

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

**Argamassa autolimpante para revestimento de fachadas: o
efeito das propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio
(TiO₂)**

Gabriela Cortes Austria

Orientadoras: Angela Borges Masuero e
Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Porto Alegre
2015

GABRIELA CORTES AUSTRIA

**ARGAMASSA AUTOLIMPANTE PARA REVESTIMENTO DE
FACHADAS: O EFEITO DAS PROPRIEDADES
FOTOCATALÍTICAS DO DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO₂)**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção de
título de Mestre em Engenharia na modalidade Acadêmico.

Porto Alegre
2015

Ficha Catalográfica

A938a Austria, Gabriela Cortes

Argamassa autolimpante para revestimento de fachadas : o efeito das propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio (TiO₂) / Gabriela Cortes
Austria. – 2015.

173 f. : il. color.

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

Orientadoras: Angela Borges Masuero e Denise Carpena Coitinho Dal Molin.

1. Argamassa autolimpante. 2. Dióxido de titânio. 3. Propriedades fotocatalíticas. I. Masuero, Angela Borges, orient. II. Dal Molin, Denise Carpena Coitinho, orient. III. Título.

CDU: 691.53(043)

GABRIELA CORTES AUSTRIA

**ARGAMASSA AUTOLIMPANTE PARA REVESTIMENTO DE
FACHADAS: O EFEITO DAS PROPRIEDADES
FOTOCATALÍTICAS DO DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO₂)**

Porto Alegre, 16 de julho de 2015

Prof.^a Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Dra. pela USP
Orientadora

Prof.^a. Angela Borges Masuero
Dra. pela UFRGS
Orientadora

Prof. Dr. Carlos Torres Formoso
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ana Paula Kirchheim (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Celso Camilo Moro (UFRGS)
Dr. pela Universidad Nacional del Sur - Argentina

Prof. Hélio Adão Greven (UFRGS)
Dr. pela Universidade Hannover - Alemanha

Dedico este trabalho àqueles que contribuíram para a minha formação social e profissional, meus pais. E àqueles que acreditaram em mim, na minha capacidade, esforço e dedicação para concluir esta etapa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à CAPES e ao CNPq, que auxiliaram financeiramente para que eu pudesse me dedicar totalmente à esta pesquisa.

Aos meus pais, Carlos e Zelinda, que me apoiaram e se orgulharam quando fui selecionada para ingressar no mestrado em Engenharia Civil na UFRGS. À minha irmã, Lucinha, e ao meu irmão, Leonardo, que também me auxiliaram quando necessário.

À Siscobrás, por fornecer o material utilizado nesta pesquisa.

À CIENTEC e ao Ricardo Girardi, que disponibilizaram o espaço físico para expor parte dos experimentos e realizar as leituras necessárias por, pelo menos, quatro meses.

Às minhas orientadoras, Denise Dal Molin e Angela Masuero, pelo apoio, pela orientação, pelo conhecimento transmitido, as quais encararam o desafio de trabalhar com um tema tão inovador junto comigo. Ao professor Greven, por instigar a ideia de trabalhar com o dióxido de titânio (TiO_2), o qual já sabia da inovação e singularidade envolvidas. Ao professor Celso, que auxiliou na área da química do material utilizado.

À minha querida e paciente bolsista, Jéssica, que se empenhou e não mediu esforços para estar junto comigo nestas descobertas, além de questionar e discutir algumas questões para solucioná-las da melhor forma possível.

A todos àqueles que estiveram envolvidos no conserto da câmara de intemperismo artificial, a qual não foi possível utilizar nesta pesquisa. Ao Fábio, que em um sábado se prontificou a arrumar toda a parte elétrica da câmara. Ao bolsista Cláudio, que se esforçou para que, nos últimos dias, ainda houvesse um resquício de esperança de ela ser utilizada.

À Fernanda, que não só é uma companheira de casa, mas uma grande amiga, sendo a primeira a saber da minha intenção de ingresso no mestrado, à qual me incentivou desde o início e acompanhou toda a minha caminhada, desde as primeiras matérias até a conclusão da dissertação.

Um agradecimento especial à minha querida turma do NORIE, que ingressou comigo e que se tornou mais que uma turma: Ariane, Ana Paula, Natália, Márlon, Maria Fernanda, Rafaela, Anilé, Camila. E a turma do gerenciamento, Rodrigo, Rafaela e Gabriela.

