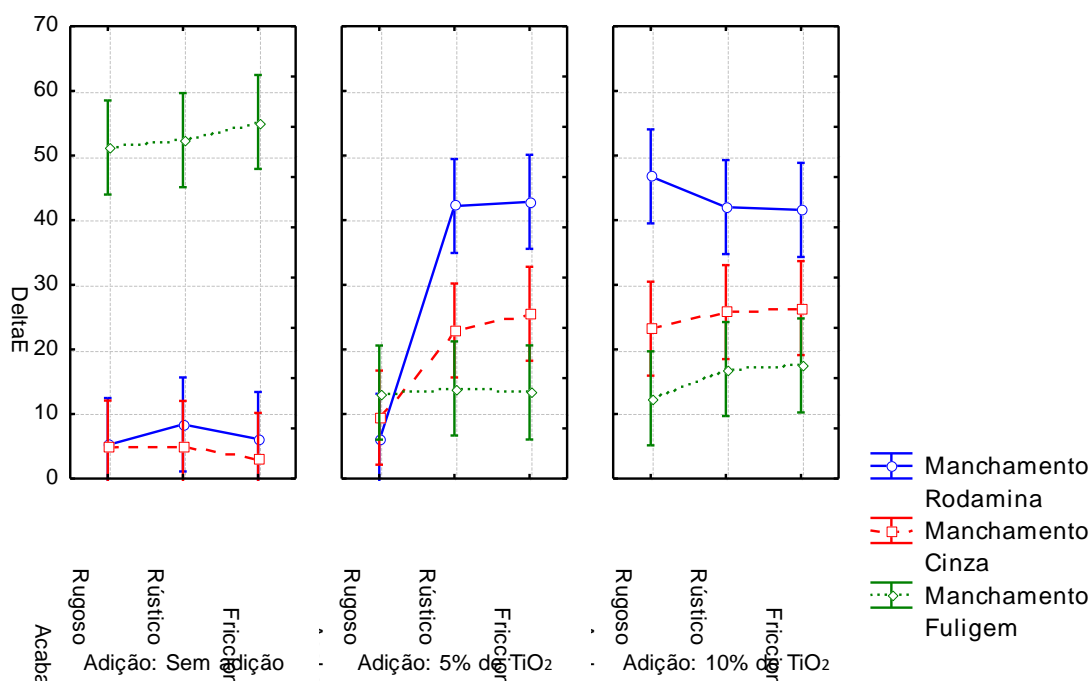


Fonte: elaborado pela autora.



Por fim, a Figura 77 evidencia o comportamento dos três fatores em conjunto: adição, acabamento e manchamento. É possível perceber que o manchamento com Rodamina B se destaca como o que sofreu maior variação de cor para as adições de 5% e 10% de  $\text{TiO}_2$ , para praticamente todos os tipos de acabamentos superficiais. Esse comportamento só não é verificado no caso das amostras sem adição do fotocatalisador.

Figura 77 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em  $\Delta E$ , análise na câmara 1



Fonte: elaborado pela autora.

Comparando-se com o trabalho de Diamanti *et al.* (2015), que também utilizou um aparato de limpeza acelerada com radiação UV artificial, observa-se que a intensidade de luz medida para o mesmo foi de  $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , enquanto as medições de intensidade feitas para a câmara 1 resultaram no valor médio de  $368 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  e de  $300 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  para a câmara 2. Segundo Pinto *et al.* (2010), a intensidade de radiação solar incidente média anual no estado do Rio Grande do Sul é de  $20000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Esse fato pode provavelmente explicar, em parte, o fato dos valores de medição de cor das câmaras terem sido inferiores aos obtidos na exposição natural das argamassas.

#### 5.4.4 Análise de eficiência da ação autolimpante na Câmara 2

Nessa seção apresenta-se o resumo dos resultados da análise de variância (ANOVA), evidenciando que os fatores considerados significativos foram a adição do TiO<sub>2</sub>, o manchamento, e a interação entre os fatores acabamento-adição, adição-manchamento e acabamento-adição-manchamento. Os resultados constam na Tabela 27.

Tabela 27 – Análise de variância ANOVA, para amostras expostas à Câmara 2

Efeito	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Média Quadrada	Teste F	Probabilidade	Influência S.
Inteseção	116310,5	1	116310,5	16224,38	0,000000	S
Acabamento (A)	12,8	2	6,4	0,89	0,411788	N
Adição de TiO <sub>2</sub> (B)	169,8	2	84,9	11,84	0,000012	S
Manchamento (C)	140340,0	2	70170,0	9788,15	0,000000	S
Acabamento*Adição (AB)	159,4	4	39,9	5,56	0,000268	S
Acabamento*Manchamento (AC)	23,2	4	5,8	0,81	0,520937	N
Adição *Manchamento (BC)	441,9	4	110,5	15,41	0,000000	S
Acabamento*Adição*Manchamento (ABC)	204,6	8	25,6	3,57	0,000625	S
Erro	1742,0	243	7,2			

Fonte: elaborado pela autora.

Esses resultados evidenciam que o acabamento, uma das principais variáveis de análise da autolimpeza, foi considerado como se não exercesse influência na variação de cor das placas expostas a essa câmara de intemperismo. No entanto, comparando-se com a análise visual apresentada na seção 5.3.5, pode-se observar que a mudança de cor nas placas é bem mais visível nas placas manchadas com o agente Rodamina B. Por esse motivo, outra análise foi realizada com os dados provenientes das placas manchadas sem esse agente - a exemplo do que foi feito com as placas expostas ao ambiente - e o resultado é apresentado na Tabela 28 mostrando que, nesse caso, existe a significância também do fator acabamento.

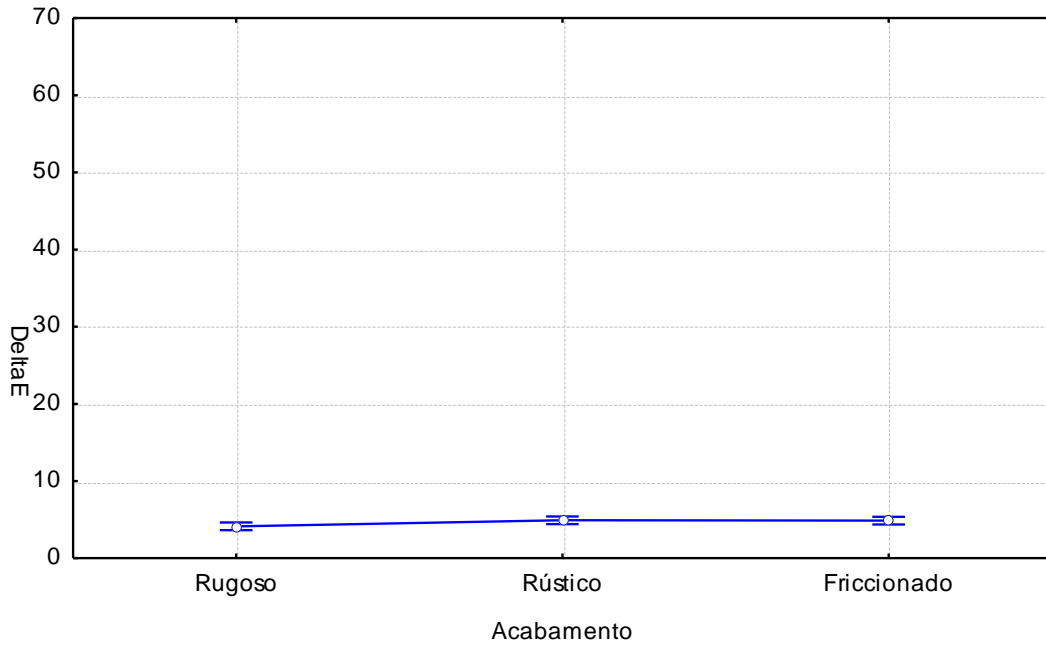
Tabela 28 – Análise de variância ANOVA, para amostras expostas à Câmara 2; análise sem Rodamina B

Efeito	Soma Quadrada	Graus de Liberdade	Média Quadrada	Teste F	Probabilidade	Influência S.
Inteseção	3870,577	1	3870,577	1017,776	0,000000	S
Acabamento (A)	23,423	2	11,711	3,080	0,048682	S
Adição de TiO <sub>2</sub> (B)	25,096	2	12,548	3,299	0,039398	S
Manchamento (C)	52,011	1	52,011	13,676	0,000297	S
Acabamento*Adição (AB)	51,017	4	12,754	3,354	0,011437	S
Acabamento*Manchamento (AC)	2,468	2	1,234	0,324	0,723408	N
Adição *Manchamento (BC)	109,696	2	54,848	14,422	0,000002	S
Acabamento*Adição*Manchamento (ABC)	9,741	4	2,435	0,640	0,634448	N
Erro	616,082	162	3,803			

Fonte: elaborado pela autora.

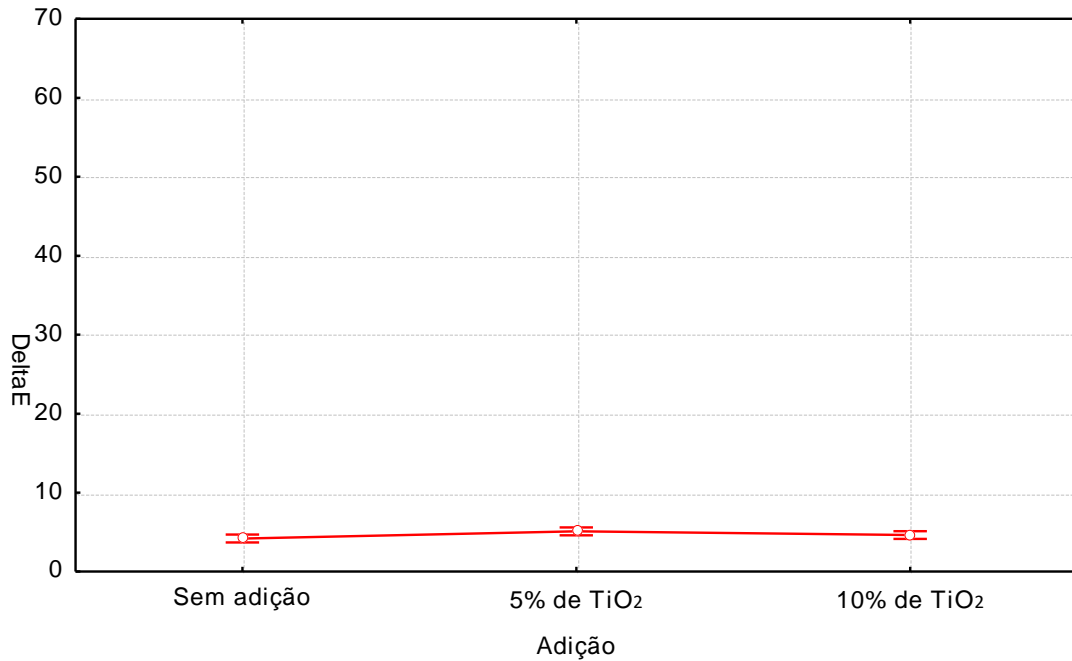
Os gráficos que representam os fatores isolados das variáveis que tiveram influência significativa estão apresentados nas Figuras 78, 79 e 80. Pode-se notar que, para todos os casos desses gráficos, os valores de  $\Delta E$  são bem menores do que nas placas que foram expostas ao ambiente, evidenciando que a câmara não conseguiu acelerar o mecanismo de autolimpeza.

Figura 78– ANOVA, efeito isolado do acabamento em  $\Delta E$ , análise na câmara 2; sem Rodamina B



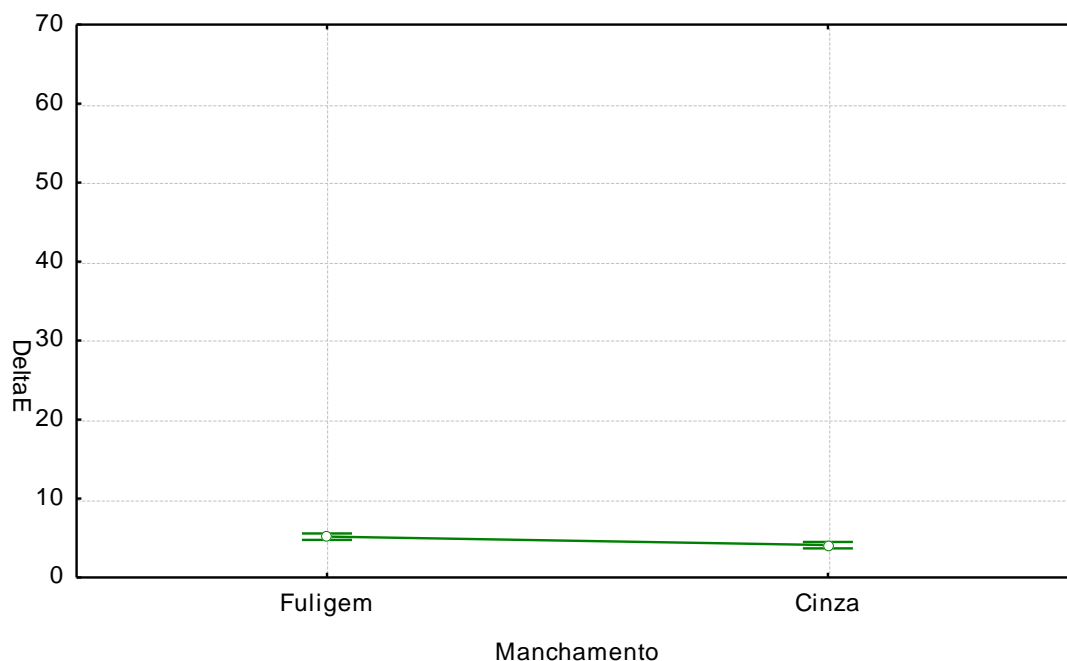
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 79 – ANOVA, efeito isolado da adição em  $\Delta E$ , análise na câmara 2; sem Rodamina B



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 80 – ANOVA, efeito isolado do manchamento em  $\Delta E$ , análise na câmara 2; sem Rodamina B



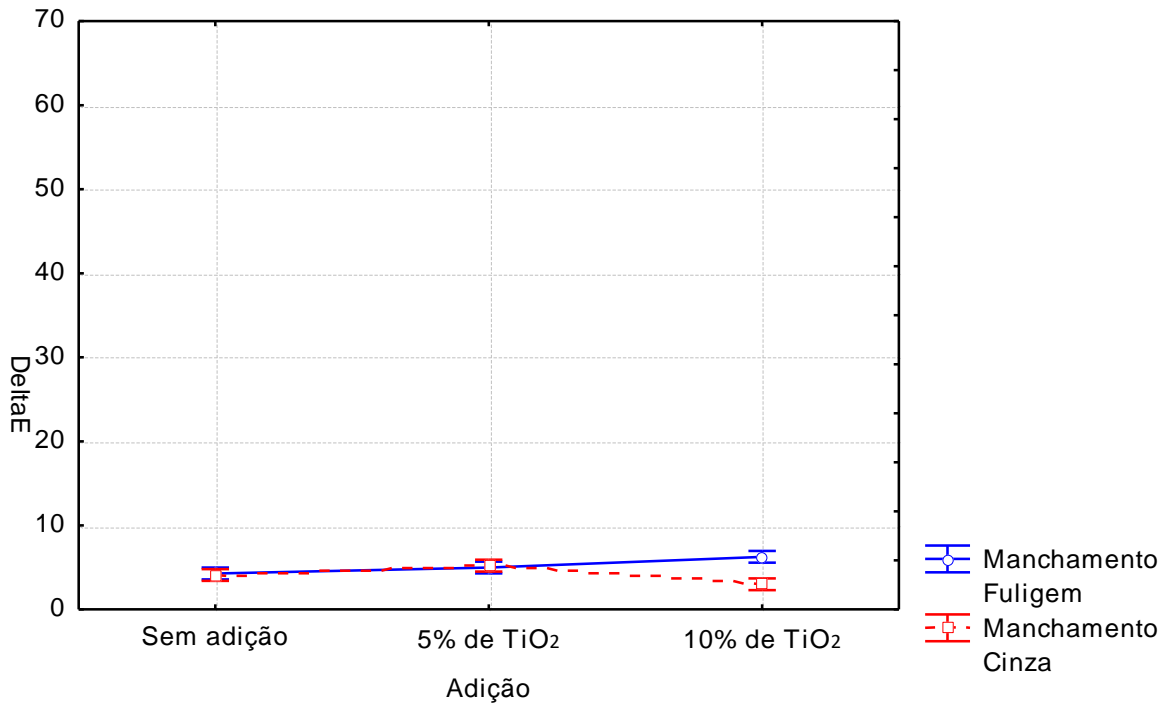
Fonte: elaborado pela autora.

Na análise das placas expostas ao ambiente natural, excluindo-se o manchamento Rodamina B, todos os valores de médias de  $\Delta E$  apresentados foram superiores ao valor de 10, enquanto que se verifica que nas Figuras 78, 79 e 80 essas médias não chegaram a ultrapassar esse valor. Isso denota, de certa forma, uma ineficiência da câmara 2 na autolimpeza das amostras, quando em comparação com as amostras expostas ao ambiente.

No entanto, como discutido anteriormente, segundo Mokrzycki e Tatol (2011), resultados que apresentem  $\Delta E$  superior ao valor de 5 já podem ser considerados como significativos, com uma diferença visível na cor. Dessa forma, mesmo que muito pequena, pode-se considerar que houve uma mudança de cor nas amostras expostas à câmara 2, mesmo que se exclua na análise as placas com manchamento de Rodamina B.

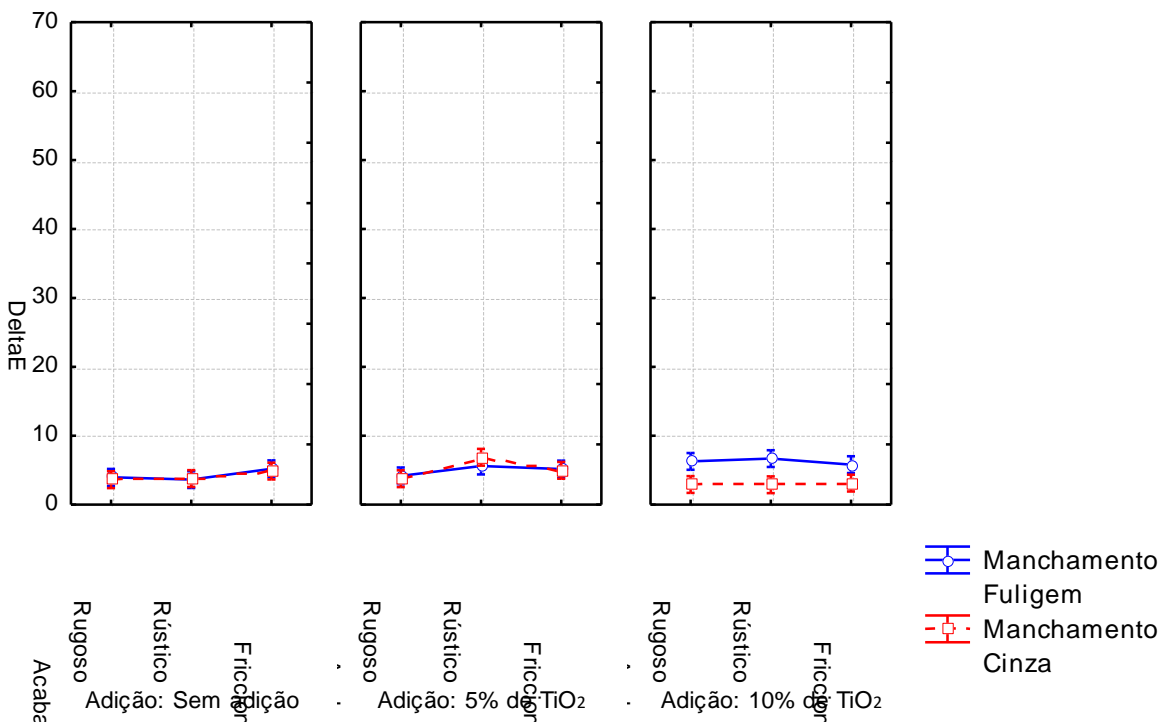
Nas figuras 80 e 81 estão apresentadas as interações entre as variáveis que foram consideradas significativas. Pode-se observar, nas figuras 80 e 81, o manchamento fuligem como mais afetado quando a adição de  $\text{TiO}_2$  é de 10% - embora esse comportamento seja bem similar entre os manchamentos fuligem e cinza para os casos sem adição e os com adições de 5%. A Figura 82 demonstra a semelhança da ação entre os três diferentes tipos de acabamento, com exceção dos casos com adição de 10% de  $\text{TiO}_2$ . A comparação múltipla de médias entre os fatores não foi realizada pelo fato de os valores de  $\Delta E$  serem de fato muito inferiores aos valores obtidos com as amostras expostas ao ambiente natural.

Figura 81 – ANOVA, efeito de combinação da adição com o manchamento em  $\Delta E$ , análise na câmara 2; sem Rodamina B



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 82 – ANOVA, efeito de combinação do acabamento, adição e manchamento em  $\Delta E$ , análise na câmara 2; sem Rodamina B



Fonte: elaborado pela autora.

## 5.5 ANÁLISE DE IMAGENS COM O SOFTWARE IMAGEJ®

A análise de imagens através do software forneceu, conforme mencionado na metodologia, resultados que indicam quantitativamente a redução da sujidade para cada tipo de placa exposta ao ambiente de microclima urbano. A escolha pela análise das argamassas submetidas somente à exposição natural se deu pelos resultados já obtidos por espectrofotometria, que mostram a ação de autolimpeza bem mais acentuada nessa exposição do que nas câmaras de intemperismo. Pelo mesmo motivo, as placas com manchamento de Rodamina B também não fizeram parte desta análise.

Os resultados dessa análise, bem como algumas imagens escolhidas para comparação e análise mais detalhada estão apresentados a seguir. As Tabelas 29, 30 e 31 apresentam os resultados para os acabamentos rugoso, rústico e friccionado, respectivamente.

Tabela 29 – Resultados obtidos com o software ImageJ para obtenção da taxa de autolimpeza; acabamento rugoso

Adição de TiO <sub>2</sub> Manchamento    Inclinação			Acabamento rugoso (A1)						A/B    1-(A/B)    Taxa de autolimpeza (%)		
			Dia do manchamento (Dia 1)			Após 140 dias de exposição					
			Área total de pixels	Área total de pixels pretos (A)	Taxa de pixels pretos/pixels totais	Área total de pixels	Área total de pixels pretos (B)	Taxa de pixels pretos/pixels totais			
0%	Fuligem	90°	455625	396793	0,8709	455625	284313	0,6240	0,7165	0,2835	28,35%
	Fuligem	45°	455625	414791	0,9104	455625	163660	0,3592	0,3946	0,6054	60,54%
	Cinza	90°	455625	223831	0,4913	455625	144133	0,3163	0,6439	0,3561	35,61%
	Cinza	45°	455625	249593	0,5478	455625	70037	0,1537	0,2806	0,7194	71,94%
5%	Fuligem	90°	455625	401095	0,8803	455625	259831	0,5703	0,6478	0,3522	35,22%
	Fuligem	45°	455625	437937	0,9612	455625	65561	0,1439	0,1497	0,8503	85,03%
	Cinza	90°	455625	187355	0,4112	455625	88216	0,1936	0,4708	0,5292	52,92%
	Cinza	45°	455625	190439	0,4180	455625	65561	0,1439	0,3443	0,6557	65,57%
10%	Fuligem	90°	455625	213949	0,4696	455625	83837	0,1840	0,3919	0,6081	60,81%
	Fuligem	45°	455625	251450	0,5519	455625	54863	0,1204	0,2182	0,7818	78,18%
	Cinza	90°	455625	238637	0,5238	455625	21655	0,0475	0,0907	0,9093	90,93%
	Cinza	45°	455625	122254	0,2683	455625	56686	0,1244	0,4637	0,5363	53,63%

Fonte: elaborado pela autora.

Pela análise geral dos dados obtidos, pode-se notar que a inclinação de 45° apresentou resultados de taxa de autolimpeza maiores do que com a inclinação 90°. Além disso, as placas com adição de 10%, especialmente as referentes à Tabela 31, com acabamento friccionado, mostram elevada taxa de autolimpeza: para todos os casos os valores foram superiores a 70%. Esses valores indicam comportamentos semelhantes aos encontrados através das medições colorimétricas com espectrofotômetro.

Somente a medida de uma placa de argamassa, das duas disponíveis para cada combinação de fatores, foi utilizada nessa análise. Por esse motivo, a análise de variância (ANOVA) não pode ser realizada. No entanto, para melhor entendimento desses fatores, as

figuras 83 a 93 mostram o comportamento isolado das variáveis, bem como a interação entre os fatores.

Tabela 30 – Resultados obtidos com o software ImageJ para obtenção da taxa de autolimpeza; acabamento rústico

Adição de TiO <sub>2</sub> Manchamento    Inclinação			Acabamento rústico (A2)								
			Dia do manchamento (Dia 1)			Após 140 dias de exposição			A/B	1-(A/B)	Taxa de autolimpeza (%)
			Área total de pixels	Área total de pixels pretos (A)	Taxa de pixels pretos/pixels totais	Área total de pixels	Área total de pixels pretos (B)	Taxa de pixels pretos/pixels totais			
0%	Fuligem	90°	455625	418287	0,9181	455625	143997	0,3160	0,3443	0,6557	65,57%
	Fuligem	45°	455625	438028	0,9614	455625	293095	0,6433	0,6691	0,3309	33,09%
	Cinza	90°	455625	303627	0,6664	455625	206904	0,4541	0,6814	0,3186	31,86%
	Cinza	45°	455625	258470	0,5673	455625	92842	0,2038	0,3592	0,6408	64,08%
5%	Fuligem	90°	455625	440990	0,9679	455625	238759	0,5240	0,5414	0,4586	45,86%
	Fuligem	45°	455625	441275	0,9685	455625	172645	0,3789	0,3912	0,6088	60,88%
	Cinza	90°	455625	211932	0,4651	455625	129589	0,2844	0,6115	0,3885	38,85%
	Cinza	45°	455625	181430	0,3982	455625	9716	0,0213	0,0536	0,9464	94,64%
10%	Fuligem	90°	455625	276959	0,6079	455625	159273	0,3496	0,5751	0,4249	42,49%
	Fuligem	45°	455625	339436	0,7450	455625	193458	0,4246	0,5699	0,4301	43,01%
	Cinza	90°	455625	132489	0,2908	455625	86161	0,1891	0,6503	0,3497	34,97%
	Cinza	45°	455625	78119	0,1715	455625	27133	0,0596	0,3473	0,6527	65,27%

Fonte: elaborado pela autora.

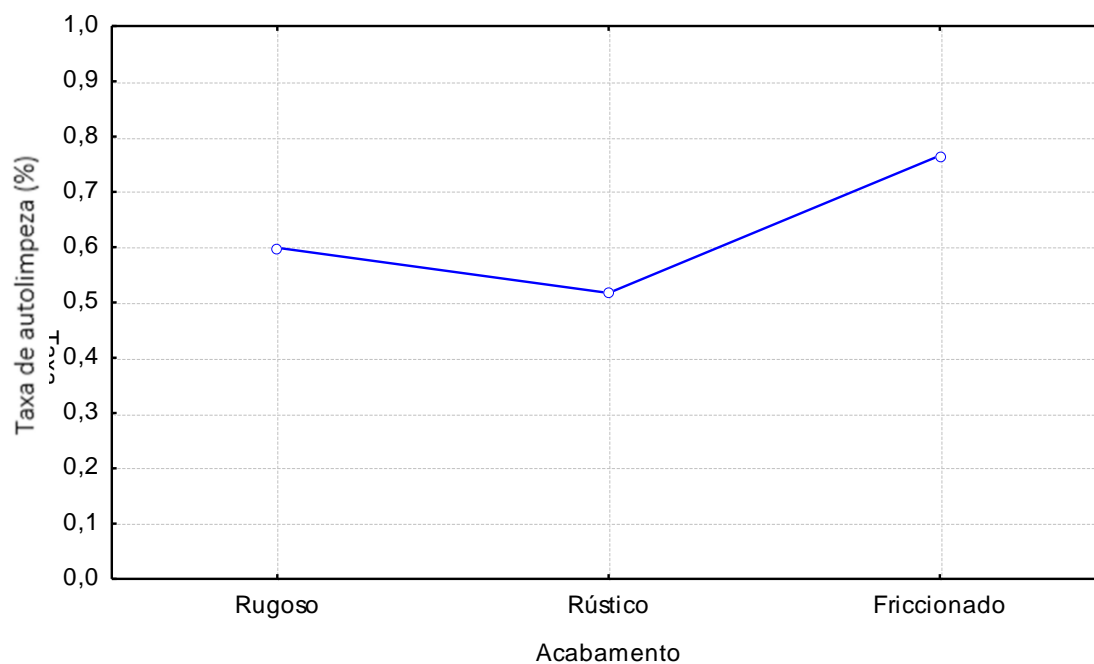
Tabela 31– Resultados obtidos com o software ImageJ para obtenção da taxa de autolimpeza; acabamento friccionado

Adição de TiO <sub>2</sub> Manchamento    Inclinação			Acabamento friccionado (A3)								
			Dia do manchamento (Dia 1)			Após 140 dias de exposição			A/B	1-(A/B)	Taxa de autolimpeza (%)
			Área total de pixels	Área total de pixels pretos (A)	Taxa de pixels pretos/pixels totais	Área total de pixels	Área total de pixels pretos (B)	Taxa de pixels pretos/pixels totais			
0%	Fuligem	90°	455625	443218	0,9728	455625	353823	0,7766	0,7983	0,2017	20,17%
	Fuligem	45°	455625	404370	0,8875	455625	149727	0,3286	0,3703	0,6297	62,97%
	Cinza	90°	455625	255427	0,5606	455625	71856	0,1577	0,2813	0,7187	71,87%
	Cinza	45°	455625	259447	0,5694	455625	64563	0,1417	0,2488	0,7512	75,12%
5%	Fuligem	90°	455625	427787	0,9389	455625	173870	0,3816	0,4064	0,5936	59,36%
	Fuligem	45°	455625	410145	0,9002	455625	11504	0,0252	0,0280	0,9720	97,20%
	Cinza	90°	455625	131334	0,2883	455625	13591	0,0298	0,1035	0,8965	89,65%
	Cinza	45°	455625	135971	0,2984	455625	3247	0,0071	0,0239	0,9761	97,61%
10%	Fuligem	90°	455625	342997	0,7528	455625	79706	0,1749	0,2324	0,7676	76,76%
	Fuligem	45°	455625	255621	0,5610	455625	4601	0,0101	0,0180	0,9820	98,20%
	Cinza	90°	455625	262816	0,5768	455625	72377	0,1589	0,2754	0,7246	72,46%
	Cinza	45°	455625	306340	0,6724	455625	7972	0,0175	0,0260	0,9740	97,40%

Fonte: elaborado pela autora.

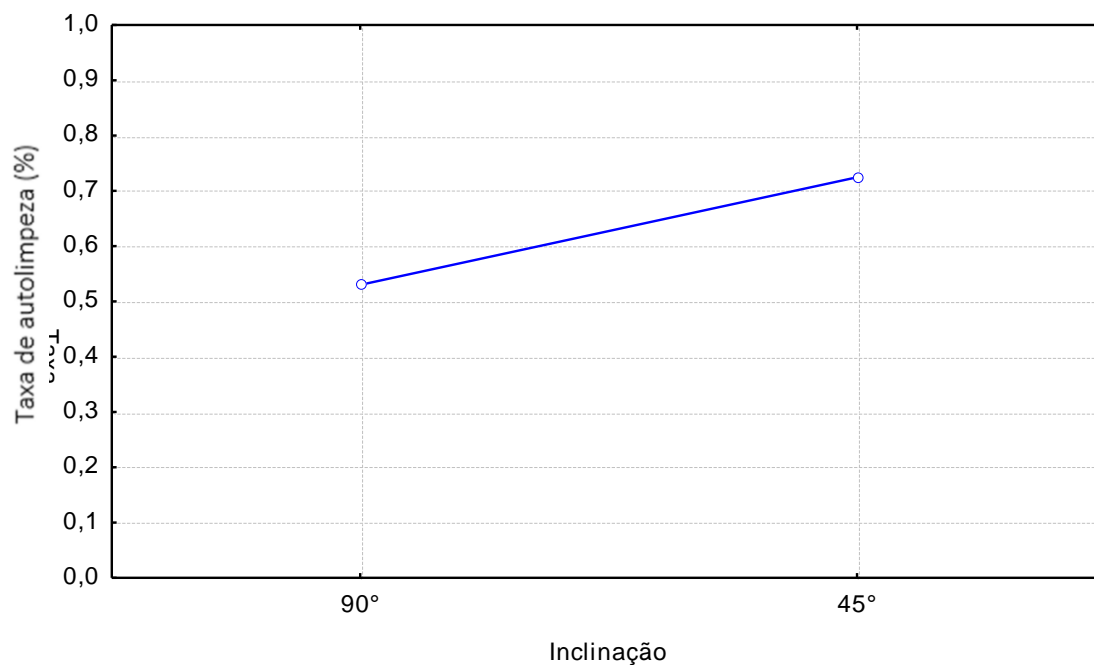


Figura 83 – Efeito isolado do acabamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ



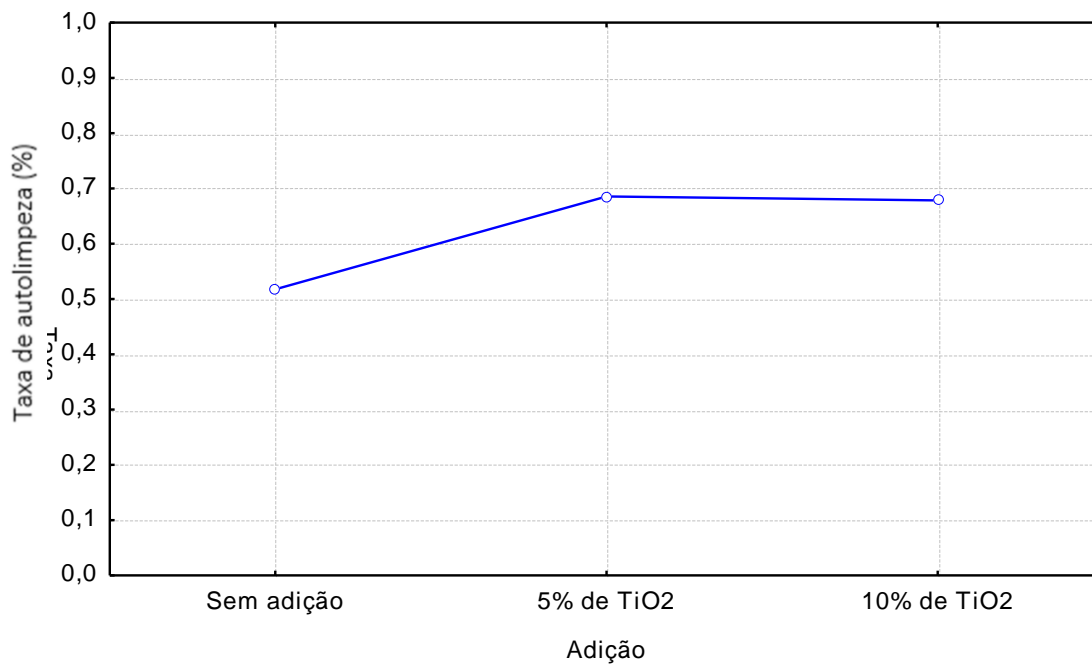
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 84 – Efeito isolado da inclinação na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ



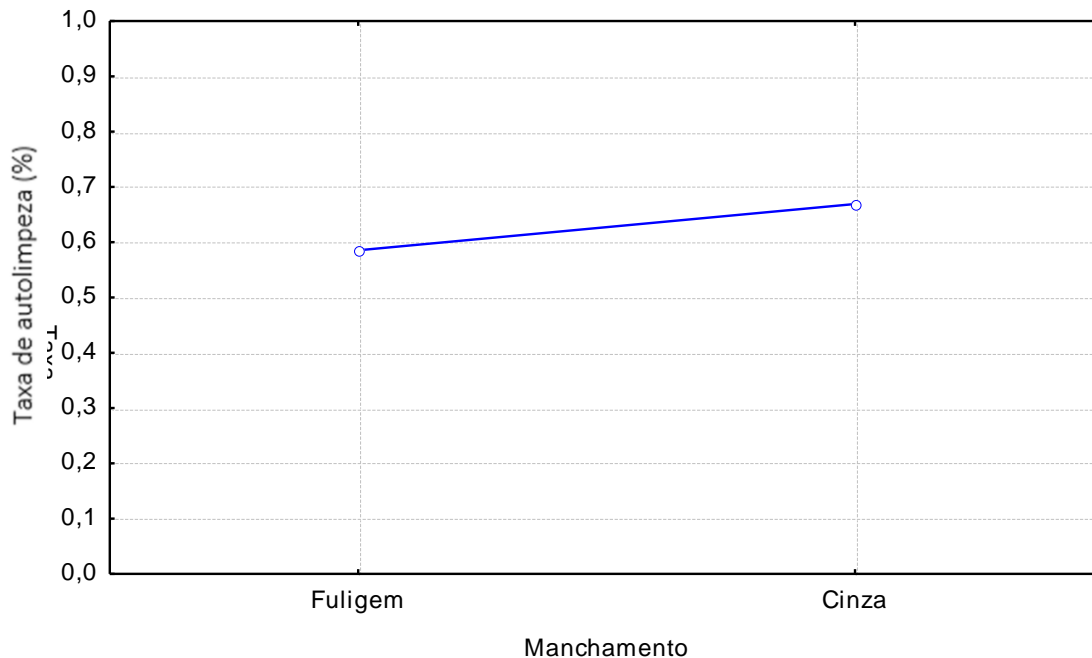
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 85– Efeito isolado da adição na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 86 – Efeito isolado do manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ



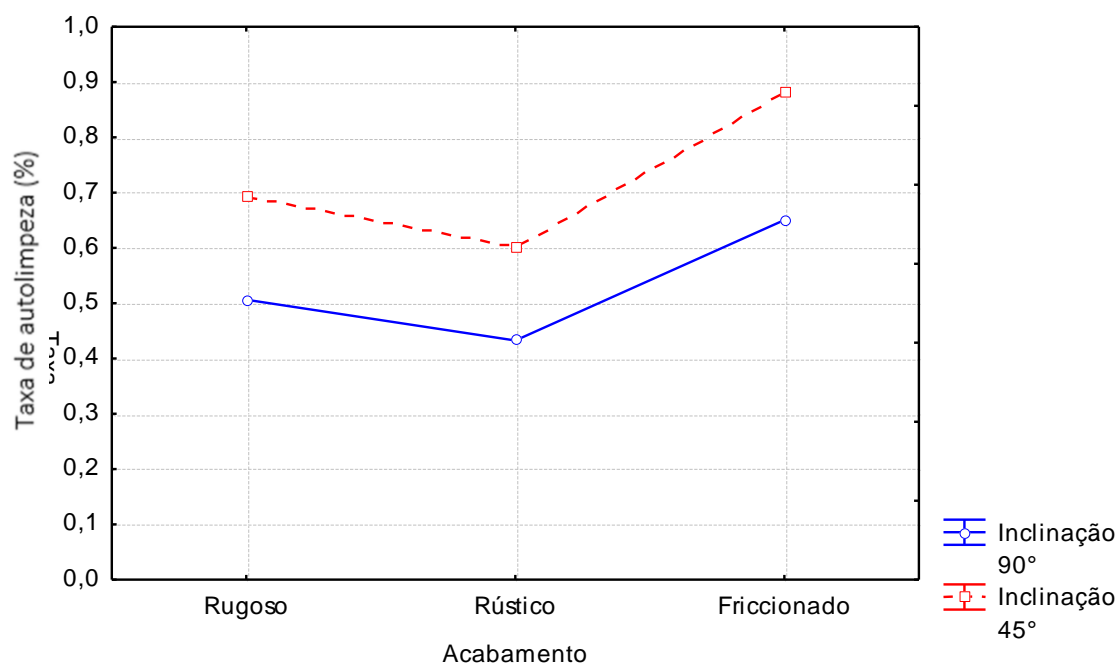
Fonte: elaborado pela autora.

Pode-se notar que o comportamento isolado do acabamento superficial é muito semelhante ao que já foi constatado no item anterior, especialmente na Figura 62: o acabamento

friccionado (A3) apresenta maior taxa de autolimpeza do que os outros, sendo que o acabamento rústico (A2) tem o mais baixo desempenho provavelmente devido a sua alta rugosidade superficial. Da mesma forma se verifica, conforme a Figura 83, o comportamento já levantado quanto ao fato da inclinação de 45° apresentar maiores valores de redução da sujidade superficial.

De acordo com a Figura 85, o efeito isolado da adição de 5% de TiO<sub>2</sub> é similar ao da adição de 10%, e pela Figura 86 o manchamento com cinza apresentou maiores valores na redução da sujidade. Ambos comportamentos não são exatamente idênticos aos levantados anteriormente, mas podem ser melhor interpretados pelas figuras a seguir, que mostram a interação entre os fatores.

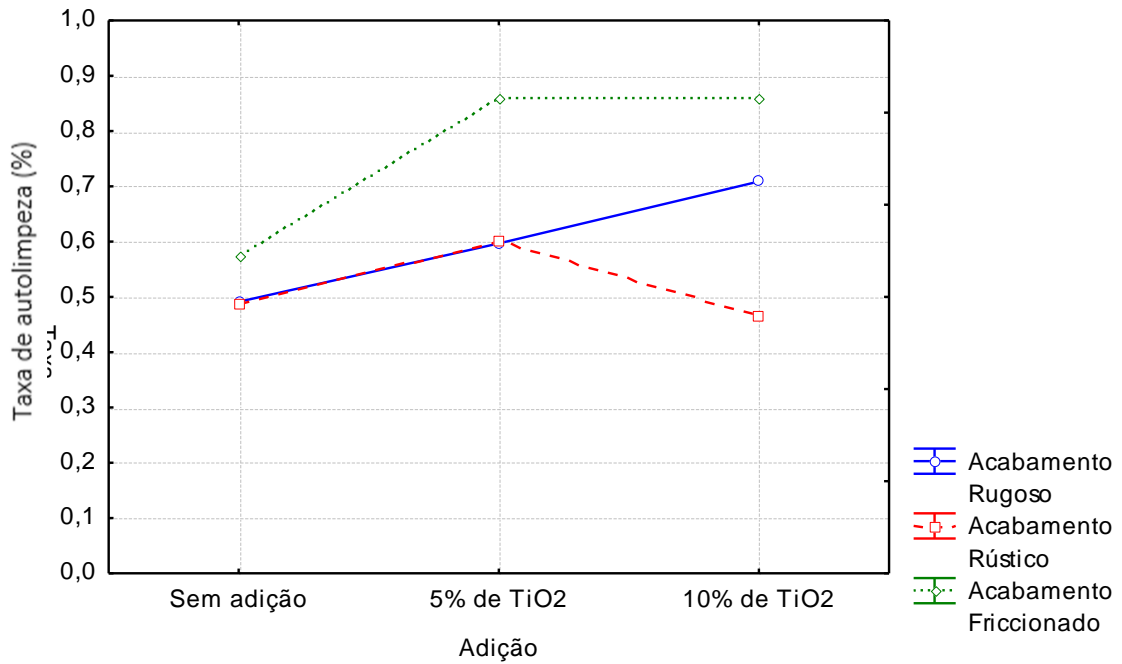
Figura 87 – Efeito da combinação dos fatores acabamento e inclinação na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ



Fonte: elaborado pela autora.

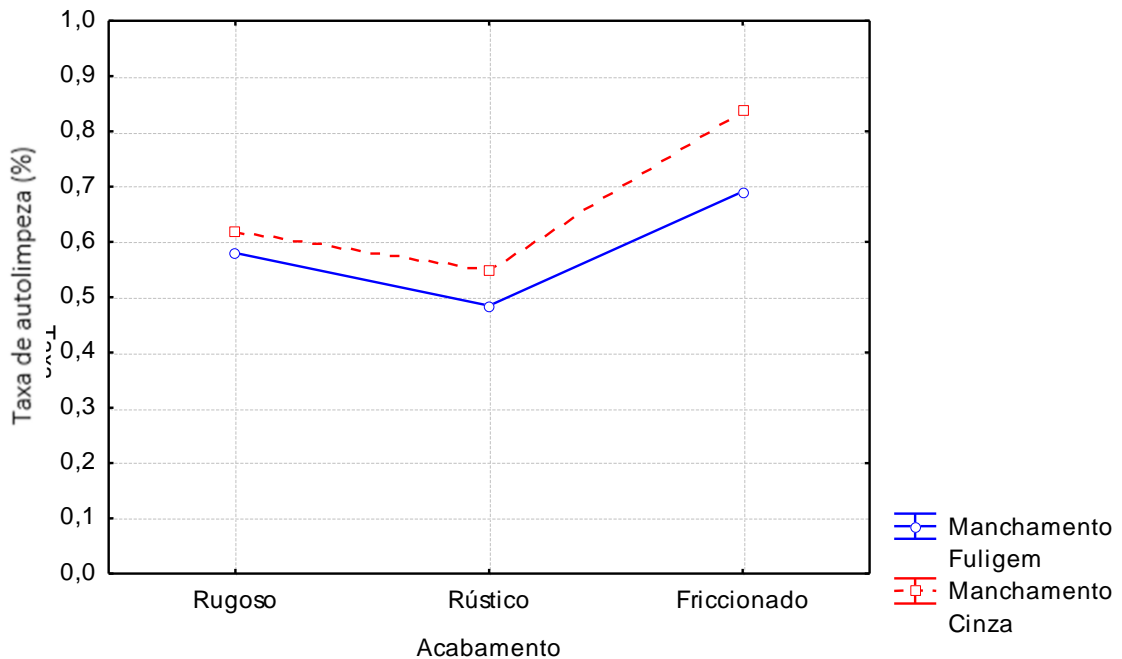
Pela Figura 87, percebe-se que a inclinação produz uma variação na taxa de autolimpeza semelhante para todos os tipos de acabamentos superficiais, ao mesmo tempo em que se confirma a maior eficiência da inclinação de 45° e do acabamento friccionado. Já a Figura 88 mostra que os acabamentos rugoso e rústico apresentaram valores de taxa de autolimpeza praticamente iguais para as placas sem adição do fotocalisador – fato que se repete para a adição de 5%. O acabamento friccionado apresenta aumento na autolimpeza conforme há o aumento na adição do fotocalisador.

Figura 88 – Efeito da combinação dos fatores acabamento e adição na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 89 – Efeito da combinação dos fatores acabamento e manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ

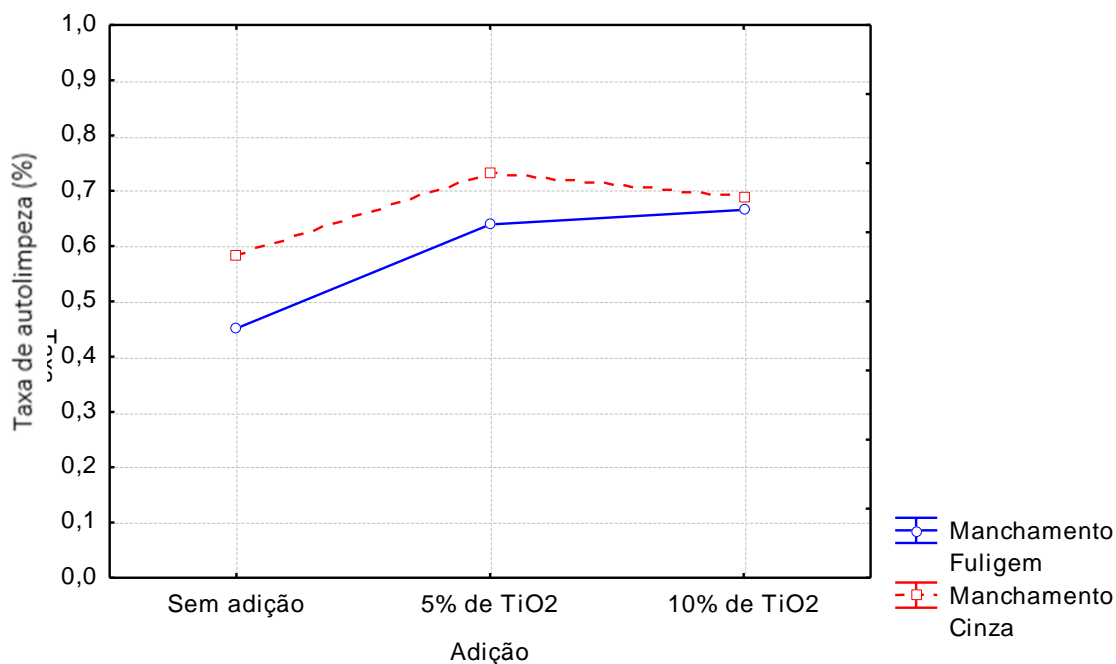


Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 89 mostra que o manchamento com cinza, embora apresente taxas maiores que o com fuligem, tem valores de taxa de autolimpeza muito próximas às referentes ao

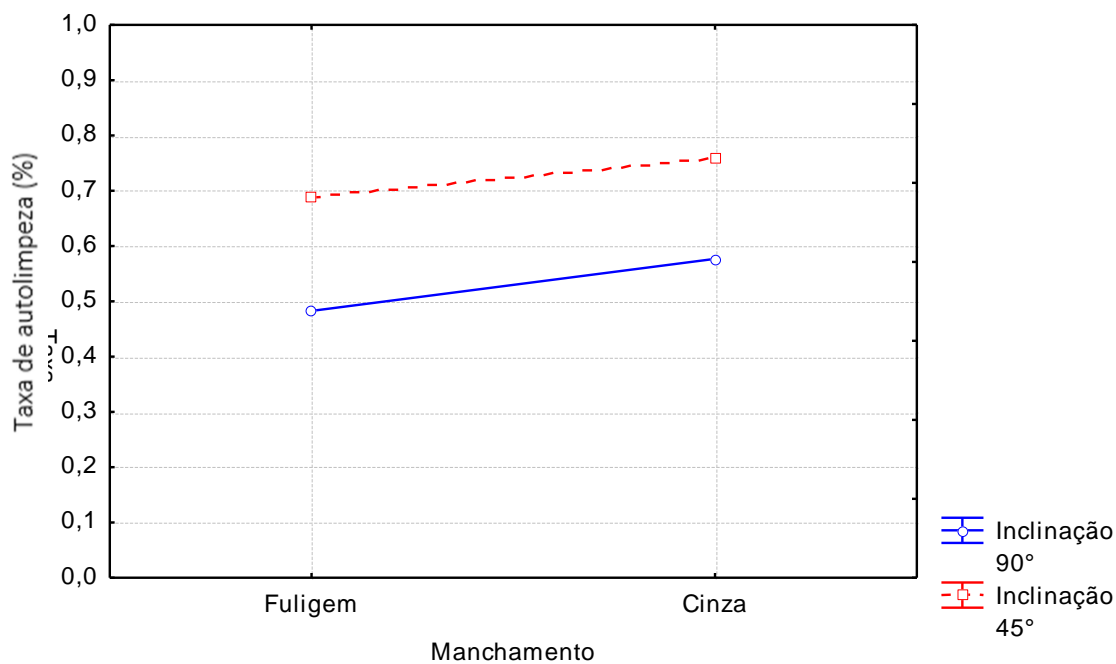
manchamento com fuligem. O mesmo comportamento de proximidade dos valores de taxa de autolimpeza acontece na Figura 90, para todos as porcentagens de adição do fotocatalisador.

Figura 90 – Efeito da combinação dos fatores adição e manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 91 – Efeito da combinação dos fatores inclinação e manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ

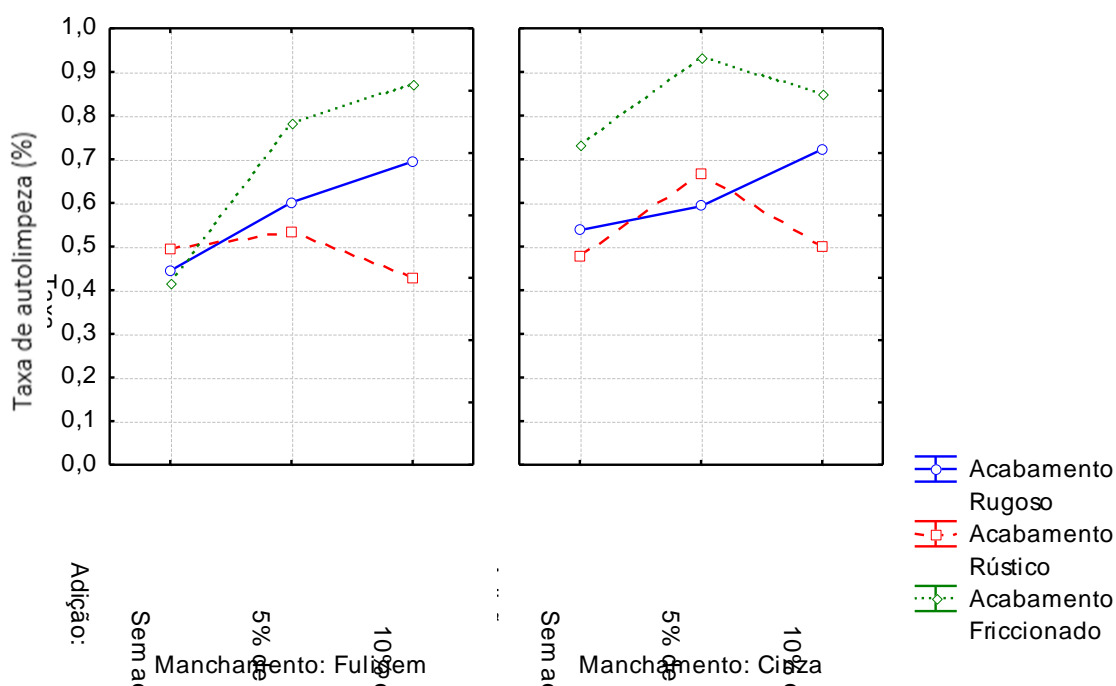


Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 91 mostra que a variação da inclinação produz aumento na taxa de autolimpeza em proporções praticamente idênticas para ambos os manchamentos analisados. Pela Figura 92 percebe-se que há, de fato, uma semelhança entre os valores apresentados para ambos os tipos de manchamento. Também se observa que a diferença da taxa de autolimpeza se mantém praticamente constante entre os acabamentos rugoso e friccionado, para as adições de 5% e 10% de  $\text{TiO}_2$ , no manchamento com fuligem (no manchamento com cinza, essa diferença diminui para a adição de 10% do fotocatalisador).