À Ariane, por todo o apoio e discussão sobre resultados e pelos devaneios e dúvidas profissionais. À Ana Paula, pelo apoio mútuo nas primeiras aulas lecionadas de ambas. À

Natália, por todo o auxílio sobre os ensaios, além das caronas incansáveis e as pizzas maravilhosas de sábado à noite. Ao Márton, que pacientemente, auxiliou muito nesta longa caminhada, com toda a sua experiência e competência. À Maria Fernanda, pelas críticas sempre sinceras e coerentes em relação ao trabalho. À Camila, que, pela relação dos nossos temas, teve um papel fundamental no apoio e nas dúvidas. Ao Rodrigo, que se tornou um grande amigo, pela parceria fora dos momentos de estudos.

Ao pessoal da salinha de materiais, em especial à Carina, que sempre nos deu o seu apoio quando algo parecia estar totalmente errado pensando em algumas soluções; e à Silvia, que se tornou grande amiga e companheira em boa fase do mestrado.

Ao pessoal do laboratório, Airton, Gilmar e Demétrius, que auxiliaram – e muito – na parte experimental desta pesquisa. Aos demais bolsistas, que sempre estavam dispostos a ajudar quando se faziam presentes no laboratório.

Agradeço, enfim, a todas as pessoas que, de alguma forma, estiveram envolvidas nesta pesquisa.

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

José de Alencar

RESUMO

AUSTRIA, G. C. **Argamassa autolimpante para revestimento de fachadas: o efeito das propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio (TiO₂)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2015.

As fachadas das edificações, ao longo de sua vida útil, sofrem degradação devido a ataques de agentes químicos e à deposição de partículas na sua superfície. Como consequências, há perdas no desempenho de seus materiais e a desfiguração estética das fachadas por meio de manchas, implicando em ações de reparo que envolvem custos elevados. Os produtos atualmente disponíveis no mercado brasileiro com objetivo de evitar o manchamento de fachadas têm baixa eficiência, sendo que os principais deles adotam a técnica do pós-tratamento com hidrofugantes, os quais geralmente alteram a coloração do substrato e podem ser a origem de novas patologias. Usufruindo de novas tecnologias, o dióxido de titânio (TiO₂) apresenta-se como material nanométrico amplamente estudado na área científica, sendo potencialmente utilizado como fotocatalisador. O presente trabalho verificou a possibilidade de obtenção de superfícies autolimpantes a partir da adição de TiO₂ em revestimentos de argamassa branca. Estas, a partir de propriedades fotocatalíticas do TiO₂ podem ser tornar autolimpantes sob ação da radiação solar (UV) e da chuva. Foram confeccionadas argamassas de traço 1:2 e 1:3, com adições de 0%, 5% e 10% de TiO₂ em relação à massa de cimento, com consistência fixa. As amostras foram aspergidas com diferentes agentes manchantes: azul de metileno, particulado de poluição, produto de corrosão, pichação; e sem manchamento (referência). Após, estas amostras foram expostas nas condições ambientais da cidade de Porto Alegre. Ao longo de 84 dias, foram realizadas leituras com espectrofotômetro portátil para avaliar o efeito autolimpante. Também foram verificadas as propriedades físico-mecânicas das argamassas. Os resultados apontaram que argamassas com adição de TiO₂ necessitaram maior quantidade de água, apresentaram maior densidade no estado fresco e menor teor de ar incorporado. Ainda, a resistência à compressão foi elevada para o traço mais rico (1:2) e mantida constante para o traço pobre (1:3). Além disso, se mostraram mais claras/brancas quanto maior a porcentagem de adição. O efeito autolimpante pode ser percebido mais facilmente na mancha de azul de metileno, porém, a limpeza ocorreu tanto em argamassas com adição de TiO₂, quanto em argamassas sem a adição. Em manchas que geraram uma película sobre a placa, o efeito autolimpante foi dificultado.

Palavras-chave: argamassa autolimpante, dióxido de titânio (TiO₂), propriedades fotocatalíticas, manchas, fachadas.

ABSTRACT

AUSTRIA, G. C. **Self-cleaning mortar to covering of facades: the effect of the photocatalytic properties of the titanium dioxide (TiO₂)**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2015.