Comparando-se a Figura 92 com a Figura 71, na página 111, percebe-se que o comportamento do acabamento friccionado sendo mais eficiente para praticamente todos os casos se confirma, embora o comportamento muito semelhante entre os acabamentos rugoso e rústico não se repita analisando com o software ImageJ® – o que pode se dar devido a uma variabilidade não considerada nessa análise.

Figura 92 – Efeito da combinação dos fatores acabamento, adição e manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ

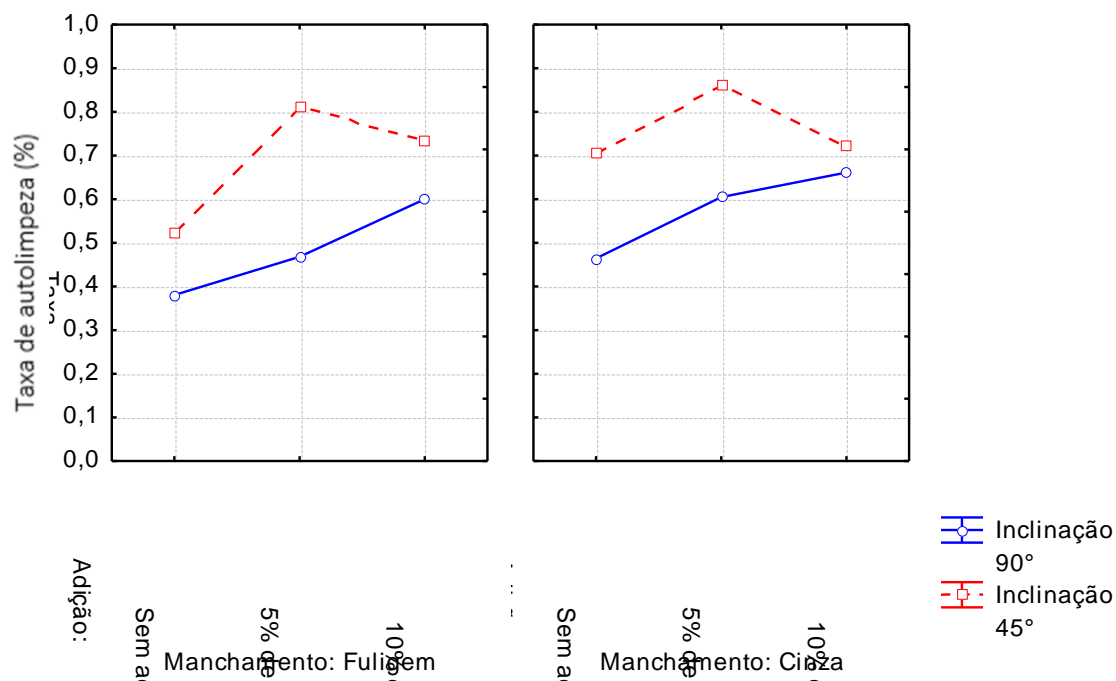


Fonte: elaborado pela autora.

Por fim, a Figura 93 mostra que os valores de taxa de autolimpeza são muito semelhantes entre os dois gráficos, ou seja, entre os dois tipos de manchamento. Além disso, o fato de a inclinação de  $45^\circ$  ser mais eficiente no efeito de autolimpeza se confirma, e é semelhante ao apresentado na Figura 70, página 110. No entanto, o fato de a adição de 5% de  $\text{TiO}_2$  na inclinação de  $45^\circ$  apresentar taxas mais elevadas de autolimpeza do que a adição de 10%, para

ambos os manchamentos, não está de acordo com a análise geral por espectrofotometria. Esse resultado também pode se dar por uma variabilidade não considerada nessa análise.

Figura 93 – Efeito da combinação dos fatores adição, inclinação e manchamento na taxa de autolimpeza; análise com ImageJ



Fonte: elaborado pela autora.

De forma geral, os dados apresentados pela análise dos registros fotográficos com o *software* confirmaram os indicadores de autolimpeza apresentados pela análise com o aparelho espectrofotômetro. Algumas pequenas divergências podem ter sido criadas pelo fato de que o registro de somente uma, das duas placas existentes para cada combinação de fatores, foi aqui avaliada (escolhida de forma aleatória).

Embora este seja um método válido e inovador na observação da redução da sujidade nas argamassas fotocatalíticas, cabe-se ressaltar que a contabilização de pixels pretos realizada pelo programa é automática ao selecionar os pontos mais escuros das fotografias – o que cria condições para uma variabilidade da medição. Assim, neste trabalho, as considerações finais foram tomadas em sua maior parte com base nos dados de medição colorimétrica obtidas por espectrofotometria.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência da autolimpeza de argamassas fotocatalíticas feitas com  $\text{TiO}_2$  em diferentes acabamentos superficiais (rugoso, rústico e friccionado), quando expostas ao microclima urbano da cidade de Porto Alegre e sob condições de envelhecimento precoce quando expostas a câmaras de intemperismo acelerado. Para tal, foram produzidas amostras de argamassa com diferentes teores de adição dióxido de titânio sobre a massa de cimento (0%, 5%, 10%). Tais amostras foram manchadas por uma solução aquosa de Rodamina B, particulados residuários da combustão de automóveis a diesel (fuligem) e pelas cinzas da queima de eucalipto, e, a seguir, foram expostas à radiação solar, voltadas para as orientações norte nas inclinações de  $45^\circ$  e  $90^\circ$ , e a duas diferentes câmaras de ação intempérica artificial. Ao longo do período de exposição, foram realizadas leituras cromáticas com um espectrofotômetro portátil, conforme o espaço de cor do sistema CIELab, tendo em vista o monitoramento da degradação dos manchamentos aplicados, além do registro fotográfico. As conclusões obtidas ao término deste estudo são apresentadas na sequência, devendo-se ressaltar que são específicas para o presente trabalho, referindo-se aos seus materiais, métodos e manchamentos e às condições ambientais da cidade de Porto Alegre.

### 6.1 Conclusões

Com relação aos diferentes acabamentos superficiais realizados e à exposição ao microclima urbano da cidade de Porto Alegre, conclui-se que:

- a) o acabamento do tipo friccionado, que possui superfície mais lisa (menos reentrâncias e saliências), foi mais eficiente na ação de autolimpeza das argamassas quando em comparação com os outros dois tipos de acabamentos;
- b) entre os dois tipos de acabamentos superficiais com maior rugosidade realizados, o acabamento do tipo rugoso apresentou melhores resultados de autolimpeza do que o acabamento rústico;
- c) pode-se concluir que quanto maior a rugosidade das superfícies de argamassas, mais difícil é a autolimpeza dessas superfícies.

No que se refere à ação autolimpante nas diferentes inclinações a que foram posicionadas as placas de argamassa, conclui-se que:

a) a inclinação de 45° se mostrou mais eficiente na ação autolimpante, o que pode ser atribuído a dois fatores em conjunto: o recebimento direto da radiação ultravioleta e a facilidade de escorregamento da água da chuva, com a conseqüente maior eliminação das sujidades, quando em comparação com as placas inclinadas a 90°;

b) a inclinação de 90°, mesmo que sendo reduzida em relação à de 45°, também foi eficiente na autolimpeza das argamassas – mostrando a aplicabilidade das soluções nas fachadas das edificações.

Quanto as diferentes adições de dióxido de titânio nas placas expostas ao ambiente de microclima urbano, verifica-se que:

a) a adição de 10% de TiO<sub>2</sub> sobre a massa de cimento das argamassas apresentou melhor eficiência na autolimpeza, quando comparada às amostras-padrão (sem adição) e às amostras com 5% de adição;

b) constatou-se que, em alguns casos, as amostras sem adição do fotocatalisador apresentaram valores mais elevados da variável  $\Delta E$ , que denota a mudança de cor, do que as amostras com 5% de adição. Isso pode indicar a ineficiência da adição de 5% de TiO<sub>2</sub>, ou possivelmente a grande influência da ação de escorregamento dos particulados pela água da chuva na autolimpeza das argamassas.

Quanto aos agentes de manchamento a que foram submetidos as amostras expostas ao ambiente natural da cidade de Porto Alegre, conclui-se que:

a) o manchamento com o corante orgânico Rodamina B apresentou resultados de autolimpeza muito superiores aos outros dois tipos de manchamento;

b) a Rodamina B pode ter sido autodegradada pela ação ultravioleta, pois a autolimpeza das amostras também ocorreu significativamente nas placas sem adição de dióxido de titânio;

c) quando comparando-se apenas os manchamentos provenientes da fuligem dos automóveis e da cinza da queima do eucalipto, verificou-se que a fuligem dos automóveis foi mais facilmente limpa – resultado que é positivo, pois esse é um dos principais poluentes do ar e conseqüentemente das fachadas nos centros urbanos.

Quanto à medição do ângulo de contato e à capacidade hidrofugante das argamassas fotocatalíticas nos diferentes acabamentos superficiais, não foi possível a quantificação devido a rugosidade dos acabamentos superficiais de argamassas. Esse fato impossibilitou que uma gota se formasse sobre a superfície das amostras para que o ângulo de contato fosse medido.

Com relação às exposições às câmaras de intemperismo acelerado, pode-se concluir que:

a) a câmara de intemperismo do tipo 1, que tem lâmpadas xenônio e incidência direta de água (pode promover um carregamento de partículas), apresentou valores de  $\Delta E$  mais elevados que a câmara de intemperismo 2, e os mesmos também estiveram mais próximos aos obtidos na exposição ao ambiente natural, mostrando a melhor eficiência desta câmara;

b) a câmara de intemperismo 1 apresentou resultados muito similares aos obtidos na exposição natural e citados aqui anteriormente, para todas as variáveis;

c) provavelmente pela elevada radiação solar e a chuva incidente no período de solstício de verão a que as placas estiveram submetidas na exposição natural, os resultados da autolimpeza foram mais significativos e mais rápidos para as placas expostas ao ambiente do que para as placas expostas às câmaras. Isso também pode ser explicado pela exposição à radiação ultravioleta natural ser composta por vários comprimentos de onda, que podem facilitar a ativação da ação química do  $\text{TiO}_2$  – enquanto o comprimento de onda nas câmaras de intemperismo é fixo.

De maneira geral, as contribuições mais relevantes obtidas foram:

a) foi constatado que a adição de 10% de  $\text{TiO}_2$  produz, na maioria dos casos, melhores resultados na eficiência da autolimpeza;

b) o acabamento friccionado apresenta um valor mais elevado quando comparado aos outros dois – indicando a melhor eficiência na autolimpeza através desse acabamento;

c) a inclinação de  $45^\circ$  se mostrou mais eficiente para todos os tipos de acabamento e manchamento.

## 6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Alguns outros fatores que podem exercer influência sobre os resultados foram constatados durante a realização deste trabalho. Assim, sugere-se, para trabalhos futuros envolvendo o tema:

a) verificar a influência da dimensão das partículas dos agentes de manchamento, além de características químicas e físicas relacionadas à aderência das diferentes sujidades nas superfícies de argamassa;

b) verificar e quantificar, através de escaneamento tridimensional ou outra técnica, a rugosidade dos acabamentos de superfícies;

- c) analisar as amostras em ambientes com sombreamento e com outras orientações solares;
- d) verificar a influência dos acabamentos superficiais em adições de  $\text{TiO}_2$  maiores do que 10% sobre a massa de aglomerante;
- e) verificar a tendência de crescimento biológico em argamassas fotocatalíticas com diferentes acabamentos superficiais.

## REFERÊNCIAS

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

\_\_\_\_\_. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13755**: revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante - Projeto, execução, inspeção e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575:4**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ALHAMEDIM, F. H.; RAUFS, A.; ASHRAF, S. Degradation studies of Rhodamine B in the presence of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. **Desalination**, v. 239, p. 159-166, 2009.

ANTUNES, G. R. **Estudos de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília: sistematização da incidência de casos**, 2010. 178f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Universidade Federal de Brasília, Brasília.

ARCVISION. Dives in Misericórdia. In: Grandi progetti, Roma, 2003. Disponível em: <<https://www.arcvision.org/dives-in-misericordia-5/>>. Acesso em: junho 2019.

AUSTRIA, G. **Argamassa autolimpante para revestimento de fachadas: o efeito das propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>)**. 2015. Dissertação (Mestrado em

Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BALTAR, C. A. M. et al. **Rochas e Minerais Industriais – Minérios de Titânio**. Centro de Tecnologia Mineral – COPM. Rio de Janeiro, 2005.

BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M. L. M; CALDAS, L. R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. In: **XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 11º, Porto Alegre/RS, 2015.

BAUER, E; SOUSA, J. G. G. Materiais Constituintes e suas funções (Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades). **Comunidade da construção**, s/n, s/l, 2005. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>>. Acesso em: fev 2018.

BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Dados meteorológicos diários da cidade de Porto Alegre/RS. **Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: junho 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Relatório técnico 36: perfil do titânio**. Brasília, DF, 2010.

BRITEZ, A. A. **Diretrizes para especificação de pinturas externas texturizadas acrílicas em substrato de argamassa**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CARASEK, H., CASCUDO, O. & SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 4º, Brasília/DF, 2001, pg. 43-60.

CARP, O.; HUISMAN, C; RELLER, A. Photoinduced reactivity of titanium dioxide. **Progress in Solid State Chemistry**, v. 32, p. 33-177, 2004.

CARVALHO, A. N. Jr. **Revestimentos de Paredes e tetos**. Notas de aula. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

CEDILLO-GONZALEZ, E. I.; BARBIERI, V.; FALCARO, P.; TORRES-MARTINEZ, L. M.; JUÁREZ-RAMÍREZ, I.; VILLANOVA, L.; MONTECCHI, M.; PASQUALI, L.; SILIGARDI, C. Influence of domestic and environmental weathering in the self-cleaning performance and durability of TiO<sub>2</sub> photocatalytic coatings. **Building and Environment**, v. 132, p. 96-103, 2018.

CEMEX MORTARS. **Properties of rendering mortar**. Reino Unido: s/n, 200-?. Disponível em: <http://www.cemex.co.uk/Userfiles/datasheets/mortar-props-of-render-mortar.pdf>. Acesso em: fev 2018.

CHEN, J.; KOUS, S.; POON, C. Hydration properties of nano-TiO<sub>2</sub> blended cement composite. **Cement & Concrete Composites**, v. 34, p. 642-649, 2012.

CINCOTTO, M. A.; SILVA; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios**, IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1995, 118p.

CONSOLI, O.; REPETTE, W. Desempenho de fachadas: Análise de componentes sob aspectos do projeto arquitetônico. In: **WORKSHOP - DESEMPENHO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS**, 2006, Chapecó. Anais... Chapecó: UNOCHAPECÓ, 2006.

CRISPIM, C.; GAYLARDE, P.; GAYLARDE, C. Algal and Cyanobacterial Biofilms on Calcareous Historic Buildings. **Current Microbiology**, v. 46, p. 79 – 82, 2003.

DE LA ROSA, J. M.; MILLER, A. Z.; POZO-ANTONIO, J. S.; GONZALEZ-OEREZ, J. A.; JIMENEZ-MORILLO, N. T.; DIONISIO, A. Assessing the effects of UVA photocatalysis on soot-coated TiO<sub>2</sub>-containing mortar. **Science of the Total Environment**, n. 605-606, p. 147-157, 2017.

DIAMANTI, M. V.; DEL CURTO, B.; ORMELLESE, V.; PEDEFERRI, M. P. Photocatalytic and self-cleaning activity of colored mortars containing TiO<sub>2</sub>. **Cement and Concrete Research**, v. 46, p. 167-174, maio 2013.

DIAMANTI, M. V.; ORMELLESE, V.; PEDEFERRI, M. P. Characterization of photocatalytic and superhydrophilic properties of mortars containing titanium dioxide. **Cement and Concrete Research**, v. 38, n. 11, p. 1349-1353, jul. 2008.

DIAMANTI, M. V.; PAOLINI, R.; ROSSINI, M.; ASLAN, A. V.; ZINZI, M.; POLI, T.; PEDEFERRI, M. P. Long term self-cleaning and photocatalytic performance of anatase added mortars exposed to the urban environment. **Construction and Building Materials**, v. 96, p. 270-278, 2015.

DIKICI, T. *et al.*. Enhanced photocatalytic activity of micro/nano textured TiO<sub>2</sub> surfaces prepared by sandblasting/acid-etching/anodizing process. **Journal of Alloys and Compounds**, n. 694, p. 2465-252, 2017.

FIORETTI, G. B. **Avaliação do desempenho de hidrofugantes para revestimentos pétreos quanto a permeabilidade e alteração de cor**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FRANZONI, E.; FREGNI, A.; GABRIELLI, R.; GRAZIANI, G.; SASSONI, E. Compatibility of photocatalytic TiO<sub>2</sub>-based finishing for renders in architectural restoration: A preliminary study. **Building and Environment**, n. 80, p. 125-135, 2014.

FUJISHIMA, A.; RAO, T.; TRYK, D. Titanium dioxide photocatalysis. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, n. 1, p. 1-21, 2000.

FUJISHIMA, A.; ZHANG, X.; TRYK, D. A. TiO<sub>2</sub> photocatalysis and related surface phenomena. **Surface Science Reports**, v. 63, n. 12, p. 515–582, 2008.



FUJISHIMA, A.; ZHANG, X. Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches. **Comptes Rendus Chimie**, v. 9, n. 8, p. 750-760, 2005.

GARCIA, J. **Caracterização das superfícies auto-limpantes: Microestrutura e macrofuncionalidade**. Apresentação, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo: 2013.

GUERRA, F. L. **Avaliação da eficiência de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> no controle do crescimento de fungos filamentosos deteriorogênicos em argamassas históricas**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

GUERRINI, G. L. Photocatalytic cement-based materials: Situation, challenges and perspectives. **Worldcement.com**, s.v. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/271526498\\_Photocatalytic\\_cement-based\\_materials\\_-\\_Situation\\_challenges\\_and\\_perspectives](https://www.researchgate.net/publication/271526498_Photocatalytic_cement-based_materials_-_Situation_challenges_and_perspectives). Acesso em: 03 mar 2019.

GUO, M.; CHEN, J; XIA M.; POON, C. S. Pathways of conversion of nitrogen oxides by nano TiO<sub>2</sub> incorporated incement-based materials. **Building and Environment**, v. 144, p. 412-418, 2018.

KANAN, M. I. **Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal**, Brasília, DF: IPHAN - Programa Monumenta, 2008.

KARAPATI, S.; GIANNAKOPOLOU, .; TODOROVA, N.; BOUKOS, N.; ANTIOHOS, S.; PAPAGEORGIOU, D.; CHANIOTAKIS, E.; DIMOTIKALI, D.; TRAPALIS, C. TiO<sub>2</sub> functionalization for efficient NO<sub>x</sub> removal in photoactive cement. **Applied Surface Science**, v. 319, p. 29-36, 2014.

LETTIERI, M.; COLANGIULI, D.; CALIA, A. Field performances of nanosized TiO<sub>2</sub> coated limestone for a self-cleaning building surface in an urban environment. **Building and Environment**, v. 147, p. 506-516, 2019.

LOPES, C. V. Avaliação de desempenho de hidrofugantes para revestimentos pétreos quanto à permeabilidade e alteração de cor. In: **XX FEIRA DE INICIAÇÃO À INOVAÇÃO E AO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - FINOVA/2011**, 2011.

LOPES, C. V. **Efeitos do intemperismo em argamassas de rejuntamento**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MANSUROV, R. R.; SAFRONO , A. P.; SAMATOV , O. M.; BEKETOV , I. V.; MEDVEDEV , A. I.; LAKIZA , N. V. Photocatalytic Activity of Titanium Dioxide Nanoparticles Produced by Methods of High-Energy Physical Dispersion. **Russian Journal of Applied Chemistry**, v. 90, n. 2, p. 179–185, 2017.

MANUAL DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA, 2002. (Produzido pela Associação Brasileira de Cimento Portland). Disponível em:

<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>.

Acesso em: jan 2018.

MARANHÃO, F. L. **Método para redução de mancha nas vedações externas de edifícios.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MARANHÃO, F. L.; LOH, K.; JOHN, V. O uso da fotocatalise em materiais autolimpantes. Wolfmartins.com. Disponível em: < <http://www.wolfmartins.com.br/2012/06/materiais-autolimpantes/> >. Acesso em: fev 2018.

MELO, J. **Desenvolvimento de peças pré-moldadas de concreto fotocatalíticas para pavimentação e purificação do ar.** 2011. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

MILLS, A.; LEE, S. A web-based overview of semiconductor photochemistry-based current commercial applications. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 152, p. 233-247, 2002.

MOKRZYCKI, W., TATOL, M. Color difference Delta E - a survey. **Machine Graphic & Vision**, s/v, s/p, 2011.

MONTEIRO, C. V. P. **Avaliação de desempenho de argamasa para rejuntamento branco de fachadas.** 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

OHAMA, Y.; GEMERT, D. V. **Application of titanium dioxide photocatalysis to construction materials.** RILEM TC 194-TDP Report, s/l, 2011.

OLIVEIRA, C. S. de. **Análise crítica de experiências e discussão de estratégias para implantação de leis de inspeção de elementos de fachadas.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

PASSUELO, A. **Análise de parâmetros influentes na cromacidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco.** 2003. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

PEREIRA, M. A. C.; JALALI, S.; PACHECO TORGAL, F. Argamassas aditivadas com Dióxido de Titânio: uma solução eficaz no combate aos graffitis. **Materiais de Construção**, p. 42-45, 2009.

PEREZ-NICOLAS, M.; PLANK, J.; RUIZ-IZURIAGA, D.; NAVARRO-BLASCO, I.; FERNANDEZ, J. M.; ALVAREZ, J. I. Photocatalytically active coatings for cement and air lime mortars: Enhancement of the activity by incorporation of superplasticizers. **Construction and Building Materials**, v. 162, p. 628-648, 2018.

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída**. 2000. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PICADA PROJECT. **Innovative facade coatings with de-soiling and de-polluting properties**. 2006.

PINI (Editora). Construtora obtém economia de 25,6% com revestimento monocamada em fachada. **Construção Mercado**, ed. 173, dez/2015.

PINTO, L. I. C.; COSTA, M. H.; DINIZ, L. M. F.; SEDIYAMA, G. C.; PRUSK, F. F. Comparação de produtos de radiação solar incidente à superfície para a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.4, 469 - 478, 2010.

POZO-ANTONIO, J. S. e DIONISIO, A. Physical-mechanical properties of mortars with addition of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. **Construction and Building Materials**, v. 148, p. 261-272, 2017.

POYASTRO, P. **Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

QUEIROZ FILHO, A. A. E AMORIM NETO, A. A. Titânio. DNPM, Sumário Mineral, s/l, 2014. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/titanio-sumario-mineral-2014>>. Acesso em: fev 2018.

REICHEL, A; HOCKBERG, A.; KOPKE, C. **Plaster, Render, Paint and Coatings: Details, Products, Case Studies (Detail Practice)**. Darmstadt: editora Birkhauser, ed.1, v. 2, 112p, 2012.

ROMAN, H. R. **Revestimentos de argamassa**. Notas de aula. Centro Tecnológico – CTC, Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

RUFFOLO, S. A.; LA RUSSA, M. F.; MALAGODI, M.; ROSSI, C. O.; PALERMO, A. M.; CRISCI, G. M. ZnO and ZnTiO<sub>3</sub> nanopowders for antimicrobial stone coating. **Applied Physics A: Materials Science and Processing**, v. 100, n. 3, p. 829–834, 2010.

SANDIN, K. Mortars for Masonry and Rendering: Choice of Application. **Building Issues**, v. 7, n.3, 1995.

SANTOS, F. P. **Análise das condições superficiais dos substratos de revestimento externo de argamassa**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SARAIVA, A. G. **Contribuição ao estudo de tensões da natureza térmica em sistemas de revestimento cerâmico de fachada**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

SASSONI, E.; D'AMEN E.; ROVERI, N.; SCHERER G. W.; FRANZONI, E. Durable Self-Cleaning Coatings for Architectural Surfaces by Incorporation of TiO<sub>2</sub> Nano-Particles into Hydroxyapatite Films. **Materials (Basel)**, n. 11(2): 177, 2018.

SEO, D.; YUN, T. S. NO<sub>x</sub> removal rate of photocatalytic cementitious materials with TiO<sub>2</sub> in wet condition. **Building and Environment**, v. 112, p. 233-240, 2017.

SINAT (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas). **Revestimento decorativo monocamada em argamassa inorgânica**. Diretriz SINAT n° 006, rev.01, Brasília, 2006.

SMITS, M.; CHAN, C. K.; TYTGAT, T.; CRAEYE, B.; COSTARRAMONE, N.; LACOMBE, S.; LENAERTS, S. Photocatalytic degradation of soot deposition: self-cleaning effect on titanium dioxide coated cementitious materials. **Chemical Engineering J**, n. 222, p. 411–418, 2013.

SOUSA, V.; PEREIRA, F. D.; BRITO, J. DE. **Rebocos Tradicionais : Principais Causas de Degradação**. Engenharia Civil, UM, v. 23, p. 5–18, 2005.

STATISTA, (The Statistics Portal). **Distribution of global titanium dioxide (mineral sands) production in 2014, by country**. s/l, 2014. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/480822/titanium-dioxide-global-production-by-country-share/>. Acesso em: fev 2018.

STOLZ, C. M. e MASUERO, A. B. Analysis of main parameters affecting substrate/mortar contact area through tridimensional laser scanner. **Journal of Colloid and Interface Science**, n. 455, p. 16-23, 2015.

STOLZ, C. M. **Interação entre parâmetros reológicos de argamassas e a rugosidade na aderência de argamassas de revestimento**. 2011. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

TREVISIO, J. P. M.. **Avaliação da eficiência de autolimpeza em argamassas com TiO<sub>2</sub> expostas ao microclima urbano**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

VASCONCELOS, G. *et al.*. Experimental analysis on the functional properties of rendering mortars with superficial addition of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. IN: **9TH INTERNATIONAL MASONRY CONFERENCE**, 2014.

VASKE, N. R. **Contribuição ao estudo do aproveitamento da cinza de lenha de eucalipto como adição ao concreto**. 2012. 236f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

VEIGA, M. R. **As argamassas na conservação**. Edição do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa: 3 ed., 28 p., 2009.

VIAPIANA, C. Eficiência das Propriedades Autolimpantes da Solução de Dióxido de Titânio Quando Aplicada em Detalhe de Fachada de Prédio Histórico. IN: **SIC - XXVIII SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS**, 2016.

VIAPIANA, C.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C.; GUERRA, F. L.; AUSTRIA, G. C.; TREVISO, J. P. M.; GIORDANI, C.; SASSO, H.; BERSCH, J.; HARTMAN, M.; LOPES, W. **Dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>): nanomaterial inovador para promover a autolimpeza de fachadas expostas ao microclima urbano e evitar a biodeterioração em prédios históricos**. Prêmio Sinduscon 2016.

VIDMAR, J.; MILACIC, R.; GOLJA V.; NOVAK, S.; SCANCAR, J. Optimization of the procedure for efficient dispersion of titanium dioxide nanoparticles in aqueous samples. **The Royal Society of Chemistry**, n. 8, p. 1194-1201, 2016.

WEINMANN, D. Z. B. **Método de dosagem de compósito cimentício autoadensável reforçado com fibra de vidro: SC-GRCC**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

WERLE, A. P. **Vida útil de revestimento frio e autolimpante**. 2015. Tese. (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ZHANG, R.; CHENG, X.; HOU, P.; YE, Z. Influence of nano-TiO<sub>2</sub> on the properties of cement-based materials; Hydration and drying shrinkage. **Construction and Building Materials**, v. 81, p. 35-41, 2015.

ZUCCHETTI, L.; MASUERO, A. B.; LOREDO-SOUZA, A. M. Influência da periodicidade de dados na determinação do ICDD em Porto Alegre. In: **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, p. 1735-1743, 2014.

## **ANEXO A – Dados meteorológicos do período de exposição**

## BDMEP - INMET

Estação: PORTO ALEGRE - RS (OMM: 83967)

Latitude (graus) : -30.05

Longitude (graus) : -51.16

Altitude (metros): 46.97

Início de operação: 09/12/1909

Período solicitado dos dados: 19/12/2018 a 20/05/2019

Os dados listados abaixo são os que encontram-se digitados no BDMEP

Horário em UTC

Data	Hora	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Insolação (h)	Evaporação Piche (mm)	Temperatura Compensada Média (°C)	Umidade Relativa Média (%)	Velocidade do Vento Média (mps)
19/12/2018	00h00		30,0		4,9	1,6	24,62	84,50	1,200000
19/12/2018	12h00	3,7		21,0					
20/12/2018	00h00		29,4		2,8	1,7	24,88	84,25	2,233333
20/12/2018	12h00	1,9		22,0					
21/12/2018	00h00		26,9		3,0	1,3	24,46	80,25	0,500000
21/12/2018	12h00	14,3		21,1					
22/12/2018	00h00		31,3		12,5	1,7	25,58	72,50	1,866667
22/12/2018	12h00	3,1		21,5					
23/12/2018	00h00		30,4		9,4	3,9	24,82	66,25	2,200000
23/12/2018	12h00	0		20,6					
24/12/2018	00h00		29,3		12,5	3,2	23,58	70,75	3,766667
24/12/2018	12h00	0		19,0					
25/12/2018	00h00		30,3		10,0	4,7	24,48	67,25	2,100000
25/12/2018	12h00	0		19,3					
26/12/2018	00h00		31,7		10,6	3,9	25,38	68,75	3,266667
26/12/2018	12h00	0		21,4					
27/12/2018	00h00		33,8		12,1	3,4	26,30	68,50	1,766667
27/12/2018	12h00	0		20,5					
28/12/2018	00h00		36,1		12,7	4,0	28,34	57,00	1,466667
28/12/2018	12h00	0		21,2					
29/12/2018	00h00		35,1		12,0	4,9	27,00	69,75	2,000000
29/12/2018	12h00	0		21,1					
30/12/2018	00h00		37,2		10,3	4,4	29,76	58,50	0,233333
30/12/2018	12h00	0		22,4					
31/12/2018	00h00		31,9		5,1	5,6	27,06	76,75	2,300000
31/12/2018	12h00	0		24,3					
01/01/2019	00h00		36,6		11,7	2,1	28,68	66,75	2,433333
01/01/2019	12h00	0		23,8					
02/01/2019	00h00		38,5		9,5	4,9	32,14	57,75	0,633333
02/01/2019	12h00	0		24,4					
03/01/2019	00h00		34,2		0,6	6,2	25,16	87,25	1,700000
03/01/2019	12h00	0		21,2					
04/01/2019	00h00		26,5		0,4	0,8	22,30	82,75	1,333333
04/01/2019	12h00	14,2		19,8					
05/01/2019	00h00		28,4		5,7	2,0	23,48	72,75	3,466667
05/01/2019	12h00	0		20,1					
06/01/2019	00h00		35,3		10,3	2,8	27,62	67,50	0,733333
06/01/2019	12h00	0		21,4					
07/01/2019	00h00		34,6		2,8	4,1	28,44	72,25	3,133333
07/01/2019	12h00	0,2		24,4					
08/01/2019	00h00		32,5		6,4	5,9	26,86	67,25	1,600000
08/01/2019	12h00	3,7		22,4					

Data	Hora	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Insolação (h)	Evaporação Piche (mm)	Temperatura Compensada Média (°C)	Umidade Relativa Média (%)	Velocidade do Vento Média (mps)
09/01/2019	00h00		28,9		3,0	3,9	26,70	71,00	0,833333
09/01/2019	12h00	0		24,4					
10/01/2019	00h00		30,2		1,0	3,0	27,44	74,75	0,766667
10/01/2019	12h00	0,2		24,0					
11/01/2019	00h00		27,4		0,0	2,8	24,16	80,50	0,533333
11/01/2019	12h00	0,2		23,0					
12/01/2019	00h00		26,5		0,0	1,7	23,94	84,00	2,233333
12/01/2019	12h00	0,1		22,0					
13/01/2019	00h00		35,5		9,6	1,4	28,26	65,00	0,433333
13/01/2019	12h00	0,2		22,4					
14/01/2019	00h00		32,7		8,4	3,9	26,84	77,50	1,800000
14/01/2019	12h00	0,3		23,2					
15/01/2019	00h00		34,7		7,5	4,2	29,10	69,00	1,166667
15/01/2019	12h00	2,6		24,0					
16/01/2019	00h00		31,9		6,9	3,8	27,72	76,75	2,600000
16/01/2019	12h00	33,8		23,3					
17/01/2019	00h00		28,0		0,8	3,5	24,14	89,50	2,400000
17/01/2019	12h00	5,4		22,4					
18/01/2019	00h00		28,8		2,5	1,1	24,92	88,50	0,900000
18/01/2019	12h00	14,7		21,6					
19/01/2019	00h00		24,8		0,0	1,4	21,00	92,50	2,866667
19/01/2019	12h00	13,1		19,8					
20/01/2019	00h00		28,6		8,1	0,9	23,28	77,50	2,666667
20/01/2019	12h00	6,4		19,2					
21/01/2019	00h00		29,8		5,3	2,4	24,56	82,00	1,300000
21/01/2019	12h00	0		21,2					
22/01/2019	00h00		34,0		11,8	2,3	26,68	72,50	1,033333
22/01/2019	12h00	0		20,5					
23/01/2019	00h00		34,9		8,6	3,4	28,48	65,25	2,533333
23/01/2019	12h00	0		22,2					
24/01/2019	00h00		31,6		6,5	3,8	26,96	82,50	2,900000
24/01/2019	12h00	0		24,8					
25/01/2019	00h00		31,7		12,5	2,6	26,66	69,50	2,933333
25/01/2019	12h00	6		22,4					
26/01/2019	00h00		35,7		11,5	4,8	28,44	67,75	1,033333
26/01/2019	12h00	0		23,4					
27/01/2019	00h00		35,3		11,0	4,4	28,82	61,75	2,166667
27/01/2019	12h00	0		22,5					
28/01/2019	00h00		36,1		11,2	4,8	30,62	59,00	1,900000
28/01/2019	12h00	0		24,6					
29/01/2019	00h00		37,3		10,1	5,8	30,44	63,25	0,966667
29/01/2019	12h00	0		26,3					
30/01/2019	00h00		38,4		10,9	6,0	32,42	52,25	1,666667
30/01/2019	12h00	0		26,5					
31/01/2019	00h00		36,7		8,6	7,7	27,84	75,75	0,766667
31/01/2019	12h00	0		24,0					
01/02/2019	00h00		36,0		7,5	2,9	27,46	80,00	1,433333
01/02/2019	12h00	15,9		23,5					
02/02/2019	00h00		31,0		2,5	2,8	24,92	84,50	1,733333
02/02/2019	12h00	2,1		22,0					
03/02/2019	00h00		25,6		2,9	1,9	22,18	72,25	2,833333
03/02/2019	12h00	21,4		19,7					



Data	Hora	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Insolação (h)	Evaporação Piche (mm)	Temperatura Compensada Média (°C)	Umidade Relativa Média (%)	Velocidade do Vento Média (mps)
04/02/2019	00h00		26,6		5,3	3,0	22,38	66,00	2,800000
04/02/2019	12h00	0		17,3					
05/02/2019	00h00		28,6		9,9	3,3	23,14	63,50	2,533333
05/02/2019	12h00	0		17,3					
06/02/2019	00h00		30,2		10,9	4,0	23,72	70,00	1,266667
06/02/2019	12h00	0		18,0					
07/02/2019	00h00		32,4		10,9	3,6	25,56	65,00	1,600000
07/02/2019	12h00	0		19,6					
08/02/2019	00h00		34,5		11,8	3,9	26,88	61,00	1,566667
08/02/2019	12h00	0		19,5					
09/02/2019	00h00		37,3		11,0	5,4	29,40	55,25	0,666667
09/02/2019	12h00	0		22,0					
10/02/2019	00h00		29,8		1,6	5,8	26,40	84,75	1,000000
10/02/2019	12h00	0		24,0					
11/02/2019	00h00		34,7		6,5	2,1	26,62	75,75	2,333333
11/02/2019	12h00	4,4		22,8					
12/02/2019	00h00		25,3		2,2	3,6	22,18	72,75	2,266667
12/02/2019	12h00	14,7		20,6					
13/02/2019	00h00		27,0		9,9	3,0	21,58	66,75	2,466667
13/02/2019	12h00	1,5		16,9					
14/02/2019	00h00		31,0		9,4	3,6	24,44	65,25	1,166667
14/02/2019	12h00	0		19,2					
15/02/2019	00h00		25,4		1,0	3,6	22,76	83,00	0,766667
15/02/2019	12h00	5		20,4					
16/02/2019	00h00		28,6		8,3	1,2	23,98	78,00	2,033333
16/02/2019	12h00	1,6		20,5					
17/02/2019	00h00		29,4		10,2	2,9	24,52	69,75	3,033333
17/02/2019	12h00	3,8		20,4					
18/02/2019	00h00		31,7		8,6	4,0	25,86	72,50	2,500000
18/02/2019	12h00	0		22,3					
19/02/2019	00h00		32,3		10,5	3,3	26,18	70,25	1,366667
19/02/2019	12h00	0		21,4					
20/02/2019	00h00		33,8		11,6	4,2	27,56	65,75	0,833333
20/02/2019	12h00	0		22,8					
21/02/2019	00h00		35,2		11,5	4,5	26,54	67,00	1,766667
21/02/2019	12h00	0		20,1					
22/02/2019	00h00		34,3		11,6	4,8	27,38	62,50	2,466667
22/02/2019	12h00	0		20,6					
23/02/2019	00h00		35,9		11,5	5,1	29,34	57,00	0,766667
23/02/2019	12h00	0		22,2					
24/02/2019	00h00		32,0		3,1	6,8	26,14	81,50	0,900000
24/02/2019	12h00	0		22,2					
25/02/2019	00h00		24,0		0,0	1,4	20,76	94,50	0,766667
25/02/2019	12h00	31,8		19,2					
26/02/2019	00h00		24,9		2,7	0,4	21,28	70,75	1,000000
26/02/2019	12h00	8,7		18,7					
27/02/2019	00h00		24,7		6,5	2,3	21,20	70,25	2,933333
27/02/2019	12h00	0,2		18,2					
28/02/2019	00h00		29,2		9,4	3,1	22,38	67,25	1,333333
28/02/2019	12h00	0		16,9					
01/03/2019	00h00		31,4		10,7	3,5	23,90	69,00	1,100000
01/03/2019	12h00	0		17,0					

Data	Hora	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Insolação (h)	Evaporação Piche (mm)	Temperatura Compensada Média (°C)	Umidade Relativa Média (%)	Velocidade do Vento Média (mps)
02/03/2019	00h00		31,5		10,6	3,4	25,58	54,50	1,866667
02/03/2019	12h00	0		19,8					
03/03/2019	00h00		29,9		7,1	5,4	23,86	73,00	2,166667
03/03/2019	12h00	0		21,2					
04/03/2019	00h00		35,7		9,8	2,7	27,64	64,50	0,666667
04/03/2019	12h00	0		21,1					
05/03/2019	00h00		34,9		8,4	5,0	25,68	75,75	2,533333
05/03/2019	12h00	0		21,4					
06/03/2019	00h00		31,7		2,3	3,7	25,70	76,00	0,000000
06/03/2019	12h00	15,4		21,0					
07/03/2019	00h00		33,7		7,5	2,3	26,90	70,50	0,600000
07/03/2019	12h00	0		22,6					
08/03/2019	00h00		30,1		5,2	4,0	24,72	84,00	1,700000
08/03/2019	12h00	0,1		22,7					
09/03/2019	00h00		23,6		0,0	2,2	21,08	88,75	2,033333
09/03/2019	12h00	40,9		20,0					
10/03/2019	00h00		24,9		4,6	1,2	21,24	71,50	3,200000
10/03/2019	12h00	7,3		18,1					
11/03/2019	00h00		27,2		5,9	3,0	22,06	73,00	2,033333
11/03/2019	12h00	0		17,3					
12/03/2019	00h00		28,8		6,2	3,3	24,22	70,75	1,766667
12/03/2019	12h00	0		18,7					
13/03/2019	00h00		28,0		3,1	2,8	24,40	77,00	1,966667
13/03/2019	12h00	0,3		21,6					
14/03/2019	00h00		28,9		10,2	2,5	23,26	72,00	2,533333
14/03/2019	12h00	0,8		19,2					
15/03/2019	00h00		30,2		7,1	4,1	24,10	75,75	1,333333
15/03/2019	12h00	0		19,3					
16/03/2019	00h00		31,0		7,2	2,7	25,16	74,50	2,533333
16/03/2019	12h00	0		20,9					
17/03/2019	00h00		25,7		0,0	3,2	23,04	88,00	1,666667
17/03/2019	12h00	0		21,1					
18/03/2019	00h00		27,7		1,3	1,0	23,52	90,50	0,266667
18/03/2019	12h00	10,1		21,5					
19/03/2019	00h00		29,9		5,5	1,2	23,96	75,25	1,033333
19/03/2019	12h00	0,7		20,9					
20/03/2019	00h00		25,2		1,5	2,4	20,74	75,50	2,033333
20/03/2019	12h00	0		18,9					
21/03/2019	00h00		24,1		9,7	2,2	18,46	65,75	1,366667
21/03/2019	12h00	0,6		15,2					
22/03/2019	00h00		26,3		7,8	2,6	20,04	72,00	1,866667
22/03/2019	12h00	0		12,9					
23/03/2019	00h00		27,7		6,9	2,7	20,80	74,75	0,666667
23/03/2019	12h00	0		15,7					
24/03/2019	00h00		29,6		9,7	2,3	23,14	62,50	1,266667
24/03/2019	12h00	0		16,1					
25/03/2019	00h00		25,2		10,0	3,6	20,18	64,00	1,500000
25/03/2019	12h00	0		17,1					
26/03/2019	00h00		27,1		8,6	4,2	20,18	75,50	0,600000
26/03/2019	12h00	0		15,0					
27/03/2019	00h00		24,4		1,7	2,4	20,04	82,25	1,766667
27/03/2019	12h00	0		16,7					

Data	Hora	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Insolação (h)	Evaporação Piche (mm)	Temperatura Compensada Média (°C)	Umidade Relativa Média (%)	Velocidade do Vento Média (mps)
28/03/2019	00h00		27,6		9,5	1,3	22,10	74,25	3,500000
28/03/2019	12h00	1,9		17,7					
29/03/2019	00h00		29,1		8,6	3,4	23,14	73,25	1,933333
29/03/2019	12h00	0		19,6					
30/03/2019	00h00		32,1		9,0	3,2	24,68	68,50	0,833333
30/03/2019	12h00	0		17,8					
31/03/2019	00h00		30,2		5,9	3,4	24,78	76,00	0,600000
31/03/2019	12h00	0,1		21,1					
01/04/2019	00h00		31,4		8,4	2,1	24,72	79,00	2,229240
01/04/2019	12h00	0		21,4					
02/04/2019	00h00		32,9		9,6	2,5	25,84	70,00	0,685920
02/04/2019	12h00	0		19,5					
03/04/2019	00h00		32,6		8,8	3,7	26,54	74,50	2,057760
03/04/2019	12h00	0		22,7					
04/04/2019	00h00		34,0		6,9	3,5	26,80	76,50	0,514440
04/04/2019	12h00	0		22,4					
05/04/2019	00h00		25,7		0,0	3,2	22,38	86,25	1,714800
05/04/2019	12h00	50,7		20,1					
06/04/2019	00h00		23,8		0,5		20,88	93,50	1,200360
06/04/2019	12h00	0,1		19,0					
07/04/2019	00h00		24,6		0,0		21,80	81,75	1,886280
07/04/2019	12h00	6,4		19,8					
08/04/2019	00h00		26,2		7,8		20,68	72,50	2,057760
08/04/2019	12h00	0,2		17,2					
09/04/2019	00h00		26,5		9,6		20,28	70,50	2,057760
09/04/2019	12h00	0		14,6					
10/04/2019	00h00		29,4		9,7		22,58	67,00	0,342960
10/04/2019	12h00	0		16,1					
11/04/2019	00h00		31,0		8,7		23,10	76,75	1,714800
11/04/2019	12h00	0		17,7					
12/04/2019	00h00		24,1		2,2		21,96	83,50	1,371840
12/04/2019	12h00	24		20,7					
13/04/2019	00h00		30,3		6,8		23,38	82,00	0,857400
13/04/2019	12h00	0		19,2					
14/04/2019	00h00		32,2		7,2		24,76	68,75	1,028880
14/04/2019	12h00	0		20,4					
15/04/2019	00h00		26,9		1,7		23,16	87,25	2,400720
15/04/2019	12h00	0		20,5					
16/04/2019	00h00		22,6		0,0		19,68	93,50	2,743680
16/04/2019	12h00	52,7		19,1					
17/04/2019	00h00		24,7		2,3		20,10	83,25	0,171480
17/04/2019	12h00	15,2		15,8					
18/04/2019	00h00		26,2		5,8		20,16	82,25	1,028880
18/04/2019	12h00	0,1		15,8					
19/04/2019	00h00		27,0		7,3		21,46	75,75	0,685920
19/04/2019	12h00	0,1		17,5					
20/04/2019	00h00		27,1		2,8		22,12	82,75	0,000000
20/04/2019	12h00	0		17,5					
21/04/2019	00h00		23,0		0,0		20,68	82,25	2,057760
21/04/2019	12h00	0		20,3					
22/04/2019	00h00		21,4		0,0		19,08	76,50	2,057760
22/04/2019	12h00	0,4		17,0					

Data	Hora	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Insolação (h)	Evaporação Piche (mm)	Temperatura Compensada Média (°C)	Umidade Relativa Média (%)	Velocidade do Vento Média (mps)
23/04/2019	00h00		25,0		1,1		21,06	79,25	2,057760
23/04/2019	12h00	0		18,3					
24/04/2019	00h00		29,2		7,0		22,66	81,50	1,543320
24/04/2019	12h00	0		18,8					
25/04/2019	00h00		23,0		0,0		22,28	91,50	2,400720
25/04/2019	12h00	0		21,6					
26/04/2019	00h00		25,7		0,0		22,90	92,50	1,200360
26/04/2019	12h00	14,9		21,4					
27/04/2019	00h00		23,2		0,0		21,66	91,50	2,229240
27/04/2019	12h00	73,7		20,9					
28/04/2019	00h00		24,2		0,0		19,90	83,50	1,371840
28/04/2019	12h00	2,5		18,9					
29/04/2019	00h00		24,8		8,8		18,82	81,50	0,685920
29/04/2019	12h00	0,1		14,7					
30/04/2019	00h00		25,2		8,1		18,64	85,50	1,200360
30/04/2019	12h00	0		13,7					
01/05/2019	00h00		27,1		7,2		20,96	74,75	0,000000
01/05/2019	12h00	0,4		17,9					
02/05/2019	00h00		25,8		7,7		19,90	79,75	0,685920
02/05/2019	12h00	0,1		15,1					
03/05/2019	00h00		28,8		2,9		22,56	88,50	0,342960
03/05/2019	12h00	0		17,5					
04/05/2019	00h00		28,7		2,9		23,78	89,00	0,857400
04/05/2019	12h00	43		21,4					
05/05/2019	00h00		30,3		4,2		23,90	86,50	0,342960
05/05/2019	12h00	0		21,0					
06/05/2019	12h00	12		21,4					
Totais		610	-	-	887,5	355,1	-	-	-
Valores Médios		4,4	29,8	20,3	6,4	3,3	24,3	74,9	1,602791

Fonte: BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, INMET (2019).

## **ANEXO B – Resultados da etapa piloto**

Os resultados apresentados nas Tabelas 32, 33 e 34 correspondem ao primeiro período de exposição, que é de 5 dias (20 ciclos) de exposição na “Câmara 1” - sendo que cada dia conteve 4 ciclos de 120 min cada (conforme descrito no item 4.3), e a 20 ciclos na “Câmara 2”, que totalizaram um total de 160 h na mesma.

Cada linha das tabelas apresentadas representa os valores médios das coordenadas obtidas para uma placa de argamassa, ou seja, há duas placas para cada tipo de adição e acabamento superficial para cada câmara – totalizando as 36 placas de argamassa totais para esta etapa. Optou-se por demonstrar a variação da coordenada L por essa ser uma coordenada representativa da variação da luminosidade preta (mais próxima ao valor zero) e da branca (mais próxima ao valor 100) e o valor de  $\Delta E$  que é, de fato, a variação de cor no tempo.

Tabela 32 - Valores Médios de coordenadas L e  $\Delta E$  antes, pós-manchamento e após 5 dias de exposição para 0% de adição de  $TiO_2$

		Antes do manchamento	Imediatamente após o manchamento	Após ciclos de exposição	Antes do manchamento	Imediatamente após o manchamento	Após ciclos de exposição
		<b>L</b> inicial	<b>L</b> zero	<b>L</b> cinco	<b><math>\Delta E</math></b> inicial	<b><math>\Delta E</math></b> zero	<b><math>\Delta E</math></b> cinco
0% T1	Câmara 1 (Cinza)	74,95	26,83	40,11	25,30	73,81	59,63
		71,98	20,26	28,26	28,33	80,34	71,41
	Câmara 2 (Branca)	76,62	25,29	33,77	23,83	75,27	65,56
		73,62	25,75	34,12	27,06	64,43	65,19
0% T2	Câmara 1 (Cinza)	70,50	12,83	24,30	29,60	86,71	75,23
		73,42	15,14	23,36	26,74	84,39	76,19
	Câmara 2 (Branca)	72,72	17,51	26,43	27,53	82,01	72,86
		75,64	15,55	23,92	24,69	83,96	75,37
0% T3	Câmara 1 (Cinza)	77,18	35,12	40,33	23,91	65,63	59,63
		76,11	48,04	44,81	24,74	52,73	55,17
	Câmara 2 (Branca)	75,29	31,53	45,56	25,31	69,16	53,89
		78,17	24,48	38,38	22,46	-27,57	60,99

Fonte: próprio da autora.

Tabela 33 - Valores Médios de coordenadas L e  $\Delta E$  antes, pós-manchamento e após 5 dias de exposição para 5% de adição de  $TiO_2$

		Antes do manchamento	Imediatamente após o manchamento	Após ciclos de exposição	Antes do manchamento	Imediatamente após o manchamento	Após ciclos de exposição
		<b>L</b> inicial	<b>L</b> zero	<b>L</b> cinco	<b><math>\Delta E</math></b> inicial	<b><math>\Delta E</math></b> zero	<b><math>\Delta E</math></b> cinco
5% T1	Câmara 1 (Cinza)	69,06	22,61	28,88	30,99	77,09	70,71
		75,24	24,34	34,71	24,90	75,21	64,94
	Câmara 2 (Branca)	78,03	25,31	35,86	22,49	63,47	74,10
		75,80	22,46	32,32	24,54	67,00	77,31
5% T2	Câmara 1 (Cinza)	71,22	23,33	26,51	27,32	74,56	71,30
		72,09	24,09	28,15	31,48	76,98	73,13
	Câmara 2 (Branca)	74,49	23,87	31,04	25,50	75,64	68,24
		71,23	21,39	26,29	28,63	78,13	73,00
5% T3	Câmara 1 (Cinza)	77,11	26,60	23,28	23,27	73,07	76,33
		78,94	45,84	46,85	21,81	53,94	53,03
	Câmara 2 (Branca)	74,48	34,02	44,50	25,83	65,73	54,93
		77,02	42,98	52,44	23,64	56,73	47,06

Fonte: próprio da autora.

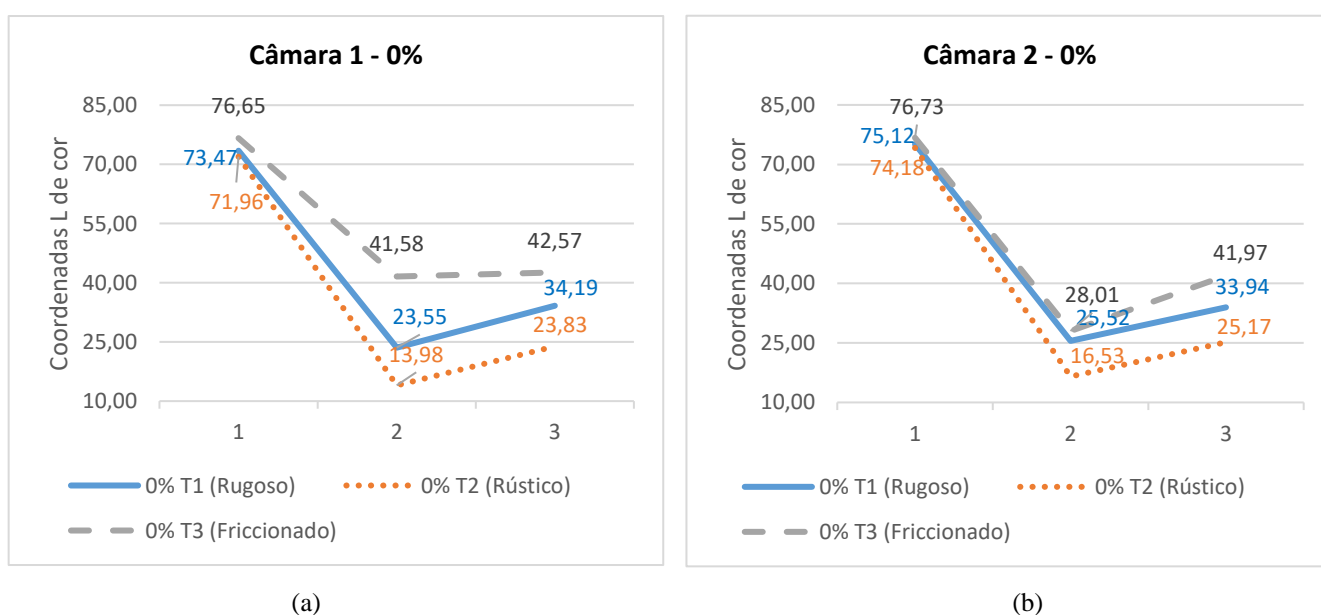
Esses resultados também estão apresentados na forma de gráficos para uma comparação inicial e visual das variações das coordenadas L de cor, visto que uma análise de variância ainda deve ser realizada. Os mesmos são mostrados nas Figuras 94, 95 e 96.

Tabela 34 - Valores Médios de coordenadas L e  $\Delta E$  antes, pós-manchamento e após 5 dias de exposição para 10% de adição de  $TiO_2$

		Antes do manchamento	Imediatamente após o manchamento	Após ciclos de exposição	Antes do manchamento	Imediatamente após o manchamento	Após ciclos de exposição
		L inicial	L zero	L cinco	$\Delta E$ inicial	$\Delta E$ zero	$\Delta E$ cinco
10% T1	Câmara 1 (Cinza)	74,13	32,30	31,30	25,74	67,27	68,31
		60,84	33,59	32,61	29,86	65,97	67,03
	Câmara 2 (Branca)	72,76	27,79	30,58	27,06	71,76	68,73
		71,89	27,56	33,43	20,17	71,97	65,89
10% T2	Câmara 1 (Cinza)	76,09	22,66	21,92	24,26	76,86	77,64
		68,54	19,50	22,46	31,21	80,03	77,09
	Câmara 2 (Branca)	73,12	26,45	31,48	26,71	73,07	67,81
		74,68	21,58	25,76	25,30	77,94	73,51
10 T3	Câmara 1 (Cinza)	73,25	38,00	39,48	26,80	61,59	60,21
		72,69	34,02	36,00	27,39	65,59	63,69
	Câmara 2 (Branca)	77,73	34,02	41,67	22,49	65,56	57,67
		79,00	31,21	41,28	21,13	68,37	58,04

Fonte: próprio da autora.

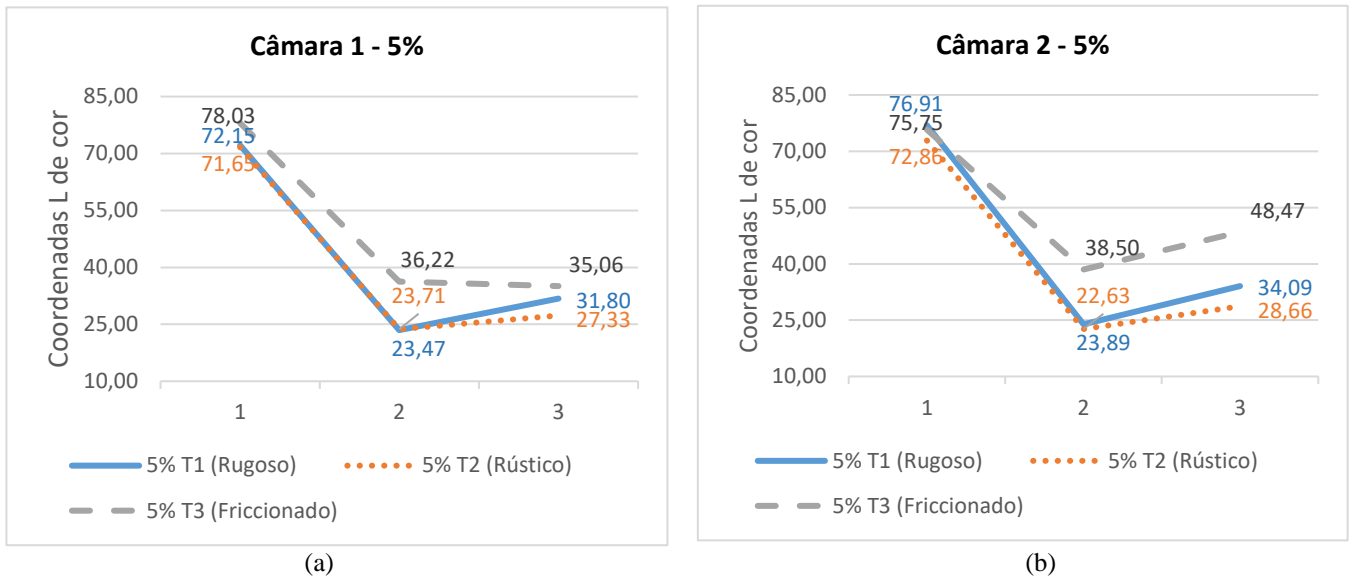
Figura 94 - Valores Médios da coordenadas L em (1) antes do manchamento, (2) pós-manchamento e (3) após 5 dias de exposição para 0% de adição de  $TiO_2$  em: (a) câmara 1 e (b) câmara 2



Fonte: próprio da autora.



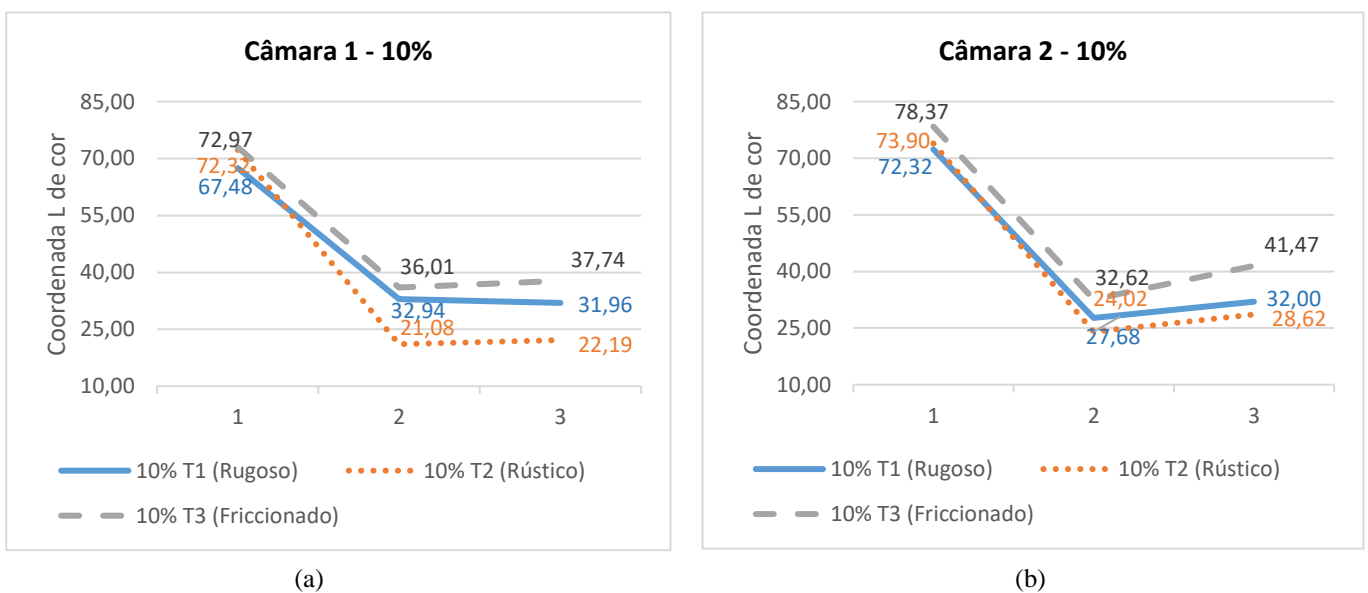
Figura 95 - Valores Médios da coordenadas L em (1) antes do manchamento, (2) pós-manchamento e (3) após 5 dias de exposição para 5% de adição de TiO<sub>2</sub> em: (a) câmara 1 e (b) câmara 2



Fonte: próprio da autora.

Pode-se notar a partir da análise visual dos gráficos de uma forma geral o melhor desempenho do acabamento superficial do tipo T3 (Friccionado), visto que o seu nível de luminosidade (L) não alcançou valores tão baixos quando em comparação aos outros acabamentos, tanto no momento de pós-manchamento quanto no momento final dos ciclos, independentemente da taxa de adição do dióxido de titânio. Estima-se assim que, provavelmente, este acabamento terá melhor desempenho nos próximos ciclos.

Figura 96 - Valores Médios da coordenadas L em (1) antes do manchamento, (2) pós-manchamento e (3) após 5 dias de exposição para 10% de adição de TiO<sub>2</sub> em: (a) câmara 1 e (b) câmara 2



Fonte: próprio da autora.

Da mesma forma, pode-se inferir que o acabamento superficial T2 (Rústico) apresentará o menos satisfatório desempenho quanto à autolimpeza das superfícies. Esse fato pode ser justificado pela alta rugosidade dessas superfícies, favorecendo o acúmulo de fuligem e provavelmente dificultando o caminho de escoamento da água carregando as sujidades. Um aspecto a ser considerado, no entanto, é a significância destes resultados visto que os valores da coordenada L no momento 3 (pós-exposição) foram superiores ao instante 2 em todos os casos, indicando algum tipo de limpeza dessas superfícies.

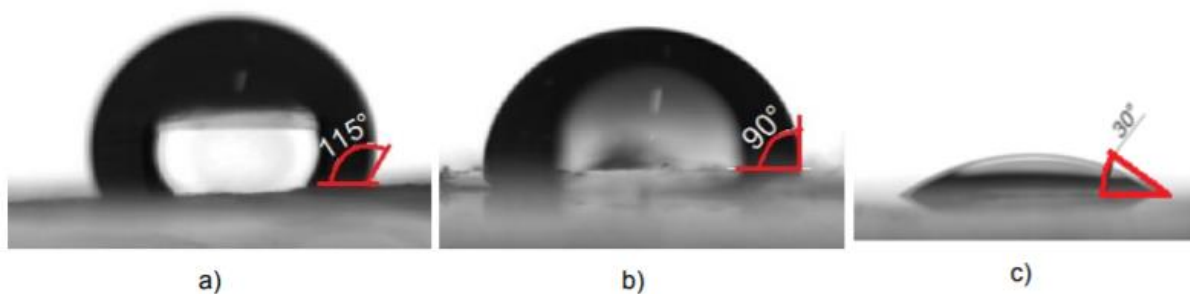
Quando comparando a exposição às duas câmaras, nota-se que, para as adições de 5% e 10% de  $\text{TiO}_2$  a câmara 2 pode ter sido mais eficiente – apresentando na adição de 10%, por exemplo, um aumento de 27% de luminosidade no acabamento superficial fricionado na câmara 2 e de apenas 5% na câmara 1. Em suma, se verifica, pela análise dos dados, o clareamento das superfícies expostas aos ciclos iniciais de ambas as câmaras para praticamente todos os casos, embora a significância ainda deva ser testada.

## **ANEXO C – Ensaio de medição de tensão superficial**

O objetivo deste ensaio é a análise da tensão superficial através do método da gota pendente. Ele tem base na norma ASTM D7490-08, que designa um método padrão para a medição de tensão superficial de revestimentos sólidos, substratos e pigmentos.

O ensaio de medição de tensão superficial tem o objetivo de medir o ângulo de contato de uma gota de água com a superfície e é realizado através de um equipamento que lança a gota sobre a superfície, enquanto uma câmera digital de alta precisão fotografa esse contato (Figura 97). Com a imagem obtida, pode-se medir o ângulo de contato e, conseqüentemente, a tensão superficial, com auxílio de *softwares* como o *AutoCAD*.

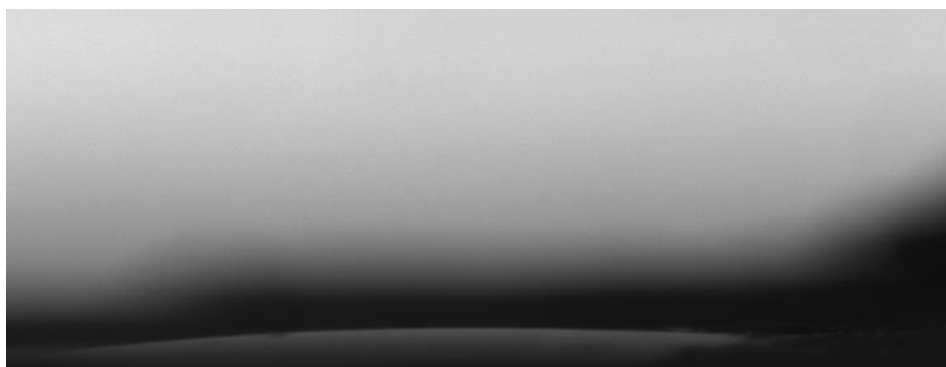
Figura 97 – Medição dos ângulos de contato em diferentes superfícies



Fonte: Stolz (2015).

O ensaio de medição de tensão superficial, programado para ser realizado após os 28 dias de cura das placas com acabamentos superficiais, após manchamentos e após exposição, não apresentou resultado de execução satisfatório. Isso aconteceu porque quando a gota era lançada à superfície, se percebia visivelmente na imagem que a mesma não assumia o seu “formato de gota”, provavelmente pelas rugosidades das superfícies que de certa forma “quebravam” a gota. Uma dessas tentativas é mostrada na Figura 98.

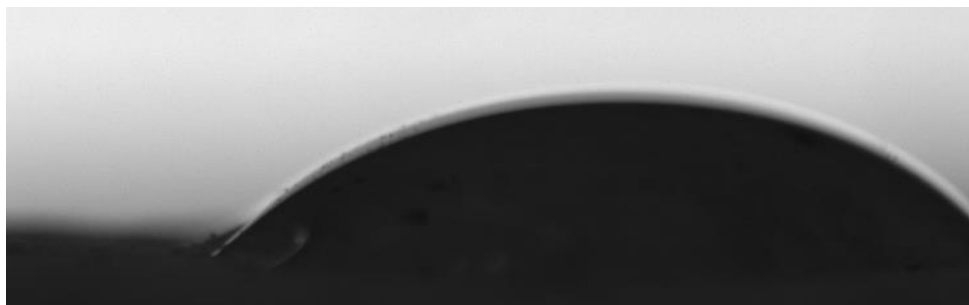
Figura 98 – Aspecto da gota em ensaio para ângulo de contato (não conclusivo)



Fonte: própria da autora.

No entanto, para o acabamento superficial do tipo “friccionado”, foi possível visualizar bem o formato de gota, porém somente nas regiões da placa em que o acabamento tem a superfície mais lisa, como pode ser visto na Figura 99. Pela falta de representatividade dessa análise, optou-se por não fazê-la no momento, e buscar novos métodos para entendimento da tensão superficial das placas. Um deles será a análise tridimensional por scanner, ainda a ser realizada.

Figura 99 – Aspecto da gota em parte lisa de acabamento do tipo “friccionado”



Fonte: própria da autora.

## **ANEXO D – Registro fotográfico**

Figura 100 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 90°, manchadas com fuligem

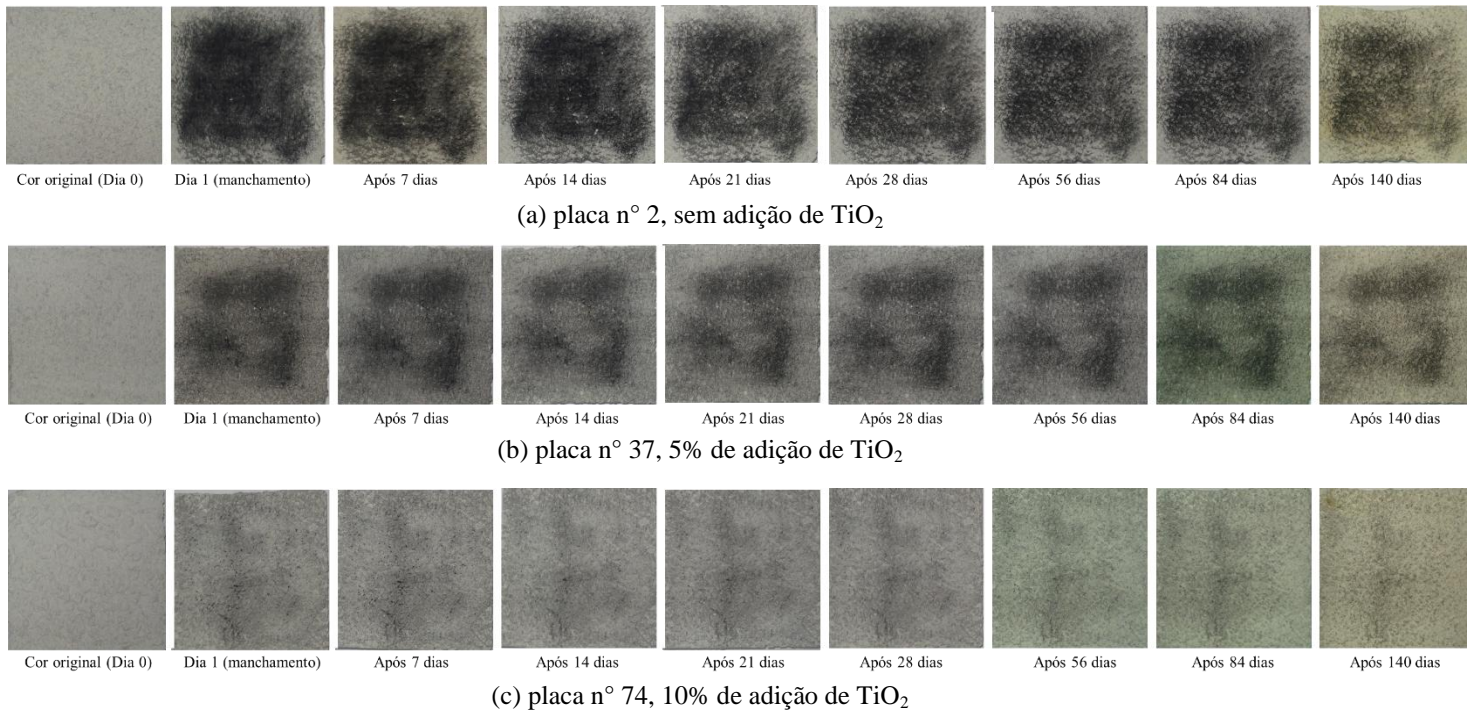
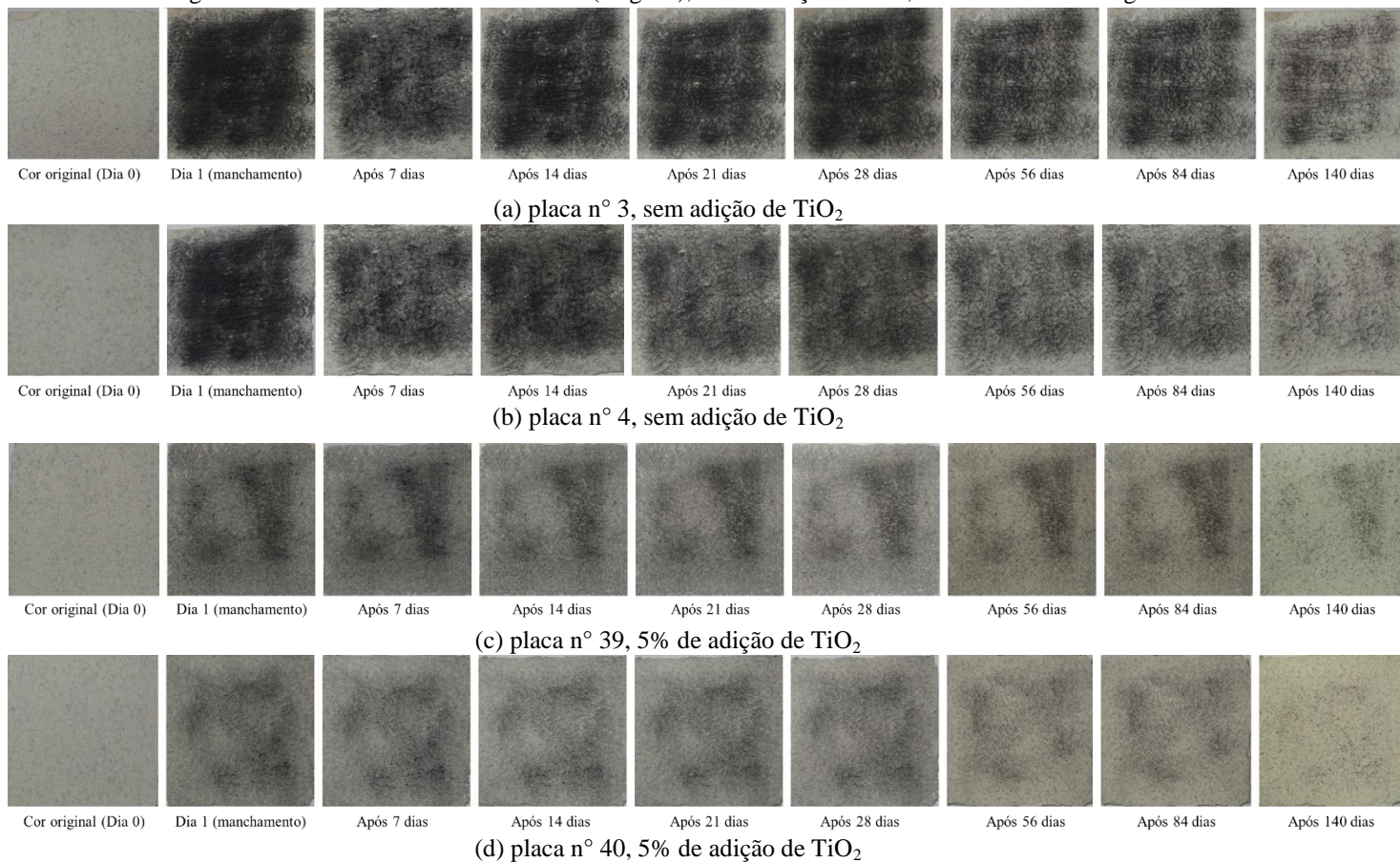


Figura 101 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 45°, manchadas com fuligem





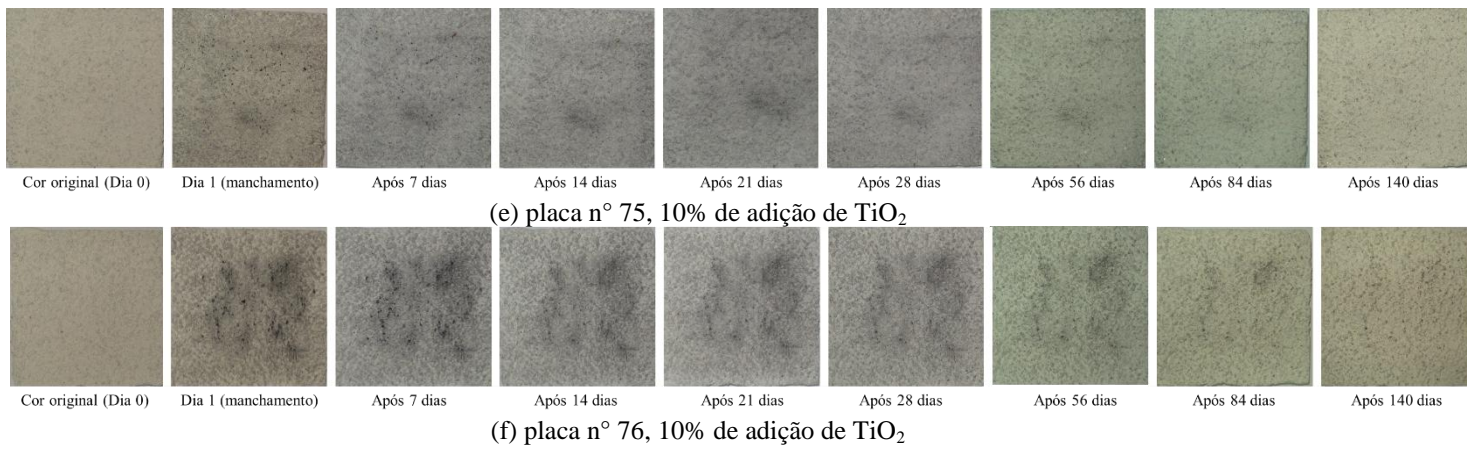


Figura 102 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de  $90^\circ$ , manchadas com fuligem

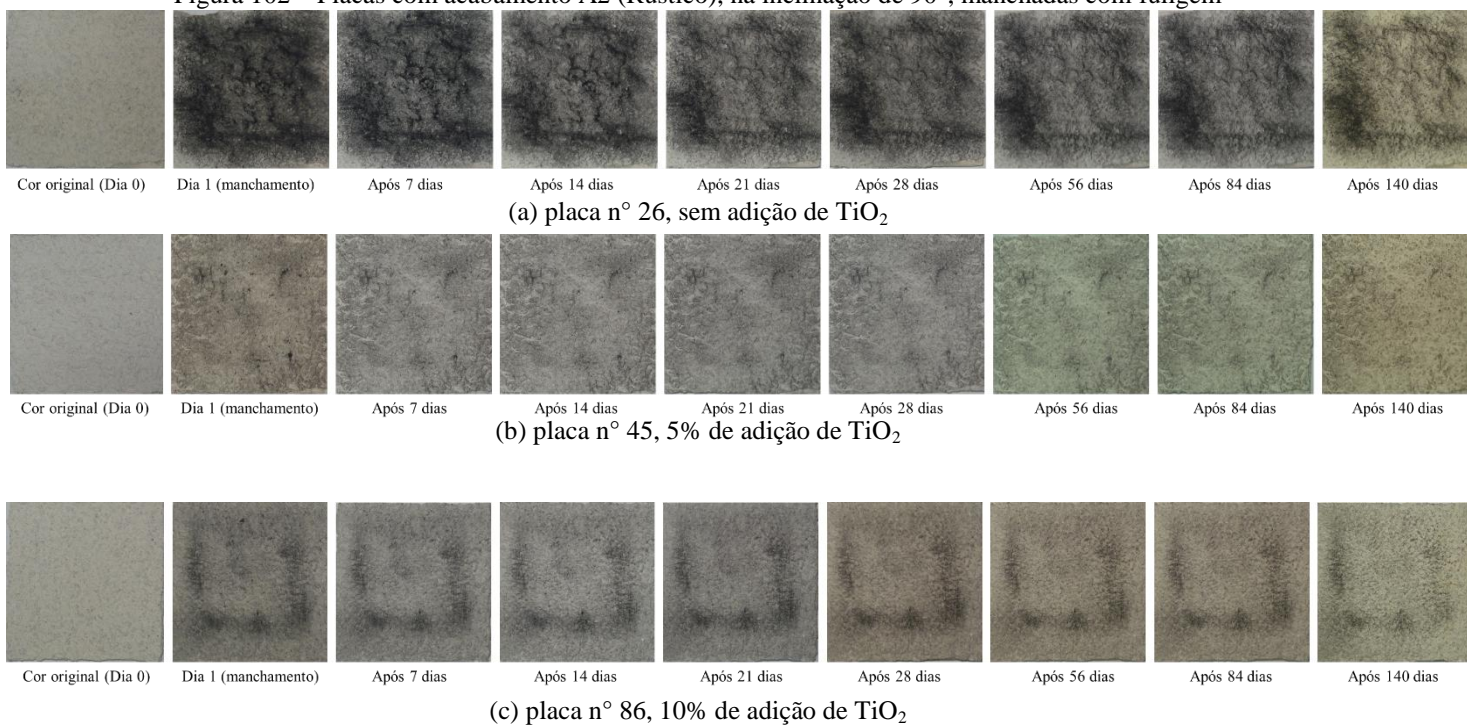
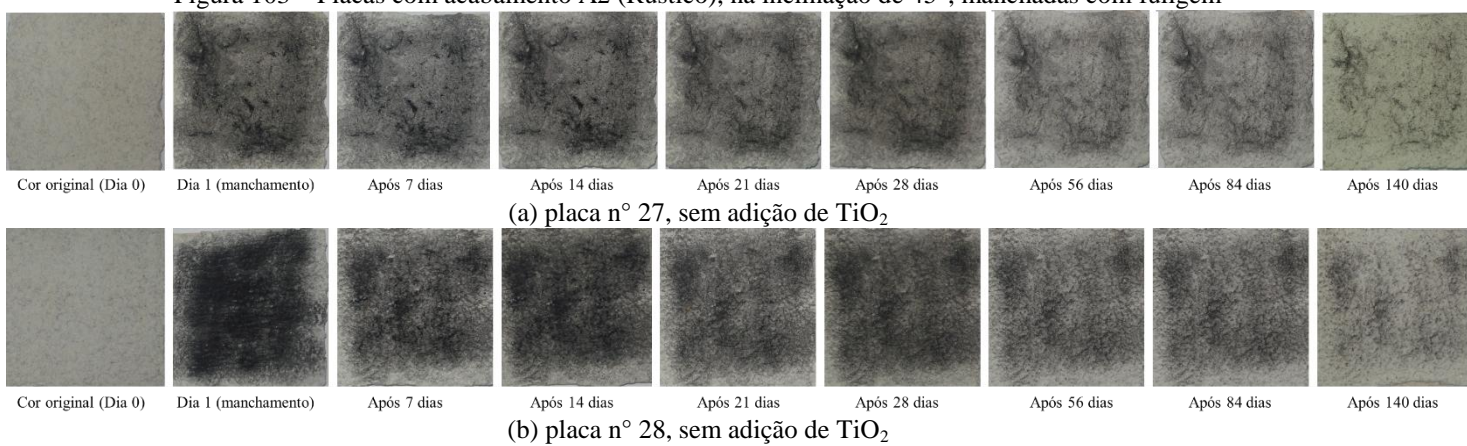


Figura 103 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de  $45^\circ$ , manchadas com fuligem





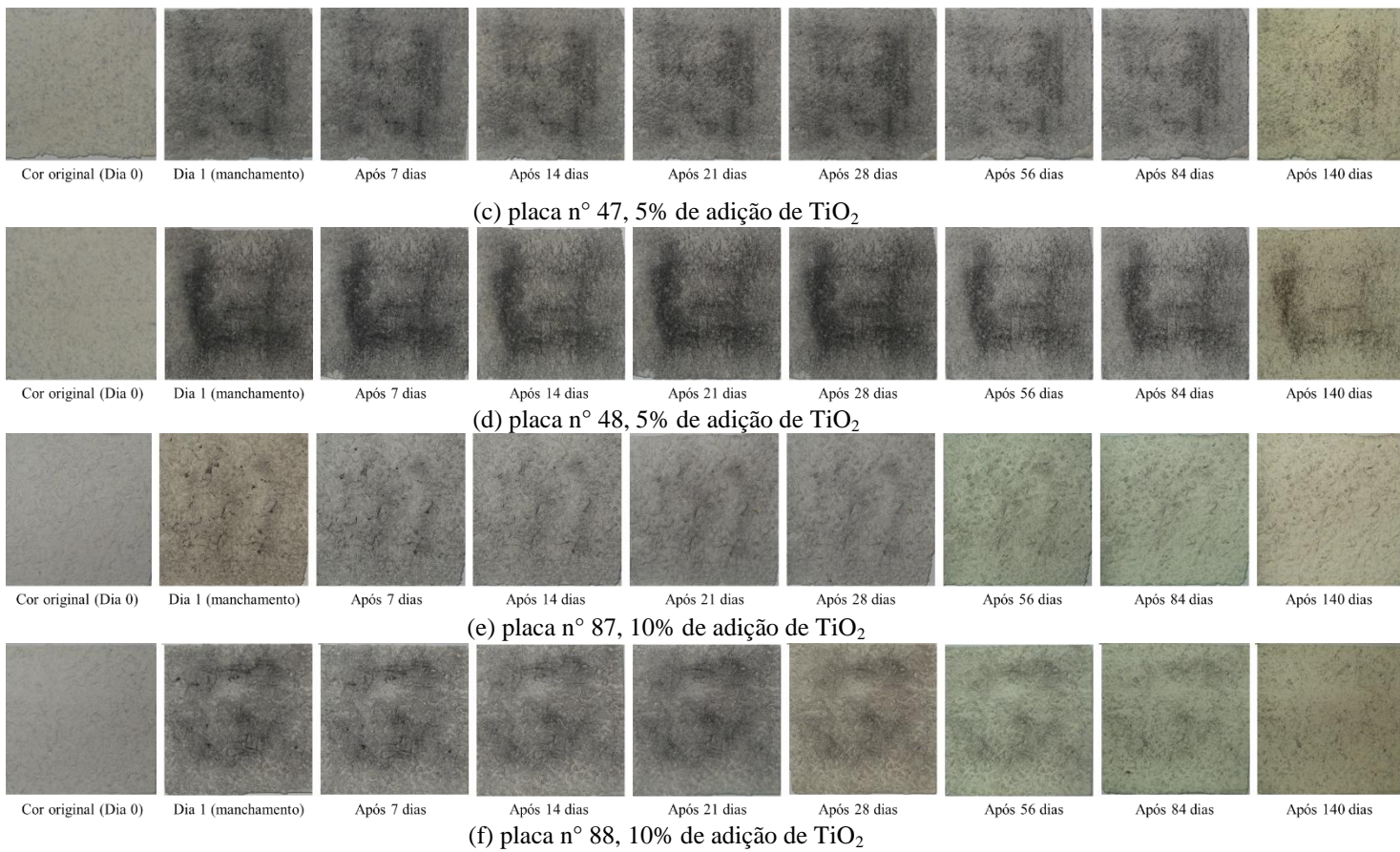


Figura 104 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação de  $90^\circ$ , manchadas com fuligem

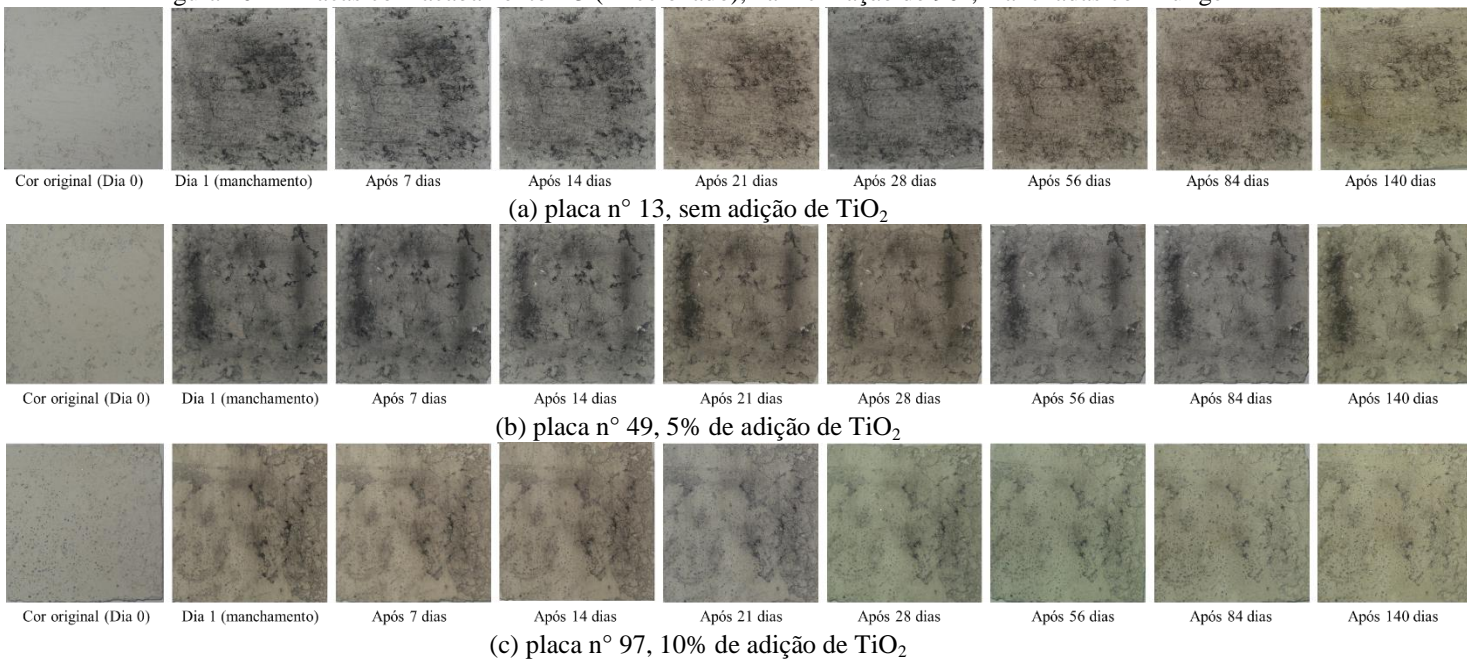




Figura 105 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação de 45°, manchadas com fuligem

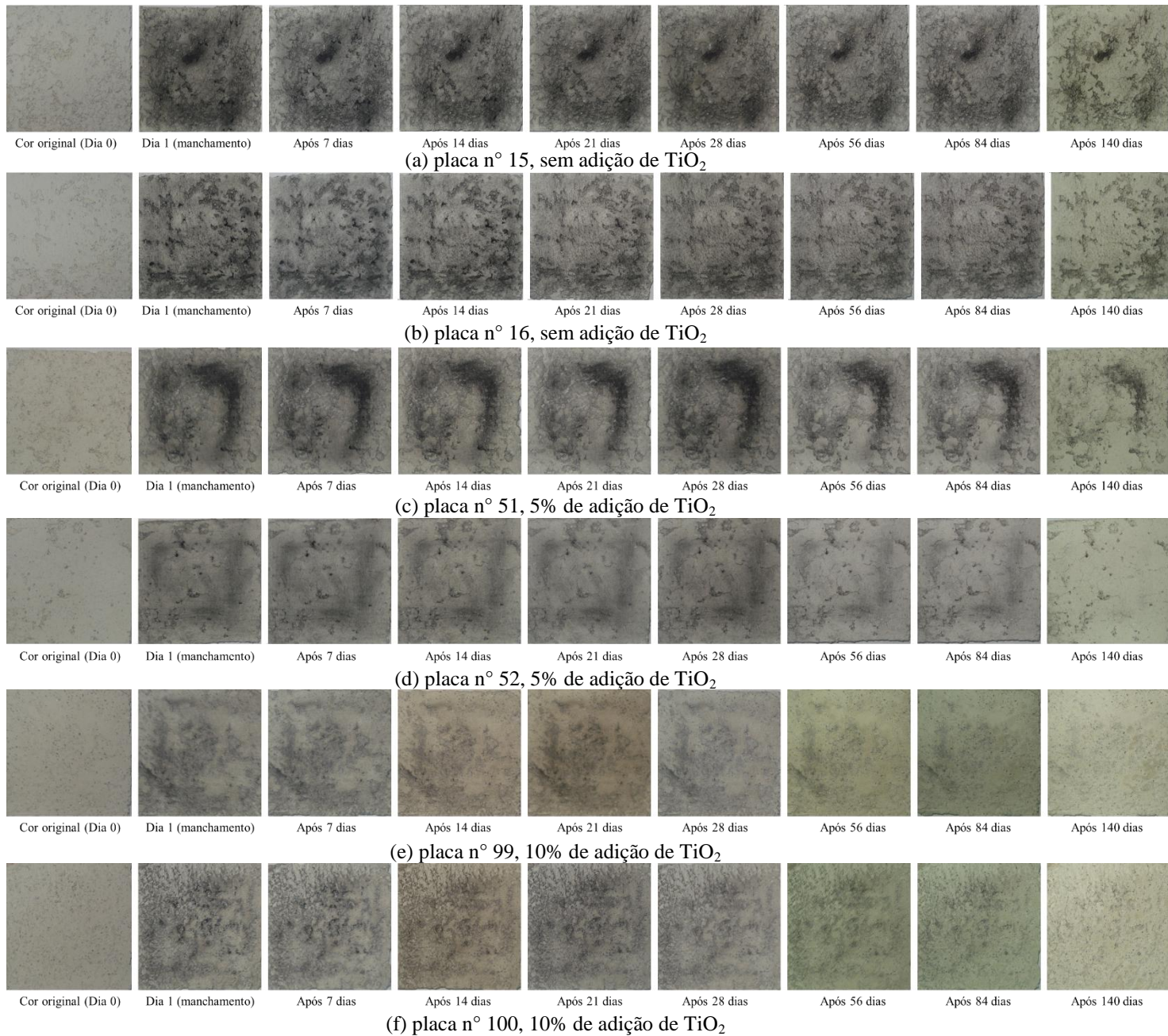




Figura 106 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 90°, manchadas com cinza

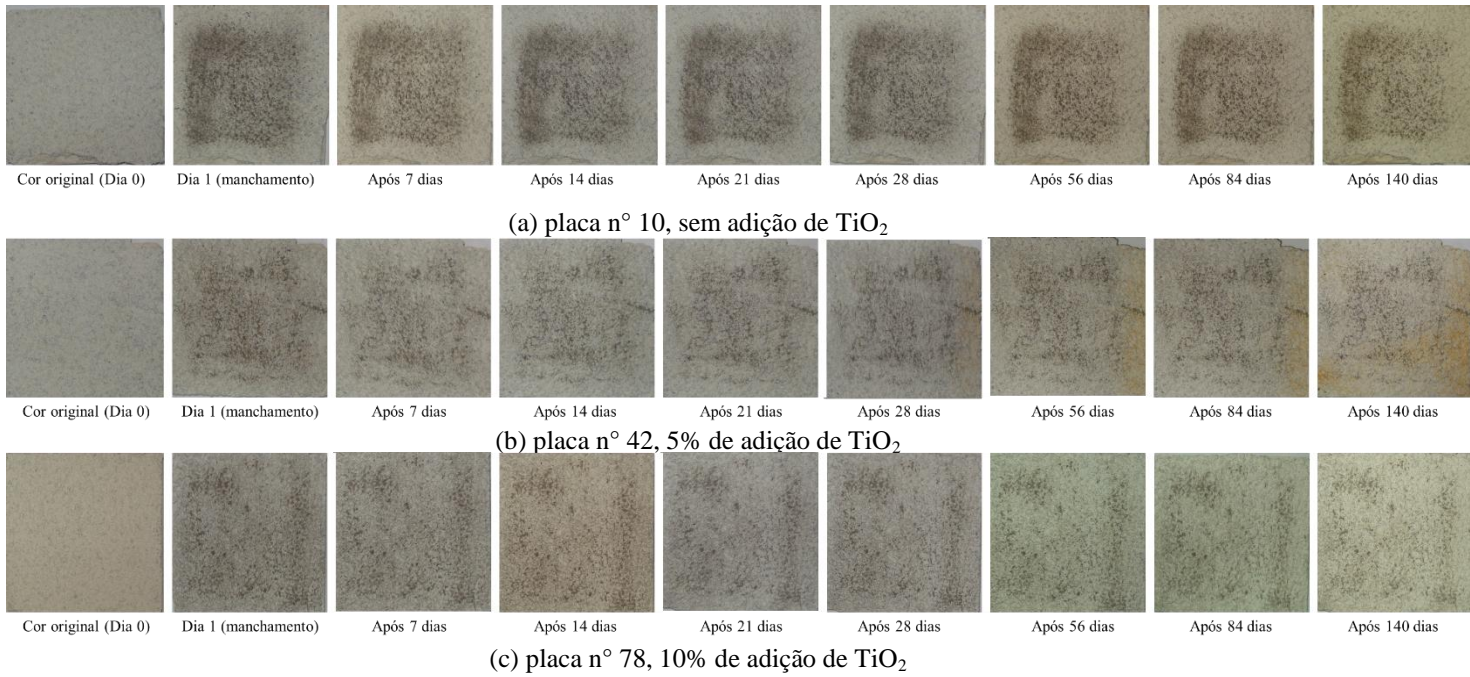
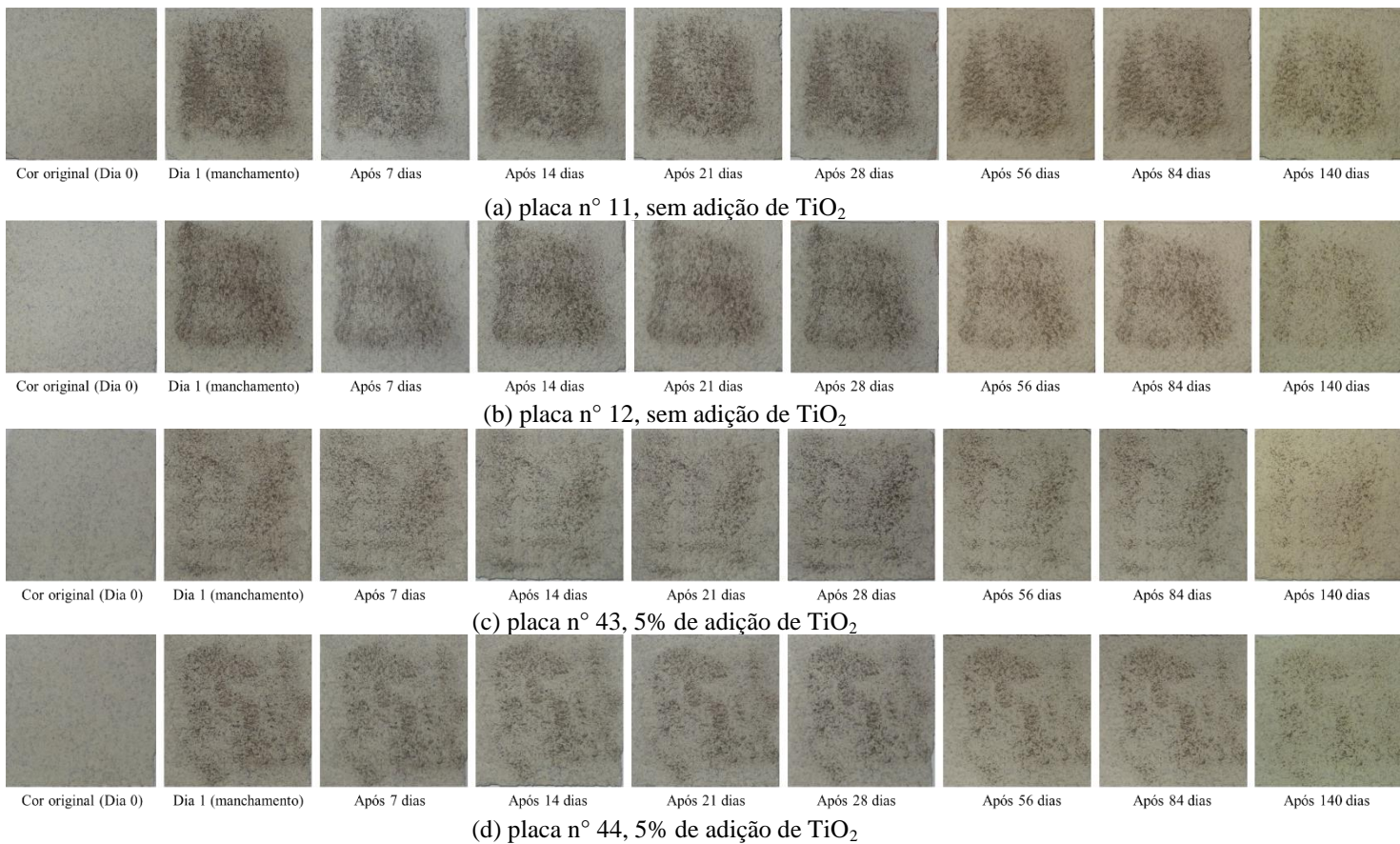


Figura 107 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 45°, manchadas com cinza





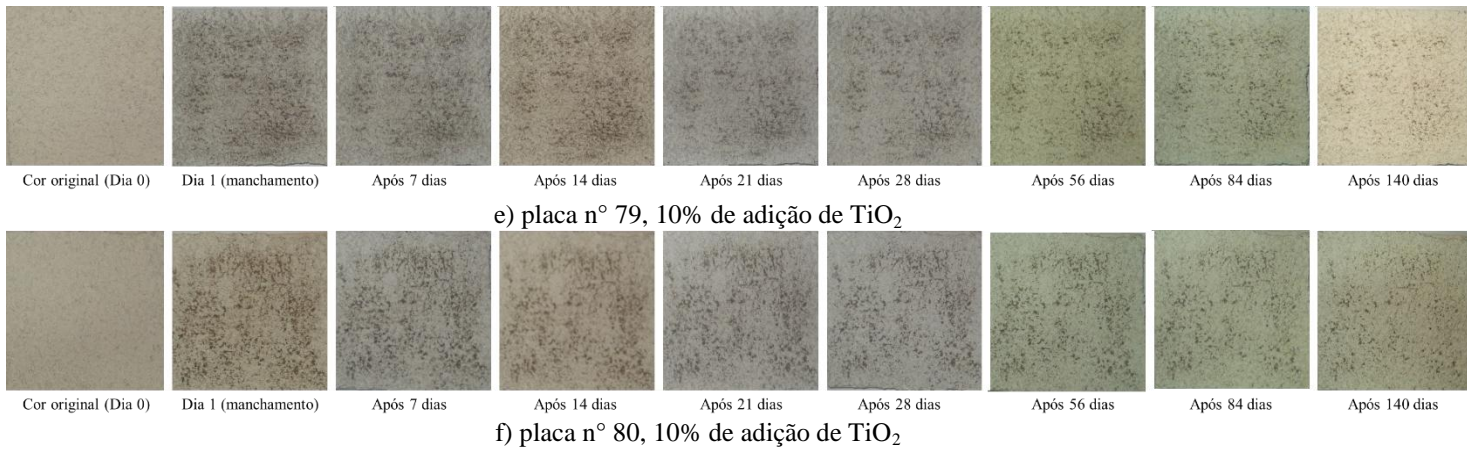


Figura 108 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de 90°, manchadas com cinza

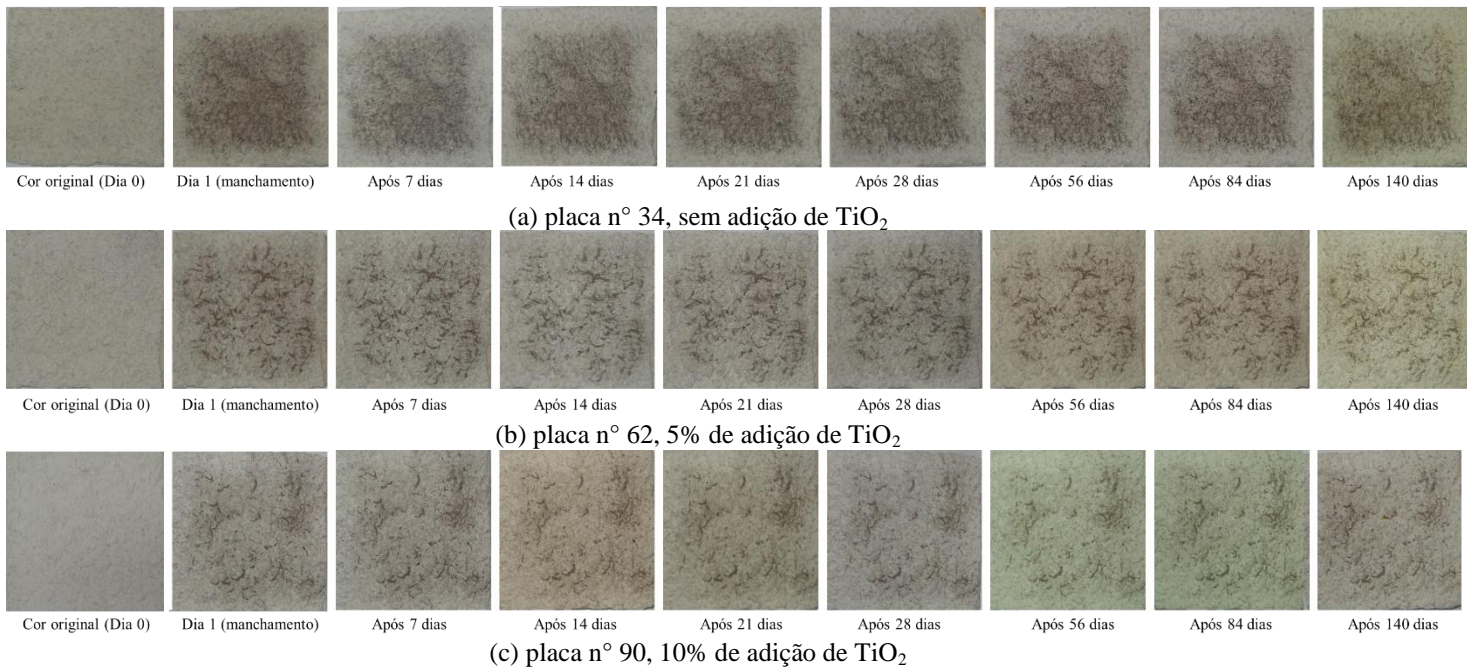


Figura 109 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de 45°, manchadas com cinza





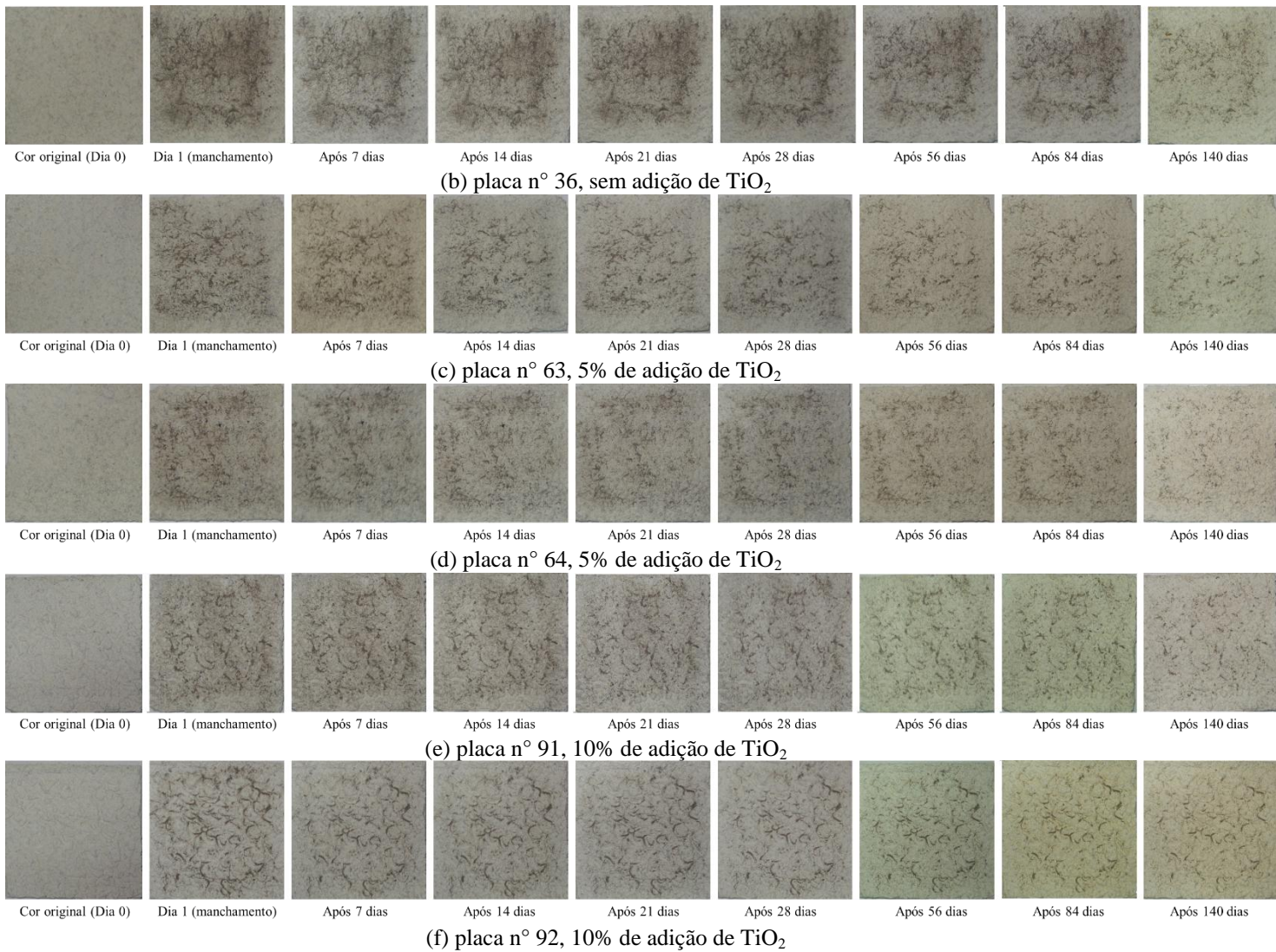
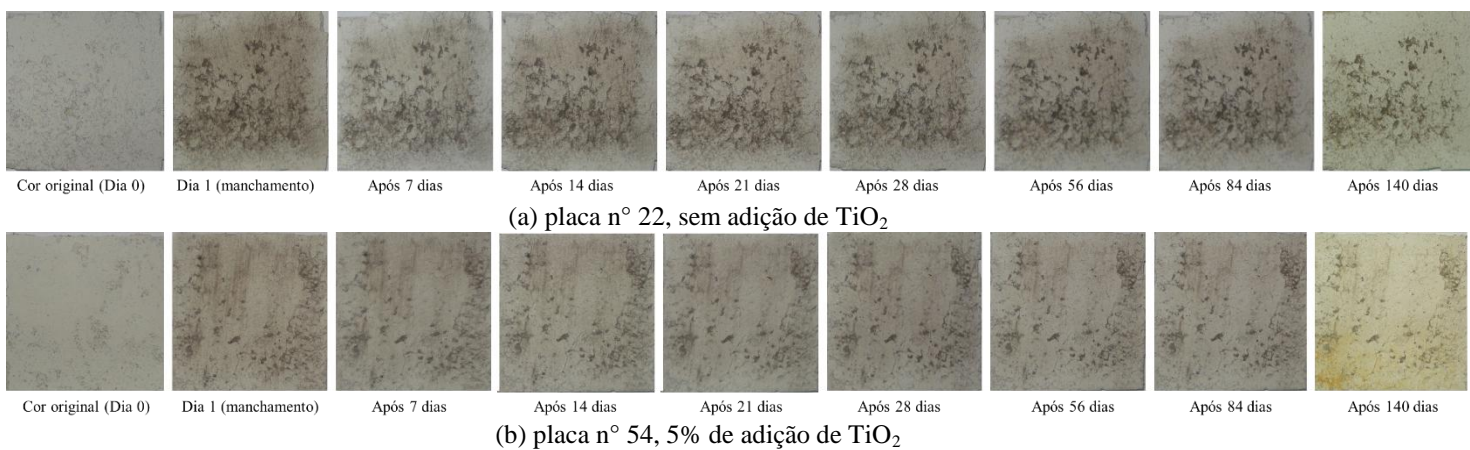


Figura 110 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação de 90°, manchadas com cinza





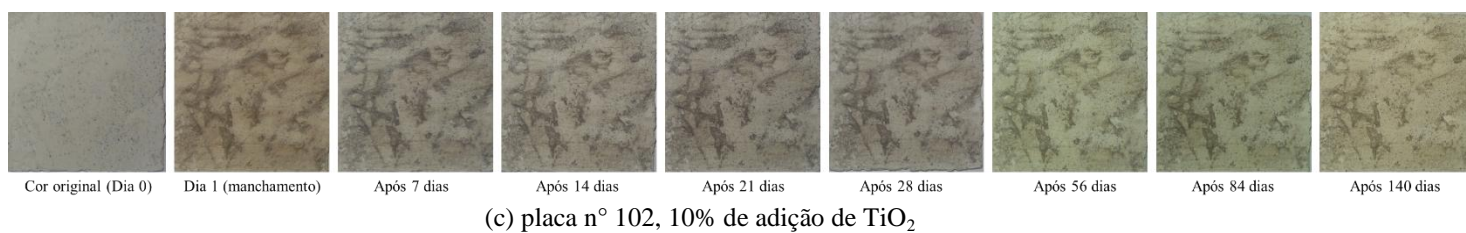


Figura 111 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação de 45°, manchadas com cinza

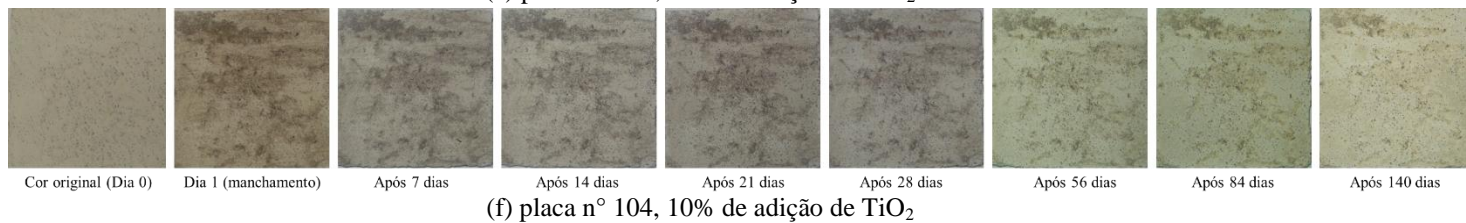
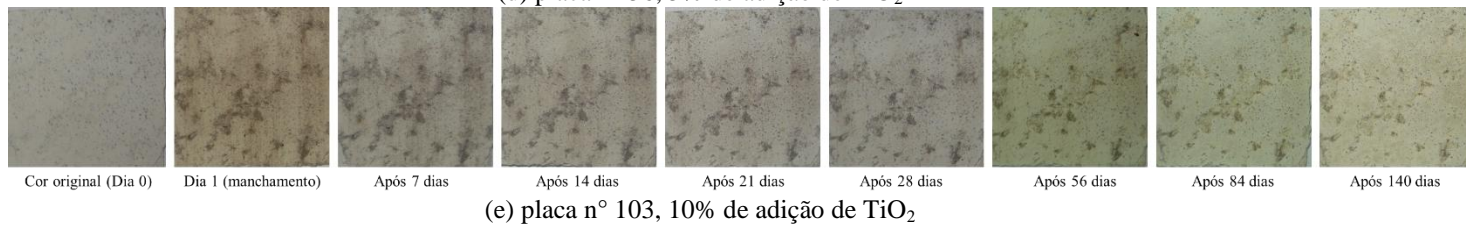
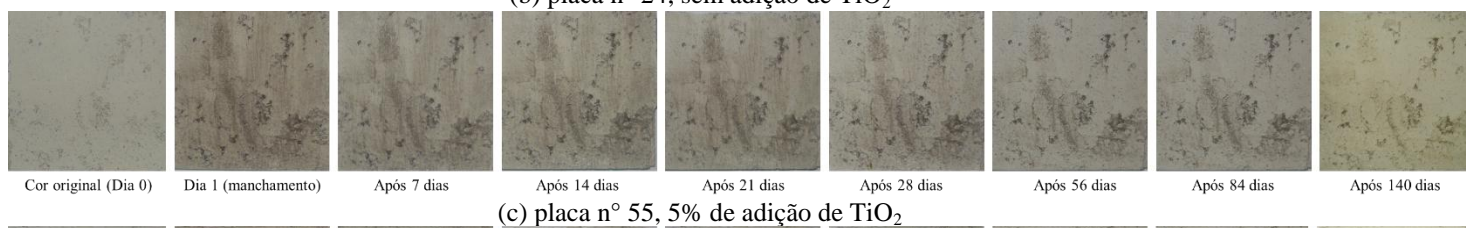




Figura 112 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 90°, manchadas com Rodamina B

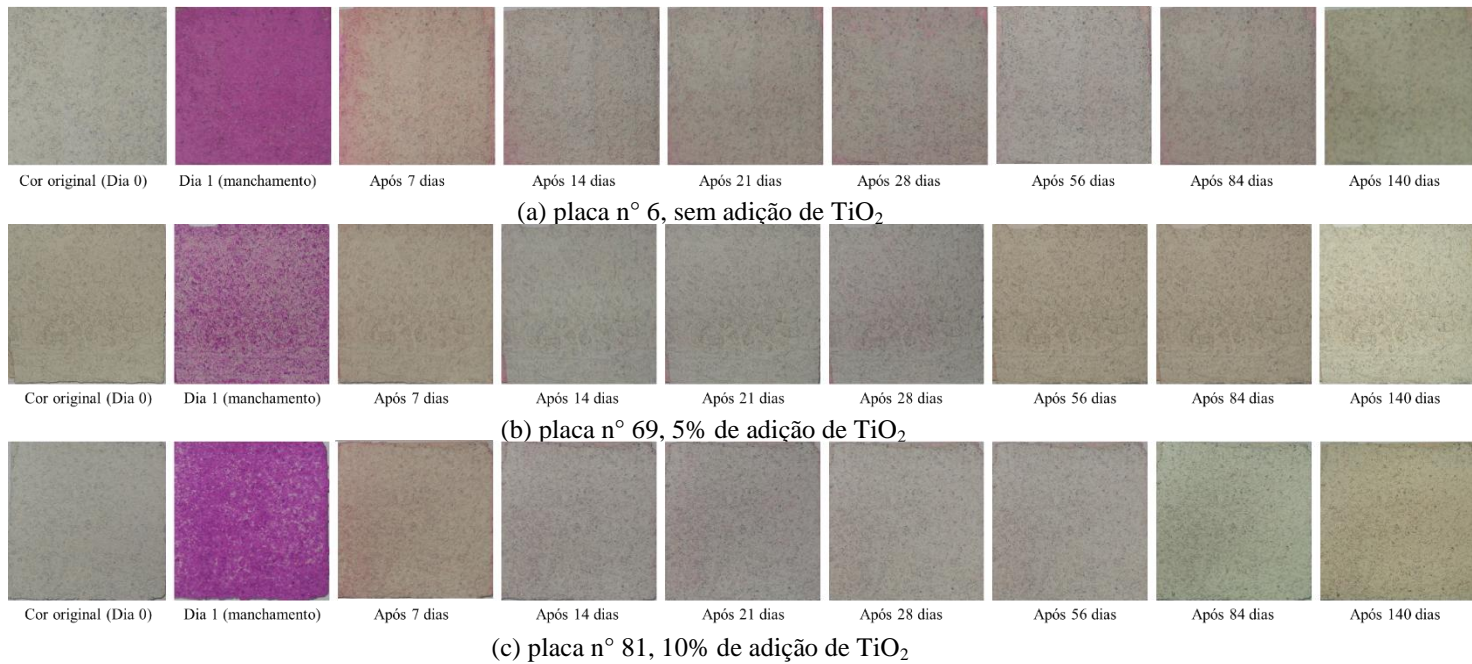
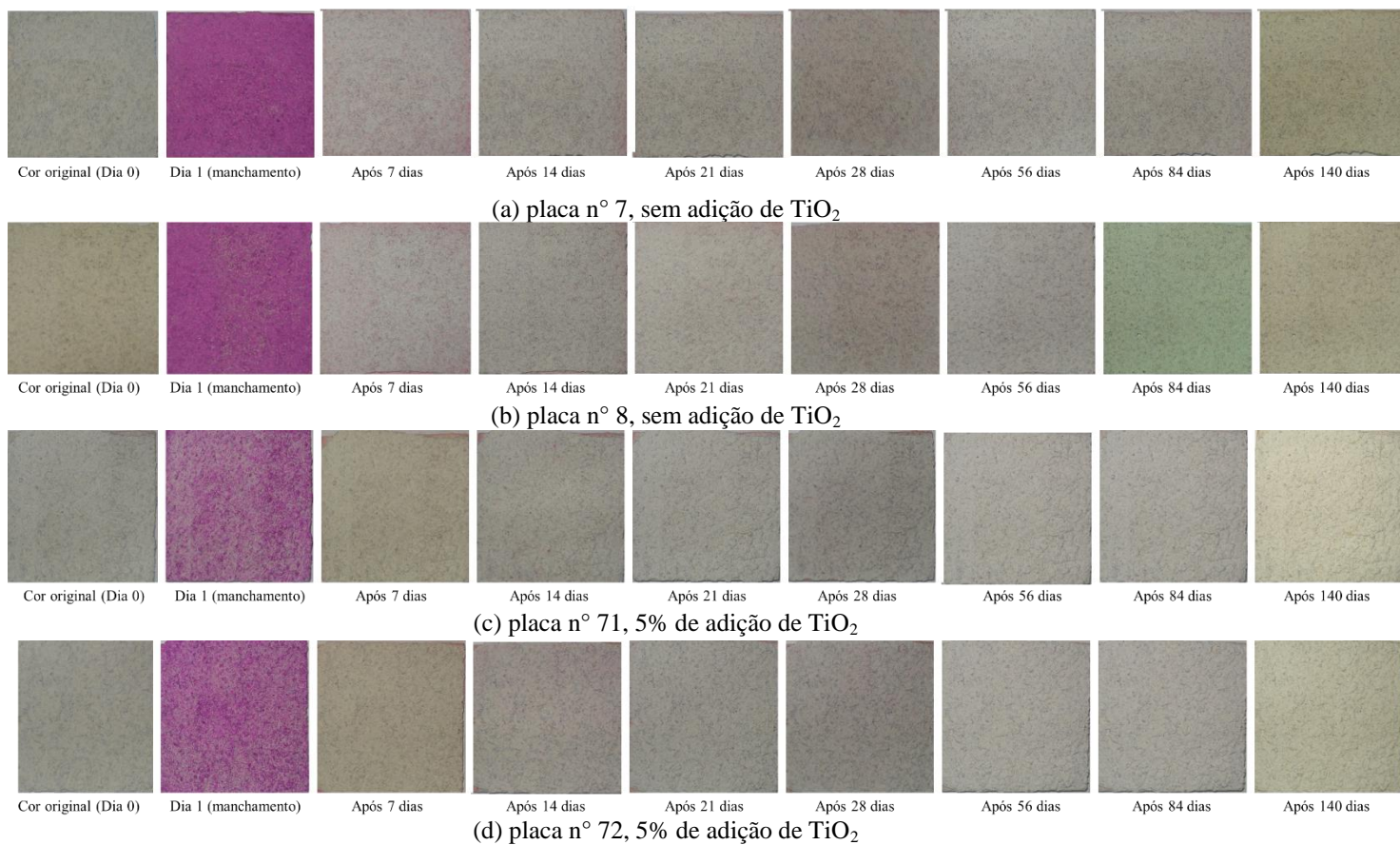


Figura 113 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na inclinação de 45°, manchadas com Rodamina B



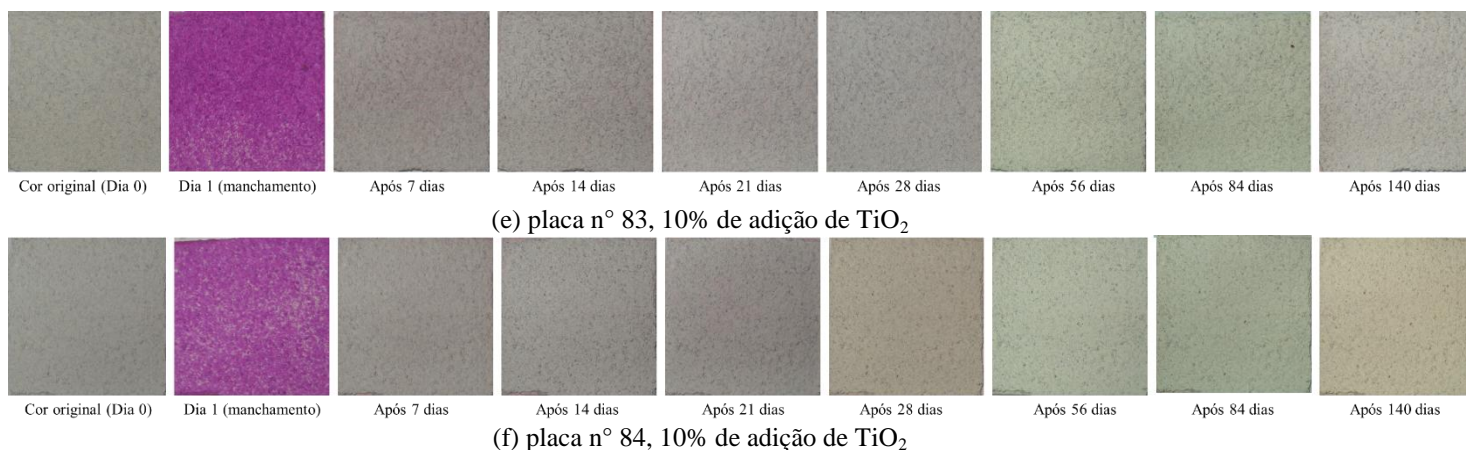


Figura 114 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de  $90^\circ$ , manchadas com Rodamina B

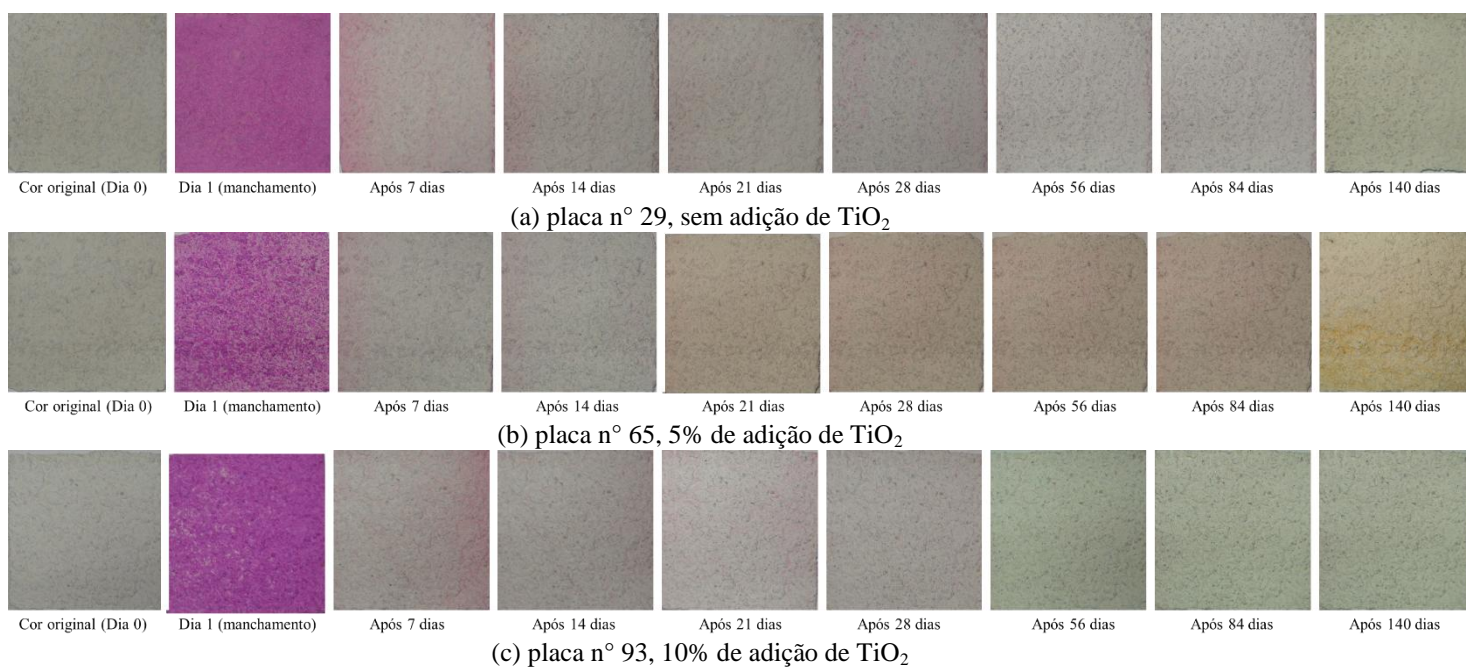
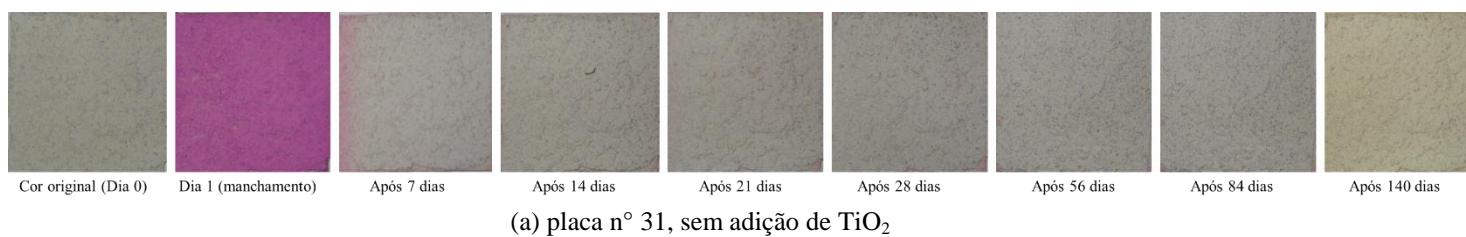


Figura 115 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na inclinação de  $45^\circ$ , manchadas com Rodamina B





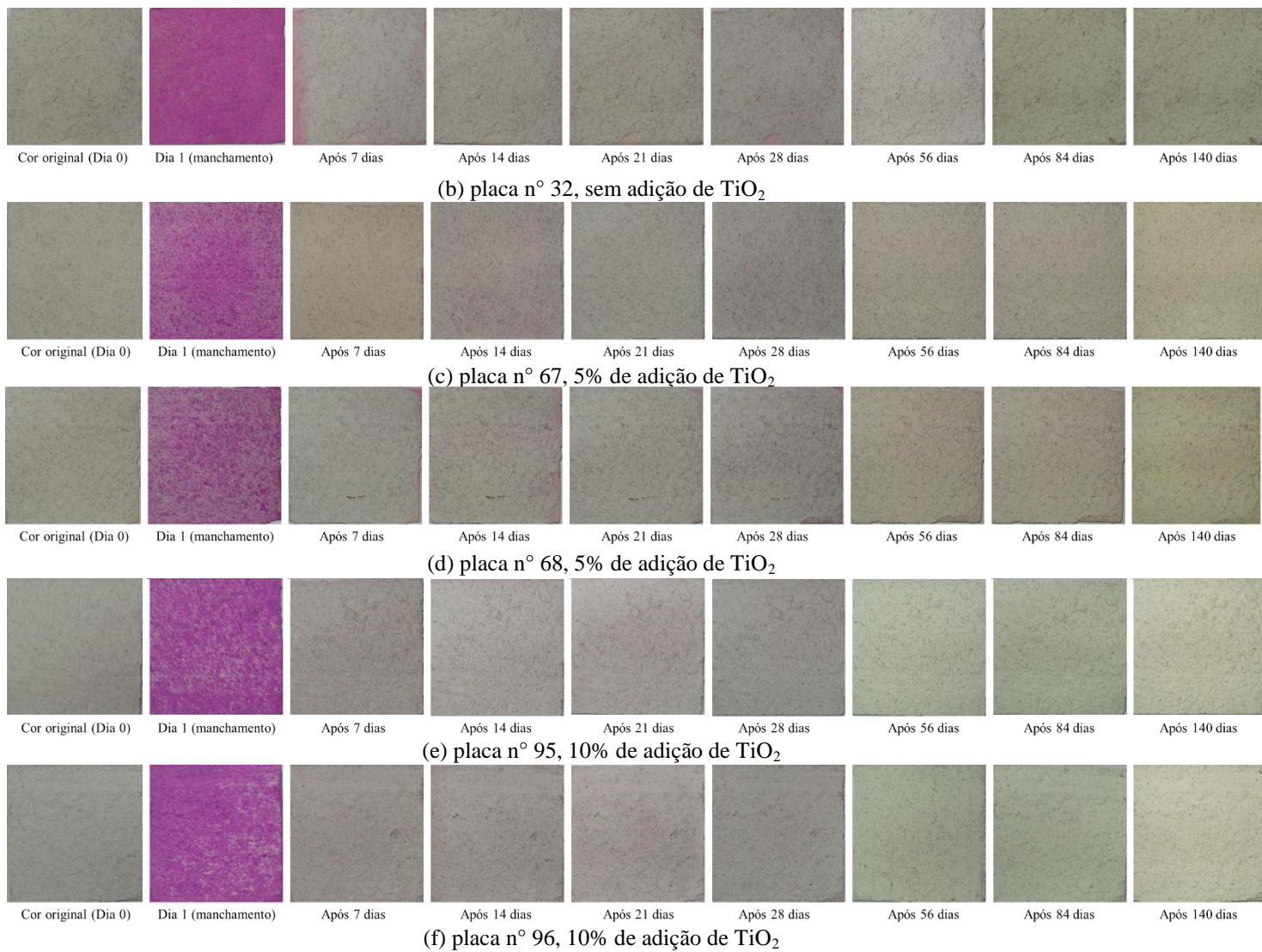
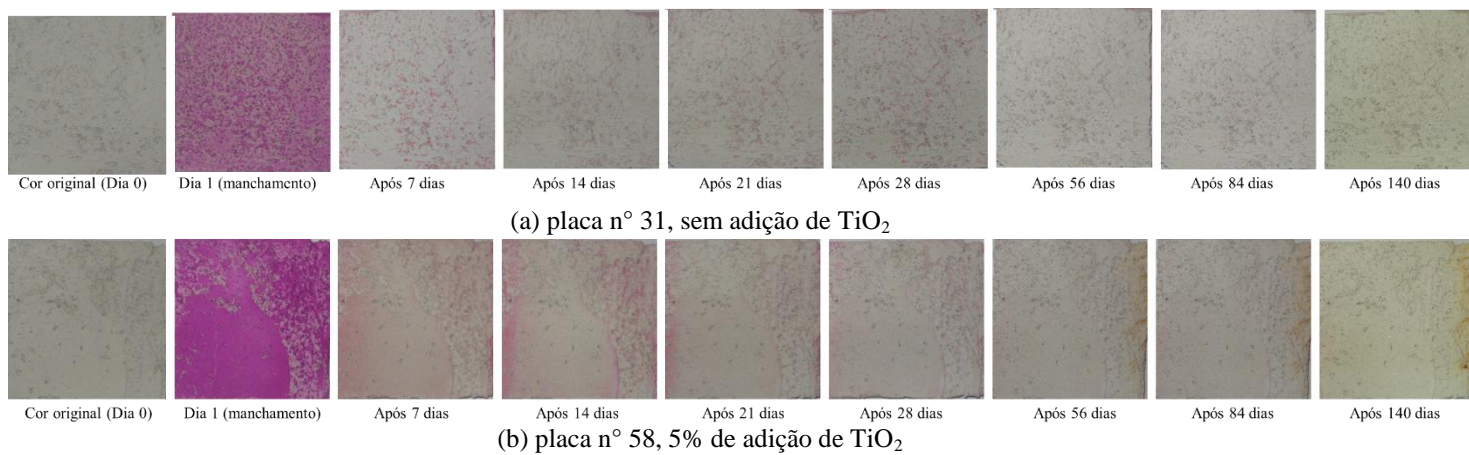


Figura 116 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação de  $90^\circ$ , manchadas com Rodamina B





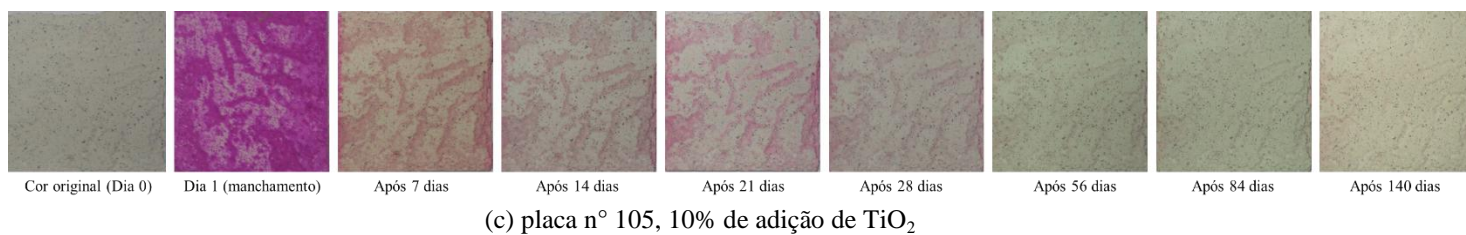


Figura 117 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na inclinação de  $45^\circ$ , manchadas com Rodamina B

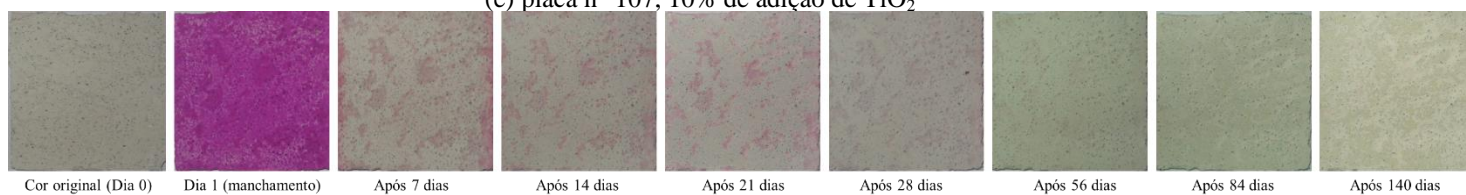
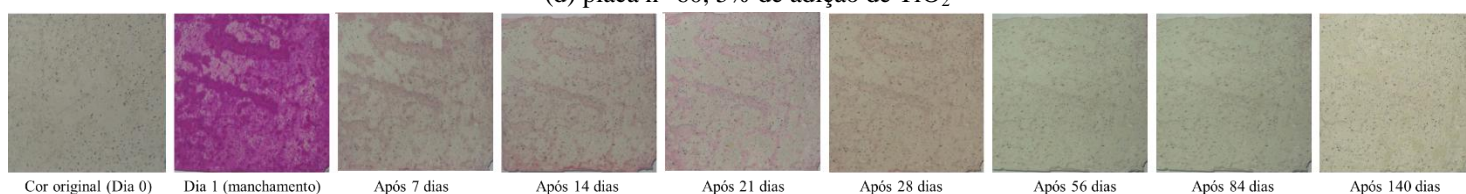
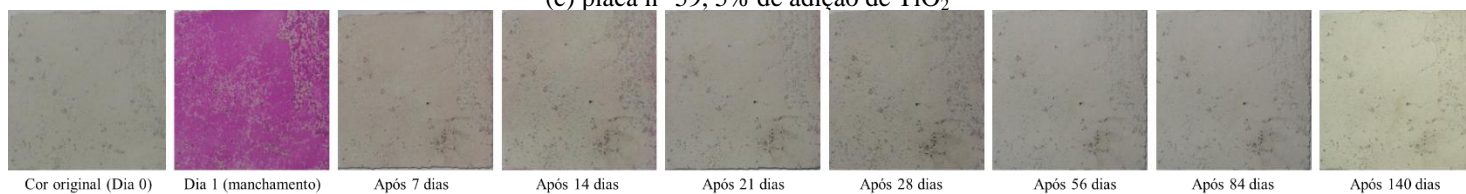
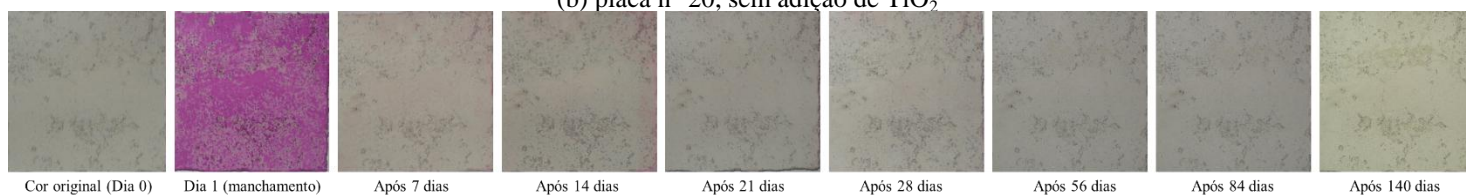
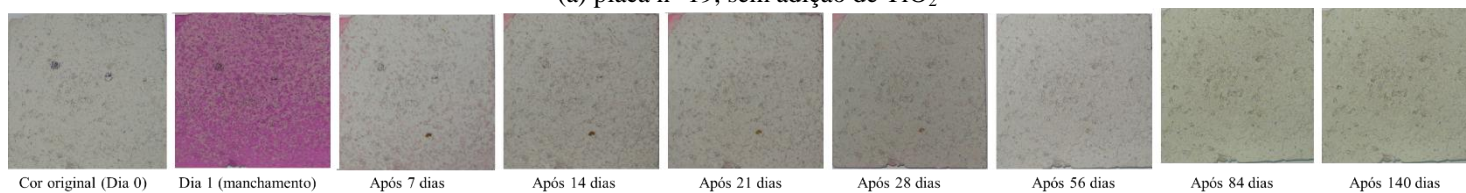
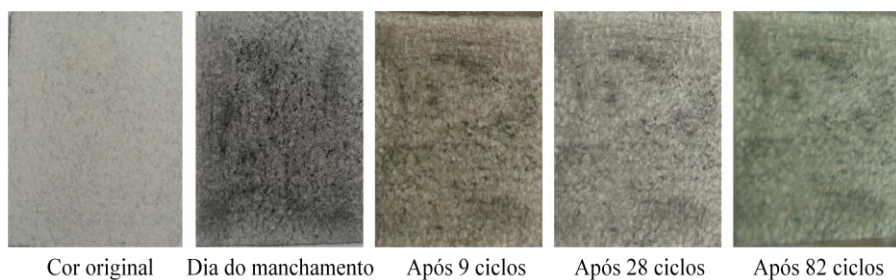
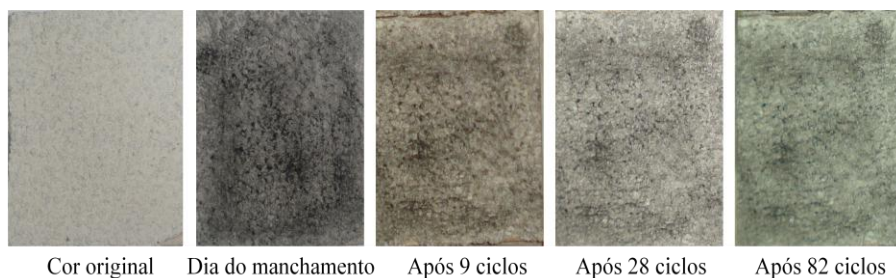
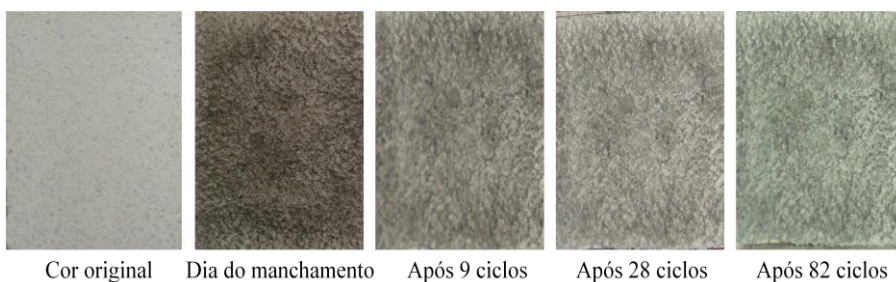
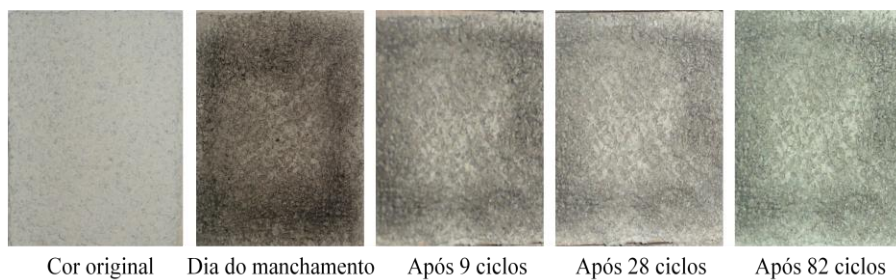
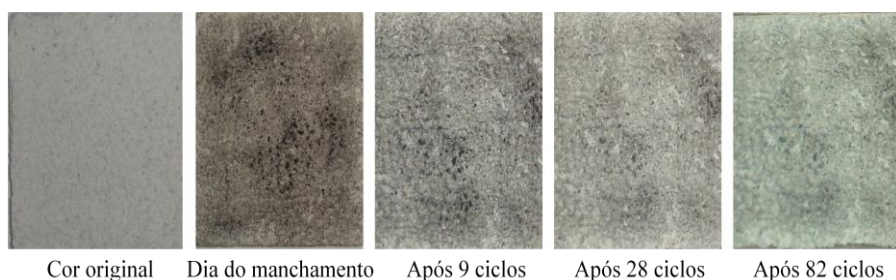


Figura 118 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na câmara 1 (cinza), manchadas com fuligem

(a) placa n° 5, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 6, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 23, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$ (d) placa n° 24, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$ (e) placa n° 41, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$



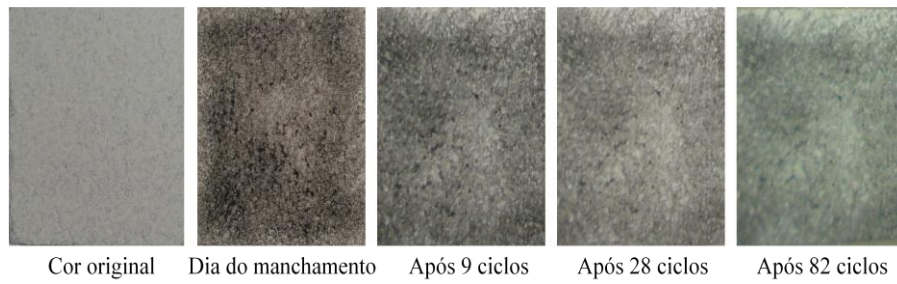
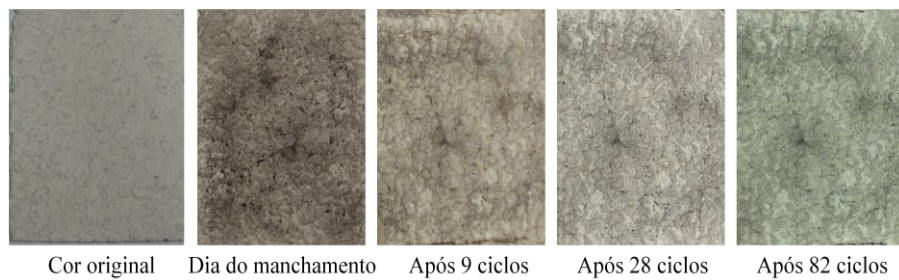
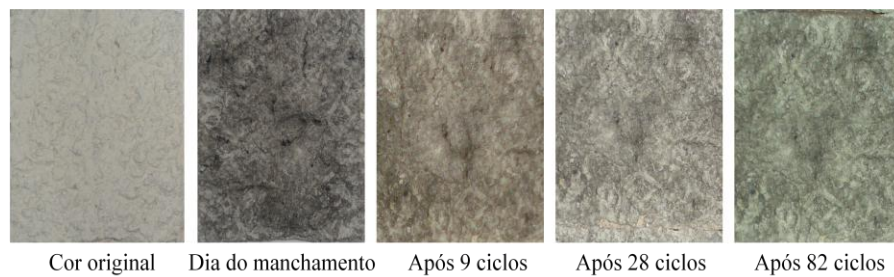
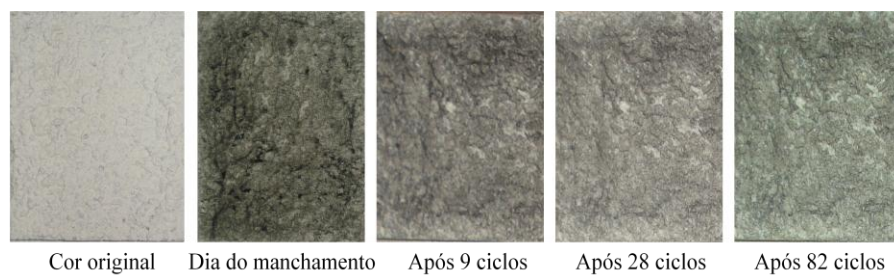
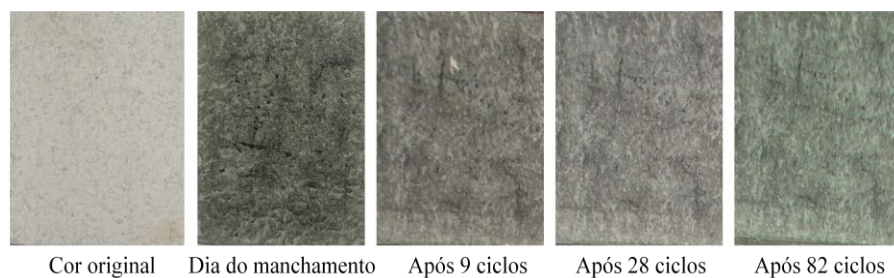
(f) placa n° 42, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$ 

Figura 119 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na câmara 1 (cinza), manchadas com fuligem

(a) placa n° 11, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 12, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 29, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$ (d) placa n° 30, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$

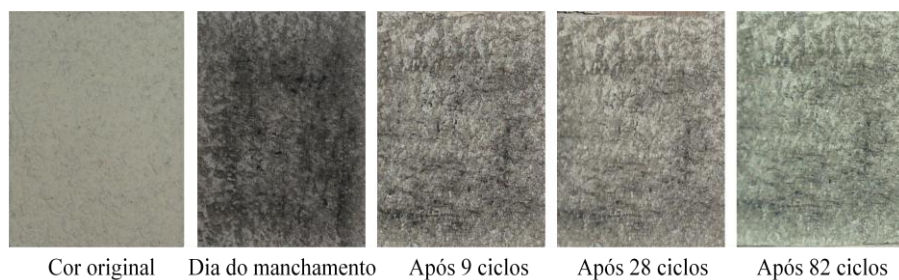
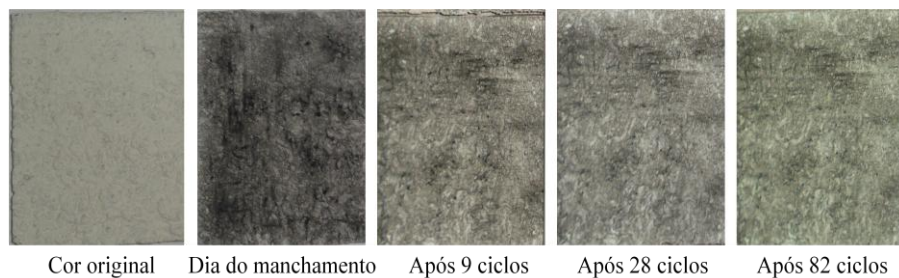
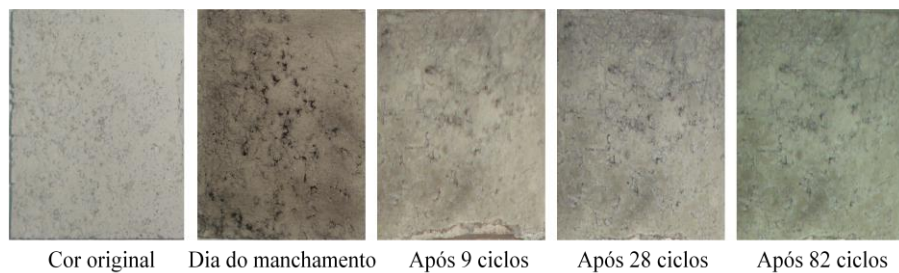
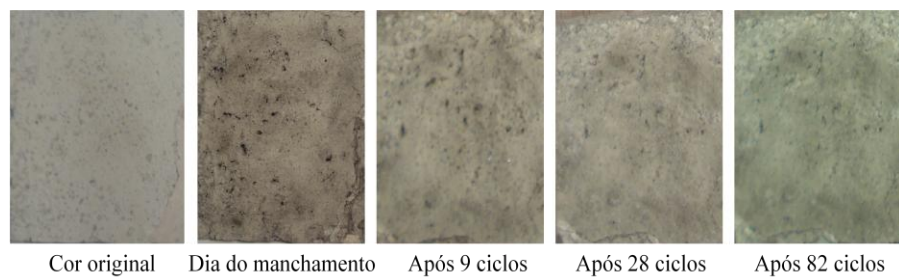
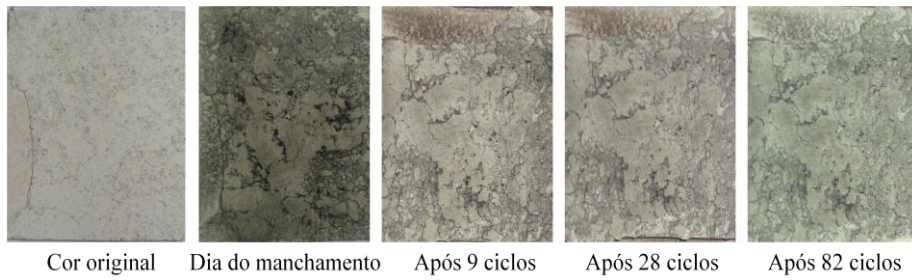
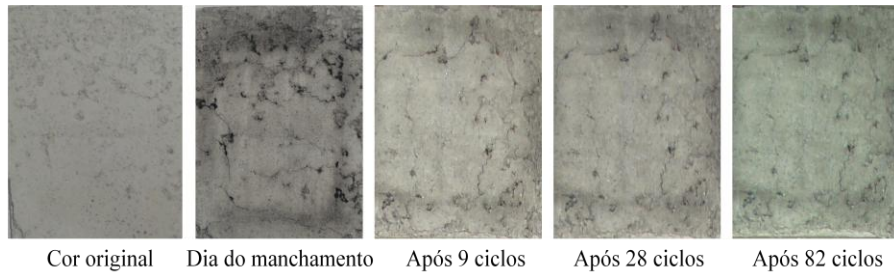
(e) placa n° 47, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$ (f) placa n° 48, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$ 

Figura 120 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 1 (cinza), manchadas com fuligem

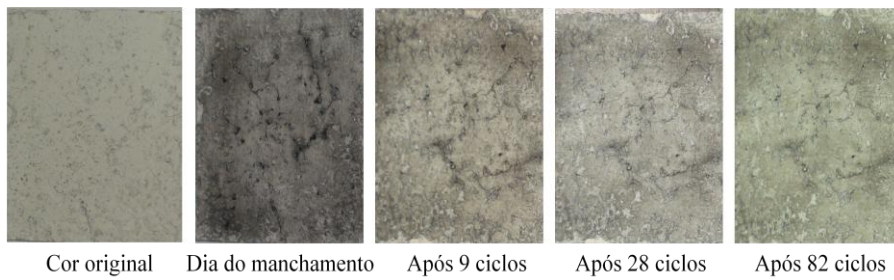
(a) placa n° 17, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 18, sem adição de  $\text{TiO}_2$



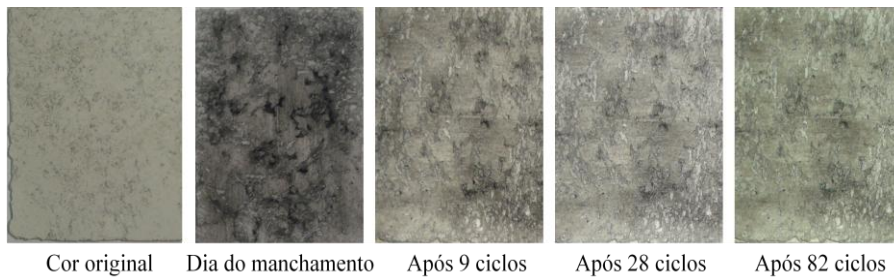
(c) placa n° 35, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



(d) placa n° 36, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



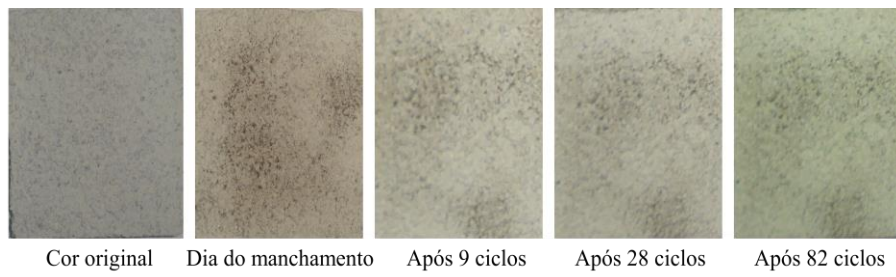
(e) placa n° 53, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$



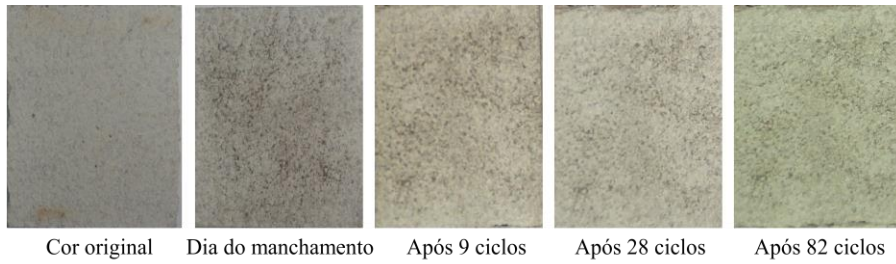
(f) placa n° 54, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$



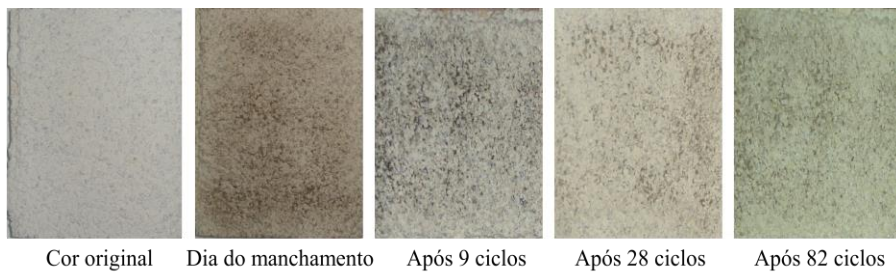
Figura 121 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na câmara 1 (cinza), manchadas com cinza



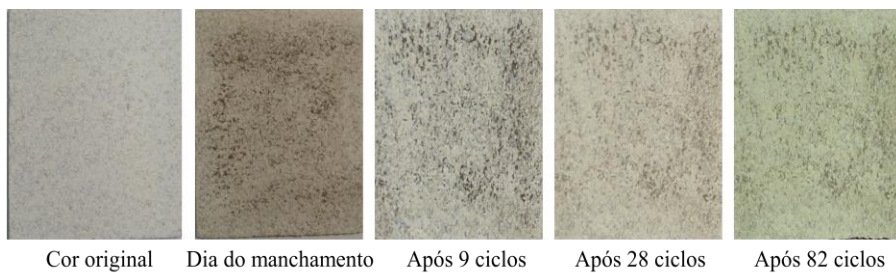
(a) placa n° 3, sem adição de  $\text{TiO}_2$



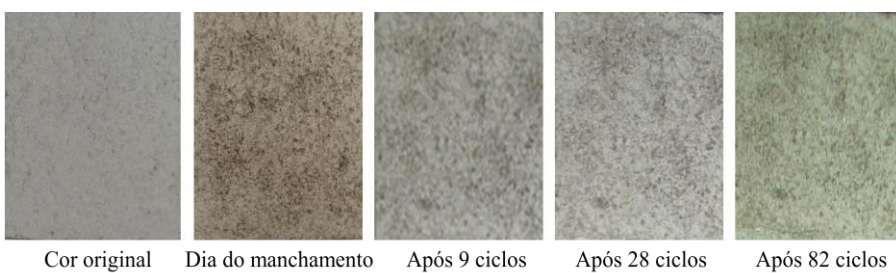
(b) placa n° 4, sem adição de  $\text{TiO}_2$



(c) placa n° 21, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



(d) placa n° 22, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



(e) placa n° 39, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$

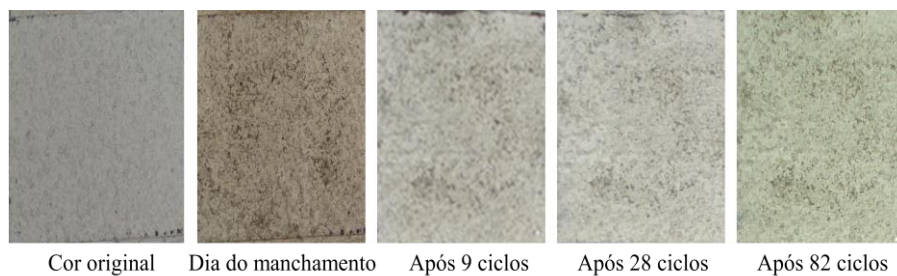
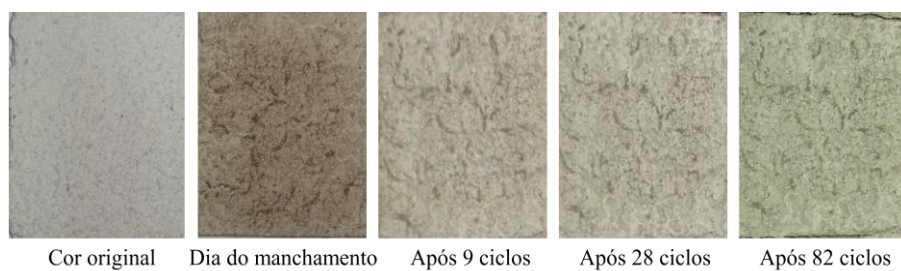
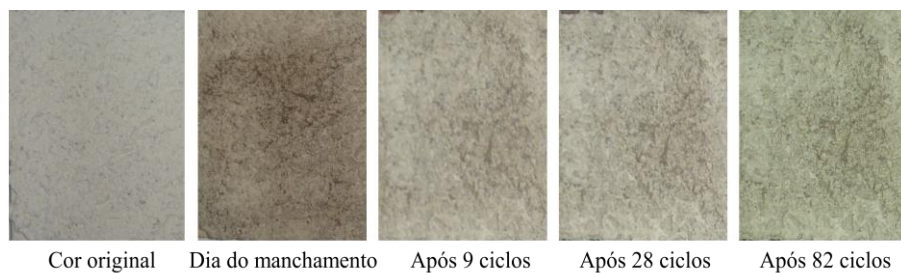
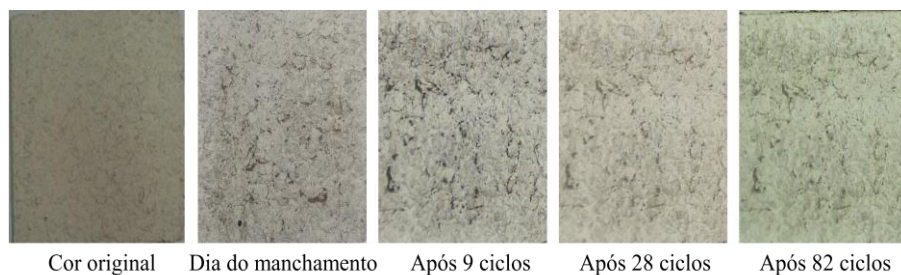
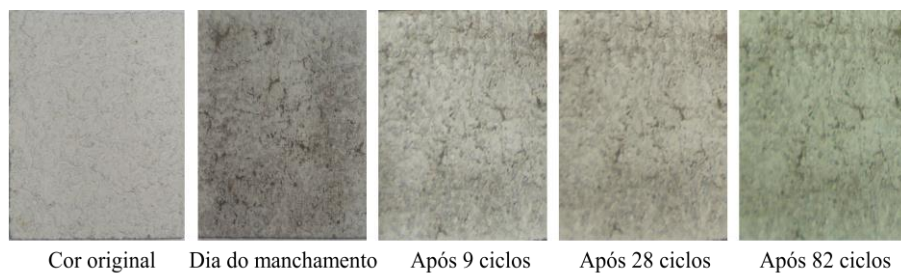
(f) placa n° 40, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$ 

Figura 122 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na câmara 1 (cinza), manchadas com cinza

(a) placa n° 9, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 10, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 27, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$ (d) placa n° 28, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



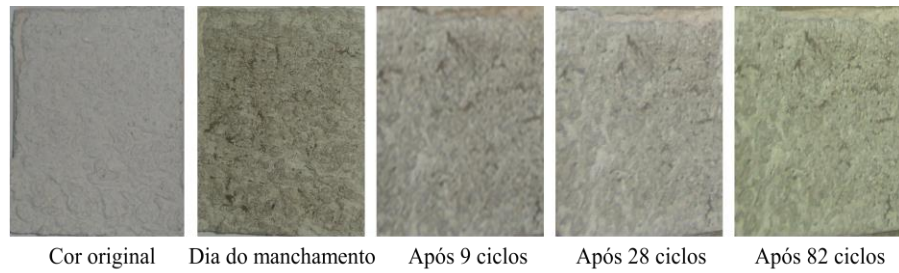
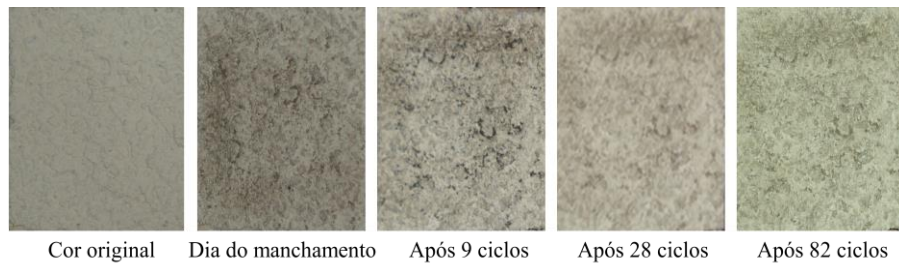
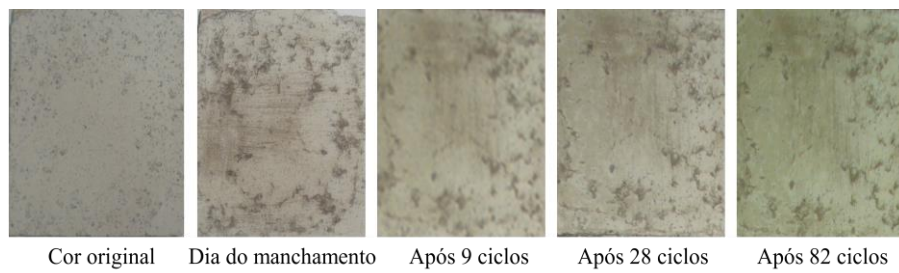
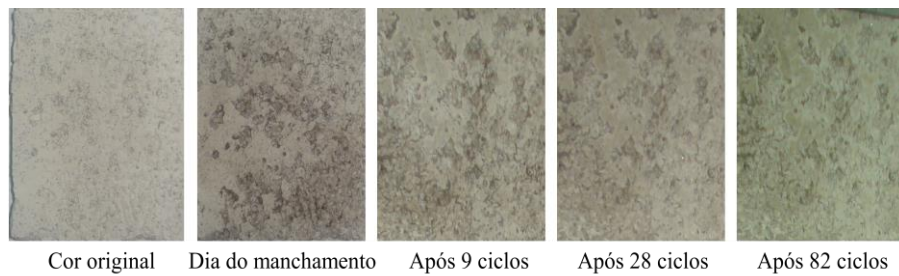
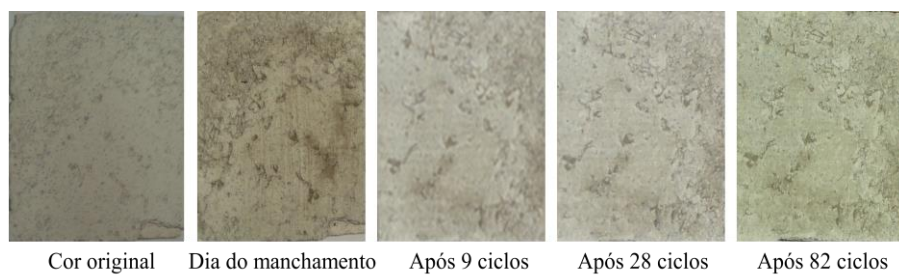
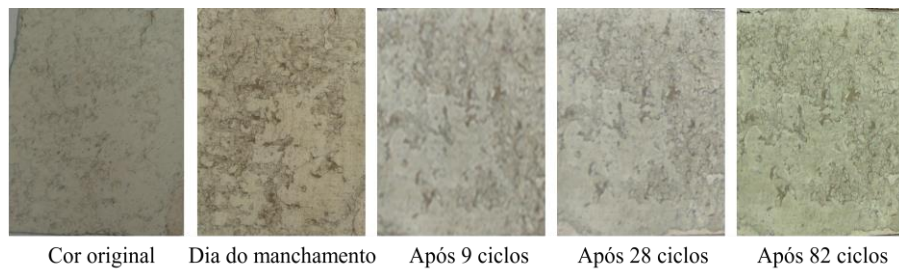
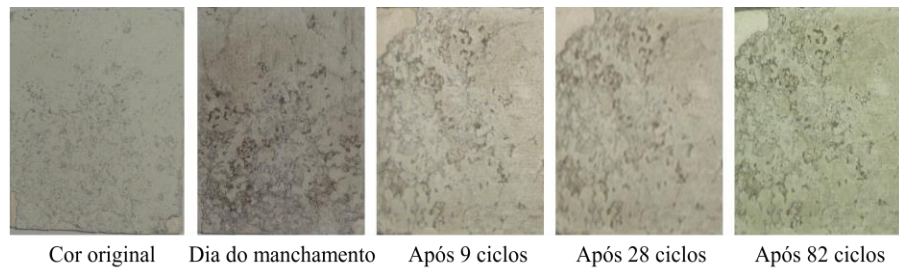
(e) placa n° 45, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$ (f) placa n° 46, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$ 

Figura 123 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 1 (cinza), manchadas com cinza

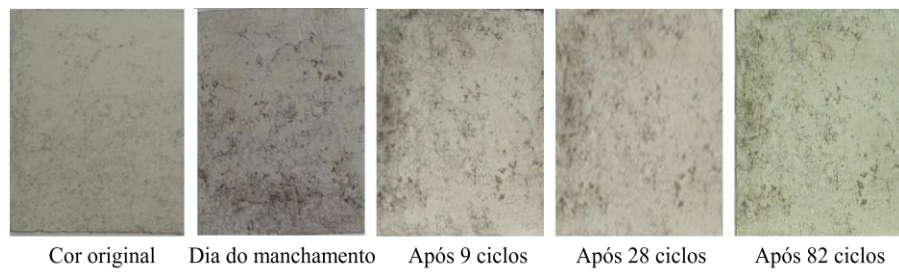
(a) placa n° 15, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 16, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 33, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



(d) placa n° 34, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>

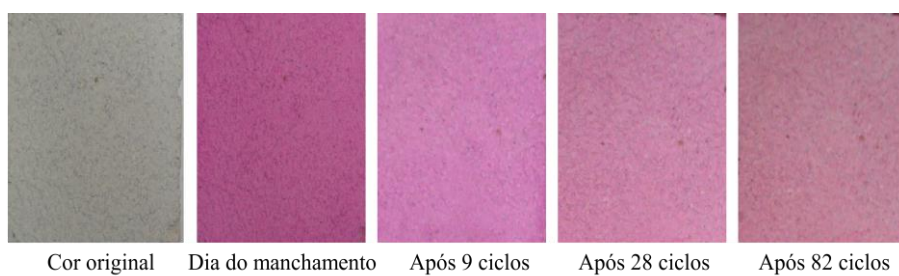
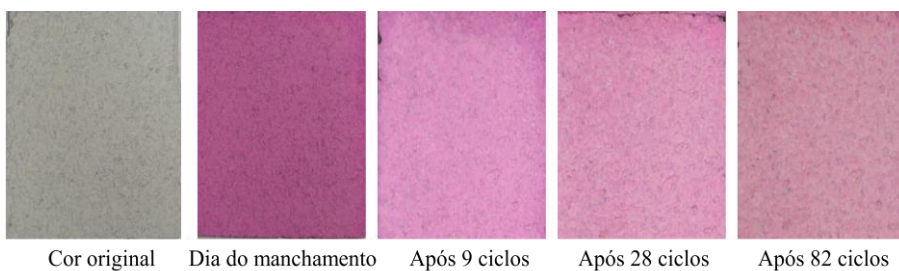
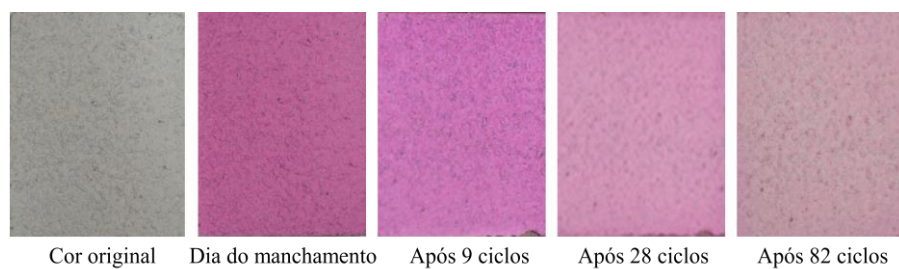
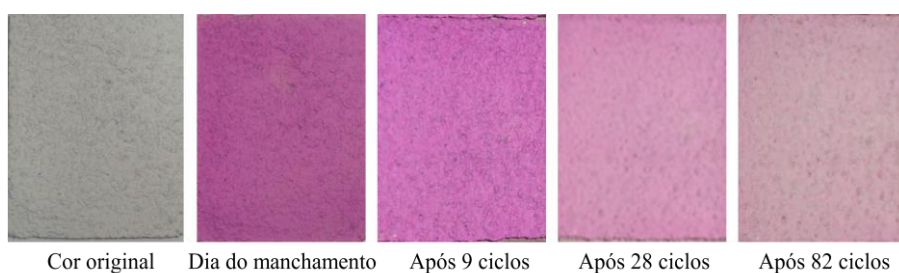
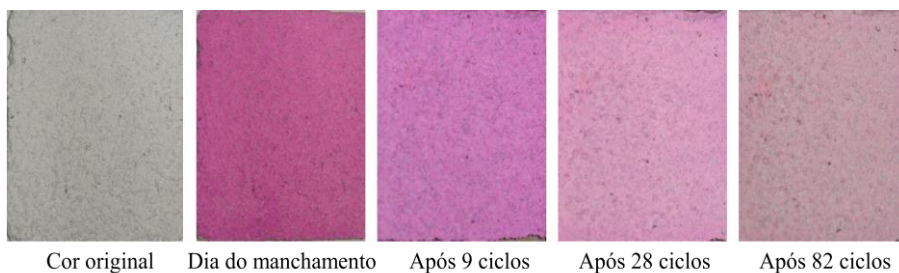


(e) placa n° 51, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>



(f) placa n° 52, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

Figura 124 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na câmara 1 (cinza), manchadas com Rodamina B

(a) placa n° 1, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 2, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 19, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$ (d) placa n° 20, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$ (e) placa n° 37, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$



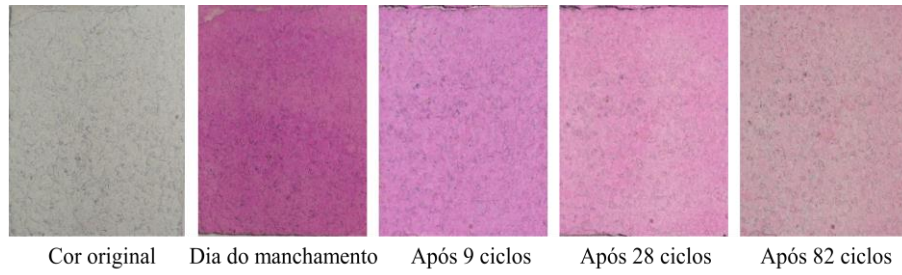
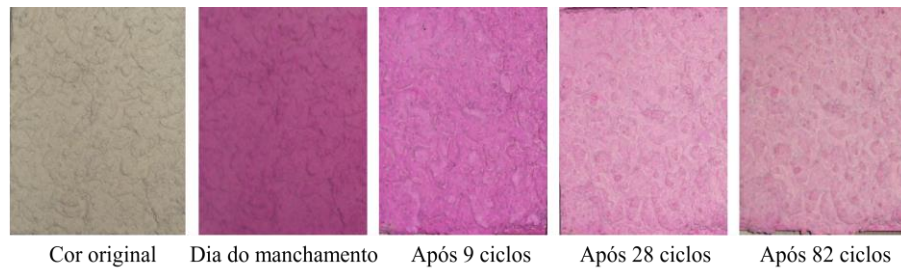
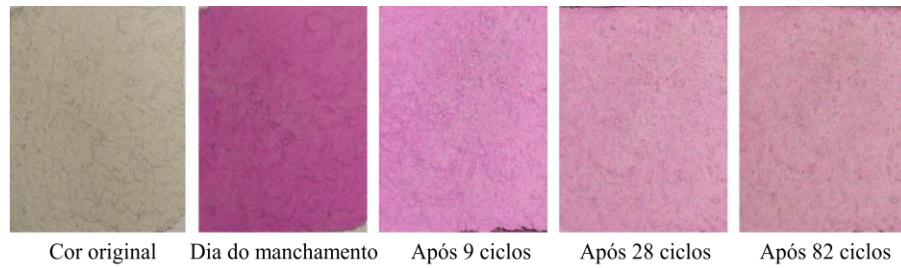
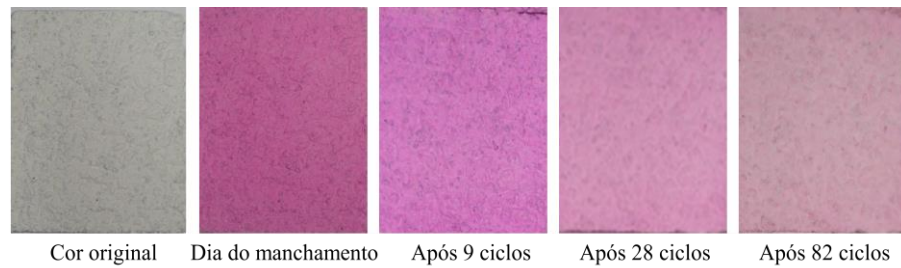
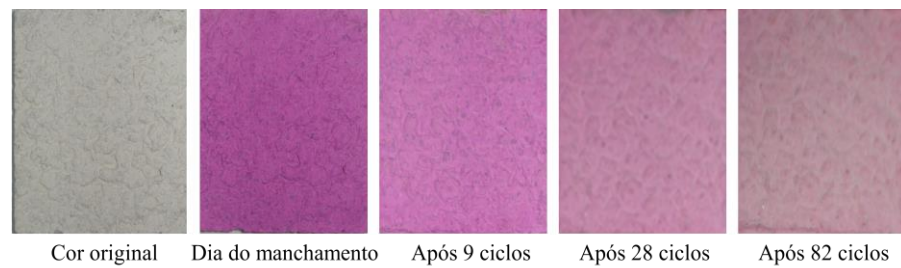
(f) placa n° 38, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$ 

Figura 125 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na câmara 1 (cinza), manchadas com Rodamina B

(a) placa n° 7, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 8, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 25, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$ (d) placa n° 26, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



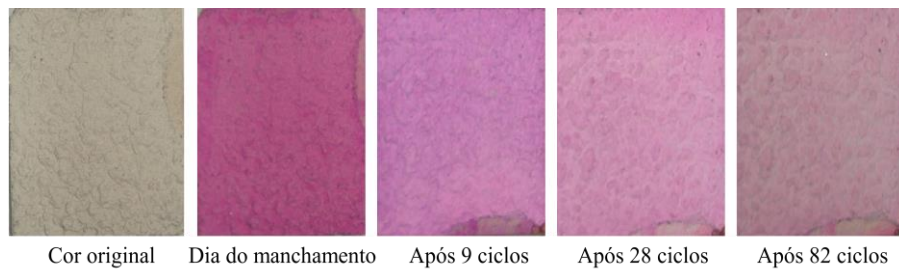
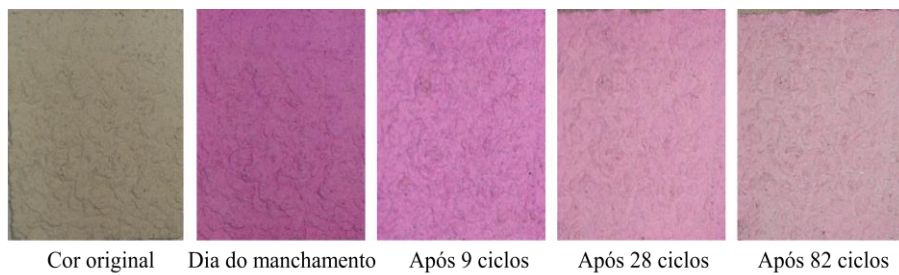
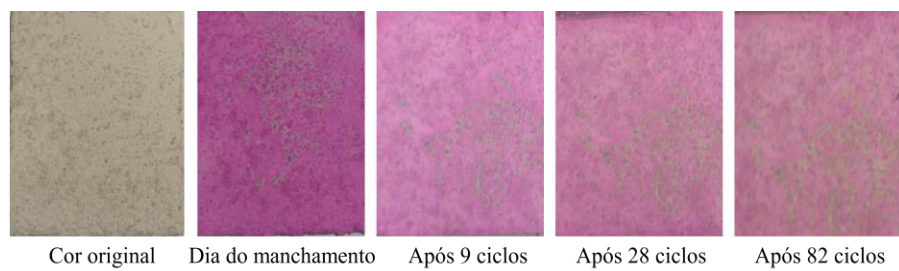
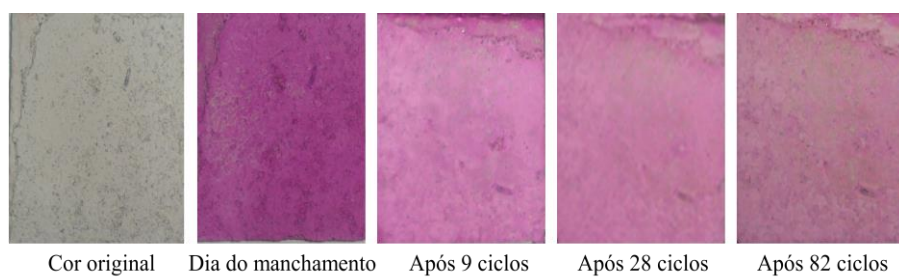
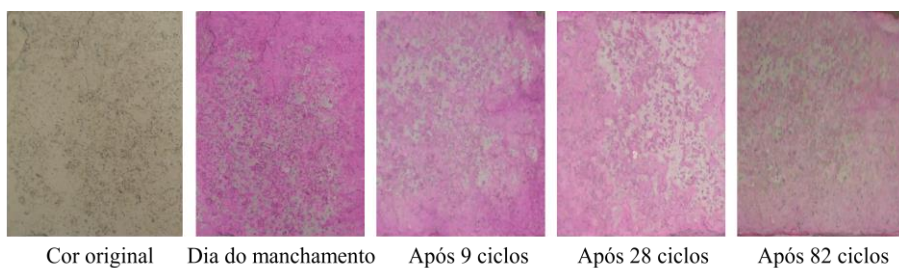
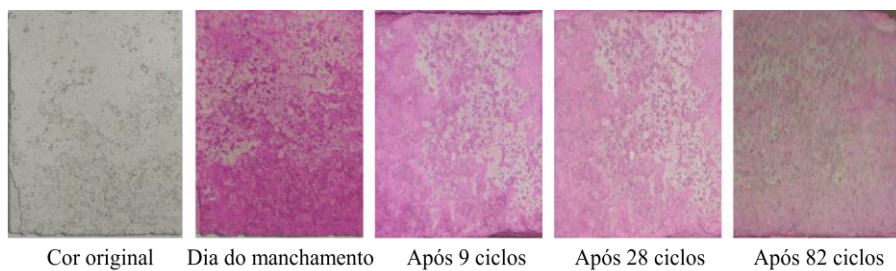
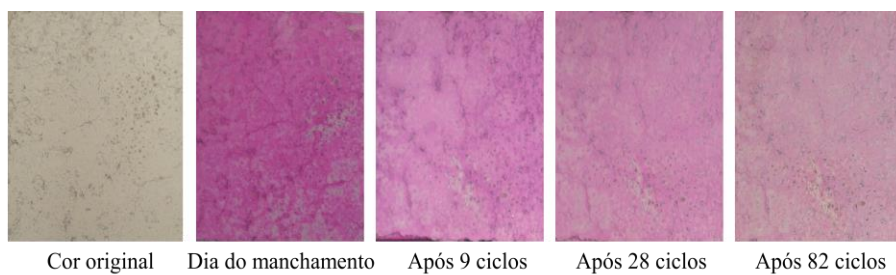
(e) placa n° 43, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>(f) placa n° 44, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

Figura 126 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 1 (cinza), manchadas com Rodamina B

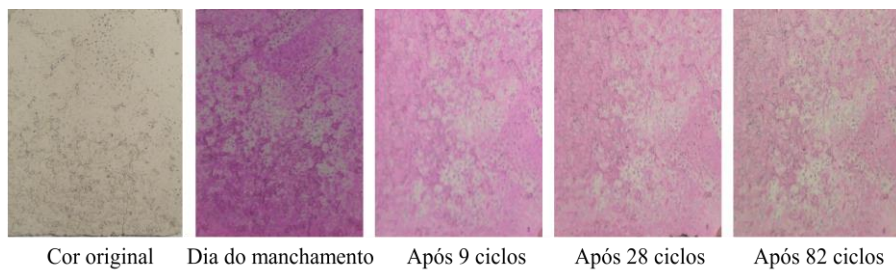
(a) placa n° 13, sem adição de TiO<sub>2</sub>(b) placa n° 14, sem adição de TiO<sub>2</sub>(c) placa n° 31, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>



(d) placa n° 32, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>

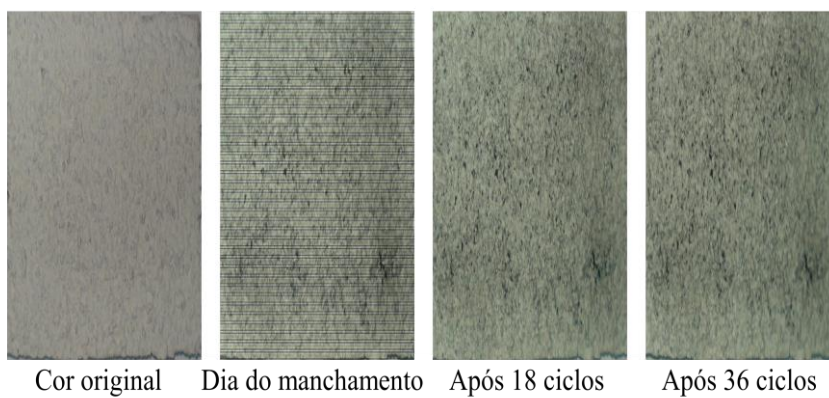
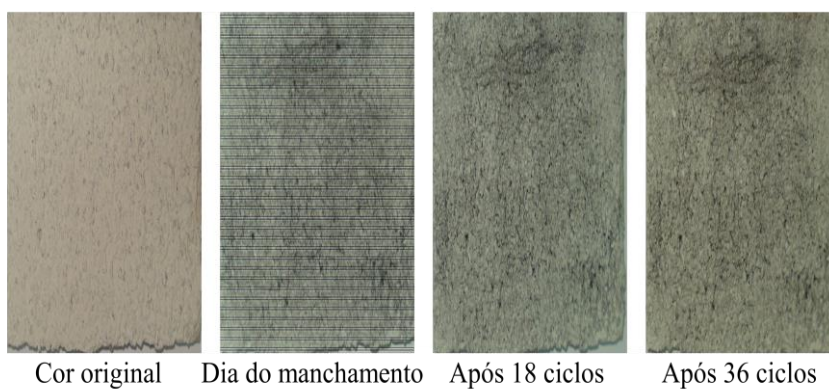
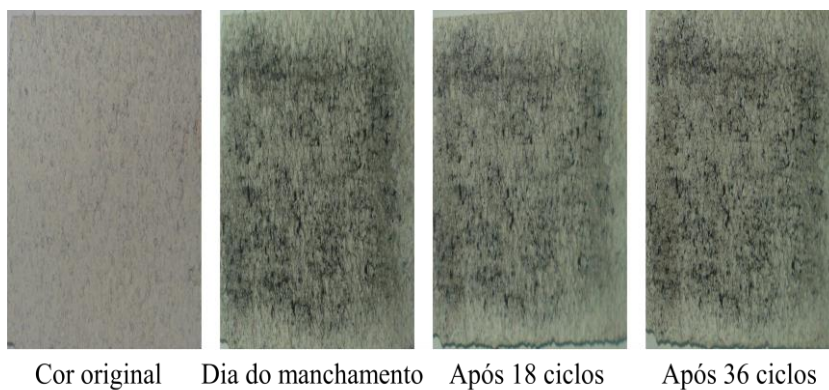


(e) placa n° 49, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>



(f) placa n° 50, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

Figura 127 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na câmara 2 (branca), manchadas com fuligem

(a) placa n° 1, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 2, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 19, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



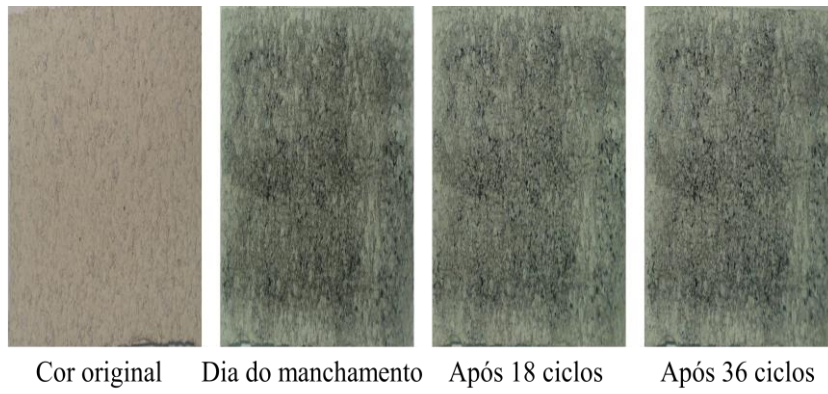
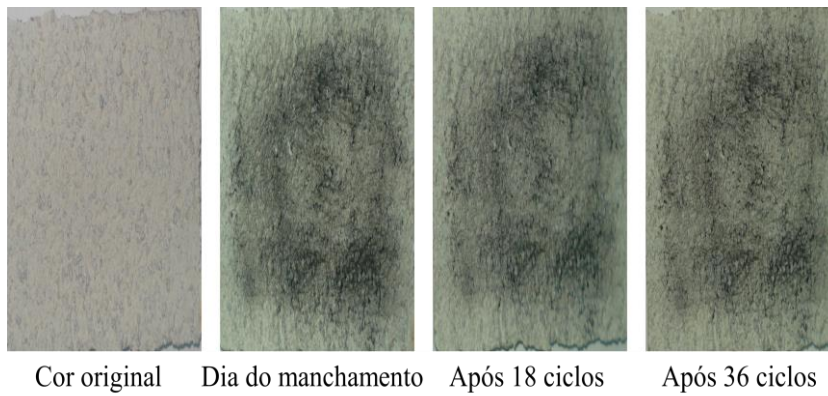
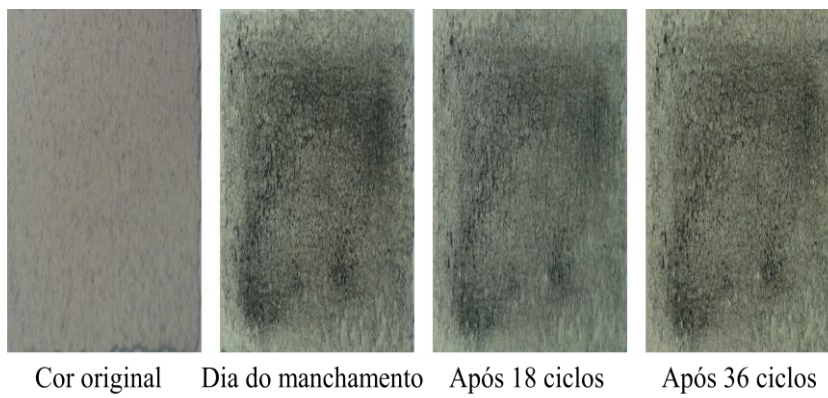
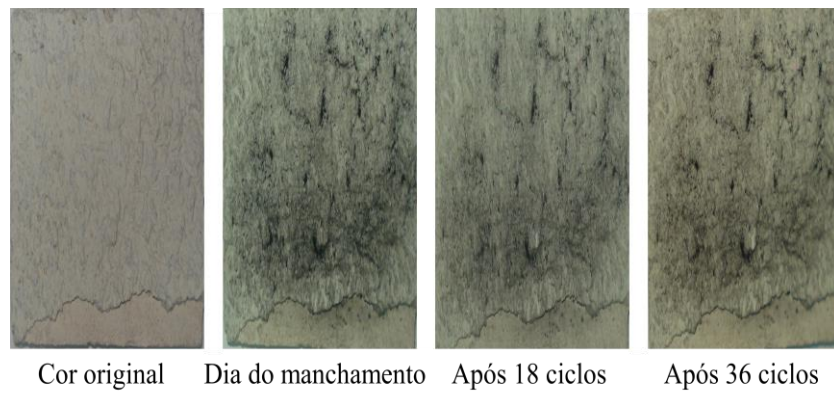
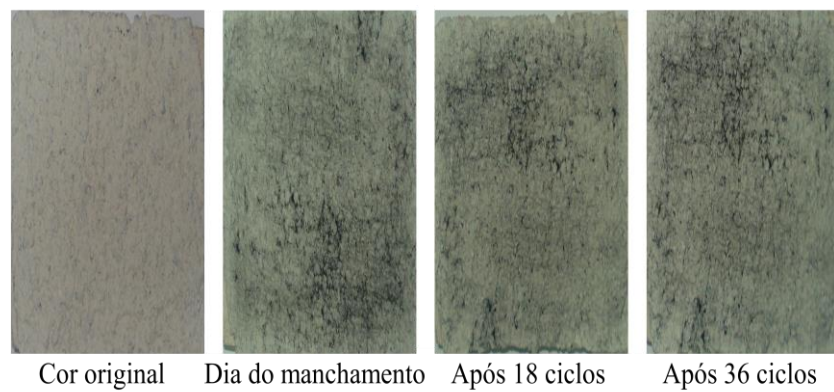
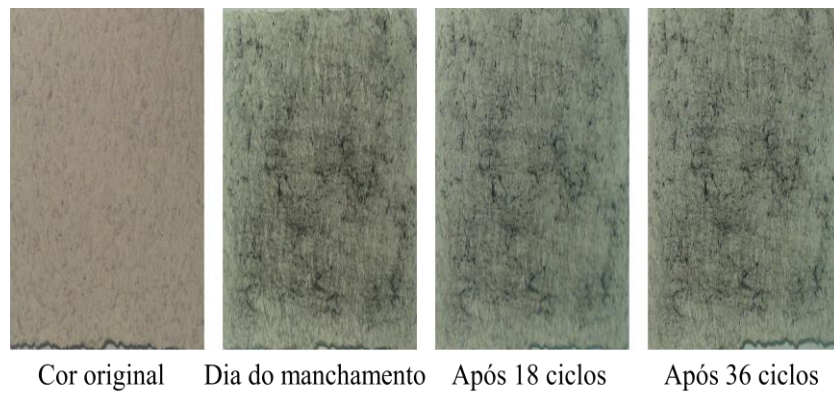
(d) placa n° 20, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>(e) placa n° 37, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>(f) placa n° 38, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

Figura 128 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na câmara 2 (branca), manchadas com fuligem

(a) placa n° 7, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 8, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 25, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$

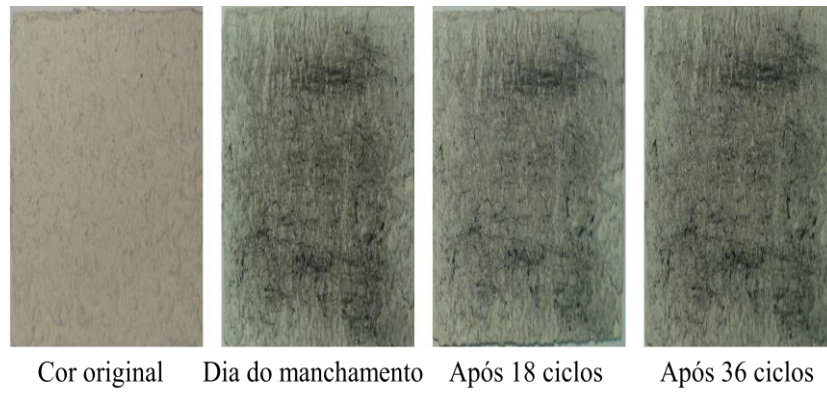
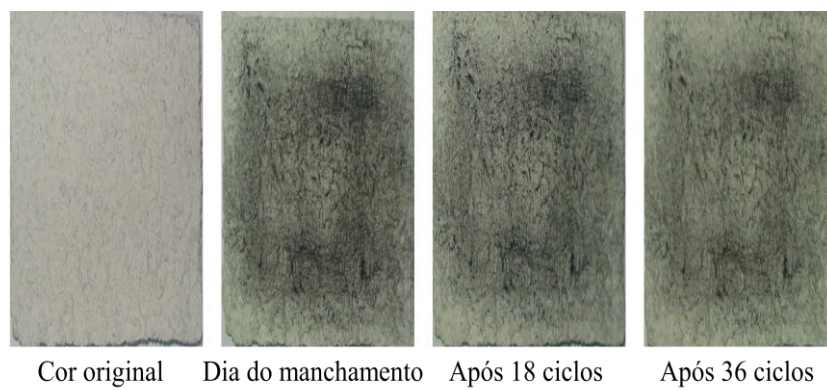
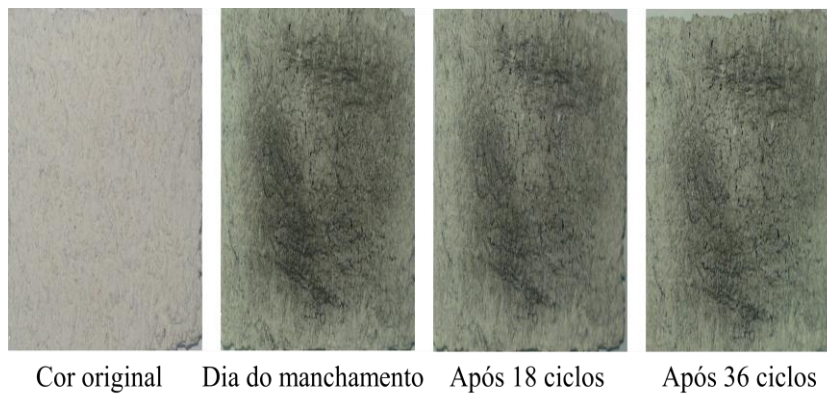
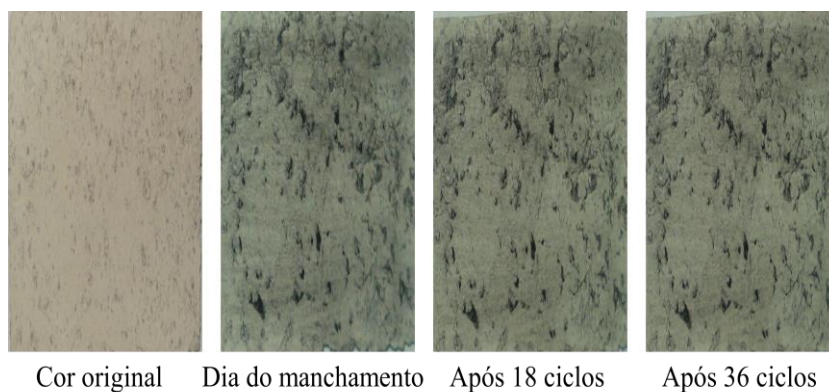
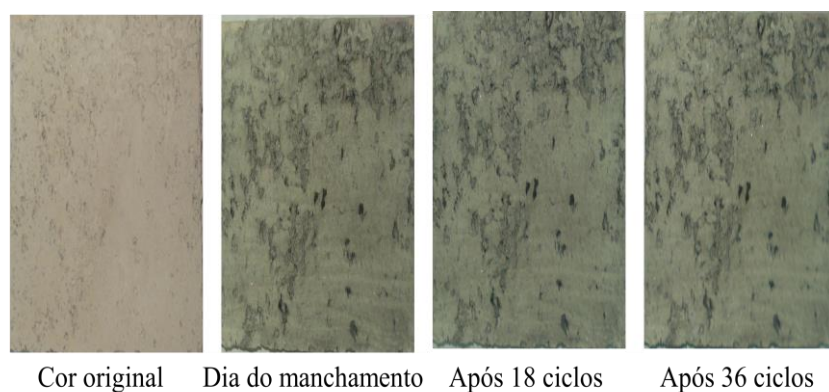
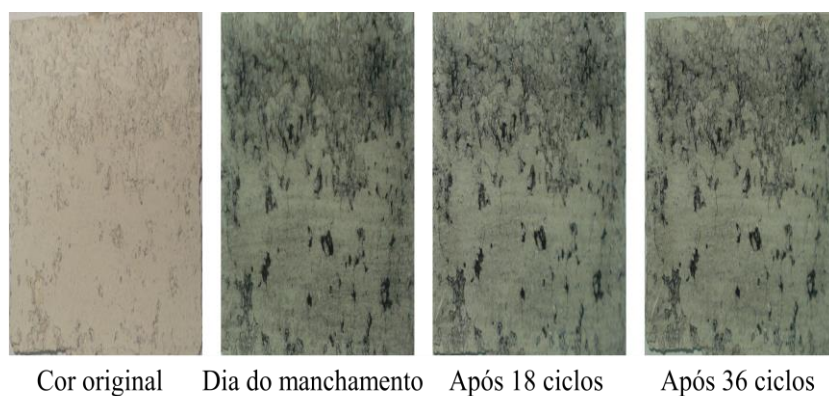
(d) placa n° 26, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>(e) placa n° 43, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>(f) placa n° 44, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>



Figura 129 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 2 (branca), manchadas com fuligem

(a) placa n° 13, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 14, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 31, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$

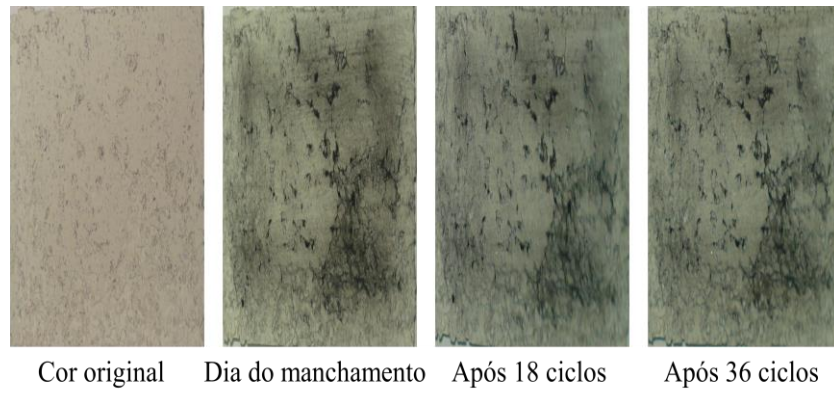
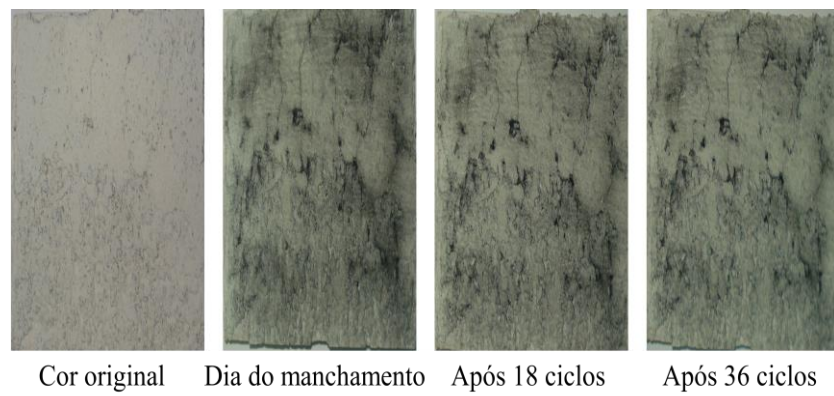
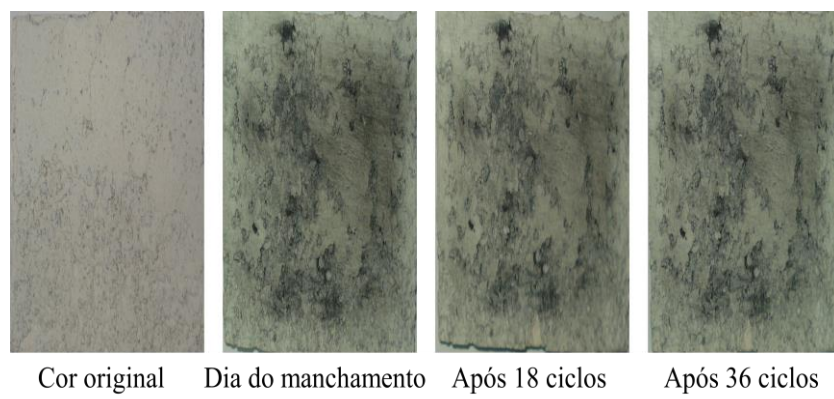
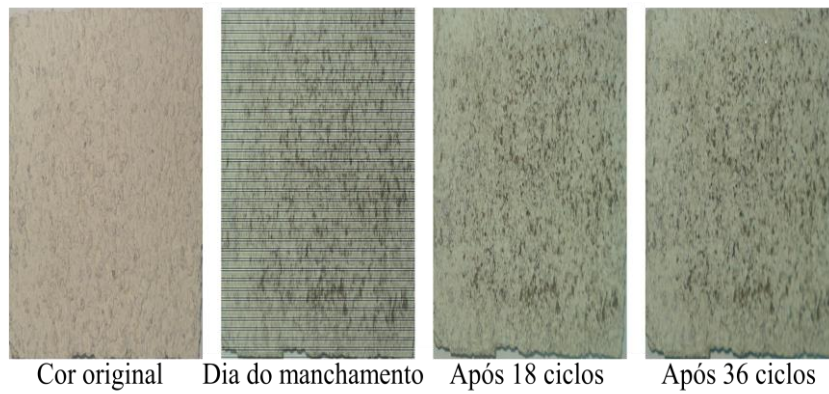
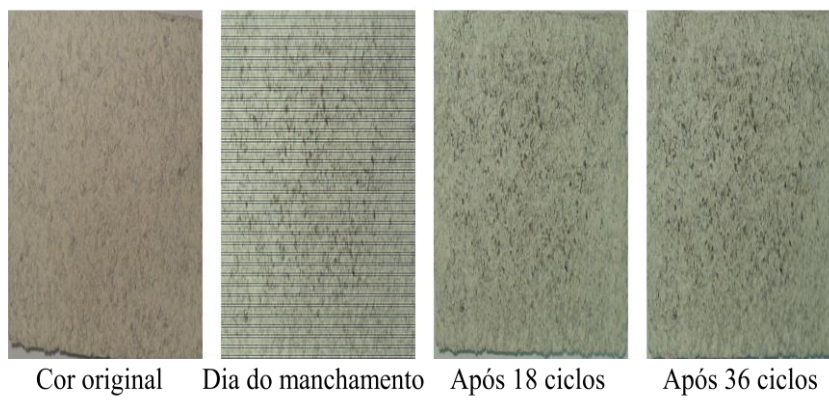
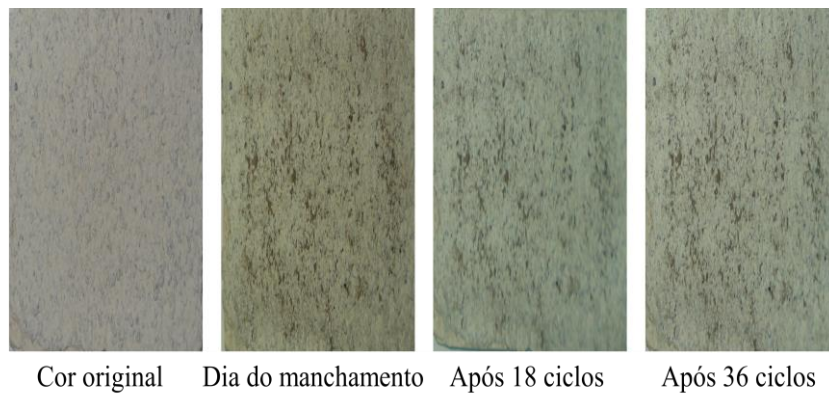
(d) placa n° 32, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>(e) placa n° 49, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>(f) placa n° 50, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

Figura 130 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na câmara 2 (branca), manchadas com cinza

(a) placa n°3, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 4, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 21, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



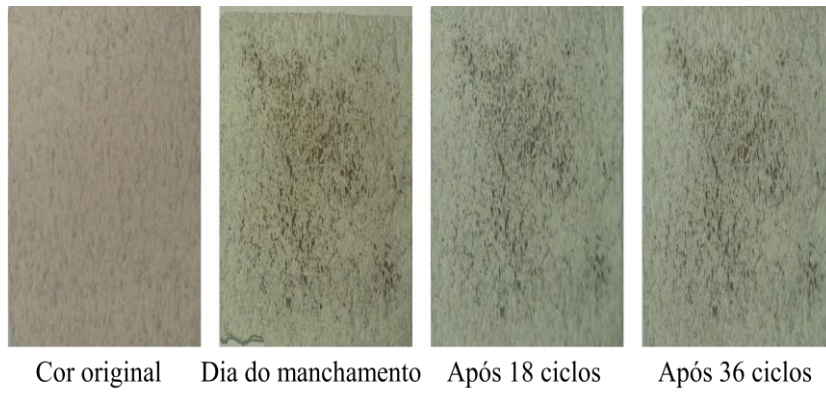
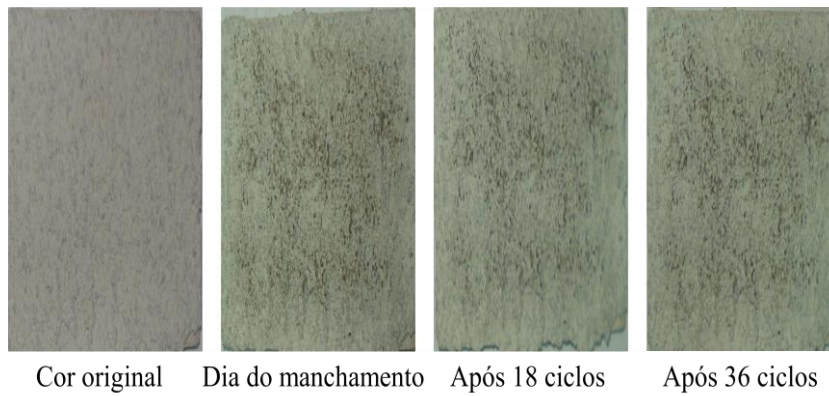
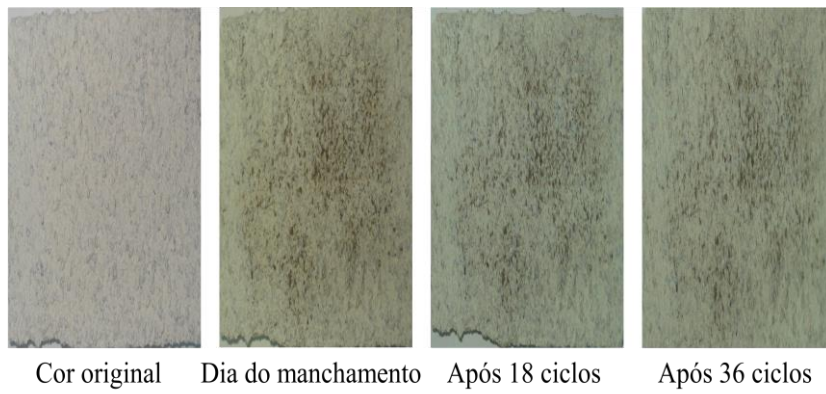
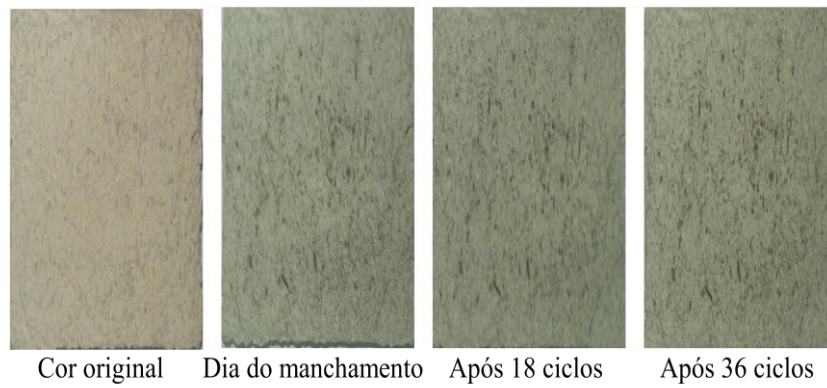
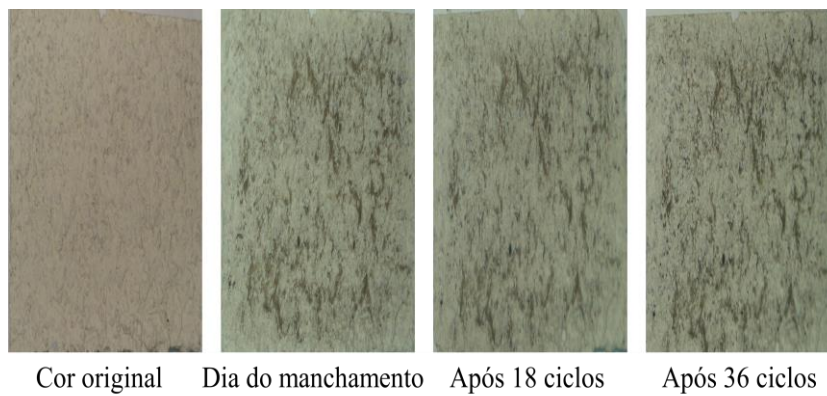
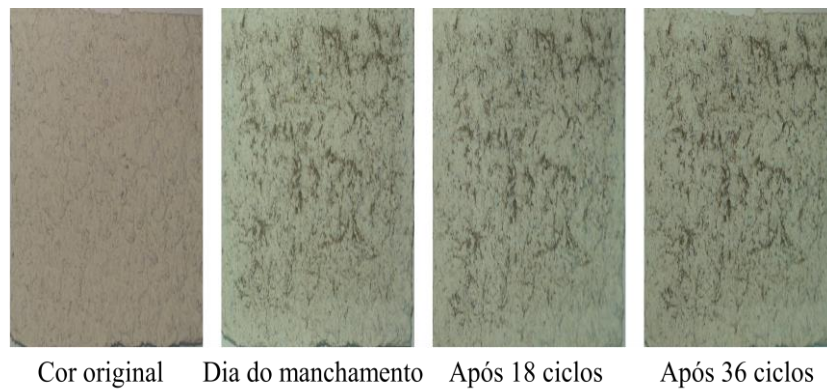
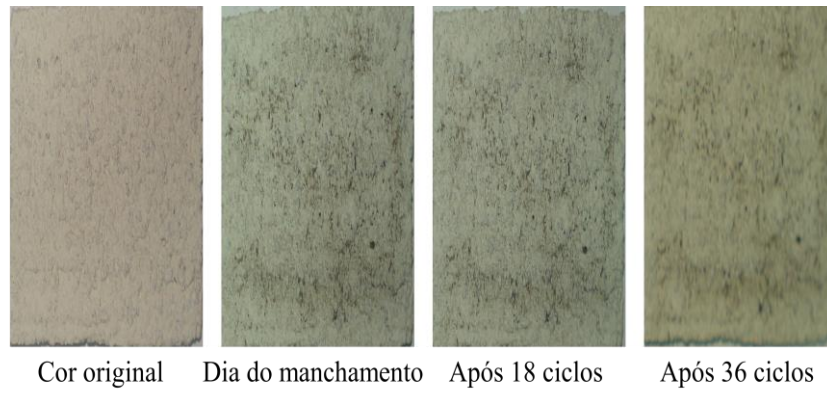
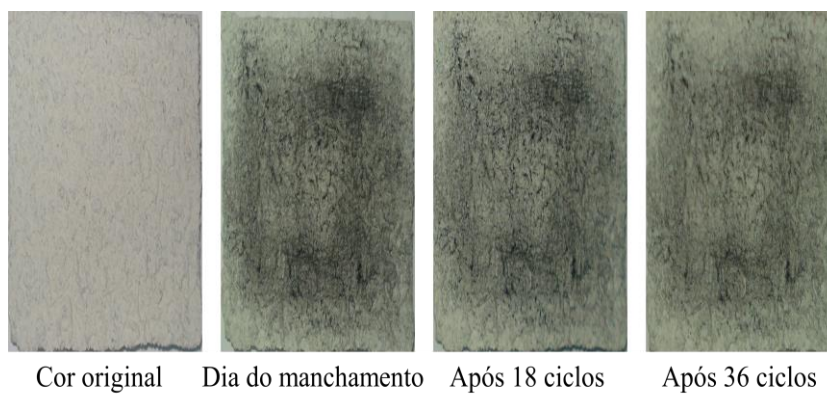
(d) placa n° 22, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>(e) placa n° 39, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>(f) placa n° 40, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

Figura 131 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na câmara 2 (branca), manchadas com cinza

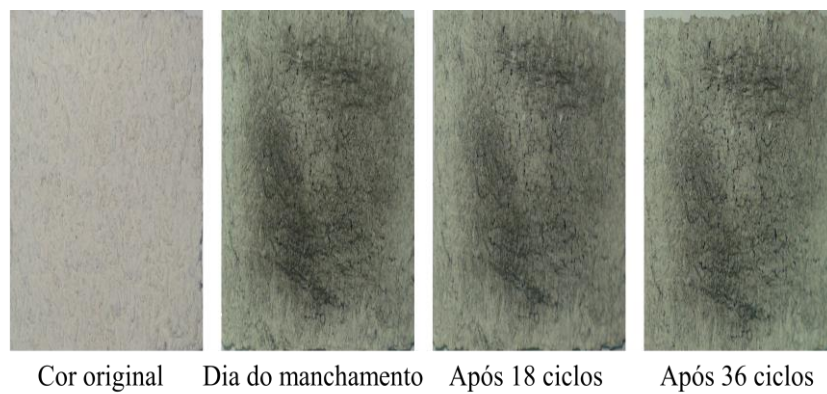
(a) placa n° 9, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 10, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 27, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



(d) placa n° 28, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>



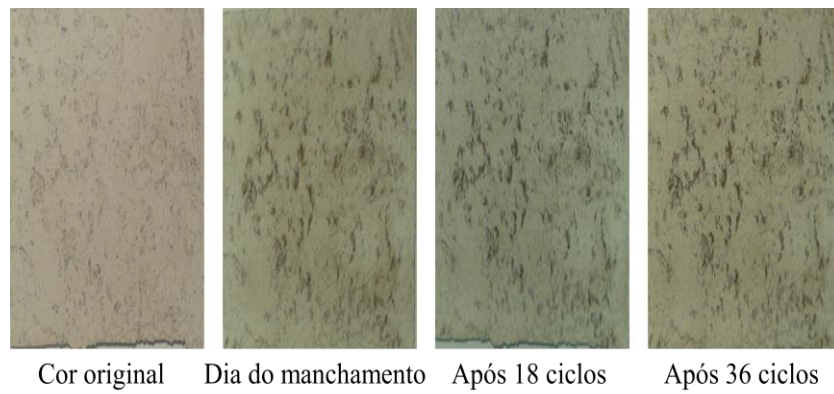
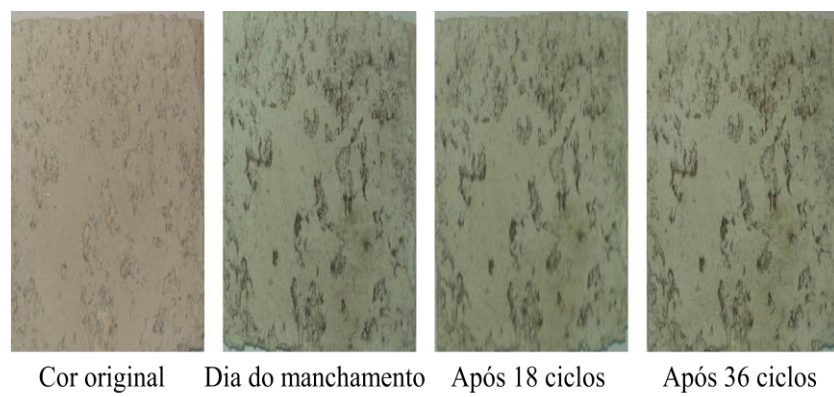
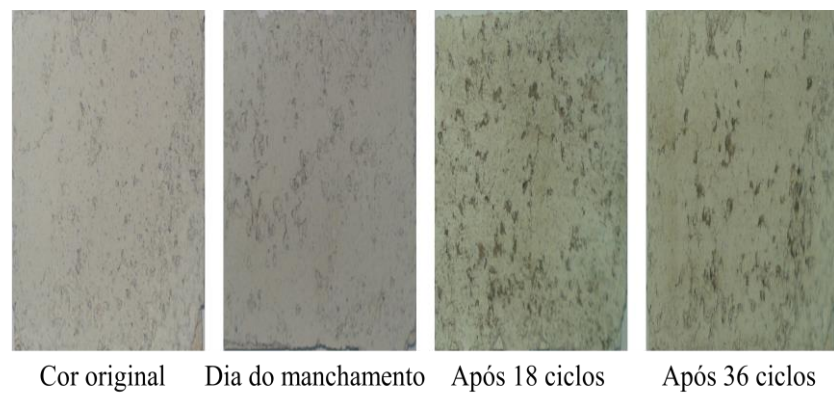
(e) placa n° 45, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>



(f) placa n° 46, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>



Figura 132 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 2 (branca), manchadas com cinza

(a) placa n° 15, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 16, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 33, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$

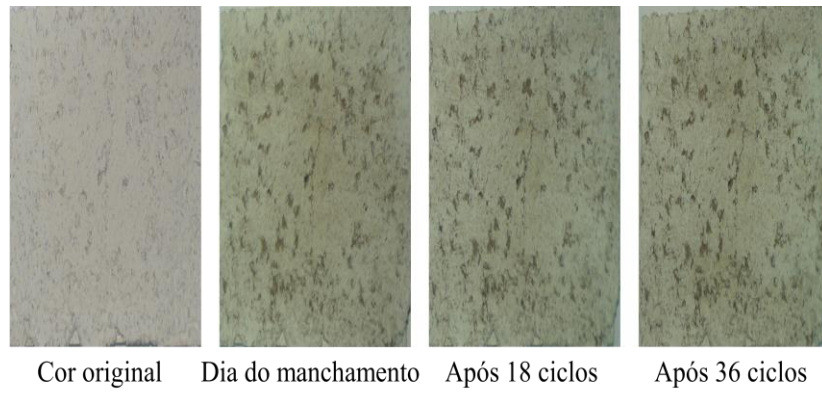
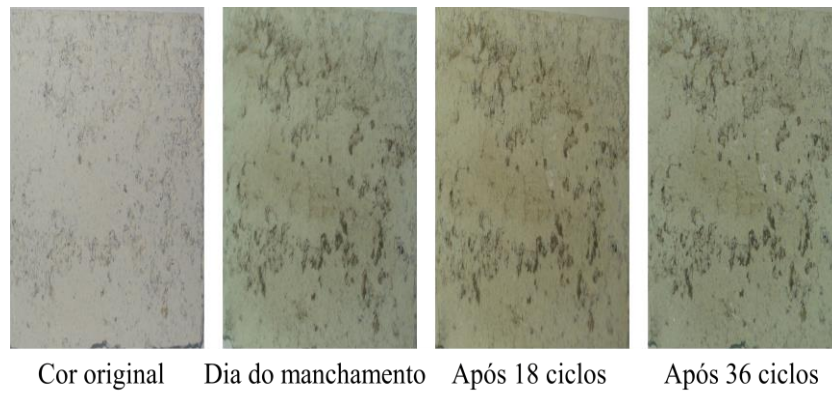
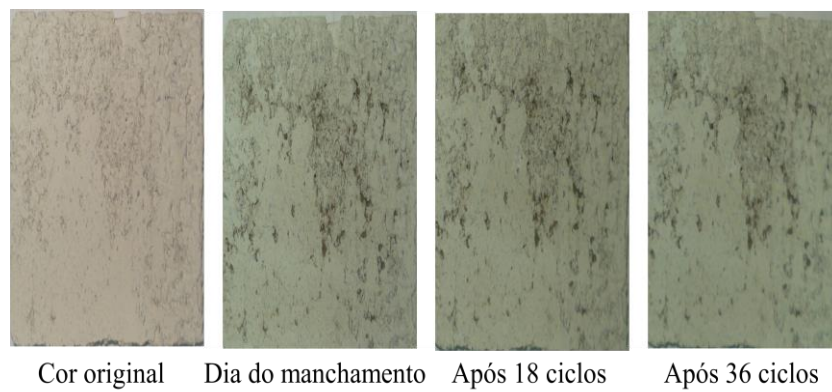
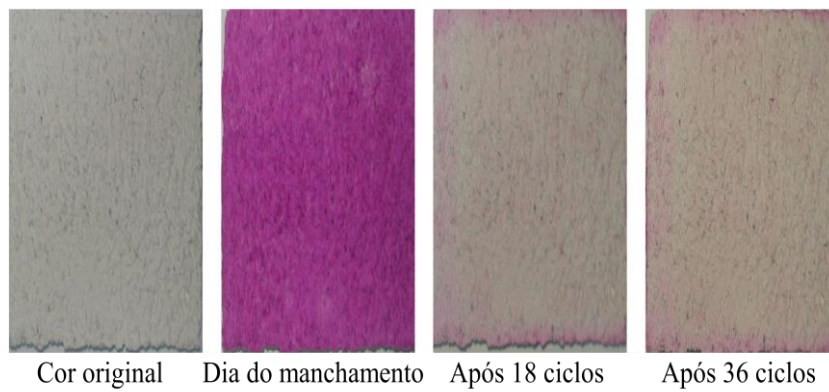
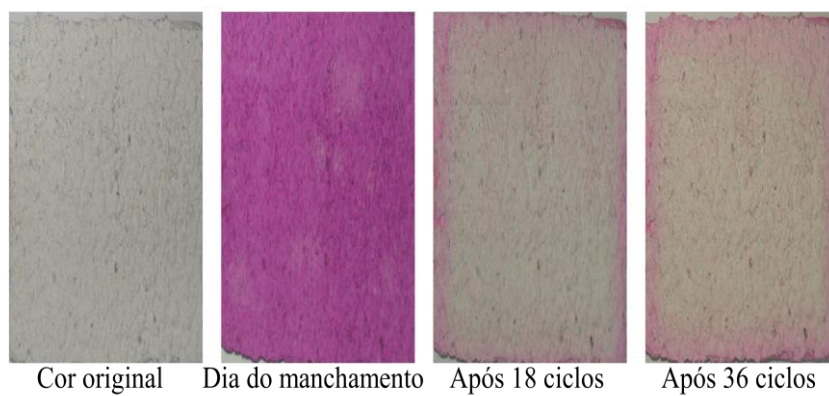
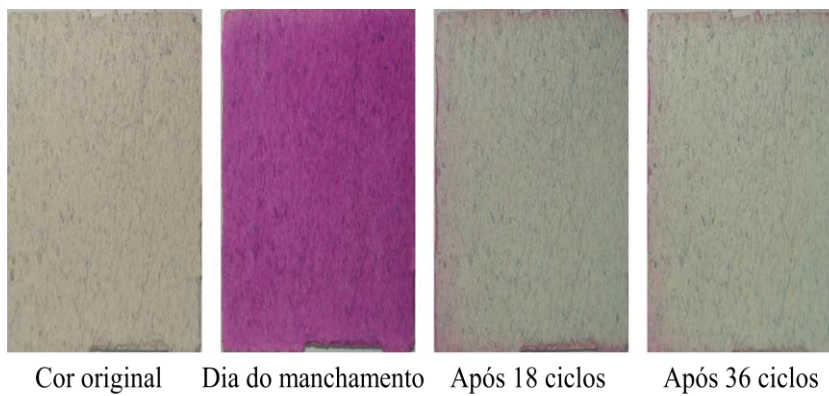
(d) placa n° 34, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$ (e) placa n° 51, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$ (f) placa n° 52, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$

Figura 133 – Placas com acabamento A1 (Rugoso), na câmara 2 (branca), manchadas com Rodamina B

(a) placa n° 5, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 6, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 23, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$

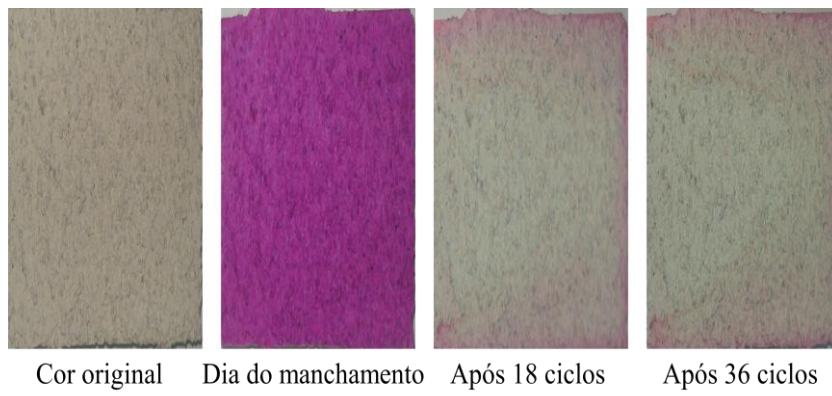
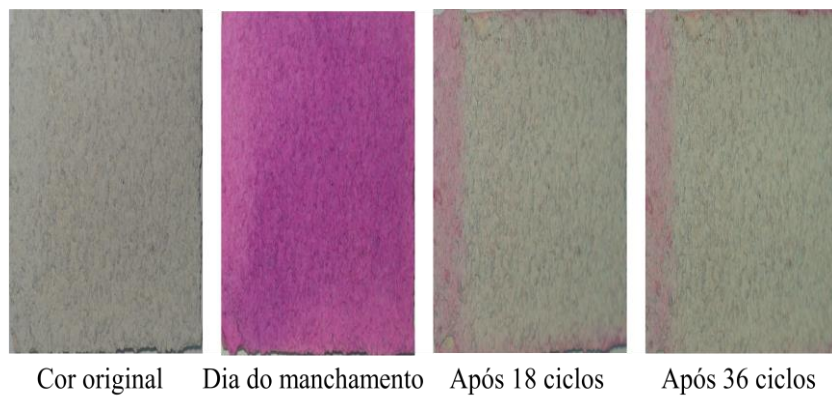
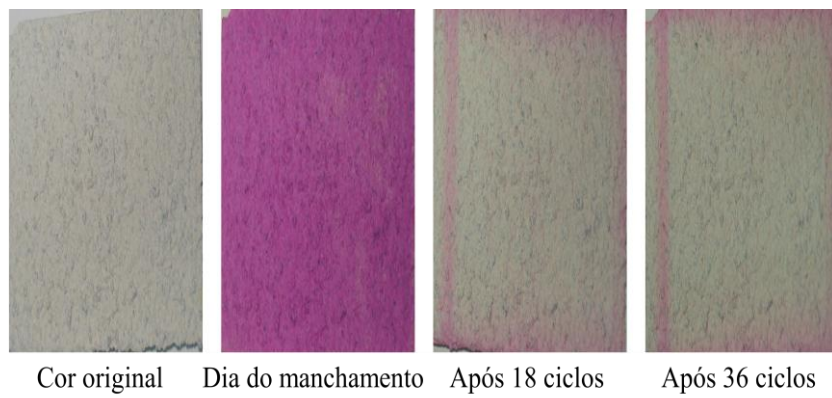
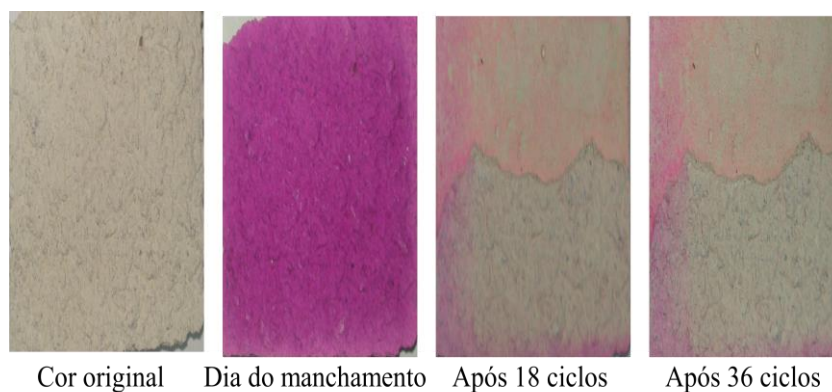
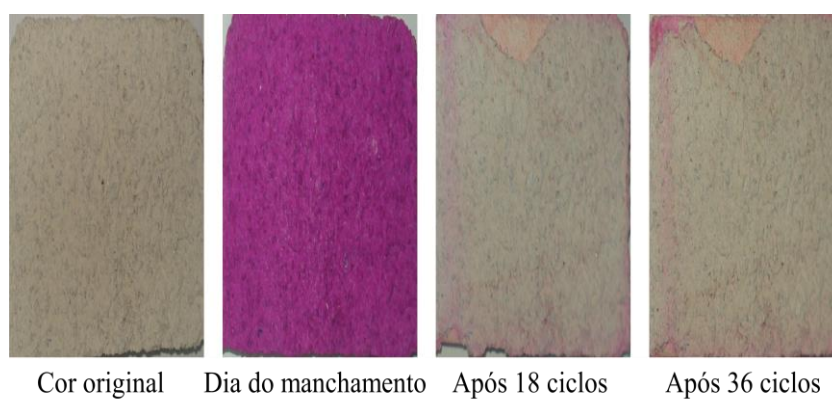
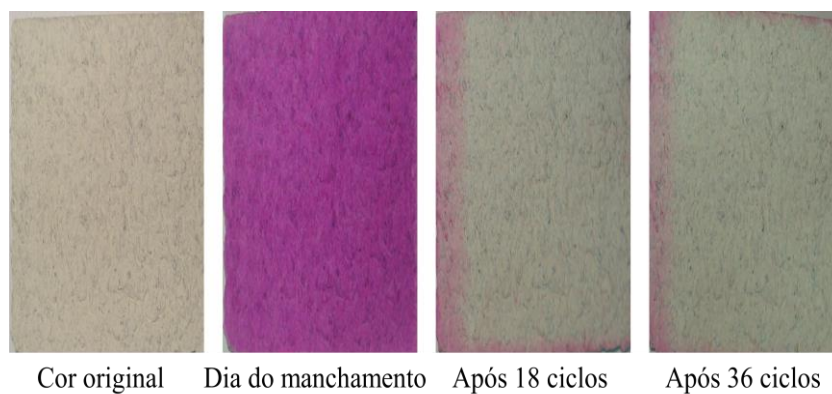
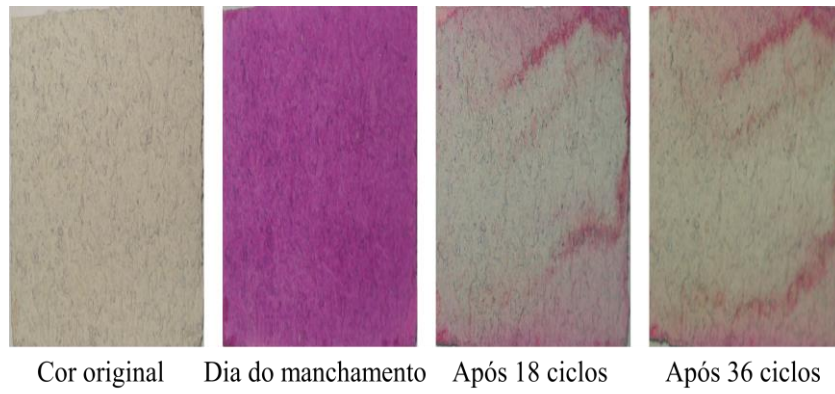
(d) placa n° 24, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>(e) placa n° 41, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>(f) placa n° 42, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

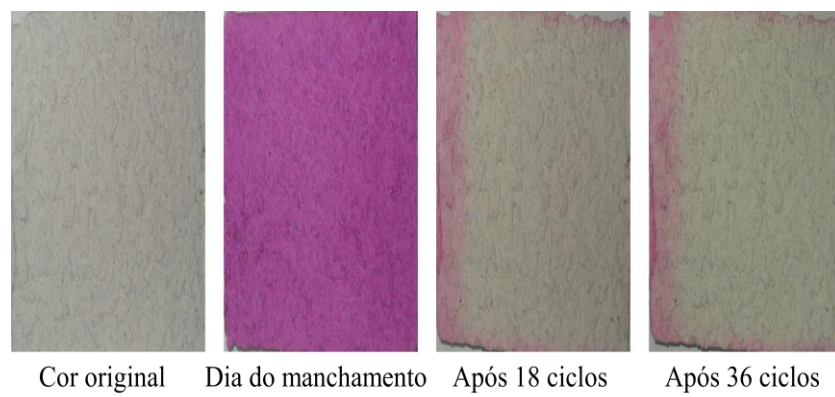


Figura 134 – Placas com acabamento A2 (Rústico), na câmara 2 (branca), manchadas com Rodamina B

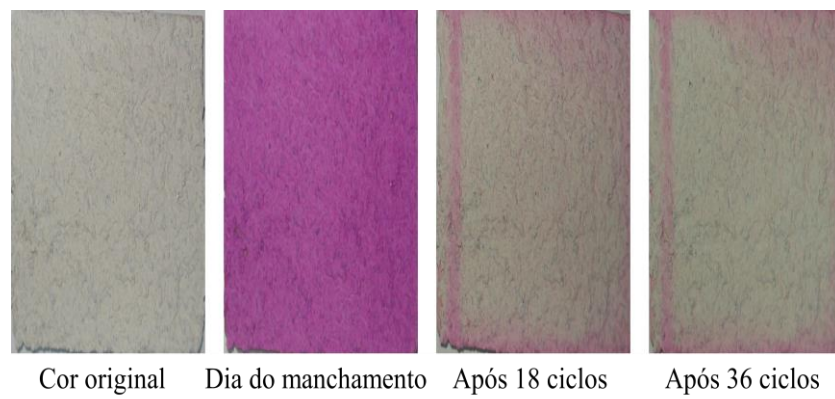
(a) placa n° 11, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (b) placa n° 12, sem adição de  $\text{TiO}_2$ (c) placa n° 29, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



(d) placa n° 30, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$



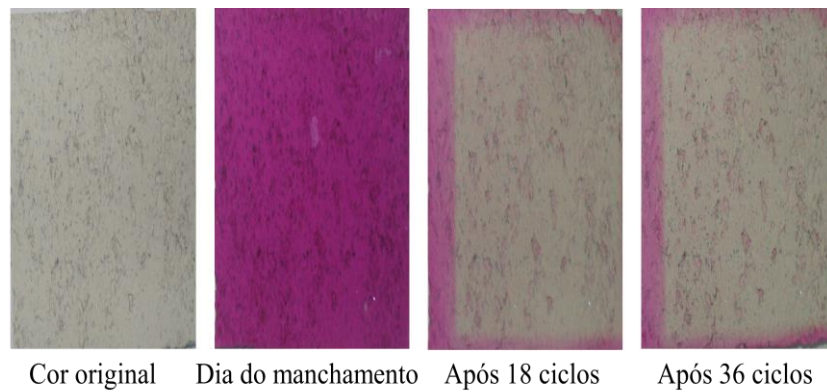
(e) placa n° 47, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$



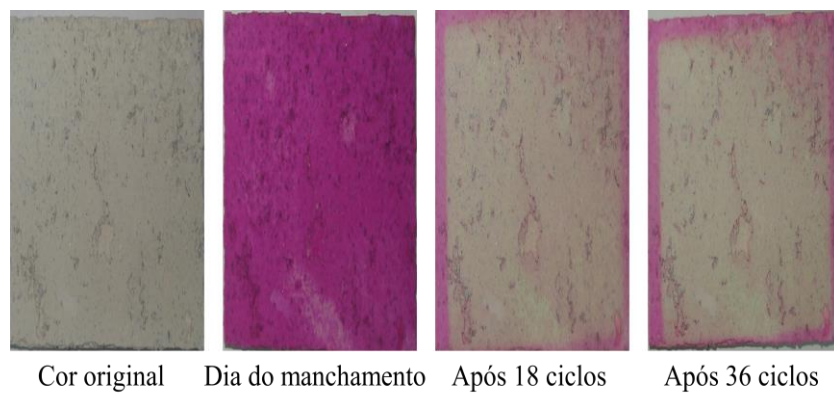
(f) placa n° 48, 10% de adição de  $\text{TiO}_2$



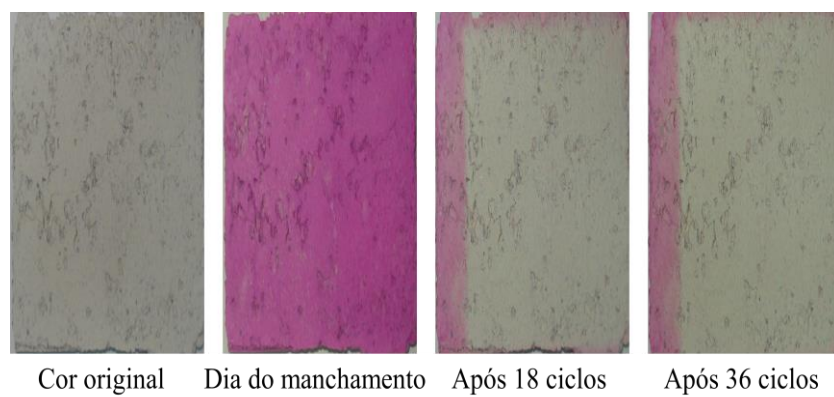
Figura 135 – Placas com acabamento A3 (Friccionado), na câmara 2 (branca), manchadas com Rodamina B



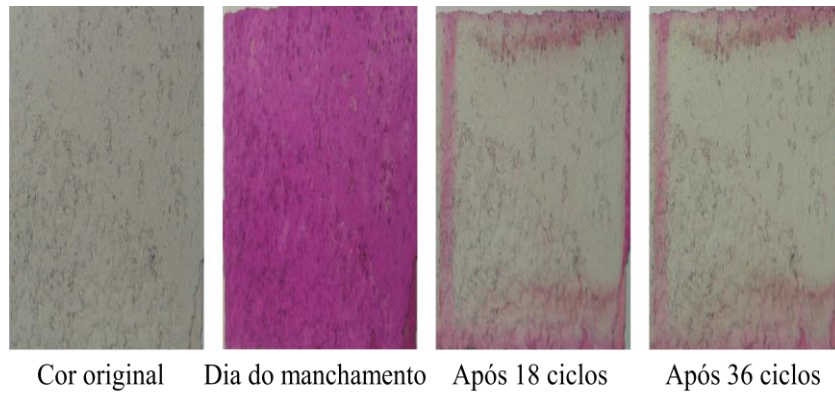
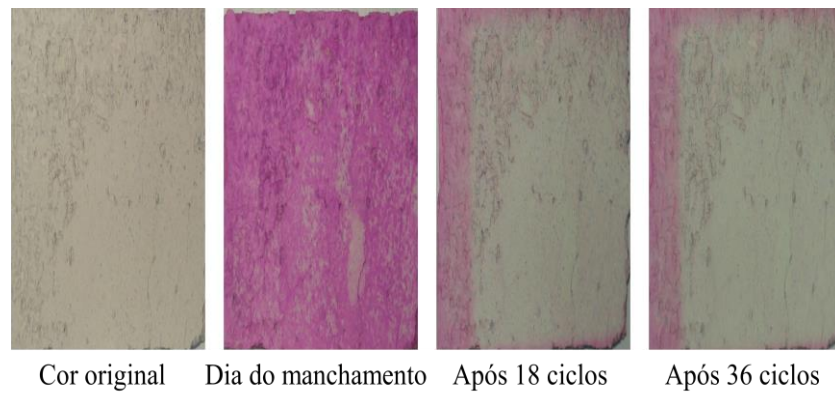
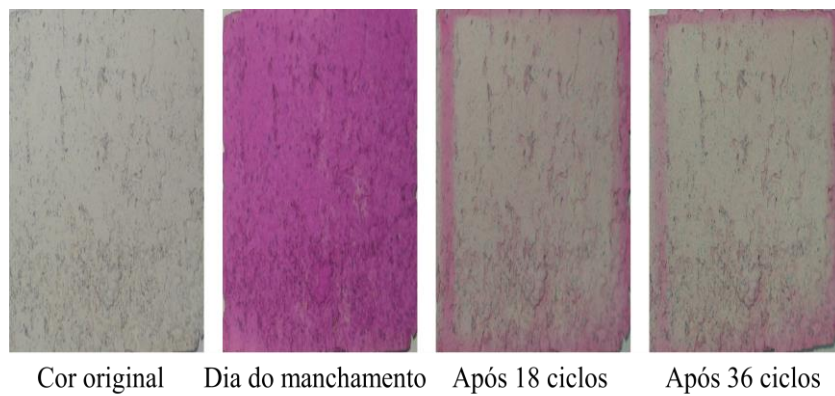
(a) placa n° 17, sem adição de  $\text{TiO}_2$



(b) placa n° 18, sem adição de  $\text{TiO}_2$



(c) placa n° 35, 5% de adição de  $\text{TiO}_2$

(d) placa n° 36, 5% de adição de TiO<sub>2</sub>(e) placa n° 53, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>(f) placa n° 54, 10% de adição de TiO<sub>2</sub>

## **ANEXO E – Caracterização das argamassas**

Tabela 35 – Índice de consistência (mm), para todas as moldagens

Índice de Consistência (mm)				
	Placas de base	Acabamentos com adição de TiO <sub>2</sub>		
		0%	5%	10%
Moldagem 1	260	250	255	260
Moldagem 2	250	270	265	270
Moldagem 3	260	270	270	265
Moldagem 4	260	265	270	270
Moldagem 5	265	-	-	-
Média	259	263,75	265	266,25
Desvio padrão (mm)	4,90	8,20	6,12	4,15
Coeficiente de variação (%)	1,89%	3,11%	2,31%	1,56%

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 36 – Densidade de massa no estado fresco (kg/m<sup>3</sup>), para todas as moldagens

Densidade de Massa (kg/m <sup>3</sup> )				
	Placas de base	Acabamentos com adição de TiO <sub>2</sub>		
		0%	5%	10%
Moldagem 1	2492,72	4358,17	2574,64	2532,51
Moldagem 2	2492,72	4353,48	3089,57	2375,69
Moldagem 3	2481,02	4175,60	2691,67	2956,16
Moldagem 4	2504,42	4482,22	2586,34	2293,77
Moldagem 5	2429,53	-	-	-
Média	2480,08	4342,37	2735,56	2539,53
Desvio padrão (kg/m <sup>3</sup> )	26,34	109,25	209,41	255,38
Coeficiente de variação (%)	1,06%	2,52%	7,66%	10,06%

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 37 – Teor de ar aprisionado (%), para todas as moldagens

Teor de ar aprisionado (%)				
	Placas de base	Acabamentos com adição de TiO <sub>2</sub>		
		0%	5%	10%
Moldagem 1	3,80	3,30	2,80	2,10
Moldagem 2	3,10	3,20	2,70	2,50
Moldagem 3	3,90	3,50	2,30	2,20
Moldagem 4	3,40	3,40	2,90	2,40
Moldagem 5	3,50	-	-	-
Média	3,54	3,35	2,68	2,30
Desvio padrão (%)	0,29	0,11	0,23	0,16
Coeficiente de variação (%)	8,11%	3,34%	8,51%	6,87%

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 38 – Densidade de massa aparente ( $\text{kg/m}^3$ )

Densidade de Massa Aparente ( $\text{kg/m}^3$ )										
		Massa (kg)	l médio (cm)	c médio (cm)	h médio (cm)	Volume ( $\text{m}^3$ )	Densidade de Massa	Média ( $\text{kg/m}^3$ )	Desvio padrão ( $\text{kg/m}^3$ )	Coeficiente de variação (%)
							( $\text{kg/m}^3$ )			
Base	CP1	0,44	40,98	161,70	40,04	0,00026525	1664,39	1622,82	26,99	1,66%
	CP2	0,43	40,36	161,09	40,33	0,00026214	1638,54			
	CP3	0,44	40,74	162,11	40,44	0,00026708	1640,18			
	CP4	0,42	40,04	160,00	40,49	0,00025939	1601,08			
	CP5	0,41	39,99	160,03	40,57	0,00025956	1585,84			
	CP6	0,41	39,96	160,05	40,36	0,00025809	1606,89			
A0	CP1	0,51	160,85	40,22	40,34	0,00026090	1961,85	1970,63	7,93	0,40%
	CP2	0,51	160,41	40,09	40,42	0,00025993	1969,00			
	CP3	0,51	160,52	40,05	40,43	0,00025988	1981,05			
A5	CP1	0,51	160,06	41,29	40,45	0,00026729	1915,13	1934,43	18,82	0,97%
	CP2	0,52	159,81	41,72	40,54	0,00027026	1928,23			
	CP3	0,51	159,57	40,69	40,17	0,00026075	1959,94			
A10	CP1	0,49	160,03	41,09	40,75	0,00026792	1833,90	1876,45	39,63	2,11%
	CP2	0,51	160,36	40,98	40,23	0,00026434	1929,32			
	CP3	0,50	160,53	41,20	40,55	0,00026816	1866,14			

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 39 – Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)

Base														
Velocidades								Módulo de elasticidade dinâmico						
	L (mm)	t1 (micro segundos)	t2 (micro segundos)	t3 (micro segundos)	V1 (mm/micro segundos)	V2 (mm/micro segundos)	V3 (mm/micro segundos)	Vmédio (mm/micro segundos)	Dens Aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	Fator	V <sup>2</sup>	E=Dens*F ator*V <sup>2</sup>	Desvio padrão (GPa)	Coeficiente de variação (%)
CP1	160	109,8	111,6	111	1,4572	1,4337	1,4414	1,4441	1,664392	0,9	2,085452	3,123909	0,041904	1,36%
CP2	160	109,6	110,3	110,4	1,4599	1,4506	1,4493	1,4532	1,638538	0,9	2,111905	3,114394		
CP3	160	111,6	112,1	111,3	1,4337	1,4273	1,4376	1,4328	1,64018	0,9	2,053054	3,030642		
Emédio												3,089648		
A0														
Velocidades								Módulo de elasticidade dinâmico						
	L (mm)	t1 (micro segundos)	t2 (micro segundos)	t3 (micro segundos)	V1 (mm/micro segundos)	V2 (mm/micro segundos)	V3 (mm/micro segundos)	Vmédio (mm/micro segundos)	Dens Aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	Fator	V <sup>2</sup>	E=Dens*F ator*V <sup>2</sup>	Desvio padrão (GPa)	Coeficiente de variação (%)
CP1	161,27	50,1	49,8	49,6	3,2190	3,2384	3,2514	3,2362	1,961846	0,9	10,47326	18,49224	0,322984	1,79%
CP2	160,99	51,2	50,2	50,4	3,1443	3,2070	3,1942	3,1819	1,968997	0,9	10,12418	17,94102		
CP3	160,8	51,3	50,7	51	3,1345	3,1716	3,1529	3,1530	1,981051	0,9	9,941497	17,72515		
Emédio												18,05281		
A5														
Velocidades								Módulo de elasticidade dinâmico						
	L (mm)	t1 (micro segundos)	t2 (micro segundos)	t3 (micro segundos)	V1 (mm/micro segundos)	V2 (mm/micro segundos)	V3 (mm/micro segundos)	Vmédio (mm/micro segundos)	Dens Aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	Fator	V <sup>2</sup>	E=Dens*F ator*V <sup>2</sup>	Desvio padrão (GPa)	Coeficiente de variação (%)
CP1	161,01	49,8	50,3	49,9	3,2331	3,2010	3,2267	3,2203	1,915127	0,9	10,37007	17,87401	0,349764	1,90%
CP2	160,12	48,8	48,7	49	3,2811	3,2879	3,2678	3,2789	1,928225	0,9	10,75138	18,65797		
CP3	160,9	49	49,8	50	3,2837	3,2309	3,2180	3,2442	1,959944	0,9	10,52483	18,56527		
Emédio												18,36575		
A10														
Velocidades								Módulo de elasticidade dinâmico						
	L (mm)	t1 (micro segundos)	t2 (micro segundos)		V1 (mm/micro segundos)	V2 (mm/micro segundos)		Vmédio (mm/micro segundos)	Dens Aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	Fator	V <sup>2</sup>	E=Dens*F ator*V <sup>2</sup>	Desvio padrão (GPa)	Coeficiente de variação (%)
CP1	161,83	56,1	55,6		2,8847	2,9106		2,8976	1,886768	0,9	8,396323	14,25772	0,68551	4,71%
CP2	160,11	55,1	56,2		2,9058	2,8489		2,8774	1,866139	0,9	8,279258	13,90522		
CP3	159,51	52,2	53,1		3,0557	3,0040		3,0299	1,876453	0,9	9,179997	15,50325		
Emédio												14,5554		

Fonte: elaborado pela autora.



Tabela 40 – Resistência à tração na flexão (MPa)

Resistência à tração na flexão (MPa)											
Identificação		Resistência (MPa)	Res. Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)	Identificação		Res. Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)	
Base	CP1	0,56	0,67	0,0646	9,59%	A5	CP1	18,31	0,5009	2,74%	
	CP2	0,63					CP2				17,94
	CP3	0,71					CP3				17,75
	CP4	0,74					CP4				19,19
	CP5	0,73					CP5				18,69
	CP6	0,68					CP6				18,35
A0	CP1	4,57	3,95	0,4941	12,51%	A10	CP1	19,07	4,7438	24,87%	
	CP2	3,63					CP2				14,93
	CP3	3,70					CP3				22,76
	CP4	3,63					CP4				24,23
	CP5	3,47					CP5				13,29
	CP6	4,71					CP6				14,95

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 41 – Resistência à compressão na flexão (MPa)

Resistência à compressão na flexão (MPa)											
Identificação		Resistência (MPa)	Res. Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)	Identificação		Res. Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)	
Base	CP1	1,58	1,85	0,2607	14,07%	A5	CP1	18,30	0,521542	2,85%	
	CP2	1,48					CP2				17,94
	CP3	2,14					CP3				17,75
	CP4	1,58					CP4				19,19
	CP5	2,26					CP5				18,69
	CP6	1,56					CP6				17,92
	CP7	2,08					CP7				18,35
	CP8	2,09					CP8				18,30
	CP9	1,73					CP9				17,78
	CP10	2,12					CP10				18,25
	CP11	1,85					CP11				19,15
	CP12	1,77					CP12				18,75
A0	CP1	16,55	16,25	1,6632	10,23%	A10	CP1	15,19	0,714305	4,70%	
	CP2	15,99					CP2				15,75
	CP3	17,03					CP3				15,06
	CP4	15,99					CP4				16,28
	CP5	15,55					CP5				15,28
	CP6	12,56					CP6				14,04
	CP7	16,19					CP7				16,32
	CP8	14,81					CP8				15,72
	CP9	16,25					CP9				15,02
	CP10	15,95					CP10				14,93
	CP11	19,21					CP11				14,45
	CP12	18,96					CP12				14,16

Fonte: elaborado pela autora.

## **ANEXO F – Dados de medição colorimétrica**

Tabela 42 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas sem adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente

Identificação das placas					Medição Branca (placas sem manchamento)						Depois do manchamento (1 dia)					
Placa	Adição	Acabamento	Inclinação	Manchamento	L*	a*	b*	C*	h-	ΔE obtido	L*	a*	b*	C*	h-	ΔE calculado
1	0%	T1	90°	Fuligem	74,2332	0,2205	5,6754	5,6798	87,8023	25,9628	31,3879	0,3276	2,2332	2,2584	81,3814	42,9885
2	0%	T1	90°	Fuligem	72,6956	0,2781	5,7590	5,7662	87,2633	27,4699	25,1860	0,3290	1,6633	1,7000	77,3765	47,6893
3	0%	T1	45°	Fuligem	75,0057	0,2175	6,3792	6,3833	88,0506	25,3743	21,8510	0,4631	1,8610	1,9296	74,7738	53,3483
4	0%	T1	45°	Fuligem	72,8081	0,2171	5,5493	5,5538	87,7501	27,3135	27,1671	0,2899	2,3468	2,3660	82,6957	45,7535
5	0%	T1	90°	Rodamina	70,7171	0,3150	6,0767	6,0851	87,0176	29,4657	49,1898	45,0809	-18,7720	48,8345	337,3923	55,5575
6	0%	T1	90°	Rodamina	70,0976	0,3009	6,7226	6,7294	87,4302	30,2206	48,8910	39,6904	-18,3423	43,7240	335,1992	51,3060
7	0%	T1	45°	Rodamina	70,2095	0,2620	5,8611	5,8674	87,4851	29,9211	48,5450	38,5082	-17,5710	42,3313	335,4936	49,8164
8	0%	T1	45°	Rodamina	74,9983	0,2141	5,8151	5,8198	87,9141	25,2357	50,4849	37,8167	-17,3349	41,6121	335,4624	50,5140
9	0%	T1	90°	Cinza	72,8469	0,2463	6,0175	6,0228	87,6397	27,3753	59,7715	1,0296	6,6248	6,7057	81,2299	13,1212
10	0%	T1	90°	Cinza	71,7024	0,2173	5,6716	5,6768	87,8741	28,4273	54,5215	1,2484	7,3123	7,4197	80,3505	17,2998
11	0%	T1	45°	Cinza	74,1911	0,1751	6,2571	6,2603	88,4613	26,1262	55,1588	1,3430	7,7281	7,8477	80,1732	19,1286
12	0%	T1	45°	Cinza	83,7784	-0,0766	4,2626	4,2638	91,0847	16,3605	57,1960	1,4054	7,1486	7,2863	78,9208	26,7846
13	0%	T3	90°	Fuligem	78,9222	-0,0197	5,3064	5,3081	90,3614	21,3144	46,4542	0,4478	3,5489	3,5776	82,8070	32,5377
14	0%	T3	90°	Fuligem	78,2482	-0,0715	5,6584	5,6600	90,8714	22,0607	45,3484	0,2529	3,2739	3,2852	85,3925	33,0176
15	0%	T3	45°	Fuligem	81,9031	-0,0893	4,6246	4,6257	91,0960	18,2510	44,5520	0,2222	3,5179	3,5261	86,1938	37,3748
16	0%	T3	45°	Fuligem	82,3262	-0,1044	4,1044	4,1061	91,4259	17,7077	49,3731	0,2112	3,2174	3,2247	86,2636	32,9719
17	0%	T3	90°	Rodamina	80,7948	-0,0732	5,1358	5,1366	90,8234	19,4549	60,3712	26,8537	-12,3174	29,5471	335,4395	38,0801
18	0%	T3	90°	Rodamina	76,9242	-0,0383	5,9741	5,9753	90,4370	23,4111	59,2478	24,7032	-10,6166	26,8985	336,8971	34,8235
19	0%	T3	45°	Rodamina	78,1689	0,0743	5,0657	5,0846	88,1365	22,0410	56,4838	20,5050	-6,5516	21,5326	342,3548	32,2424
20	0%	T3	45°	Rodamina	77,5315	0,1268	4,9588	4,9801	87,3698	22,6305	55,8159	26,9107	-11,4651	29,2581	337,0937	38,2190
21	0%	T3	90°	Cinza	82,5639	-0,1778	5,6546	5,6580	91,8260	17,9198	63,7695	1,5939	9,5996	9,7318	80,5749	19,3044
22	0%	T3	90°	Cinza	80,1532	-0,1140	5,6412	5,6427	91,1403	20,2159	60,3430	1,4456	9,3952	9,5088	81,3234	20,2415
23	0%	T3	45°	Cinza	80,5008	-0,0076	4,4288	4,4293	90,1157	19,5720	67,9880	1,2042	8,5973	8,6822	82,0295	13,2769
24	0%	T3	45°	Cinza	82,1099	-0,1366	5,0572	5,0593	91,5371	18,1703	61,7895	1,7247	10,0047	10,1544	80,2290	21,0110
25	0%	T2	90°	Fuligem	76,4588	0,2200	6,8319	6,8358	88,1925	24,1043	37,2845	0,2965	3,4552	3,4698	85,0975	39,3226
26	0%	T2	90°	Fuligem	75,9891	0,2322	6,7177	6,7222	88,0207	24,5200	35,1466	0,3238	3,6834	3,6988	84,8981	40,9587
27	0%	T2	45°	Fuligem	74,8737	0,2076	6,4060	6,4096	88,1410	25,5088	42,5540	0,2719	4,3138	4,3244	86,2600	32,3922
28	0%	T2	45°	Fuligem	75,3808	0,3087	6,6924	6,6997	87,3523	25,0900	40,1902	0,2893	3,1996	3,2128	84,8310	35,3711
29	0%	T2	90°	Rodamina	74,3502	0,3339	6,7430	6,7520	87,1535	26,1052	51,0650	42,1123	-18,0274	45,8108	336,8343	53,8964
30	0%	T2	90°	Rodamina	74,5403	0,2834	7,0515	7,0574	87,6940	26,0116	47,4949	37,7780	-17,7024	41,7226	334,9092	52,4642
31	0%	T2	45°	Rodamina	76,0614	0,2420	6,6676	6,6725	87,9362	24,4409	50,6577	38,4994	-18,3075	42,6319	334,5707	52,3260
32	0%	T2	45°	Rodamina	72,3160	0,3444	7,7544	7,7629	87,5005	28,3384	48,3884	40,7642	-18,1441	44,6213	336,0166	53,6566
33	0%	T2	90°	Cinza	72,9479	0,3059	6,4958	6,5033	87,2986	27,4189	51,4404	1,4384	7,4007	7,5435	78,9662	21,5626
34	0%	T2	90°	Cinza	80,5603	0,2247	5,5031	6,2940	124,2256	20,7619	51,4892	1,7522	8,5298	8,7097	78,4014	29,3465
35	0%	T2	45°	Cinza	73,1242	0,2745	6,6916	6,6972	87,6499	27,2720	56,0015	1,3572	7,7429	7,8656	79,9936	17,2295
36	0%	T2	45°	Cinza	79,1802	0,3631	4,9635	6,3043	125,4005	21,3433	52,1127	1,6450	7,8614	8,0332	78,2088	27,4615

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 43 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas sem adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente (continuação 1)

Placa	Depois do manchamento (7 dias)						Depois do manchamento (14 dias)						Depois do manchamento (21 dias)					
	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado
1	32,2597	0,0691	1,6891	1,6910	87,6951	1,6802	34,2550	0,2996	1,4079	1,4398	77,8726	3,1404	36,7644	0,3456	2,2532	2,2801	81,1422	5,3870
2	24,6692	-0,0747	1,5926	1,5991	93,1838	1,0219	28,1064	0,3030	1,5245	1,5567	78,3873	3,3885	33,1945	0,3181	2,0472	2,0720	81,1479	8,0221
3	21,7711	-0,0507	1,6978	1,7029	92,1965	1,6108	23,5175	0,3399	1,6800	1,7163	78,3621	2,5678	28,6552	0,4491	2,2884	2,3355	78,3785	6,8299
4	30,0813	0,0291	1,8763	1,8786	89,1624	3,2032	33,2952	0,2957	1,9558	1,9790	81,4004	6,1820	35,4441	0,3824	2,6892	2,7165	81,8711	8,2889
5	66,9232	10,5277	4,1629	11,3256	21,5454	45,1838	72,5868	4,5495	4,8668	6,6665	46,9031	52,4568	73,2151	4,4575	5,0554	6,7466	48,6498	52,8800
6	71,2372	7,7343	4,9461	9,1980	32,7504	45,4459	74,4271	3,4129	5,3837	6,3988	57,5594	50,3182	74,2984	3,4770	5,3817	6,4417	57,0642	50,2041
7	69,8842	5,2613	4,9532	7,2542	43,4175	45,5040	72,5644	2,5448	5,4569	6,0260	65,0765	49,0062	73,9367	2,0310	5,4850	5,8524	69,6880	50,0941
8	74,7267	5,5850	4,9650	7,5151	42,0317	46,1160	77,2130	2,4348	5,0460	5,6174	64,1307	49,6865	77,3373	2,2203	5,0241	5,5051	65,8616	49,8925
9	62,9862	0,6270	5,4807	5,5171	83,5554	3,5040	63,7501	0,7243	6,0084	6,0530	83,2127	4,0975	65,7882	0,6420	5,9529	5,9884	83,8288	6,0978
10	58,4712	0,7994	6,3574	6,4087	82,8546	4,0954	60,8923	0,8245	6,4873	6,5416	82,7787	6,4490	62,3315	0,6935	6,5515	6,5895	83,9859	7,8680
11	58,6693	0,8692	6,6188	6,6783	82,6169	4,0306	60,0868	0,8998	6,8335	6,8943	82,5767	5,1032	62,5790	0,7972	6,8160	6,8654	83,4045	7,5214
12	59,7758	0,8680	6,4005	6,4594	82,2777	2,7580	61,0684	0,9193	6,7581	6,8213	82,2486	3,9563	63,1339	0,8766	6,6473	6,7063	82,5132	5,9891
13	49,5636	0,2645	2,7945	2,8079	84,6056	3,2456	51,3435	0,4141	2,9367	2,9673	81,9445	4,9621	52,9581	0,4711	3,3569	3,3911	82,0193	6,5181
14	45,3899	0,0348	2,7080	2,7102	89,4260	2,2407	47,7978	0,1559	2,5119	2,5171	86,5173	2,7856	49,2318	0,2518	3,1639	3,1742	85,4152	3,8912
15	45,9897	0,1397	2,8820	2,8863	87,2359	1,7630	47,2166	0,2694	3,1002	3,1122	84,9811	2,8473	47,7574	0,4345	3,5980	3,6254	82,9269	3,2441
16	52,6020	0,0949	2,5573	2,5593	87,8721	3,3419	54,7815	0,2379	3,1136	3,1237	85,4190	5,4872	55,8503	0,3915	3,8422	3,8625	84,1160	6,5254
17	80,2558	5,3750	2,9052	6,1216	28,6176	33,0688	83,0824	2,1363	3,7893	4,3671	60,6998	37,2560	83,4773	2,1716	3,9770	4,5570	61,4909	37,5996
18	80,9709	3,5576	3,6187	5,1144	45,8361	33,5429	83,0351	1,4762	4,5147	4,7701	72,1214	36,5386	83,8666	1,1416	4,6059	4,7554	76,4140	37,3536
19	77,6940	1,5904	5,1417	5,4398	72,4371	30,7647	77,6736	0,5718	5,3189	5,3571	83,9988	31,5080	78,6081	0,3887	5,7733	5,7895	86,2243	32,3578
20	78,6918	2,9286	4,6197	5,5027	57,9645	36,8917	79,8756	1,2942	4,9124	5,0907	75,0617	38,9161	80,1294	1,4013	5,1718	5,4038	74,6356	39,0755
21	68,3855	0,8909	8,4133	8,4613	84,0034	4,8534	69,3815	0,9333	8,1162	8,1720	83,4842	5,8549	71,3622	0,7469	7,9416	7,9780	84,7219	7,8410
22	64,8677	0,8841	8,3368	8,3867	83,9612	4,7485	65,6799	0,8998	8,1506	8,2032	83,7732	5,5869	67,3160	0,7865	8,2942	8,3349	84,6794	7,0988
23	70,8947	0,6578	7,3177	7,3481	84,9150	3,3115	71,6366	0,6823	7,3550	7,3872	84,7223	4,0067	75,5217	0,4778	7,0047	7,0226	86,1984	7,7397
24	64,1755	1,0682	9,3161	9,3787	83,4845	3,5687	68,1388	1,0276	9,2173	9,2768	83,6375	6,4426	68,0617	0,9313	9,2555	9,3049	84,2526	6,3797
25	37,9271	0,1857	2,2285	2,2382	85,4137	2,2853	37,6159	0,3219	2,3215	2,3462	82,0396	2,5494	41,9109	0,3733	2,8400	2,8664	82,2000	5,0393
26	38,3265	0,1043	2,2483	2,2519	87,3081	3,5520	39,2718	0,2458	2,2959	2,3108	83,6283	4,4124	44,5716	0,3345	2,8499	2,8707	83,2448	9,4705
27	44,9899	0,1522	2,7093	2,7143	86,7672	3,4037	47,1201	0,2384	2,6679	2,6817	84,6370	4,8786	48,9205	0,4001	3,1878	3,2132	82,7432	6,5662
28	38,6887	0,0387	2,2725	2,2744	89,0741	3,4926	40,1010	0,2592	2,0115	2,0286	82,4997	4,4304	43,1624	0,3784	3,0526	3,0770	82,7863	4,3659
29	72,2419	7,4545	4,2515	8,6202	30,2153	46,3364	74,8883	3,1613	4,4988	5,5022	54,9670	50,9281	75,5016	2,9856	4,7629	5,6361	58,1576	51,4598
30	70,6818	11,5237	3,4532	12,0412	16,8169	40,9795	75,4587	3,7773	4,9439	6,2287	52,7318	49,5142	75,2326	4,2665	4,8519	6,4853	48,9516	49,0057
31	73,9247	3,7995	4,8322	6,1618	51,8923	47,7668	76,9255	1,9014	4,8083	5,1721	68,3881	50,6819	76,9177	2,1711	4,7874	5,2577	65,6429	50,4692
32	73,2758	3,8031	5,3869	6,6043	54,8459	50,4258	74,3350	1,9219	5,4397	5,7719	70,5325	52,3447	74,5604	2,5942	5,2798	5,8882	63,9677	51,8961
33	56,1348	0,9445	6,3747	6,4469	81,6211	4,9402	58,1677	0,9575	6,6286	6,6992	81,8070	6,8030	59,3200	0,9368	6,8434	6,9094	82,1900	7,9277
34	54,6850	1,2291	7,5351	7,6360	80,7399	3,4004	55,2959	1,1853	7,5156	7,6092	81,0243	4,1085	56,1432	1,2198	7,8002	7,8953	81,1222	4,7495
35	58,8208	0,8035	6,9145	6,9613	83,3958	4,9500	60,7840	0,8225	6,6303	6,6827	82,9825	5,9770	63,6212	0,6922	6,6761	6,7140	84,1531	7,7562
36	56,2839	0,9300	6,9832	7,0455	82,4490	4,3862	54,7665	1,0700	7,4189	7,4963	81,8234	3,4764	58,8269	0,9040	7,0144	7,0734	82,6824	6,8253

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 44 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas sem adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente (continuação 2)

Placa	Depois do manchamento (28 dias)						Depois do manchamento (56 dias)						Depois do manchamento (84 dias)					
	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado
1	37,8175	0,4056	2,8986	2,9274	82,0142	6,4679	42,8338	0,4781	2,9006	2,9402	80,5976	11,4699	44,1250	0,6479	3,0154	3,0844	77,8041	12,7671
2	34,5391	0,4184	2,4752	2,5109	80,2769	9,3951	38,5540	0,4474	2,5198	2,5618	79,4051	13,3982	41,2697	0,6889	3,4114	3,4886	77,5065	16,1886
3	27,6685	0,6812	2,6851	2,7798	74,3900	5,8942	39,3441	0,5730	3,2774	3,3312	79,6894	17,5548	43,3486	0,7052	3,2085	3,2946	76,9306	21,5444
4	33,6778	0,6000	3,1778	3,2344	79,2548	6,5759	47,2615	0,5089	3,4697	3,5073	81,6228	20,1278	53,1360	0,5744	3,4702	3,5197	80,3151	26,0001
5	70,8662	4,8855	4,6937	6,7815	43,8256	51,3959	73,8111	2,5129	5,3199	5,8858	64,7110	54,7991	73,1917	1,9831	5,6892	6,0261	70,7364	55,0739
6	70,7089	4,2784	5,1266	6,7358	50,1918	47,7696	75,1039	2,3183	5,4318	5,9217	66,6705	51,4834	75,0160	1,5212	5,9438	6,1412	75,9820	52,3094
7	66,6535	3,5510	5,9594	6,9817	58,9841	45,8842	73,5798	1,0971	5,4219	5,5332	78,5577	50,5575	74,9642	0,8763	5,3539	5,4263	80,6882	51,5018
8	68,6081	4,1033	5,9092	7,2162	55,2822	44,8158	77,0845	1,1764	5,0439	5,1815	76,7588	50,5319	77,5202	0,7921	5,0688	5,1309	81,0459	51,0465
9	63,5515	0,5934	6,1513	6,1804	84,5222	3,8570	66,7704	0,6181	6,1913	6,2226	84,3369	7,0575	68,3868	0,6118	6,2202	6,2509	84,4033	8,6460
10	56,3043	0,9604	7,2649	7,3288	82,4757	1,9622	64,4993	0,7256	7,0445	7,0839	84,1994	10,0025	65,1153	0,7402	6,9635	7,0040	84,0254	10,6210
11	57,3309	1,0592	7,6810	7,7554	82,2191	4,1151	67,9853	0,6592	6,8856	6,9186	84,6913	12,9019	67,6967	0,7157	7,1141	7,1513	84,3881	12,5915
12	60,0368	0,8645	7,0526	7,1059	83,0332	3,3110	67,9935	0,6161	6,0958	6,1291	84,2876	10,8815	71,0182	0,4964	6,3259	6,3461	85,5741	13,8792
13	53,0073	0,5221	3,7348	3,7723	82,0803	6,5731	55,6233	0,5631	3,6485	3,6935	81,2088	9,1773	55,9127	0,6556	3,7671	3,8246	80,0973	9,4652
14	46,4991	0,3856	3,6762	3,6965	84,0370	1,9246	51,9687	0,3668	3,3346	3,3561	83,4804	6,6233	51,9264	0,5354	3,6981	3,7372	81,6911	6,6129
15	44,6388	0,5673	4,4460	4,4829	82,6564	2,1169	55,1431	0,5337	4,5039	4,5362	83,1973	10,6493	59,8547	0,5552	4,5893	4,6240	82,9946	15,3479
16	55,0028	0,5555	4,2824	4,3187	82,5461	5,8011	64,5764	0,4993	4,1812	4,2116	83,1162	15,2399	65,2463	0,5519	4,9600	4,9912	83,5829	15,9801
17	79,8433	2,7951	2,3234	5,0498	96,0191	34,4832	84,6270	1,1119	4,2734	4,4666	75,4939	39,1015	84,2683	0,6189	4,2014	4,2532	81,4598	39,1679
18	80,4995	1,4998	4,8993	5,1518	73,1513	35,1269	84,6263	0,5569	5,2600	5,2953	83,9243	38,4800	83,9980	0,3352	4,7235	4,7376	85,9050	38,0086
19	70,4787	0,8015	6,6239	6,6787	83,0154	27,6016	78,7374	0,1006	6,2221	6,2260	89,2328	32,8736	77,5883	0,1082	5,8640	5,8670	88,9844	31,9230
20	74,7042	1,4916	6,4247	6,6150	76,6687	36,5713	81,3300	0,4508	5,7477	5,7680	85,3715	40,7189	81,3274	0,4195	5,0152	5,0413	84,9823	40,5097
21	69,2203	0,7157	7,9929	8,0265	84,9411	5,8438	74,5862	0,5651	8,0205	8,0422	86,0380	10,9892	69,9181	0,8214	8,4194	8,4608	84,4850	6,3293
22	66,2055	0,7847	8,0563	8,0984	84,4645	6,0728	67,0275	0,8287	8,8232	8,8640	84,7542	6,9251	69,1375	0,7505	8,5455	8,5806	85,1092	8,8886
23	74,0238	0,3939	7,1751	7,1873	86,8985	6,2645	81,1564	0,2601	5,7727	5,7806	87,4327	13,5022	78,3611	0,2458	5,4497	5,4598	87,7233	10,8876
24	69,6045	0,7443	9,3072	9,3406	85,4608	7,9104	74,5736	0,6841	8,7920	8,8201	85,6531	12,9349	77,1245	0,3995	7,3842	7,3967	86,9938	15,6443
25	43,6894	0,3864	3,1941	3,2221	82,4493	6,5776	48,5562	0,4711	3,6967	3,7314	82,3511	11,2892	46,6307	0,6655	3,7516	3,8142	79,5153	9,3803
26	44,8402	0,3880	3,0423	3,0673	82,7157	9,7248	50,4010	0,4334	3,5354	3,5635	82,9463	15,2568	50,6206	0,5564	3,8214	3,8650	81,6326	15,4780
27	45,8386	0,5460	4,4000	4,4346	82,8473	3,4363	55,9793	0,4118	4,2597	4,2817	84,2658	13,4284	61,1334	0,4095	4,1664	4,1896	84,1917	18,5841
28	41,9614	0,5390	3,8227	3,8619	81,7766	3,4603	53,1955	0,4602	3,6700	3,7004	82,6355	13,0167	55,3851	0,4684	3,7678	3,7978	82,8271	15,2147
29	74,7269	3,8838	4,2433	5,7896	47,7790	50,1789	77,8206	1,5362	4,5725	4,8309	71,4242	53,6546	74,4265	1,1462	5,1327	5,2641	77,3767	52,5547
30	72,1443	6,3852	4,1441	7,6462	33,6831	45,5359	77,6503	1,8321	5,1581	5,4771	70,3630	52,2029	74,0321	1,3805	5,7046	5,8720	76,4715	50,7814
31	74,8294	2,0954	4,8104	5,2508	66,4583	49,4813	78,3353	1,0182	5,0615	5,1638	78,6558	52,1738	77,0628	0,8239	5,0963	5,1635	80,8463	51,6415
32	73,9862	2,5417	5,1752	5,7938	64,0620	51,6137	76,9644	1,1335	5,7523	5,8643	78,8307	54,4185	75,9168	0,8503	5,5535	5,6189	81,2800	53,9855
33	58,7642	0,8516	6,7056	6,7619	82,7321	7,3959	64,6613	0,8766	7,1813	7,2371	83,1757	13,2676	62,1800	0,9526	7,0231	7,0894	82,3709	10,7997
34	57,0358	1,0986	7,6444	7,7233	81,8471	5,6785	60,1628	1,1582	8,5782	8,6564	82,3255	8,6949	60,2514	1,2028	8,4257	8,5125	81,9049	8,7872
35	61,8308	0,8115	7,1483	7,1954	83,5611	5,9537	68,7122	0,6459	7,1348	7,1650	84,9340	12,7817	67,1531	0,6969	6,8145	6,8514	84,3001	11,2502
36	58,1443	0,9377	7,3175	7,3781	82,6909	6,1142	63,3381	0,9976	7,5985	7,6646	82,5627	11,3161	61,8536	0,9521	7,7821	7,8407	83,0793	9,8183

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 45 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas sem adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente (continuação 3)

Placa	Depois do manchamento (140 dias)						Visibilidade em relação ao Dia 1	
	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	ΔE>5 = as duas cores são diferentes	
1	49,2046	0,4636	3,9367	3,9642	83,2723	17,9004	Diferença de cor visível	
2	46,2525	0,5949	4,6997	4,7395	82,3976	21,2957	Diferença de cor visível	
3	53,1991	0,4614	3,9634	3,9938	83,0608	31,4240	Diferença de cor visível	
4	63,3839	0,3439	4,0776	4,0922	85,1771	36,2587	Diferença de cor visível	
5	74,5360	1,7729	5,8182	6,0848	73,0036	55,8870	Diferença de cor visível	
6	73,6640	1,7398	6,4228	6,6551	74,8129	51,6586	Diferença de cor visível	
7	74,2738	0,8473	5,3273	5,3946	80,9666	51,0505	Diferença de cor visível	
8	77,9625	0,7025	4,9845	5,0341	81,9349	51,3098	Diferença de cor visível	
9	69,8883	0,4965	6,5543	6,5732	85,6851	10,1425	Diferença de cor visível	
10	68,7152	0,5043	6,9837	7,0031	85,9726	14,2270	Diferença de cor visível	
11	70,2803	0,5436	6,8234	6,8451	85,4314	15,1938	Diferença de cor visível	
12	73,7193	0,4366	5,6066	5,6242	85,5615	16,6281	Diferença de cor visível	
13	61,3465	0,5742	6,0547	6,0831	84,3423	15,1702	Diferença de cor visível	
14	51,3757	0,4252	4,7715	4,7906	84,9024	6,2469	Diferença de cor visível	
15	66,0434	0,4151	5,2296	5,2472	85,4323	21,5785	Diferença de cor visível	
16	72,9602	0,4156	5,2793	5,2966	85,4589	23,6848	Diferença de cor visível	
17	83,3476	0,6400	4,7355	4,7840	82,1689	38,8351	Diferença de cor visível	
18	82,1859	0,4335	5,6306	5,6521	85,8074	37,1470	Diferença de cor visível	
19	73,4348	0,1885	6,9571	6,9608	88,4575	29,7559	Diferença de cor visível	
20	79,9240	0,3704	5,4720	5,4871	85,9404	39,8521	Diferença de cor visível	
21	70,2535	0,7096	9,0461	9,0765	85,6155	6,7181	Diferença de cor visível	
22	73,4156	0,3175	7,2898	7,3005	87,6500	13,3189	Diferença de cor visível	
23	79,5265	0,1923	6,1640	6,1715	88,2708	11,8538	Diferença de cor visível	
24	80,3802	0,2221	6,5014	6,5055	88,0456	19,0001	Diferença de cor visível	
25	53,9299	0,5049	4,4579	4,4887	83,2143	16,6889	Diferença de cor visível	
26	52,5834	0,5088	4,7724	4,8011	83,8893	17,4764	Diferença de cor visível	
27	66,7237	0,2723	4,7848	4,7934	86,7613	24,1818	Diferença de cor visível	
28	64,0217	0,3179	4,6166	4,6282	86,1261	23,8813	Diferença de cor visível	
29	74,7664	1,1780	5,3049	5,4354	77,4604	52,7662	Diferença de cor visível	
30	74,0446	1,4912	6,0066	6,1942	76,2004	50,8400	Diferença de cor visível	
31	76,7052	0,8353	4,9681	5,0385	80,4936	51,4299	Diferença de cor visível	
32	73,7711	1,0669	6,0150	6,1104	79,9089	52,9587	Diferença de cor visível	
33	65,0960	0,6989	7,5458	7,5798	84,7293	13,7068	Diferença de cor visível	
34	60,7973	0,9978	8,9446	9,0008	83,6644	9,3656	Diferença de cor visível	
35	70,3889	0,5425	6,8592	6,8810	85,4473	14,5034	Diferença de cor visível	
36	66,1709	0,5706	7,0619	7,0855	85,4173	14,1374	Diferença de cor visível	

Fonte: elaborado pela autora.



Tabela 46 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas com 5% de adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente

Identificação das placas					Medição Branca (placas sem manchamento)						Depois do manchamento (1 dia)					
Placa	Adição	Acabamento	Inclinação	Manchamento	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE obtido	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado
37	5%	T1	90°	Fuligem	79,3122	0,2380	5,5048	5,5105	87,5582	20,9843	35,8282	0,4928	2,9283	2,9724	80,0823	43,5621
38	5%	T1	90°	Fuligem	78,0779	0,2044	5,5990	5,6042	87,9838	22,2092	42,3225	0,3137	2,9004	2,9181	83,7224	35,8601
39	5%	T1	45°	Fuligem	80,1072	0,0994	5,1416	5,1432	88,9364	20,1249	50,3008	0,1488	3,7616	3,7650	87,6765	29,8461
40	5%	T1	45°	Fuligem	78,7144	0,2022	5,6137	5,6184	88,0138	21,5950	43,4183	0,2976	3,2238	3,2408	84,3782	35,3829
41	5%	T1	90°	Cinza	75,6915	0,2131	5,8834	5,8878	87,9424	24,5768	58,4250	1,0677	6,8586	6,9424	81,1588	17,3350
42	5%	T1	90°	Cinza	75,4034	0,2741	5,5374	5,5456	87,2363	24,7787	60,9888	1,0376	6,9404	7,0194	81,4870	14,5075
43	5%	T1	45°	Cinza	78,5980	0,1441	5,2152	5,2179	88,3629	21,6144	62,8311	1,0024	7,1914	7,2613	82,0949	15,9206
44	5%	T1	45°	Cinza	76,5247	0,2186	6,0275	6,0322	87,9283	23,8079	63,2827	0,8132	6,1531	6,2068	82,4756	13,2592
45	5%	T2	90°	Fuligem	79,9083	0,1467	5,2548	5,2576	88,4299	20,3416	52,4510	0,2575	4,0968	4,1059	86,3906	27,4830
46	5%	T2	90°	Fuligem	78,0464	0,2896	5,4194	5,4287	86,9012	22,1853	41,7443	0,2388	2,8619	2,8719	85,1726	36,3951
47	5%	T2	45°	Fuligem	76,6161	0,2569	6,4063	6,4119	87,6979	23,8281	44,8615	0,2163	3,4707	3,4777	86,3805	31,8913
49	5%	T3	90°	Fuligem	76,7024	0,0908	4,3698	5,6343	128,8795	23,8311	53,0070	0,1895	3,5856	3,5918	86,7902	25,5858
50	5%	T3	90°	Fuligem	81,7097	0,0182	6,6829	6,6834	89,8458	19,0852	37,8114	0,4375	3,1056	3,1375	81,7904	44,0473
51	5%	T3	45°	Fuligem	83,0020	-0,0634	6,6607	6,6615	90,5652	17,8818	45,1994	0,4782	4,3158	4,3470	83,2685	37,8874
52	5%	T3	45°	Fuligem	86,0104	-0,1483	5,7112	5,7139	91,5782	14,7375	55,4875	0,2964	3,8449	3,8575	85,5914	30,5879
53	5%	T3	90°	Cinza	80,1617	0,0499	6,6635	6,6644	89,5861	20,5351	70,5745	0,9403	8,2367	8,2909	83,5081	9,7971
54	5%	T3	90°	Cinza	84,4469	-0,0847	6,0220	6,0227	90,8077	16,3025	68,3406	1,4135	9,5977	9,7042	81,7233	16,5733
55	5%	T3	45°	Cinza	83,5624	-0,0245	6,4811	6,4818	90,2711	17,2998	64,0536	1,6305	9,5517	9,6917	80,3419	19,8377
56	5%	T3	45°	Cinza	83,6997	-0,0811	6,3511	6,3520	90,7434	17,1106	71,4078	1,1649	9,1676	9,2437	82,8205	12,6771
57	5%	T3	90°	Rodamina	81,4616	0,0253	6,9962	6,9967	89,8094	19,4527	50,3229	31,1019	-15,4008	34,7133	333,6951	49,3909
58	5%	T3	90°	Rodamina	84,8176	-0,0959	6,3675	6,3683	90,8804	16,1055	47,8185	40,8413	-21,6926	46,2571	331,9714	61,9297
59	5%	T3	45°	Rodamina	81,4916	-0,0039	7,1135	7,1149	90,0903	19,4684	54,1523	27,9365	-13,1814	30,9032	335,0088	44,0572
60	5%	T3	45°	Rodamina	86,6846	-0,1280	5,9122	5,9136	91,2387	14,2029	50,8915	38,2712	-20,4643	43,4000	331,8917	58,7515
61	5%	T2	90°	Cinza	76,8123	0,1764	5,6965	5,6994	88,2260	23,4463	61,7389	1,1354	7,5386	7,6249	81,5264	15,2208
62	5%	T2	90°	Cinza	75,7554	0,2002	5,5124	5,5162	87,9022	24,4620	63,3658	0,9606	6,9640	7,0309	82,1944	12,5083
63	5%	T2	45°	Cinza	79,9193	0,1795	5,6151	5,6183	88,1738	20,4359	63,8116	0,8712	6,5024	6,5610	82,3900	16,1560
64	5%	T2	45°	Cinza	76,3437	0,2098	5,8217	5,8258	87,9364	23,9479	62,1808	0,9064	6,9659	7,0264	82,6967	14,2417
65	5%	T2	90°	Rodamina	74,7526	0,2579	4,9857	4,9962	87,0985	25,2916	44,2634	32,2001	-17,4982	36,6502	331,5115	49,5560
66	5%	T2	90°	Rodamina	77,4417	0,1154	5,5582	5,5595	88,8217	22,8189	52,6331	24,5034	-12,6445	27,5765	332,7533	39,2643
67	5%	T2	45°	Rodamina	77,6090	0,2222	6,0033	6,0086	87,9046	22,7690	47,7313	34,2213	-18,8130	39,0536	331,2202	51,6366
68	5%	T2	45°	Rodamina	76,5351	0,2248	5,4915	5,4964	87,6822	23,6679	49,2592	29,6874	-15,5201	33,5036	332,3688	45,3263
69	5%	T1	90°	Rodamina	74,1588	0,2248	5,7957	5,8013	87,6507	26,0791	50,6210	24,9211	-12,4633	27,8734	333,6048	38,7552
70	5%	T1	90°	Rodamina	76,5825	0,2808	6,0308	6,0383	87,3898	23,7615	52,1146	27,0289	-14,0058	30,4432	332,6285	41,4567
71	5%	T1	45°	Rodamina	76,9104	0,2520	6,1174	6,1228	87,6522	23,4704	50,3771	24,1679	-11,7846	26,8895	334,0128	39,9862
72	5%	T1	45°	Rodamina	73,2726	0,6691	4,2302	4,2827	81,0124	26,6182	47,2090	0,1536	2,4075	2,4124	86,3496	26,1323

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 47 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas com 5% de adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente (continuação 1)

Placa	Depois do manchamento (7 dias)						Depois do manchamento (14 dias)						Depois do manchamento (21 dias)					
	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado
37	37,3929	0,3095	2,3711	2,3919	82,3974	1,6983	36,4596	0,4028	3,1140	3,1421	82,3704	1,0146	39,0793	0,5064	2,7505	2,7991	79,3146	3,2735
38	44,2153	0,1742	2,2848	2,2923	85,6515	2,0960	44,9652	0,2575	2,6798	2,6926	84,2892	2,9430	47,5133	0,3052	2,6907	2,7090	83,3331	5,1965
39	53,7448	0,0847	2,3515	2,3536	87,8158	3,7531	53,0772	0,1803	3,4709	3,4756	87,0049	2,8492	55,1689	0,2139	3,0559	3,0639	85,9235	4,9286
40	45,1566	0,2000	2,3224	2,3329	84,9037	2,0309	46,8603	0,3533	3,6166	3,6355	84,3990	3,5175	49,4428	0,3753	3,1811	3,2057	83,0469	6,0300
41	60,6989	0,7786	6,5041	6,5514	83,1596	2,3791	58,6060	0,7864	6,7764	6,8229	83,4060	1,8765	62,8076	0,7129	6,6523	6,6912	83,8990	4,4049
42	65,4589	0,6082	6,3825	6,4115	84,5528	4,5641	64,0462	0,6326	6,9100	6,9393	84,7753	3,1664	67,8575	0,5422	6,3751	6,3981	85,1395	6,9490
43	67,0806	0,6017	6,0625	6,0929	84,2880	5,1553	67,2355	0,5864	6,1597	6,1887	84,6010	4,7481	70,9750	0,4502	5,9502	5,9682	85,6493	8,5187
44	65,9267	0,5971	6,0044	6,0368	84,5112	4,7408	64,2619	0,6482	6,8767	6,9078	84,6284	2,6608	69,7710	0,4420	6,3228	6,3389	86,0053	6,5112
45	54,4702	0,1561	2,9835	2,9882	87,0149	2,4390	55,9467	0,2381	3,1530	3,1637	85,7655	3,6572	58,0569	0,2663	3,4688	3,4790	85,6111	5,6670
46	43,5827	0,1297	1,9971	2,0014	86,2640	2,0614	41,1588	0,2885	3,5134	3,5254	85,3016	2,3355	46,4140	0,3250	2,7199	2,7397	83,1335	4,6751
47	47,9667	0,0896	2,3694	2,3714	87,8681	3,3186	45,1924	0,2888	4,0967	4,1074	86,0159	1,1871	49,0117	0,3071	3,6222	3,6354	85,1107	4,1665
49	54,5684	0,0907	2,9223	2,9244	88,1667	1,8240	52,3784	0,2210	3,9242	3,9310	86,7562	1,4175	55,8056	0,2440	3,6073	3,6158	86,0834	2,8350
50	38,6355	0,2714	2,6032	2,6187	83,8223	1,7442	39,3389	0,4006	2,8328	2,8617	81,8773	1,7791	41,2509	0,4480	2,9661	3,0001	81,4492	3,5241
51	49,1296	0,3393	3,6777	3,6945	84,5505	4,2640	46,1862	0,5845	4,5652	4,6063	82,4487	3,7172	51,2354	0,4899	4,2992	4,3292	83,1887	6,1150
52	57,7797	0,1762	3,4708	3,4756	87,1663	2,3664	56,2397	0,4829	4,7200	4,7451	84,1296	1,8439	61,8409	0,3036	4,1897	4,2017	85,8262	6,3648
53	72,0203	0,6593	7,7450	7,7735	85,1366	1,8108	71,7590	0,6187	8,3650	8,3887	85,7614	2,5517	73,0132	0,5255	7,6974	7,7159	86,0996	2,9398
54	70,8415	1,0187	8,8898	8,9497	83,5648	2,6746	70,8767	0,9386	9,1526	9,2030	84,2422	2,6237	74,3072	0,6546	8,3629	8,3901	85,6275	6,1571
55	65,6921	1,1408	8,8756	8,9504	82,7081	1,8938	66,2286	1,0332	9,4226	9,4800	83,7646	2,3583	70,0768	0,8650	8,7907	8,8347	84,4266	6,1243
56	72,3584	0,7880	8,3463	8,3848	84,6481	2,4362	72,8672	0,6408	8,7259	8,7502	85,8235	2,3356	77,4607	0,3361	7,7839	7,7919	87,5559	6,2937
57	76,2386	5,8759	5,1735	7,9857	43,1857	41,6732	75,6307	5,8508	5,4799	8,1792	44,5648	41,4375	76,9317	2,9984	5,8364	6,7030	62,9977	44,1800
58	78,8465	7,0887	4,5649	8,4886	33,6953	52,8506	79,1994	6,2259	4,6728	7,9866	39,5324	53,6634	80,9217	2,9445	5,1662	5,9763	60,5269	57,0508
59	77,8651	2,8698	6,0096	6,7359	64,5442	39,5068	72,5867	2,1155	6,5732	6,9395	72,3923	37,4163	79,2565	0,9665	6,2968	6,3838	81,1709	41,7075
60	81,0450	4,1870	5,2951	6,7576	51,7446	52,2958	76,1800	3,3841	6,4493	7,2909	62,3480	50,8131	82,6639	1,4149	5,6321	5,8144	75,9443	55,2219
61	64,7610	0,7733	6,7466	6,7920	83,5534	3,1571	66,3097	0,7328	6,9690	7,0087	84,0303	4,6397	67,0642	0,6643	6,9277	6,9605	84,5500	5,4049
62	64,6998	0,6704	6,1565	6,1938	83,8549	2,0549	64,0786	0,6788	6,0993	6,1378	83,7070	2,0110	65,8781	0,6070	6,1744	6,2060	84,4549	4,0956
63	65,2793	0,6114	5,8728	5,9051	84,0509	1,7073	65,5378	0,5130	6,2481	6,2697	85,3672	2,5060	68,5478	0,4382	5,9520	5,9687	85,8512	4,8151
64	64,3115	0,5921	6,3780	6,4065	84,8082	3,0207	64,7947	0,5343	6,4592	6,4815	85,2897	2,7395	66,8372	0,4866	6,2115	6,2313	85,5721	4,7634
65	72,9900	2,0426	4,7755	5,3176	67,3098	47,3160	72,8588	2,0794	4,1763	4,6758	63,5983	46,8538	72,2710	1,7642	4,3578	4,7078	67,8458	46,7922
66	74,9175	2,4486	4,5916	5,2062	61,8170	35,9598	77,6905	0,9156	4,5309	4,6242	78,5559	38,4658	78,1385	0,9066	4,9393	5,0224	79,5831	38,9457
67	74,2102	1,3404	4,8981	5,0830	74,8702	48,7493	69,0574	5,5200	4,1494	6,9172	36,8877	42,5290	76,4863	1,4358	5,4034	5,5934	74,9871	49,9239
68	73,1739	1,5290	4,1741	4,4502	69,8448	41,9262	69,8387	3,2888	4,9186	5,9752	56,5867	39,2311	75,5788	1,0055	4,7957	4,9023	78,2227	43,9170
69	72,3434	3,7335	3,7052	5,3219	45,8062	34,4725	73,9052	1,1620	4,9787	5,1332	76,4086	37,5719	73,4667	1,0146	5,1942	5,3069	78,7971	37,5107
70	77,9030	1,6614	4,2170	4,5477	68,3932	40,7628	75,5532	1,4019	4,7584	4,9647	73,3942	39,4940	75,8864	1,3133	5,0899	5,2597	75,5192	39,9047
71	76,2197	2,7288	4,6175	5,3701	59,3692	37,5911	70,7395	1,6579	5,5541	5,7987	73,4822	34,9910	74,8145	0,7283	4,9706	5,0247	81,7065	37,8846
72	48,0937	0,2598	1,8634	1,8814	82,0640	1,0440	48,8221	0,3146	2,0423	2,0664	81,2420	1,6617	48,4615	0,2348	2,8598	2,8695	85,3055	1,3341

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 48 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas com 5% de adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente (continuação 2)

Placa	Depois do manchamento (28 dias)						Depois do manchamento (56 dias)						Depois do manchamento (84 dias)					
	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado
37	45,8480	0,5749	1,3424	3,2096	119,0422	10,1746	42,6178	0,5783	3,0813	3,1368	79,1171	6,7953	41,4976	0,7886	3,1335	3,2402	75,0866	5,6863
38	47,7605	0,3174	3,0335	3,0513	83,9134	5,4441	50,3681	0,3830	3,4139	3,4369	83,3781	8,0640	47,8795	0,5753	3,4658	3,5206	80,0330	7,7718
39	56,1037	0,2947	3,3991	3,4132	84,8582	5,8375	62,8835	0,2834	3,8844	3,8956	85,7522	12,5898	66,6300	0,3149	4,3447	4,3571	85,7919	16,3455
40	49,9620	0,4701	3,4430	3,4788	82,0646	6,5655	56,7734	0,4554	4,0919	4,1194	83,5636	13,3942	62,7678	0,4877	4,8276	4,8556	84,1547	19,4228
41	62,4989	0,6911	6,7634	6,7996	84,1303	4,0985	63,5546	0,7076	7,1447	7,1814	84,3553	5,1574	63,6937	0,8359	7,4081	7,4566	83,5401	5,3068
42	67,6862	0,5204	6,7795	6,7995	85,6165	6,7487	69,1284	0,5258	6,7577	6,7783	85,5643	8,2174	69,0066	0,6041	7,1378	7,1635	85,1698	8,0900
43	65,9464	0,5446	6,6113	6,6340	85,2888	4,0958	72,8285	0,4165	6,7484	6,7618	86,4414	10,0404	72,6701	0,5980	7,2844	7,3094	85,3388	9,8540
44	65,7190	0,5102	6,8258	6,8474	85,7887	4,6840	72,4095	0,3674	6,7855	6,7965	86,9381	9,1699	72,3127	0,6263	7,8373	7,8631	85,4114	9,2096
45	58,2505	0,2939	3,8494	3,8624	85,6555	5,8216	60,1710	0,3563	4,0098	4,0260	84,9174	7,7232	61,0165	0,4124	4,4852	4,5049	84,7459	8,5785
46	47,4439	0,3598	3,0500	3,0716	83,2337	5,7140	51,6285	0,4255	3,5922	3,6180	83,2196	9,9158	54,1568	0,5592	4,0445	4,0835	82,0678	12,4777
47	48,1061	0,3701	3,6617	3,6807	84,1987	3,2608	54,6248	0,3937	4,0712	4,0909	84,4062	9,7874	59,5900	0,4082	4,5459	4,5648	84,8082	14,7726
49	56,9608	0,2568	3,9378	3,9469	86,2129	4,0073	59,8652	0,3396	3,9830	3,9979	85,0611	6,8750	59,8744	0,4148	4,2928	4,3130	84,4446	6,9153
50	40,8437	0,5263	3,3551	3,3974	81,0507	3,3038	44,8880	0,5197	3,4702	3,5094	81,4737	7,0910	47,1683	0,6004	3,4821	3,5343	80,1313	9,3750
51	48,0392	0,5865	4,2653	4,3154	81,3316	2,8798	61,7618	0,3974	5,0313	5,0499	85,1947	16,5786	67,8810	0,3715	5,3313	5,3475	85,8723	22,7075
52	60,0435	0,5391	5,0398	5,0687	83,8940	4,7425	71,7418	0,2828	4,8330	4,8415	86,6403	16,2861	78,6795	0,2125	5,2309	5,2360	87,6317	23,2348
53	73,6029	0,5163	8,1140	8,1308	86,3414	3,6659	74,1564	0,5201	8,2041	8,2207	86,3595	3,6968	75,9637	0,4514	8,2052	8,2181	86,8525	5,4828
54	71,8318	0,7148	8,9542	8,9841	85,5129	3,6585	75,1344	0,6117	8,4091	8,4331	85,9350	6,9498	77,7879	0,5465	9,2882	9,3059	86,6640	9,5272
55	67,1304	0,7998	8,7281	8,7670	84,8231	3,4044	76,5879	0,3793	8,4384	8,4492	87,4478	12,6518	76,9957	0,5392	9,9461	9,9621	86,9021	13,0044
56	73,6997	0,2830	8,2899	8,2949	88,0471	3,8829	81,0601	0,0494	7,4327	7,4332	89,6441	9,8766	81,3386	0,1689	8,0454	8,0476	88,8243	10,0754
57	77,4850	3,4262	6,1925	7,2931	61,5268	44,4206	79,2810	1,4917	6,0750	6,2700	76,0178	46,6770	78,6430	1,2694	6,2911	6,4350	78,5794	46,5334
58	80,5952	2,8337	5,6758	6,3780	63,7059	57,1867	80,8569	1,6492	6,1126	6,3382	75,0130	58,3259	82,4035	1,1285	6,6996	6,7992	80,3587	59,8461
59	74,2135	1,1523	7,2713	7,3733	81,0169	39,2473	79,5316	0,4729	6,3771	6,3983	85,6545	42,2157	79,7413	0,4641	6,4097	6,4283	85,8436	42,3805
60	77,0084	2,1275	6,6163	6,9546	72,2145	52,1736	82,9137	0,8040	5,8968	5,9518	82,2357	55,8960	83,8480	0,5730	5,6161	5,6453	84,1776	56,4599
61	66,5104	0,6518	7,2470	7,2780	84,9504	4,8125	69,2144	0,5474	7,1185	7,1403	85,6892	7,5158	70,2012	0,7079	7,3200	7,3557	84,5832	8,4777
62	64,8904	0,6592	6,7043	6,7375	84,3706	2,5692	67,3368	0,6168	6,3976	6,4276	84,5075	4,0765	66,0010	0,7564	6,7214	6,7645	83,5633	3,3169
63	67,5718	0,4124	6,3065	6,3206	86,2898	3,8033	70,7441	0,4016	6,6189	6,6314	86,5612	6,9696	71,2654	0,5316	7,8014	7,8198	86,1232	7,6301
64	64,3498	0,5546	6,6437	6,6671	85,2192	2,4615	70,2257	0,3969	6,7150	6,7274	86,6422	8,1102	70,0734	0,5140	7,3322	7,3510	86,0027	7,9693
65	71,4234	3,5652	3,9499	5,3554	48,1652	44,9337	71,8284	1,2540	4,7775	4,9418	75,2843	47,0614	71,9391	1,2217	5,1693	5,3131	76,6618	47,3264
66	75,3468	4,4013	4,0678	6,0675	43,2098	34,6401	77,0045	0,7985	5,3321	5,3923	81,4666	38,4663	76,9334	0,6391	5,3692	5,4082	83,2097	38,5348
67	71,0796	2,7260	5,0839	5,7811	61,8651	45,9252	76,4649	0,8329	5,1997	5,2667	80,9918	50,1844	76,5180	0,7564	5,2913	5,3457	81,8847	50,3249
68	70,1988	2,2587	5,4612	5,9160	67,5005	40,4058	75,1413	0,7209	5,1763	5,2272	82,1118	44,0267	75,7201	0,5592	5,3544	5,3844	84,0971	44,5555
69	70,1710	3,4861	4,4449	5,7244	52,4554	33,6193	73,2235	0,6729	5,1963	5,2424	82,4805	37,6126	72,0966	0,8361	5,3856	5,4575	80,8496	36,9251
70	74,8296	2,0564	5,0656	5,5709	68,4917	38,8040	75,2164	0,9308	5,3620	5,4436	80,1138	39,8905	74,7999	0,8800	5,5771	5,6484	81,0358	39,7918
71	67,5058	2,0004	5,5266	5,8795	70,0902	32,9605	72,8240	0,7068	5,4055	5,4519	82,5515	36,7646	74,9591	0,5912	5,4833	5,5156	83,8683	38,3133
72	49,7533	0,2867	2,5880	2,6038	83,6784	2,5542	52,2168	0,4289	2,9131	2,9445	81,6251	5,0408	52,0313	0,6677	2,6664	2,7487	75,9420	4,8565

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 49 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas com 5% de adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente (continuação 3)

Placa	Depois do manchamento (140 dias)						Visibilidade em relação ao Dia 1 ΔE>5 = as duas cores são diferentes
	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	
37	47,2476	0,5013	3,8826	3,9166	82,2948	11,4626	Diferença de cor visível
38	54,8337	0,3183	4,3195	4,3319	85,7401	12,5938	Diferença de cor visível
39	72,5715	0,1134	4,9645	4,9661	88,6940	22,3098	Diferença de cor visível
40	68,5477	0,3049	5,5611	5,5706	86,9125	25,2441	Diferença de cor visível
41	63,7388	0,6883	7,4738	7,5070	84,7471	5,3806	Diferença de cor visível
42	67,8975	0,7515	11,2550	11,2812	86,3277	8,5037	Diferença de cor visível
43	72,7694	0,4815	7,4045	7,4204	86,2580	9,9678	Diferença de cor visível
44	71,9938	0,5661	8,0866	8,1078	86,0208	8,9395	Diferença de cor visível
45	63,2876	0,3243	5,2570	5,2676	86,5109	10,8996	Diferença de cor visível
46	60,3079	0,3945	5,0731	5,0888	85,5411	18,7012	Diferença de cor visível
47	66,0678	0,2001	5,3695	5,3733	87,8735	21,2949	Diferença de cor visível
49	64,9673	0,2868	5,2752	5,2832	86,8635	12,0838	Diferença de cor visível
50	53,5892	0,4278	4,6168	4,6374	84,7348	15,8560	Diferença de cor visível
51	72,6891	0,3120	6,0803	6,0885	87,0635	27,5596	Diferença de cor visível
52	81,6303	0,4117	5,5763	5,5915	85,7885	26,2025	Diferença de cor visível
53	76,9341	0,3493	8,6548	8,6629	87,6737	6,4918	Diferença de cor visível
54	77,1578	0,6645	11,2913	11,3135	86,8599	9,5445	Diferença de cor visível
55	78,6139	0,5373	8,6359	8,6529	86,4762	14,6678	Diferença de cor visível
56	81,8173	0,2824	6,8639	6,8704	87,6586	10,7034	Diferença de cor visível
57	79,1853	1,2017	6,6815	6,8002	79,7374	47,0703	Diferença de cor visível
58	81,6034	1,0220	7,1608	7,2385	81,8252	59,7119	Diferença de cor visível
59	78,1069	0,8015	6,5164	6,5677	82,9307	41,2267	Diferença de cor visível
60	82,4726	0,7876	5,6628	5,7178	82,0670	55,5476	Diferença de cor visível
61	70,2427	0,4816	7,4694	7,4858	86,3654	8,5322	Diferença de cor visível
62	67,2007	0,5792	7,0885	7,1127	85,2512	3,9789	Diferença de cor não visível
63	71,1176	0,5884	7,8640	7,8879	85,8210	7,4604	Diferença de cor visível
64	69,5579	0,5576	7,9349	7,9546	85,9922	7,5150	Diferença de cor visível
65	70,7334	1,8722	9,4419	9,6418	77,7786	48,5546	Diferença de cor visível
66	76,7056	0,9558	5,5921	5,6753	80,3254	38,3147	Diferença de cor visível
67	76,0883	0,6743	5,4381	5,4800	82,9584	50,1972	Diferença de cor visível
68	74,6995	0,8040	5,6142	5,6726	81,8814	43,9303	Diferença de cor visível
69	70,6484	1,3881	6,1202	6,2891	77,0010	36,1076	Diferença de cor visível
70	74,4875	1,0512	5,7640	5,8654	79,7344	39,5940	Diferença de cor visível
71	74,0139	0,7360	5,8725	5,9195	82,8890	37,8174	Diferença de cor visível
72	50,9904	0,4287	3,2198	3,2482	82,4163	3,8774	Diferença de cor não visível

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 50 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas com 10% de adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente

Identificação das placas					Medição Branca (placas sem manchamento)							Depois do manchamento (1 dia)					
Placa	Adição	Acabamento	Inclinação	Manchamento	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE obtido	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	
73	10%	T1	90°	Fuligem	80,9298	0,6131	4,8530	4,8915	82,7999	19,2653	59,1571	0,3594	3,7641	3,7813	84,5454	21,8014	
74	10%	T1	90°	Fuligem	79,7790	0,6062	4,9706	5,0074	83,0464	20,4066	67,1512	0,0733	3,9608	3,9615	88,9391	12,6793	
75	10%	T1	45°	Fuligem	73,3443	0,4633	4,5168	4,5405	84,1437	26,5912	57,0205	0,1426	3,5942	3,5970	87,7275	16,3530	
76	10%	T1	45°	Fuligem	71,6531	0,8298	4,7783	4,8498	80,1479	28,3119	61,2682	1,0283	5,8371	5,9270	80,0091	10,4406	
77	10%	T1	90°	Cinza	75,3623	0,6804	4,8302	4,8779	81,9814	24,6762	61,4291	1,2665	6,7384	6,8564	79,3551	14,0755	
78	10%	T1	90°	Cinza	77,9873	0,4780	3,9226	3,9516	83,0527	21,9194	65,0950	0,9341	6,0769	6,1482	81,2612	13,0790	
79	10%	T1	45°	Cinza	79,1749	0,4314	3,9046	3,9283	83,6953	20,7497	69,9831	0,6427	5,3406	5,3791	83,1375	9,3057	
80	10%	T1	45°	Cinza	76,2347	0,5414	4,6246	4,6561	83,3228	23,7763	53,4002	0,1899	3,2071	3,2128	86,6115	22,8812	
81	10%	T1	90°	Rodamina	78,8224	0,6548	5,1243	5,1659	82,7183	21,3723	60,3386	0,2254	3,4065	3,4140	86,2143	18,5684	
82	10%	T1	90°	Rodamina	79,3421	0,5902	4,7864	4,8233	82,9630	20,7867	57,0874	0,2778	3,5825	3,5952	85,5363	22,2938	
83	10%	T1	45°	Rodamina	75,3641	0,5936	4,4975	4,5367	82,4914	24,6131	58,3043	0,2485	3,8230	3,8327	86,1318	17,0895	
84	10%	T1	45°	Rodamina	79,1694	0,5641	4,7282	4,7626	83,1587	20,9423	48,1228	0,3269	3,0641	3,0820	83,8674	31,0960	
85	10%	T2	90°	Fuligem	76,3077	0,6504	4,4162	4,4640	81,6318	23,6758	64,8307	0,8893	6,3439	6,4085	82,2290	11,7578	
86	10%	T2	90°	Fuligem	77,1929	0,6608	4,4243	4,4737	81,4602	22,8132	63,0151	1,1215	6,7348	6,8285	80,5809	14,3940	
87	10%	T2	45°	Fuligem	78,1823	0,5797	4,4827	4,5205	82,5743	21,8494	64,0403	1,0189	6,1963	6,2804	80,6681	14,2752	
88	10%	T2	45°	Fuligem	77,6754	0,5994	4,6490	4,6882	82,5851	22,3844	64,4486	0,9191	5,9049	5,9773	81,2821	13,2928	
89	10%	T2	90°	Cinza	76,3689	0,5251	4,3167	4,3487	82,9975	23,5871	62,9608	0,1547	4,5968	4,5995	88,0766	13,4394	
90	10%	T2	90°	Cinza	76,3492	0,5909	4,5063	4,5465	82,3341	23,6596	59,3790	0,2834	5,2429	5,2515	87,0532	17,0741	
91	10%	T2	45°	Cinza	76,3042	0,5582	4,4775	4,5123	82,8536	23,6830	66,0117	0,1757	5,5341	5,5370	88,1758	10,5811	
92	10%	T2	45°	Cinza	75,1677	0,6736	5,0623	5,1072	82,3916	24,9160	54,8122	0,0604	4,3653	4,3661	89,1588	20,3808	
93	10%	T2	90°	Rodamina	79,3873	0,4663	4,6415	4,6655	84,3061	20,7136	68,2236	1,2585	8,5168	8,6118	81,6555	11,9387	
94	10%	T2	90°	Rodamina	75,0088	0,6384	4,5595	4,6048	82,0184	24,9705	64,5523	1,5473	9,2015	9,3327	80,5782	11,5374	
95	10%	T2	45°	Rodamina	78,1475	0,5687	4,3521	4,3897	82,5039	21,8551	68,5996	1,2706	8,4833	8,5828	81,4215	10,7005	
96	10%	T2	45°	Rodamina	78,8604	0,4608	4,3120	4,3369	83,8986	21,1424	64,5854	1,5245	8,8693	9,0030	80,2215	15,3016	
97	10%	T3	90°	Fuligem	82,3230	0,1178	6,0637	6,0652	88,8892	18,3024	45,2652	37,7616	-22,5770	43,9980	329,1370	60,1192	
98	10%	T3	90°	Fuligem	80,9016	0,3858	6,8918	6,9027	86,7920	19,9195	47,6075	38,4271	-22,7885	44,6772	329,3367	58,6254	
99	10%	T3	45°	Fuligem	81,2773	0,3847	7,0048	7,0161	86,8449	19,6135	42,5307	39,3026	-23,6424	45,8679	328,9616	62,9300	
100	10%	T3	45°	Fuligem	78,1976	0,4267	7,1678	7,1808	86,6187	22,5578	48,8108	37,7578	-23,1002	44,2656	328,5364	56,3808	
101	10%	T3	90°	Cinza	81,2405	0,2015	6,6509	6,6553	88,3279	19,5103	47,9743	38,8736	-24,0619	45,7199	328,2333	59,5711	
102	10%	T3	90°	Cinza	80,9394	0,2570	6,5334	6,5386	87,7480	19,7792	47,1465	33,6380	-20,3755	39,3284	328,7867	54,6142	
103	10%	T3	45°	Cinza	81,0211	0,2456	5,8168	5,8244	87,6771	19,4461	51,3951	32,0849	-19,5778	37,5878	328,6278	50,4285	
104	10%	T3	45°	Cinza	80,8731	0,3033	5,8550	5,8638	87,0446	19,6141	50,3631	35,0432	-22,0168	41,3870	327,8629	54,0515	
105	10%	T3	90°	Rodamina	81,3249	0,2719	6,6346	6,6411	87,6934	19,4316	47,7949	39,0915	-20,5653	44,1869	332,0859	58,1008	
106	10%	T3	90°	Rodamina	79,3949	0,2772	6,5874	6,5949	87,6422	21,2523	46,5400	39,7769	-20,0301	44,5369	333,2280	57,8886	
107	10%	T3	45°	Rodamina	79,4937	0,2993	6,7445	6,7515	87,4647	21,1908	45,1807	41,6938	-21,7487	47,0323	332,4420	60,8905	
108	10%	T3	45°	Rodamina	81,4677	0,2746	6,3693	6,3765	87,5430	19,2064	42,5790	47,2599	-24,3267	53,1548	332,7682	68,2880	

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 51 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas com 10% de adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente (continuação 1)

Placa	Depois do manchamento (7 dias)						Depois do manchamento (14 dias)						Depois do manchamento (21 dias)					
	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado
73	60,3725	0,3443	2,9674	2,9873	83,3813	1,4533	62,1012	0,3688	3,3109	3,3314	83,6446	2,9788	62,8427	0,3484	3,9297	3,9452	84,9343	3,6893
74	68,5514	0,1414	3,3845	3,3874	87,6071	1,5157	69,2734	0,2814	3,9739	3,9838	85,9502	2,1324	69,3797	0,1883	4,0457	4,0501	87,3347	2,2331
75	59,0395	0,1997	2,8727	2,8797	86,0233	2,1448	62,9785	0,4280	3,6543	3,6792	83,3193	5,9651	60,2283	0,4918	4,0786	4,1081	83,1239	3,2629
76	62,9817	0,7352	5,0184	5,0720	81,6650	1,9215	65,2451	0,5983	4,9814	5,0172	83,1514	4,0906	65,3060	0,5735	5,3772	5,4077	83,9127	4,0893
77	64,0068	1,0045	5,9243	6,0089	80,3772	2,7159	61,3767	1,0273	6,1586	6,2437	80,5295	0,6294	64,2001	0,8964	6,4690	6,5309	82,1112	2,8086
78	70,1500	0,7184	5,5757	5,6218	82,6581	5,0844	72,7568	0,5288	5,0187	5,0465	83,9857	7,7451	69,0903	0,5574	5,3660	5,3949	84,0699	4,0755
79	70,5800	0,5279	4,8838	4,9123	83,8305	0,7604	68,5195	0,5257	5,5698	5,5945	84,6079	1,4861	71,3750	0,3534	4,6673	4,6807	85,6705	1,5730
80	74,6745	6,9592	2,7867	7,4964	21,8226	22,3293	75,2729	4,3312	3,5570	5,6046	39,3945	22,2640	75,8923	4,0703	4,1545	5,8162	45,5863	22,8440
81	77,2916	5,4222	3,3008	6,3479	31,3312	17,7320	79,1673	3,1040	4,0578	5,1089	52,5859	19,0586	76,6128	3,8380	4,1079	5,6218	46,9451	16,6851
82	77,9856	5,0710	2,9575	5,8942	30,6994	21,4667	79,1208	3,5592	3,7618	5,2159	46,6727	22,2823	77,2031	3,4899	3,9148	5,2597	48,3213	20,3878
83	73,4854	4,7230	2,8927	5,5584	31,6559	15,9203	73,3055	3,2031	3,5746	4,8116	48,3315	15,3480	74,3953	2,8573	3,7555	4,7254	52,8734	16,3299
84	79,3476	3,7018	3,1760	4,8926	40,7329	31,4150	79,9993	2,4116	3,6659	4,3892	56,6496	31,9516	75,2541	3,8118	3,8719	5,4362	45,4527	27,3710
85	51,2755	0,4178	2,8686	2,9006	81,6376	16,6548	53,6588	0,4715	2,9254	2,9656	80,7792	15,2621	54,0135	0,4558	3,2878	3,3234	82,0198	15,7005
86	59,1843	0,2974	3,2696	3,2844	84,8618	6,9293	61,4579	0,3657	3,1974	3,2185	83,4118	5,9588	62,9773	0,3704	3,5757	3,5957	84,0633	6,7423
87	60,2333	0,2482	3,3197	3,3300	85,6636	6,5545	61,9904	0,4189	3,6278	3,6529	83,3553	5,9629	59,2427	0,5319	4,1878	4,2226	82,6848	6,4144
88	50,6133	0,3865	2,7871	2,8141	82,0566	14,5172	53,0565	0,4935	3,1389	3,1776	81,0267	12,3123	51,8662	0,5473	3,2870	3,3336	80,4092	13,1353
89	66,2279	0,8829	5,7398	5,8113	81,4355	7,1074	67,3092	0,7217	5,8258	5,8726	83,1136	7,9157	68,6302	0,6289	5,8701	5,9049	83,9416	6,6920
90	64,8019	0,9173	6,0611	6,1307	81,3669	6,1323	64,9006	0,8337	6,2238	6,2808	82,4032	7,5151	66,1379	0,7602	6,1301	6,1793	83,0098	8,3342
91	65,1087	0,8511	5,8717	5,9339	81,7609	7,1225	66,0069	0,7772	6,2152	6,2641	82,9361	7,5692	66,2069	0,6948	5,9936	6,0343	83,4924	8,1951
92	68,2771	0,6634	5,2838	5,3261	82,8757	13,5839	69,1059	0,6090	5,7196	5,7521	83,9317	14,3904	66,8185	0,5619	5,7861	5,8134	84,4384	12,1230
93	77,8604	5,9370	2,9956	6,6926	27,4582	12,4810	79,3149	3,4284	3,3723	4,8178	44,8790	12,6827	79,5359	4,0956	3,2735	5,2578	38,9897	13,0137
94	73,7743	4,7626	2,8338	5,5644	31,2307	11,8330	75,0993	2,9452	3,1577	4,3356	47,2497	12,4009	74,0267	4,3035	3,1330	5,4416	37,0348	11,7718
95	77,4925	3,0893	2,9996	4,3214	44,0667	11,0375	76,7824	2,4130	3,4136	4,1824	54,7863	10,1275	74,8762	2,7467	3,7726	4,6724	54,0830	8,8094
96	78,0693	3,7165	2,8697	4,7152	38,1341	15,3312	77,8455	2,5753	3,5323	4,3781	53,8985	14,8293	73,8189	3,5567	3,2768	4,8433	42,7279	12,1052
97	64,9200	0,2106	4,3450	4,3503	87,2141	50,3058	65,5359	0,2633	4,2363	4,2448	86,4025	50,4940	66,2088	0,2769	4,5193	4,5281	86,4418	50,8690
98	63,0779	0,3241	4,4027	4,4151	85,7187	49,3960	62,0901	0,3366	4,3555	4,3688	85,6787	49,1567	63,8047	0,4056	4,8693	4,8870	85,1096	49,7936
99	66,9406	0,2007	4,6285	4,6331	87,4081	54,2640	67,9043	0,3322	5,4343	5,4448	86,4152	54,9648	65,5572	0,3898	5,5404	5,5552	85,8007	53,9068
100	55,6954	0,1143	3,4607	3,4634	87,9972	46,8703	58,1836	0,2841	4,0737	4,0841	85,9819	47,4960	56,1829	0,4675	4,3664	4,3932	83,7805	47,0604
101	70,1884	0,9247	7,7210	7,7794	83,2292	54,4395	72,5766	0,7238	7,4939	7,5311	84,5459	55,4275	72,8695	0,6672	7,8397	7,8709	85,1977	55,7734
102	65,9434	1,1988	8,1144	8,2048	81,7075	47,2300	67,2665	1,1655	8,7030	8,7830	82,5018	48,2617	67,4201	1,1582	8,8800	8,9589	82,6638	48,3436
103	70,5791	0,8827	7,5960	7,6539	83,2673	46,0860	71,7160	0,6765	7,5955	7,6345	84,8378	46,6493	73,5527	0,3891	7,4147	7,4313	86,9758	47,3673
104	66,0938	1,2087	7,9094	8,0036	81,2595	48,1915	68,6124	0,9652	7,7255	7,7902	82,7751	49,1091	66,8660	0,9434	7,8480	7,9140	83,1537	48,6550
105	76,5402	7,7784	4,5753	9,3061	34,5502	49,4031	78,1881	5,1538	5,3256	7,7414	49,9283	52,4189	76,9839	7,6189	4,1772	8,8661	31,4551	49,5659
106	73,7319	8,9991	4,3095	10,3475	31,7748	47,7724	75,9595	6,1024	4,9488	8,3102	44,6494	51,2679	73,0167	10,0600	3,5716	11,4921	30,0176	46,3005
107	75,2556	5,6323	5,0556	7,7126	43,4498	54,1264	77,0173	4,1600	5,4140	6,9136	52,8860	56,2559	75,2388	5,7814	4,9915	7,9212	43,0546	53,9678
108	77,6476	5,6193	5,0756	7,7540	44,9017	61,9116	77,3687	4,8601	5,5313	7,7205	52,4541	62,4862	74,0574	5,0260	5,1380	7,6474	49,8418	60,3781

Fonte: elaborado pela autora.



Tabela 52 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas com 10% de adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente (continuação 2)

Placa	Depois do manchamento (28 dias)						Depois do manchamento (56 dias)						Depois do manchamento (84 dias)					
	L*	a*	b*	C*	h-	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h-	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h-	ΔE calculado
73	63,1693	0,4134	3,7262	3,7491	83,6695	4,0127	65,2617	0,4168	3,9969	4,0186	84,0464	6,1093	66,3795	0,5887	4,5181	4,5563	82,5766	7,2653
74	72,9224	0,1870	4,2474	4,2515	87,4787	5,7794	74,3421	0,2431	4,5775	4,5839	86,9605	7,2193	78,2340	0,3053	4,7512	4,7610	86,3235	11,1134
75	65,5191	0,3826	4,1024	4,1202	84,6714	8,5172	68,9359	0,5189	4,7866	4,8147	83,8125	11,9808	72,2871	0,4755	4,9753	4,9980	84,5412	15,3326
76	65,5830	0,5521	5,3114	5,3400	84,0661	4,3727	66,6444	0,5789	5,3420	5,3733	83,8148	5,4176	67,0127	0,6553	5,1182	5,1599	82,7039	5,8013
77	61,9515	0,9499	6,8637	6,9291	82,1207	0,6236	65,0962	0,9029	6,9336	6,9922	82,5804	3,6902	65,2554	1,0175	6,8828	6,9576	81,5908	3,8371
78	74,4618	0,3732	4,9004	4,9146	85,6452	9,4570	74,1419	0,4023	5,3658	5,3809	85,7121	9,0904	76,4255	0,5072	5,8216	5,8436	85,0204	11,3414
79	74,8807	0,2686	4,5490	4,5570	86,6208	4,9752	76,3237	0,3399	5,1918	5,2030	86,2545	6,3496	76,9259	0,5117	6,0237	6,0454	85,1442	6,9776
80	74,8911	2,9583	4,0253	4,9955	53,6872	21,6839	76,2585	1,8913	4,9586	5,3070	69,1225	22,9884	76,1936	1,6112	5,0175	5,2698	72,1973	22,9093
81	78,6333	2,2702	4,5495	5,0845	63,4812	18,4441	73,7933	1,9192	4,2357	4,6502	65,6243	13,5862	77,5646	1,7436	4,7471	5,0572	69,8318	17,3447
82	79,4641	2,2730	4,1443	4,7338	61,2398	22,4802	77,9259	1,6749	4,4024	4,7213	69,1635	20,9087	78,6931	1,4602	4,7578	4,9806	72,9595	21,6746
83	74,5594	1,7435	3,5896	3,9915	64,0771	16,3383	75,3239	1,0481	4,2402	4,3681	76,1241	17,0532	76,3674	0,8423	4,2322	4,3158	78,7354	18,0827
84	80,3653	1,6585	3,8678	4,2094	66,7590	32,2818	79,3942	1,1012	4,2308	4,3723	75,3718	31,3049	80,6427	0,8223	4,3436	4,4211	79,2287	32,5513
85	53,7231	0,4572	3,4298	3,4615	82,3836	15,5760	54,2069	0,5285	3,5500	3,5914	81,4412	16,4467	59,1777	0,6722	3,5685	3,6381	78,9595	14,1722
86	63,4695	0,3832	3,6806	3,7014	84,0053	6,2193	63,6521	0,4518	4,0677	4,0930	83,6161	6,0393	66,3150	0,6056	4,4422	4,4840	82,1776	7,0883
87	62,4320	0,4364	4,1128	4,1364	83,8687	5,7759	67,8916	0,5109	4,4260	4,4555	83,4122	5,3909	72,9928	0,4930	4,8929	4,9181	84,2472	9,1368
88	54,6544	0,4749	3,3909	3,4244	81,9431	10,8466	62,4521	0,5306	4,2188	4,2524	82,7755	7,0064	68,9964	0,5335	4,6590	4,6910	83,4295	7,8213
89	68,0061	0,5503	5,7232	5,7519	84,4773	6,5305	69,2870	0,6069	5,6378	5,6716	83,9720	8,4979	67,3013	0,7910	6,2313	6,2828	82,6950	6,0870
90	66,3038	0,7154	6,1418	6,1845	83,3282	8,0091	66,6405	0,6965	6,4260	6,4646	83,9156	8,5082	67,6254	0,8195	6,2122	6,2662	82,4517	8,5108
91	68,2550	0,6020	5,8714	5,9023	84,1606	6,9442	70,2780	0,6376	6,1476	6,1814	84,0261	7,9318	69,6796	0,7915	7,4721	7,5142	83,9757	7,4151
92	70,8732	0,4636	5,5868	5,6062	85,2465	16,1156	70,5906	0,5771	6,4285	6,4549	84,8899	16,0177	71,2601	0,8422	8,2564	8,2993	84,1847	16,9619
93	78,8974	2,5652	4,0262	4,7782	57,5695	11,8046	77,7312	1,2880	4,8012	5,0140	73,8905	10,5457	79,6939	1,3431	4,3826	4,5862	73,0583	12,2441
94	75,0603	2,3869	3,6302	4,3830	56,9285	12,0164	74,2592	1,3845	4,0235	4,2648	70,8381	11,1754	74,4607	1,3701	4,5547	4,7593	73,4121	11,0245
95	78,0671	1,5601	3,6570	3,9771	66,9059	10,9361	76,6896	1,1017	4,0924	4,2385	74,9360	9,5509	78,0477	0,9753	4,2418	4,3537	77,0326	10,6615
96	79,0918	1,7591	3,4663	3,8969	63,1341	15,7459	77,9603	1,1001	4,0369	4,1843	74,7648	14,5649	79,5906	0,8304	3,9668	4,0555	78,0904	15,9564
97	67,5145	0,2565	4,6733	4,6806	86,8280	51,5049	70,1654	0,2892	4,9808	4,9895	86,6687	52,8338	72,8952	0,3372	5,2666	5,2777	86,3179	54,2309
98	64,0938	0,3375	4,9162	4,9284	86,0755	50,0010	66,8749	0,4042	5,1391	5,1554	85,4537	50,9875	67,5688	0,4973	5,1887	5,2134	84,3383	51,2936
99	70,7358	0,2820	5,4297	5,4376	86,9074	56,3171	74,1702	0,2539	5,7477	5,7537	87,4524	58,2697	77,3747	0,2334	6,0386	6,0438	87,7466	60,2287
100	60,4612	0,2308	4,2097	4,2170	86,8705	48,0865	64,5727	0,2539	4,8903	4,8977	87,0338	49,5154	68,5771	0,3137	5,3339	5,3461	86,6806	51,1070
101	72,8510	0,6209	7,7912	7,8188	85,4947	55,7723	75,0286	0,4878	7,6353	7,6532	86,4032	56,7739	74,8120	0,6033	7,7210	7,7461	85,5834	56,6177
102	68,2101	1,0639	8,9678	9,0330	83,3513	48,8786	68,7881	1,0844	8,9528	9,0237	83,4212	49,1885	69,8106	1,0954	8,5999	8,6719	82,8703	49,2498
103	76,4972	0,2735	7,5289	7,5381	88,0115	48,9773	77,2876	0,2831	7,7993	7,8089	88,1085	49,5777	77,5539	0,3001	8,3707	8,3809	88,1925	49,9587
104	71,0224	0,7602	7,7352	7,7768	84,4308	50,1547	75,0130	0,5144	8,2896	8,3060	86,4680	52,2535	76,0705	0,6182	9,6395	9,6604	86,4146	53,5207
105	79,0156	3,1993	5,4189	6,4824	60,8696	54,2303	78,1555	1,6012	6,3548	6,6663	74,9865	55,4200	79,7016	1,4807	5,8391	6,0753	75,9313	55,9720
106	76,8133	3,7640	5,4031	6,8053	57,3213	53,4978	77,4253	2,3905	5,6370	6,2237	67,3917	54,8992	77,8164	1,4374	5,9813	6,2273	76,6135	55,9236
107	77,8244	2,9160	5,2529	6,0491	60,9593	57,4590	78,2190	1,6956	5,8258	6,0853	73,7195	58,7977	78,7979	1,3055	5,9306	6,0813	77,4954	59,4188
108	79,3076	2,0777	5,5855	5,9963	69,6181	65,4725	79,9119	1,2762	5,9801	6,1383	78,0235	66,5535	80,0356	0,8232	6,1364	6,2066	82,3708	67,0128

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 53 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas com 10% de adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas ao ambiente (continuação 3)

Placa	Depois do manchamento (140 dias)						Visibilidade em relação ao Dia 1	
	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	ΔE>5 = as duas cores são diferentes	
73	69,8099	0,3820	5,1682	5,1823	85,7729	10,7450	Diferença de cor visível	
74	79,8189	0,1723	4,5590	4,5623	87,8351	12,6822	Diferença de cor visível	
75	73,6242	0,3340	5,1551	5,1659	86,2934	16,6780	Diferença de cor visível	
76	65,3264	0,6849	5,8894	5,9290	83,3667	4,0730	Diferença de cor não visível	
77	68,7475	0,7135	6,8878	6,9246	84,0859	7,3408	Diferença de cor visível	
78	78,8664	0,3237	5,1689	5,1790	86,4161	13,8148	Diferença de cor visível	
79	76,0201	0,4579	6,9261	6,9412	86,2172	6,2445	Diferença de cor visível	
80	75,4022	1,6905	5,5183	5,7715	72,9683	22,1739	Diferença de cor visível	
81	78,6562	1,6402	4,7284	5,0048	70,8688	18,4197	Diferença de cor visível	
82	79,4292	1,4136	4,8751	5,0799	73,7920	22,4118	Diferença de cor visível	
83	76,3310	0,6417	4,0667	4,1172	81,0460	18,0409	Diferença de cor visível	
84	79,5995	0,6844	4,4231	4,4767	81,1576	31,5095	Diferença de cor visível	
85	63,4072	0,4868	4,4884	4,5165	83,7747	14,6481	Diferença de cor visível	
86	69,8731	0,3791	4,7269	4,7430	85,3846	7,7422	Diferença de cor visível	
87	76,8622	0,3716	4,8018	4,8164	85,5757	12,9335	Diferença de cor visível	
88	75,2733	0,2495	4,5965	4,6040	86,9035	10,9293	Diferença de cor visível	
89	69,4250	0,5717	5,9302	5,9586	84,4615	7,1339	Diferença de cor visível	
90	69,4110	0,6310	6,2929	6,3247	84,2794	10,1453	Diferença de cor visível	
91	72,6116	0,6444	6,8158	6,8462	84,5991	9,1190	Diferença de cor visível	
92	72,1855	0,7510	7,0757	7,1157	83,9410	17,6453	Diferença de cor visível	
93	79,8920	1,3624	4,5194	4,7250	73,4031	12,4123	Diferença de cor visível	
94	74,2479	1,5084	4,7641	5,0175	72,6115	10,7464	Diferença de cor visível	
95	77,6676	0,8080	4,1513	4,2303	79,0085	10,3722	Diferença de cor visível	
96	79,0088	0,6183	3,7939	3,8448	80,6854	15,5575	Diferença de cor visível	
97	74,7820	0,2946	6,1171	6,1251	87,2571	55,6714	Diferença de cor visível	
98	70,2104	0,3779	6,1068	6,1194	86,3854	52,9816	Diferença de cor visível	
99	78,6208	0,2962	6,1471	6,1551	87,2116	60,9716	Diferença de cor visível	
100	72,1328	0,2466	6,1551	6,1631	87,9009	53,0550	Diferença de cor visível	
101	74,9676	0,5557	8,6183	8,6382	86,3959	57,2001	Diferença de cor visível	
102	71,3391	0,8947	8,8555	8,9044	84,3754	50,2757	Diferença de cor visível	
103	77,4266	0,4053	7,6739	7,6897	87,1385	49,4296	Diferença de cor visível	
104	75,9281	0,6862	8,3071	8,3391	85,2996	52,5661	Diferença de cor visível	
105	79,2862	1,2777	6,6831	6,8586	79,2065	56,2814	Diferença de cor visível	
106	77,2557	1,6388	6,4297	6,7133	75,9713	55,6712	Diferença de cor visível	
107	78,3560	1,0230	6,0537	6,1437	80,3927	59,4117	Diferença de cor visível	
108	79,2770	0,7421	5,9191	5,9840	82,8207	66,5487	Diferença de cor visível	

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 54 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas sem adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas à câmara 1

Identificação das placas				Medição Branca (placas sem manchamento)						Depois do manchamento (1 dia)					
	Adição	Acabamento	Manchamento	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE obtido	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado
1	0%	T1	Rodamina	75,9920	0,4471	5,2126	5,2322	85,0803	24,1515	54,8973	41,0450	-15,7957	43,9805	338,9548	50,3626
2	0%	T1	Rodamina	76,5916	0,4991	5,6666	5,6889	84,9715	23,6717	55,4909	38,2438	-15,7759	41,3745	337,5805	48,2894
3	0%	T1	Cinza	75,8385	0,4950	5,5320	5,5557	84,9300	24,3695	66,8354	0,6702	6,9098	6,9430	84,4248	9,1383
4	0%	T1	Cinza	77,3891	0,3902	5,4397	5,4550	85,9319	22,8400	65,5561	0,7605	7,1560	7,1966	83,9465	11,9705
5	0%	T1	Fuligem	75,5794	0,4434	5,5767	5,5946	85,4251	24,6321	48,8961	0,4222	4,4953	4,5157	84,5858	26,7074
6	0%	T1	Fuligem	75,6752	0,4903	5,9691	5,9898	85,2735	24,6396	46,1673	0,4757	4,2904	4,3171	83,6734	29,5575
7	0%	T2	Rodamina	70,1505	0,4704	4,8235	4,8472	84,4254	29,8046	46,8903	36,8315	-15,1831	39,8434	337,6366	47,8172
8	0%	T2	Rodamina	76,6045	0,4116	5,7562	5,7713	85,9042	23,6816	52,7247	38,8949	-17,1592	42,5150	336,2385	50,7925
9	0%	T2	Cinza	73,4889	0,4231	5,2753	5,2930	85,3881	26,6090	57,3566	0,9427	6,3467	6,4166	81,5548	16,1869
10	0%	T2	Cinza	76,0675	0,3612	5,7374	5,7492	86,4368	24,1980	63,8202	0,8312	6,8369	6,8904	83,2921	12,3825
11	0%	T2	Fuligem	76,8066	0,3869	3,9164	5,0715	123,6040	23,3494	48,9637	0,4454	4,5069	4,5290	84,3554	28,0065
12	0%	T2	Fuligem	68,7245	0,4890	5,5884	5,6105	84,9907	31,3424	43,9594	0,6522	4,7520	4,7974	82,0410	24,8221
13	0%	T3	Rodamina	80,5589	0,0930	6,2784	6,2795	89,1549	20,0338	56,4003	36,9248	-15,1496	39,9235	337,9369	49,1863
14	0%	T3	Rodamina	82,1233	0,0461	6,5527	6,5535	89,5901	18,6626	54,4459	41,0064	-18,7632	45,0959	335,4137	55,6122
15	0%	T3	Cinza	73,4890	0,4107	4,3052	4,3258	84,5559	26,4232	67,2416	1,2488	9,9817	10,0615	82,8851	8,8882
16	0%	T3	Cinza	75,1115	0,3636	4,1613	4,1781	84,8381	24,8081	64,9787	0,8909	7,9659	8,0194	83,6698	11,1788
17	0%	T3	Fuligem	79,7104	0,2732	4,9364	4,9442	86,8806	20,4729	58,8182	0,5355	5,5044	5,5334	84,2365	20,9091
18	0%	T3	Fuligem	77,0145	0,3696	5,4136	5,4264	86,0976	23,1975	60,2676	0,5184	5,6910	5,7152	84,7835	16,7510
19	5%	T1	Rodamina	79,8977	0,2510	4,1343	4,1420	86,5473	20,0978	48,0956	33,0653	-12,9796	35,6096	271,1089	53,8987
20	5%	T1	Rodamina	80,1791	0,2212	5,0599	5,0651	87,4824	20,0442	66,9533	24,4106	-11,9263	27,4450	325,2823	37,2848
21	5%	T1	Cinza	80,4003	0,2330	4,6061	4,6121	87,0778	19,7153	65,4051	0,8325	6,6931	6,7447	82,9074	15,1620
22	5%	T1	Cinza	74,6947	0,3719	4,6500	4,6661	85,4854	25,2976	69,8270	0,5874	5,6784	5,7112	84,5635	7,1977
23	5%	T1	Fuligem	73,1892	0,4039	4,9100	4,9272	85,4079	26,8228	49,6850	0,4677	3,9853	4,0137	83,2846	23,5336
24	5%	T1	Fuligem	78,4841	0,2819	4,4378	4,4468	86,3286	21,5415	51,6899	0,4437	4,4817	4,5041	84,3237	26,8022
25	5%	T2	Rodamina	71,4804	0,4421	5,2989	5,3185	85,1657	28,5966	59,9105	43,4897	-17,4668	46,8700	338,1229	50,2175
26	5%	T2	Rodamina	76,1181	0,3533	4,9771	4,9897	85,9609	23,9705	48,7737	37,4486	-19,6356	42,2855	332,3288	52,2523
27	5%	T2	Cinza	78,8789	0,1108	6,0928	6,0951	88,9793	21,5927	61,9405	0,7098	5,7914	5,8352	83,0360	16,9605
28	5%	T2	Cinza	79,4750	0,0652	5,7927	5,7954	89,5379	20,9291	62,8481	0,8426	5,9854	6,0452	81,9811	16,6910
29	5%	T2	Fuligem	78,4417	0,0683	5,2793	5,2814	89,4372	21,7747	41,3623	0,5520	4,2222	4,2589	82,5405	37,1059
30	5%	T2	Fuligem	78,8948	0,0998	5,3777	5,3805	89,0109	21,3730	46,3941	0,4996	4,1011	4,1318	83,0291	32,5348
31	5%	T3	Rodamina	78,5795	0,0750	5,4168	5,4185	89,2303	21,6825	61,2130	28,5555	-11,9164	30,9442	337,3684	37,6858
32	5%	T3	Rodamina	81,4671	-0,0248	5,1015	5,1028	90,3131	18,8121	58,6184	32,4238	-14,4588	35,5070	335,7664	44,4359
33	5%	T3	Cinza	72,7275	0,3176	4,4058	4,4179	85,8539	27,1940	67,4377	0,9316	8,0059	8,0637	83,4158	8,6148
34	5%	T3	Cinza	71,9746	0,4081	4,6516	4,6702	84,9325	27,9803	64,1745	0,9161	7,5847	7,6427	83,1177	9,1718
35	10%	T3	Fuligem	73,8691	0,3000	4,2973	4,3095	85,9818	26,0492	54,0210	0,4261	4,9944	5,0132	85,0436	19,8712
36	5%	T3	Fuligem	74,7151	0,3266	4,4148	4,4272	85,7767	25,2369	63,3448	0,2745	5,2464	5,2546	86,9872	11,4583
37	10%	T1	Rodamina	75,4843	0,2775	4,5032	4,5128	86,4634	24,5008	58,0055	44,1491	-15,5711	46,8171	340,5858	51,3665
38	10%	T1	Rodamina	73,4778	0,3634	4,7740	4,7885	85,6270	26,5162	52,6762	41,3272	-18,8679	45,4343	335,4590	51,7080
39	10%	T1	Cinza	75,3902	0,2647	4,4256	4,4344	86,5828	24,5783	64,2821	0,8229	5,9629	6,0203	82,1418	11,2367
40	10%	T1	Cinza	75,6064	0,3233	4,4717	4,4836	85,8938	24,3657	65,5607	0,6216	5,5887	5,6236	83,6914	10,1265
41	10%	T1	Fuligem	73,8128	0,3074	4,2686	4,2803	85,8862	26,1077	58,6254	0,4039	2,0328	3,4598	122,8797	19,7060
42	10%	T1	Fuligem	74,4854	0,3113	4,3027	4,3153	85,8537	25,4555	43,4518	0,3718	3,6069	3,6263	84,1823	31,0432
43	10%	T2	Rodamina	76,6423	0,2702	4,6058	4,6139	86,6555	23,3766	58,4281	40,3570	-14,7096	42,9554	339,9764	48,1125
44	10%	T2	Rodamina	72,4424	0,4049	4,7478	4,7654	85,1447	27,5306	44,0238	30,2159	-12,0863	32,5453	312,1568	51,7450
45	10%	T2	Cinza	71,0879	0,3740	4,2639	4,2808	84,9035	28,7929	67,7671	0,7045	4,8556	5,1489	117,5993	11,5296
46	10%	T2	Cinza	73,0071	0,3498	4,7952	4,8081	85,8168	26,9887	63,0390	0,9338	6,5461	6,6132	81,9562	10,1929
47	10%	T2	Fuligem	75,0459	0,3224	4,4265	4,4386	85,8301	24,9115	44,2505	0,6055	3,9148	3,9632	81,1701	30,8095
48	10%	T2	Fuligem	79,0706	0,2576	4,9051	4,9124	87,0587	21,0823	45,0016	0,6200	4,1348	4,1819	81,4454	34,0864
49	10%	T3	Rodamina	82,8136	-0,0098	4,7988	4,7991	90,1306	17,4360	59,0602	45,8914	-17,3291	49,0563	339,3084	56,2297
50	10%	T3	Rodamina	80,9261	0,0589	5,3382	5,3399	89,4151	19,4184	61,9037	31,2658	-15,1428	34,7422	334,1545	41,9257
51	10%	T3	Cinza	81,5396	0,0384	4,9966	4,9976	89,5618	18,7315	66,5735	0,9843	7,8202	7,8829	82,8812	15,2842
52	10%	T3	Cinza	80,2363	-0,0362	4,6854	4,6866	90,5565	19,8933	70,8466	0,5853	6,3874	6,4173	84,9763	9,6070
53	10%	T3	Fuligem	80,9538	0,0322	4,8906	4,8908	89,6247	19,2617	48,6216	0,7777	5,2282	5,2866	81,5779	32,3490
54	10%	T3	Fuligem	79,0760	0,1220	4,8800	4,8837	88,6697	21,0778	46,4952	0,5980	4,1472	4,1906	81,7229	32,6043

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 55 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas sem adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas à câmara 1 (continuação 1)

Placa	Após 9 ciclos						Após 28 ciclos					
	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado
1	42,0101	35,6307	-14,0822	38,3147	338,4395	14,1186	55,9152	31,7879	-9,1041	33,0750	343,9923	11,7112
2	54,8880	27,3126	-11,5949	29,9876	326,2394	19,0480	60,0311	31,1463	-9,3530	32,5212	343,2785	11,0019
3	54,9927	0,7635	6,9757	7,0238	84,1432	11,9631	62,5947	0,8073	6,8409	6,8896	83,3059	5,3734
4	54,9417	0,8344	6,9654	7,0210	83,5539	11,0274	63,6350	0,8473	6,6164	6,6707	82,7183	2,2890
5	39,6028	0,6466	5,6210	5,6593	83,4014	9,3948	48,2653	0,7244	4,6538	4,7111	81,0810	4,0047
6	38,2965	0,6782	5,1561	5,2014	82,4633	7,9276	44,5884	0,7850	4,3218	4,3931	79,6751	3,6139
7	35,1857	34,6439	-14,1710	37,4334	337,8148	12,7887	49,6679	26,7234	-8,4480	28,0328	342,5683	15,2710
8	44,5427	31,2433	-12,1509	33,5239	338,7636	12,8318	56,1421	26,6960	-7,9279	27,8492	343,4945	16,3572
9	45,4541	1,3250	7,3812	7,4998	79,7876	11,9973	53,5715	1,0728	5,7903	5,8895	79,4375	5,0325
10	48,9653	1,1506	7,1142	7,2083	80,8088	14,8964	55,1098	0,9679	5,5846	5,6693	80,2441	8,8620
11	38,3951	0,7967	5,7769	5,8317	82,1427	10,6613	44,9120	0,8465	4,6669	4,7433	79,6929	4,2610
12	32,9965	0,9150	5,3028	5,3828	80,1244	10,9923	43,4778	0,9194	4,4075	4,5068	78,0019	4,9466
13	41,2196	28,0256	-10,4903	29,9269	339,4401	19,3478	45,7562	25,0206	-7,0855	26,0348	344,5162	18,0203
14	47,3441	32,8408	-12,3869	35,1020	339,3467	13,9141	49,7841	31,4731	-10,0886	33,0524	342,2261	14,5802
15	56,7768	1,1375	8,9762	9,0498	82,6840	10,5592	57,3700	1,1275	9,1055	9,1792	82,8802	9,9289
16	53,9171	1,1593	8,0103	8,0977	81,7242	12,0946	57,0385	1,0610	7,3575	7,4370	81,6680	10,2634
17	49,0483	0,8083	5,6499	5,7100	81,7268	9,8144	49,9607	0,8863	5,3323	5,4108	80,3239	8,9037
18	43,6238	0,8295	6,5512	6,6036	82,7697	16,7190	46,4279	0,8236	6,1583	6,2136	82,3509	13,8861
19	40,4233	33,8944	-16,0249	37,4963	334,6859	22,3262	53,5327	28,3132	-9,4020	29,8355	341,6174	19,9728
20	40,8585	35,3750	-17,0335	39,2636	334,3089	32,3317	54,1835	28,6539	-9,6592	30,2404	341,3722	25,4656
21	51,9374	0,7574	5,7805	5,8302	82,5404	13,5083	58,9071	0,9059	6,4058	6,4698	81,9374	6,5330
22	53,2147	0,7815	6,0795	6,1306	82,6692	16,6513	60,3755	0,9259	6,8596	6,9223	82,3127	9,5816
23	36,1475	0,6276	3,4101	3,4676	79,5578	13,5514	41,6631	0,7613	3,6618	3,7424	78,1067	8,0802
24	39,3575	0,6263	3,6640	3,7203	79,9155	12,3664	46,9134	0,6995	4,0042	4,0666	79,8193	4,8179
25	47,1694	35,1041	-16,9582	38,9880	334,2141	15,2706	59,1806	29,6961	-9,4530	31,1652	342,3417	16,1653
26	44,5866	32,8120	-15,1080	36,1255	335,2998	7,8519	55,8846	26,6188	-7,2715	27,5948	344,7326	18,1217
27	45,0295	0,7664	4,9093	4,9714	81,0783	16,9361	54,6170	0,9318	5,6434	5,7205	80,6312	7,3316
28	53,9784	1,0572	5,8877	5,9844	79,7223	8,8854	60,8988	0,9653	5,7948	5,8757	80,5390	2,0423
29	34,2099	0,6274	3,6328	3,6881	80,1984	7,1837	41,1420	0,7434	4,0593	4,1287	79,5766	2,1467
30	34,7939	0,6666	3,4327	3,4973	78,9147	11,6260	41,5540	0,7346	3,8496	3,9192	79,1759	5,4536
31	55,6669	21,9407	-7,9940	23,3555	340,0648	10,8281	60,8512	20,0997	-4,9770	20,7147	346,2309	12,3110
32	51,6826	27,1242	-11,2026	29,3494	337,5108	10,8493	58,3354	22,1860	-6,3805	23,0929	344,2677	13,7938
33	59,1454	0,7667	7,2496	7,2955	83,9358	8,3359	61,3681	0,7480	6,9196	6,9647	83,8197	6,2023
34	55,5223	0,7403	6,6160	6,6611	83,4828	8,7185	57,4795	0,8108	6,5788	6,6332	82,9702	6,8153
35	46,6880	0,6734	4,7912	4,8386	81,9678	7,3766	50,4305	0,7682	4,8051	4,8675	80,7899	3,7050
36	43,1039	31,9263	-15,8363	35,6414	333,6211	43,5295	57,8295	0,5588	4,9141	4,9471	83,4924	5,5516
37	46,5995	30,6938	-14,6543	34,0176	334,4495	17,7998	53,7421	26,3336	-8,4746	27,6682	342,1415	19,9736
38	45,9143	0,7668	4,5742	4,6399	80,2353	47,9347	54,1188	30,4362	-9,3892	31,8532	342,8360	14,7436
39	58,5539	0,8247	5,4327	5,4960	81,3081	6,1486	51,6847	0,8399	5,4886	5,5537	81,2299	12,6396
40	59,0918	0,8540	5,7383	5,8022	81,5132	6,5001	64,6854	0,7478	5,9312	5,9785	82,8380	2,1838
41	42,8163	0,4142	2,7829	2,8149	81,5481	15,9077	50,7109	0,6637	3,5724	3,6348	79,5094	10,9618
42	35,8877	0,4250	2,7997	2,8339	81,0899	7,6399	43,3634	0,6442	3,3412	3,4045	78,9197	3,1832
43	48,5503	30,4407	-14,5732	33,7554	334,4259	14,2090	55,7065	27,6990	-8,6856	29,0293	342,6016	14,5996
44	36,9012	25,4558	-12,1547	28,2115	334,4923	25,0552	45,7357	22,0033	-6,8855	23,0578	342,7133	25,4117
45	51,2189	1,0569	6,0310	6,1239	80,0845	16,6588	57,8439	1,0432	6,1899	6,2782	80,4336	10,6369
46	44,3291	0,7531	4,6304	4,6920	80,7064	18,8277	49,4415	0,9306	5,5127	5,5917	80,3829	13,6502
47	30,9963	0,5776	2,6146	2,6797	77,4124	13,3262	33,5378	0,8383	3,2600	3,3679	75,3965	10,7423
48	36,1342	0,7751	3,9924	4,0675	78,9494	8,8787	40,2477	0,8293	4,1574	4,2407	78,6210	5,1304
49	52,7232	31,5879	-14,1584	34,6167	335,8590	16,5125	58,3248	29,4018	-11,2862	31,4963	338,9827	17,6791
50	59,9703	23,0912	-9,4724	24,9675	338,0249	11,0351	62,4389	20,4597	-5,9167	21,3181	344,4130	14,5318
51	63,2138	0,7980	6,7816	6,8292	83,3139	3,6677	62,4654	0,8820	6,8081	6,8662	82,6859	4,5062
52	63,5539	0,7534	6,1795	6,2262	83,0499	7,5385	65,3721	0,6763	6,0239	6,0626	83,6629	5,5192
53	38,5200	0,8506	4,4016	4,4849	78,9675	10,1563	43,7338	0,8989	4,1252	4,2230	77,6326	5,8035
54	43,7492	0,7138	4,3721	4,4302	80,6668	3,2437	45,8534	0,7752	3,7680	3,8476	78,2558	1,4520

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 56 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas sem adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas à câmara 1 (continuação 2)

Placa	Após 82 ciclos				ΔE calculado	Visibilidade em relação ao Dia 1 ΔE>5 = as duas cores são diferentes
	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>		
1	25,6391	-4,5134	26,0500	350,4441	47,4355	Diferença de cor visível
2	26,4469	-6,3484	27,1998	346,4749	46,5233	Diferença de cor visível
3	0,7105	6,4108	6,4504	83,6891	37,2620	Diferença de cor visível
4	0,8246	6,7758	6,8272	83,0556	38,3077	Diferença de cor visível
5	0,6346	4,4129	4,4591	81,7208	54,2148	Diferença de cor visível
6	0,6726	4,2625	4,3159	80,9730	54,5612	Diferença de cor visível
7	22,3031	-5,8395	23,0665	345,4856	53,5374	Diferença de cor visível
8	22,8355	-4,9609	23,3715	347,7877	47,1462	Diferença de cor visível
9	0,8685	5,5933	5,6604	81,1730	45,1427	Diferença de cor visível
10	0,7902	5,6731	5,7288	82,1068	44,0143	Diferença de cor visível
11	0,7206	4,6024	4,6592	81,0290	54,1476	Diferença de cor visível
12	0,7003	4,5426	4,5973	81,1851	60,1543	Diferença de cor visível
13	22,1135	-5,4209	22,8310	346,6448	56,0200	Diferença de cor visível
14	15,3704	-4,4989	16,2622	260,8746	32,9899	Diferença de cor visível
15	0,8167	8,0354	8,0771	84,2064	38,2852	Diferença de cor visível
16	0,9509	7,2468	7,3105	82,4648	41,7119	Diferença de cor visível
17	0,8276	4,7264	4,8004	80,0258	50,3355	Diferença de cor visível
18	0,7488	5,9205	5,9678	82,7521	53,4279	Diferença de cor visível
19	18,5025	-5,9479	19,4357	342,1610	45,3128	Diferença de cor visível
20	18,2762	-5,9550	19,2339	342,0137	44,4699	Diferença de cor visível
21	0,7926	6,6102	6,6580	83,1824	41,1436	Diferença de cor visível
22	0,9848	7,6189	7,6828	82,6205	40,5732	Diferença de cor visível
23	0,5402	3,2055	3,2515	80,3362	56,8294	Diferença de cor visível
24	0,6440	3,8553	3,9098	80,3325	51,9025	Diferença de cor visível
25	20,5398	-6,3593	21,5062	342,7898	42,9119	Diferença de cor visível
26	19,0701	-4,8707	19,6899	345,6806	45,0604	Diferença de cor visível
27	0,6837	5,7794	5,8206	83,2287	43,8873	Diferença de cor visível
28	0,7599	5,8564	5,9060	82,5953	38,2003	Diferença de cor visível
29	0,6490	3,8461	3,9011	80,4506	58,0011	Diferença de cor visível
30	0,6289	3,5990	3,6539	80,0355	56,6157	Diferença de cor visível
31	14,1893	-0,6375	14,2142	285,4871	37,6025	Diferença de cor visível
32	17,7146	-2,9440	17,9839	350,7335	42,3092	Diferença de cor visível
33	0,7082	7,0409	7,0798	84,1941	38,1932	Diferença de cor visível
34	0,7068	6,5333	6,5736	83,7107	42,5326	Diferença de cor visível
35	0,6923	4,4825	4,5363	81,1382	48,6158	Diferença de cor visível
36	0,5117	5,1289	5,1556	84,2165	40,8984	Diferença de cor visível
37	15,9069	-4,2289	16,4621	345,0973	44,9424	Diferença de cor visível
38	17,1977	-4,6495	17,8216	344,8117	43,8556	Diferença de cor visível
39	0,6463	5,5870	5,6250	83,3502	46,1760	Diferença de cor visível
40	0,6259	6,0075	6,0402	84,0495	34,7649	Diferença de cor visível
41	0,4639	3,3367	3,3698	82,0664	49,0058	Diferença de cor visível
42	0,4496	3,2462	3,2775	82,0508	55,7745	Diferença de cor visível
43	18,7971	-4,4908	19,3273	346,5593	46,1412	Diferença de cor visível
44	11,4191	-3,9883	12,6529	331,7292	47,0893	Diferença de cor visível
45	0,9062	6,3267	6,3920	81,8518	42,6198	Diferença de cor visível
46	0,7624	5,4060	5,4607	81,9486	52,2872	Diferença de cor visível
47	0,4120	3,3346	3,3700	82,3132	63,8932	Diferença de cor visível
48	0,6224	3,6239	3,6774	80,2548	58,3473	Diferença de cor visível
49	21,1264	-7,0957	22,3143	341,5080	43,5259	Diferença de cor visível
50	17,2524	-3,6159	17,6513	348,4400	39,4121	Diferença de cor visível
51	0,6561	6,3702	6,4090	84,4429	35,3994	Diferença de cor visível
52	0,6585	6,2748	6,3102	84,0317	35,6006	Diferença de cor visível
53	0,4881	3,6203	3,6742	84,0780	48,2056	Diferença de cor visível
54	0,6122	3,7723	3,8220	80,6586	49,8784	Diferença de cor visível

Fonte: elaborado pela autora.



Tabela 57 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas sem adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas à câmara 2

Identificação das placas				Medição Branca (placas sem manchamento)						Depois do manchamento (1 dia)					
Placa	Adição	Acabamento	Manchamento	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE obtido	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado
1	0%	T1	Fuligem	77,4724	0,3291	4,9895	5,0006	86,2654	22,6842	59,9613	0,3173	3,5134	3,5281	84,8398	17,5761
2	0%	T1	Fuligem	79,8325	0,3165	4,9096	4,9199	86,3079	20,3854	57,0703	0,2082	3,5963	3,6035	86,6576	22,8023
3	0%	T1	Cinza	74,8589	0,3520	5,3735	5,3853	86,2370	25,3213	66,2460	0,7961	6,4844	6,5337	82,9854	8,7011
4	0%	T1	Cinza	71,6921	0,3228	5,9231	5,9322	86,8658	28,5282	63,2035	0,7120	6,2980	6,3388	83,5542	8,5107
5	0%	T1	Rodamina	75,0318	0,4854	2,8029	4,4444	124,6448	24,9947	43,6682	44,4948	-22,8597	50,0246	332,8053	60,3771
6	0%	T1	Rodamina	81,7613	0,2543	3,6449	3,6547	86,0360	18,2138	49,4031	42,4153	-22,4057	47,9702	332,1547	59,1917
7	0%	T2	Fuligem	69,3248	0,3563	5,9551	5,9668	86,5111	30,8627	50,6372	0,2814	3,9028	3,9164	85,6277	18,8211
8	0%	T2	Fuligem	75,3202	0,3860	6,9860	6,9969	86,8472	25,2769	57,6653	0,2801	4,7259	4,7360	86,5706	17,8078
9	0%	T2	Cinza	74,4208	0,2862	6,7442	6,7508	87,8505	26,0804	66,2302	0,7951	7,0342	7,0794	83,5269	8,2412
10	0%	T2	Cinza	73,6667	0,2493	6,4995	6,5048	87,8426	26,7417	60,9765	1,0138	7,2273	7,3003	82,0714	12,7419
11	0%	T2	Rodamina	69,4131	0,3108	5,9477	5,9563	86,9626	30,7668	39,7407	41,8342	-20,3843	46,5367	334,0187	57,4986
12	0%	T2	Rodamina	73,8117	0,2866	6,6718	6,6781	87,5425	26,6453	39,4229	43,3961	-20,9210	48,1778	334,2632	61,6766
13	0%	T3	Fuligem	78,5727	0,0480	6,4200	6,4204	89,5875	22,0036	58,3057	0,1883	5,1978	5,2016	87,9281	20,3075
14	0%	T3	Fuligem	80,4150	0,0929	6,4850	6,4865	89,2112	20,2770	63,9218	0,2875	5,8551	5,8628	87,1563	16,5188
15	0%	T3	Cinza	79,4303	-0,0069	6,4387	6,4393	90,0993	21,1868	72,0235	0,8237	8,3792	8,4205	84,3999	7,7963
16	0%	T3	Cinza	76,9944	0,1763	7,4042	7,4089	88,8066	23,8050	71,0569	0,7902	8,5036	8,5426	84,7425	6,2714
17	0%	T3	Rodamina	79,1606	0,1418	5,8071	5,8093	88,5957	21,2673	38,5196	47,9553	-20,7633	52,2582	336,5924	68,1564
18	0%	T3	Rodamina	80,7683	-0,0201	6,3540	6,3543	90,1915	19,8966	42,6751	45,7731	-20,6774	50,2269	335,6886	65,4222
19	5%	T1	Fuligem	74,7944	0,2240	5,2210	5,2260	87,5280	25,3473	55,5085	0,1911	3,9102	3,9159	87,2017	19,3367
20	5%	T1	Fuligem	71,5916	0,3750	5,6364	5,6500	86,3145	28,5837	48,0326	0,1508	3,3358	3,3398	87,5581	23,6965
21	5%	T1	Cinza	75,3011	0,2037	5,0602	5,0649	87,7956	24,8242	68,2414	0,5643	5,6588	5,6891	84,3707	7,1033
22	5%	T1	Cinza	73,4468	0,2988	4,8910	4,9003	86,4700	26,6052	65,6864	0,7124	5,7318	5,7768	83,0641	7,8317
23	5%	T1	Rodamina	75,2594	0,2360	4,9867	4,9926	87,2643	24,8480	44,8783	40,0000	-22,0647	45,6825	331,1142	56,8963
24	5%	T1	Rodamina	73,2660	0,3219	5,1497	5,1602	86,4047	26,8364	38,6318	42,7939	-23,2040	48,6817	331,5286	61,7105
25	5%	T2	Fuligem	77,2800	0,2751	5,6448	5,6520	87,2075	23,0340	55,4177	0,2731	4,4611	4,4696	86,4856	21,8967
26	5%	T2	Fuligem	76,1981	0,2333	5,2676	5,2728	87,4650	24,0066	48,8222	0,4109	4,2314	4,2522	84,4187	27,3973
27	5%	T2	Cinza	76,2469	0,2120	5,2246	5,2293	87,7233	23,9311	65,0060	0,8414	6,7219	6,7751	82,9040	11,3644
28	5%	T2	Cinza	74,3279	0,3353	5,7395	5,7496	86,6678	25,9179	59,8079	0,9056	6,6377	6,7005	82,3139	14,5685
29	5%	T2	Rodamina	76,6190	0,3360	5,3337	5,3458	86,2914	23,5987	42,0355	42,2953	-23,0868	48,1882	331,3609	61,3659
30	5%	T2	Rodamina	74,9772	0,2026	4,8929	4,8973	87,6270	25,1033	45,5045	40,5197	-22,1512	46,1812	331,3381	56,8181
31	5%	T3	Fuligem	78,3743	0,0524	5,8429	5,8439	89,5160	22,0321	55,5237	0,2884	3,9219	3,9338	85,6365	22,9389
32	5%	T3	Fuligem	78,1971	0,0373	6,0668	6,0677	89,6785	22,2521	50,9440	0,1972	4,2434	4,2502	86,9915	27,3200
33	5%	T3	Cinza	80,1066	-0,0280	5,8529	5,8532	90,2681	20,3724	70,9902	0,9946	9,0204	9,0761	83,7303	9,7114
34	5%	T3	Cinza	80,1966	0,0109	5,4081	5,4088	89,9292	20,1606	69,1650	1,0510	8,1470	8,2176	82,7760	11,4275
35	5%	T3	Rodamina	81,2082	-0,0743	5,6832	5,6838	90,7388	19,2658	57,0617	42,3876	-20,5746	47,1207	334,0750	55,4923
36	5%	T3	Rodamina	78,2181	0,1476	6,1423	6,1472	88,5692	22,2927	45,9375	41,8872	-22,0099	47,3197	332,2789	59,8344
37	10%	T1	Fuligem	74,1424	0,2874	5,1156	5,1239	86,8015	25,9648	45,0785	0,2874	3,2564	3,2693	84,9425	29,1254
38	10%	T1	Fuligem	77,8436	0,2303	5,5231	5,5283	87,6225	22,4564	47,8160	0,3285	3,3729	3,3913	84,4742	30,1067
39	10%	T1	Cinza	74,0713	0,3202	5,2999	5,3104	86,4995	26,0787	64,7105	0,6488	5,3833	5,4227	83,1612	9,3714
40	10%	T1	Cinza	76,0913	0,3048	5,4081	5,4169	86,7686	24,1287	66,9080	0,7891	6,2136	6,2659	82,8890	9,2429
41	10%	T1	Rodamina	72,6300	0,2712	5,3042	5,3122	87,0777	27,4902	46,5866	40,7769	-22,0373	46,3589	331,5972	55,3983
42	10%	T1	Rodamina	76,5560	0,2249	5,2702	5,2754	87,5599	23,6399	50,3608	36,9517	-21,0549	42,5325	330,3521	52,2372
43	10%	T2	Fuligem	76,8015	0,2688	5,4321	5,4389	87,1511	23,4440	45,5601	0,3116	3,3082	3,3236	84,5948	31,3161
44	10%	T2	Fuligem	76,7130	0,2361	5,2101	5,2157	87,3921	23,4751	50,6156	0,3951	3,8491	3,8705	84,0859	26,1360
45	10%	T2	Cinza	76,4065	0,3117	5,4137	5,4232	86,7698	23,8226	66,0316	0,7560	5,9092	5,9584	82,7584	10,4202
46	10%	T2	Cinza	77,5388	0,2238	5,1209	5,1268	87,4978	22,6579	67,8060	0,9606	7,1438	7,2082	82,3526	9,9978
47	10%	T2	Rodamina	76,5377	0,1992	4,6177	4,6223	87,5520	23,5144	45,1180	38,3555	-23,2975	44,8786	328,7280	56,8080
48	10%	T2	Rodamina	75,5593	0,2387	5,0689	5,0754	87,2612	24,5726	48,1129	39,4384	-23,1059	45,7096	329,6333	55,5345
49	10%	T3	Fuligem	79,2518	-0,0465	5,3363	5,3383	90,5496	21,0654	52,9875	0,2550	3,4978	3,5082	86,0167	26,3421
50	10%	T3	Fuligem	77,7009	0,0508	5,8682	5,8688	89,5469	22,6862	50,5168	0,2409	3,6311	3,6411	86,3171	27,2940
51	10%	T3	Cinza	80,5147	-0,0146	5,2602	5,2605	90,1531	19,8084	70,6296	1,0264	8,4457	8,5083	83,1304	10,4517
52	10%	T3	Cinza	78,9160	0,0171	5,1416	5,1441	89,8067	21,3265	73,1142	0,5812	6,8279	6,8533	85,1876	6,1036
53	10%	T3	Rodamina	82,1891	-0,0296	5,0864	5,0869	90,3232	18,1567	57,7633	36,5129	-19,2999	41,3009	332,1479	50,2749
54	10%	T3	Rodamina	77,5009	0,0605	4,8195	4,8213	89,2852	22,6364	46,6090	38,4849	-21,2568	43,9689	331,1152	55,8194

Fonte: elaborado pela autora.



Tabela 58 – Médias dos dados obtidos por espectrofotômetro portátil para placas sem adição de TiO<sub>2</sub>; placas expostas à câmara 2 (continuação)

Placa	Após 18 ciclos						Após 36 ciclos						Visibilidade em relação ao Dia 1 ΔE>5 = as duas cores são diferentes
	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	L*	a*	b*	C*	h <sup>-</sup>	ΔE calculado	
1	62,9741	0,8825	2,3924	2,5527	69,5434	14,7401	61,8837	0,2851	3,1851	3,1986	84,8616	2,2423	Diferença de cor não visível
2	63,9835	0,7501	2,2044	2,3314	70,8534	16,0925	62,7063	0,2196	2,8591	2,8681	85,6217	5,6947	Diferença de cor visível
3	70,1621	1,0341	5,0828	5,1879	78,5010	4,8011	69,8868	0,6099	5,9817	6,0130	84,1709	3,7180	Diferença de cor não visível
4	67,6796	0,9784	5,0178	5,1147	78,8282	4,2040	65,8238	0,5479	5,5203	5,5476	84,3171	3,5428	Diferença de cor não visível
5	76,6891	9,7656	-0,5302	9,7839	356,9078	13,3627	75,4777	8,4142	0,2516	8,4354	145,8898	53,3912	Diferença de cor visível
6	78,7419	9,0847	-0,3448	9,1034	214,1244	10,2099	79,5565	7,1389	0,3906	7,1688	75,2976	51,7077	Diferença de cor visível
7	54,8218	1,0815	2,7097	2,9653	65,7902	15,0356	54,4904	0,4289	3,6003	3,6291	82,9163	3,8740	Diferença de cor não visível
8	69,5288	0,6230	2,2570	3,3014	115,3928	16,0855	60,9949	0,3275	4,1991	4,2120	85,5289	3,4059	Diferença de cor não visível
9	70,2205	0,9623	5,7628	5,8430	80,5024	4,4447	69,6085	0,5564	6,1523	6,1781	84,8195	3,6371	Diferença de cor não visível
10	64,6558	1,1238	5,2502	5,3737	77,7592	9,3785	63,1505	0,7755	6,2240	6,2734	82,9549	3,9455	Diferença de cor não visível
11	69,2637	9,4535	1,5567	9,6757	82,6679	10,3331	70,1281	8,0043	2,2401	8,5154	90,3453	50,8288	Diferença de cor visível
12	75,2674	7,8967	2,6916	8,3606	19,1732	8,8013	76,0252	5,8041	3,3615	6,7392	30,7256	57,8280	Diferença de cor visível
13	64,2724	0,7787	4,2825	4,3551	79,6109	14,4809	63,8086	0,3612	4,6702	4,6844	85,5648	5,5332	Diferença de cor visível
14	70,0773	0,6330	5,4144	5,4516	83,3361	10,4248	68,7515	0,2424	5,7664	5,7716	87,6097	4,8871	Diferença de cor não visível
15	74,4846	0,7932	6,5657	6,6137	83,1245	5,1367	77,4676	0,4143	6,8125	6,8255	86,5261	5,6851	Diferença de cor visível
16	72,7647	0,9101	7,2830	7,3465	82,9078	5,3447	74,5680	0,4653	7,3442	7,3603	86,4708	4,0568	Diferença de cor não visível
17	74,5384	10,3252	-0,1047	10,3433	215,7429	12,8128	75,9393	8,1671	0,8748	8,2400	6,5502	58,7652	Diferença de cor visível
18	76,8914	10,3084	2,1631	10,5776	12,3804	11,8452	77,8676	8,2754	2,5721	8,7330	18,0107	56,4731	Diferença de cor visível
19	60,0690	0,6398	2,0955	2,1959	72,3707	15,0698	58,6961	0,1581	2,6144	2,6204	86,4572	3,4764	Diferença de cor não visível
20	54,3792	0,7320	1,5148	1,6972	62,7002	17,7306	52,6907	0,1022	2,0663	2,0692	86,9734	4,8789	Diferença de cor não visível
21	69,7944	0,7231	3,8066	3,8780	79,4478	5,7986	71,1715	0,3723	4,2107	4,2290	85,1126	4,4537	Diferença de cor não visível
22	69,8194	0,7904	4,3323	4,4040	79,6371	4,2215	68,2267	0,4896	4,4383	4,4666	83,6878	3,0829	Diferença de cor não visível
23	76,5229	3,8859	2,4908	4,6664	33,2675	4,8323	75,8510	2,1938	2,9626	3,7410	53,5470	54,9181	Diferença de cor visível
24	72,3971	5,7924	1,5920	6,1050	18,3075	6,9039	72,8305	4,0630	2,7306	5,0853	39,0659	57,8385	Diferença de cor visível
25	60,9245	0,6321	2,9984	3,0677	77,9879	16,5984	61,0779	0,3133	3,2144	3,2302	84,5347	5,8370	Diferença de cor visível
26	54,0563	0,7119	2,1246	2,2471	70,3569	22,3758	53,7105	0,2613	2,5370	2,5508	83,9598	5,3843	Diferença de cor visível
27	70,4812	0,7896	5,1322	5,1951	81,2580	5,8553	71,1323	0,5506	5,1798	5,2091	83,9324	6,3723	Diferença de cor visível
28	67,3613	0,8111	5,0123	5,0800	80,7809	7,0501	67,0553	0,6109	5,5941	5,6290	83,7541	7,3690	Diferença de cor visível
29	75,4755	4,4594	2,3958	5,0788	28,5734	5,3739	75,0418	2,5376	3,0623	3,9853	50,4089	57,9218	Diferença de cor visível
30	72,9641	7,7051	0,3594	7,8355	150,8736	9,0994	72,1515	6,2223	2,0325	6,7179	24,2388	49,7833	Diferença de cor visível
31	61,7767	0,6117	3,5590	3,6154	79,9225	16,7703	60,4697	0,3240	3,6098	3,6248	84,8105	4,9838	Diferença de cor não visível
32	57,3214	0,6020	3,1836	3,2755	76,3310	21,0853	56,1948	0,2817	3,3171	3,3295	85,0985	5,3737	Diferença de cor visível
33	75,8412	0,7487	7,4444	7,4837	84,2407	4,6593	75,5490	0,5322	7,3316	7,3518	85,8352	4,9123	Diferença de cor não visível
34	74,5237	0,8002	7,1202	7,1675	83,7319	6,1269	73,9603	0,5660	6,9178	6,9421	85,4525	5,0715	Diferença de cor visível
35	81,5038	4,0666	2,6121	4,8637	32,7897	5,3978	82,3117	2,6814	3,0980	4,1189	48,9961	52,6916	Diferença de cor visível
36	77,8616	6,6582	1,3716	6,8741	13,7583	8,4000	76,4601	5,7871	2,3070	6,4219	27,9899	53,2233	Diferença de cor visível
37	52,4598	0,5063	1,9924	2,0605	75,0490	21,9172	51,4918	0,1642	2,0952	2,1021	85,6773	6,5268	Diferença de cor visível
38	53,7864	0,5743	1,9965	2,0800	73,8992	24,3346	53,7644	0,2834	2,3359	2,3572	83,3637	6,0473	Diferença de cor visível
39	64,8322	0,7627	4,3005	4,3686	79,8542	9,3230	66,0898	0,5136	4,4820	4,5123	83,4462	2,3942	Diferença de cor não visível
40	68,0230	0,8129	5,1298	5,1964	81,1956	8,1586	70,0988	0,5467	5,0873	5,1183	83,9988	3,4750	Diferença de cor não visível
41	73,2291	4,4086	2,4225	5,0460	28,9070	5,3756	73,4460	2,6242	3,1268	4,0930	49,6882	53,0637	Diferença de cor visível
42	75,7405	6,5860	2,1142	6,9323	18,3988	7,2528	75,8388	3,6103	2,9615	4,6923	39,8868	48,3820	Diferença de cor visível
43	54,3856	0,4933	2,1047	2,1703	75,7915	22,6656	54,0067	0,2561	2,4870	2,5021	83,7199	8,4874	Diferença de cor visível
44	56,7005	0,5015	2,4617	2,5157	78,0739	20,2147	55,3555	0,2571	2,7164	2,7296	84,4775	4,8867	Diferença de cor não visível
45	69,1883	0,7067	5,1555	5,2048	82,2124	7,2556	68,2849	0,5600	5,0498	5,0812	83,6877	2,7070	Diferença de cor não visível
46	70,7983	0,8551	5,9556	6,0169	81,8873	6,8365	70,5966	0,7125	5,9611	6,0045	83,1689	3,0848	Diferença de cor não visível
47	75,1791	5,0212	2,4654	5,6071	26,0600	5,7184	74,9251	3,2585	2,9863	4,4286	42,4287	53,0804	Diferença de cor visível
48	75,2734	7,9611	1,5769	8,1604	12,1257	8,5886	73,8722	5,1207	2,5291	5,7676	27,6410	49,9883	Diferença de cor visível
49	58,4079	0,3722	2,7316	2,7581	82,2928	21,0191	58,8500	0,1682	3,1311	3,1370	87,0392	5,8815	Diferença de cor visível
50	55,7368	0,4181	2,5452	2,5855	79,8231	22,2432	56,2175	0,1878	3,0492	3,0560	86,4471	5,7435	Diferença de cor visível
51	72,0338	0,8556	7,3755	7,4256	83,2851	8,8487	73,5569	0,6096	7,3871	7,4123	85,2865	3,1713	Diferença de cor não visível
52	74,7114	0,5124	5,8896	5,9141	85,1342	4,4644	74,8588	0,3770	5,8980	5,9118	86,4691	3,1138	Diferença de cor não visível
53	79,9939	5,2205	1,9165	5,6602	21,6413	6,5799	80,9708	3,5080	2,7551	4,5179	38,2566	45,9967	Diferença de cor visível
54	74,2302	8,6960	-0,7348	8,7357	283,2817	10,8505	74,7008	6,6104	0,7776	6,6738	7,1886	47,9634	Diferença de cor visível

Fonte: elaborado pela autora.