The facades of buildings, during their lifespan, suffer degradation due to attacks of chemical agents and due to deposition of particles on their surface. As consequences, there are losses on the performance of their materials and aesthetics disfiguration of the facades by stains, implying repairing actions involving high costs. The products available nowadays on the brasilian market with the purpose to avoid the staining of the facades have low efficiency, and the main products between them adopt the technique of post-treatment with hydrophobing, which generally modify the colour of the substrate and which can originate new pathologies. Taking advantage of new technologies, the titanium dioxide (TiO₂) appears as a nanometric material widely studied in the scientific area, being potentially used as photocatalyser. The present work has verified the possibility of obtention of self-cleaning surfaces after addition of TiO₂ in white mortar coverings. Those, from photocatalyser properties of the TiO₂ can become self-cleaning under the action of solar radiation (UV) and rain. There were prepared mortars of trace 1:2 and 1:3, with additions of 0%, 5% and 10% of TiO₂ in relation of the cement weight, with steady consistency. The samples were sprinkled with different staining agents: methylene blue, pollution particulates, corrosion product, graffiti; and without stains (reference). After that, these samples were exposed to the ambiental conditions of the city of Porto Alegre. Through 84 days, scannings were made with portable spectrophotometer to evaluate the self-cleaning effect. The physical-mechanical properties of the mortars were also verified. The results point out that mortars with addition of TiO₂ required a bigger amount of water, they presented bigger density in the fresh state and smaller contents of incorporated air. Besides, the compression resistance was high to the richest trace (1:2) and remained constant to the poor trace (1:3). Moreover, they have showed themselves more clear/white as bigger was the percentage of addition. The self-cleaning effect can be more easily noticed on the methylene blue stain, however, the cleaning occurred both in mortars with addition of TiO₂ and in mortars without the addition. In stains which generate a film above the plate, the self-cleaning effect was hampered.

Key-words: self-cleaning, mortar, titanium dioxide (TiO₂), photocatalysis.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	17
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	19
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	20
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL	23
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	24
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	24
2 MANCHAMENTO EM FACHADAS	25
2.1 DESEMPENHO E MANUTENÇÃO DE FACHADAS	25
2.2 TIPOS DE MANCHAS: AGENTES E MECANISMOS	31
2.3 REDUÇÃO DE MANCHAS: ALGUMAS TÉCNICAS EXISTENTES	35
2.3.1 Hidrofugação.....	37
2.3.2 Fotocatálise.....	40
3 DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO ₂).....	45
3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS	45
3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E MECÂNICAS	46
3.2.1 Processos oxidativos avançados (POAs): fotocatalise heterogênea.....	49
3.3 APLICAÇÕES GERAIS E EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	53
3.4 DISPONIBILIDADE E CUSTO	55
4 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	57
4.1 PROJETO EXPERIMENTAL	57
4.1.1 Variáveis de resposta	58
4.1.2 Fatores controláveis.....	59
4.1.3 Fatores não controláveis.....	61
4.1.4 Fatores constantes	61
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS.....	62

4.2.1	Cimento Portland Branco Estrutural	62
4.2.2	Agregado miúdo.....	63
4.2.3	Água.....	64
4.2.4	Dióxido de titânio (TiO ₂).....	64
4.3	MÉTODOS DE MOLDAGEM E CONSUMO DE MATERIAIS	67
4.3.1	Dosagem de materiais e produção das argamassas.....	67
4.3.2	Moldagem e cura dos corpos-de-prova e placas.....	70
4.4	MÉTODOS DE ENSAIO	72
4.4.1	Ensaio no estado fresco.....	72
4.4.1.1	Índice de consistência	72
4.4.1.2	Densidade de massa e teor de ar incorporado	72
4.4.2	Ensaio no estado endurecido.....	73
4.4.2.1	Densidade de massa aparente no estado endurecido.....	73
4.4.2.2	Módulo de elasticidade dinâmico	73
4.4.2.3	Absorção de água por capilaridade.....	74
4.4.2.4	Resistência à tração na flexão e à compressão axial	74
4.4.2.5	Manchamento e exposição das placas	74
4.4.2.6	Caracterização colorimétrica e resistência ao manchamento	76
5	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	80
5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	80
5.1.1	Índice de consistência.....	80
5.1.2	Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	82
5.2	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	85
5.2.1	Densidade de massa aparente	85
5.2.2	Módulo de elasticidade dinâmico.....	88
5.2.3	Absorção de água por capilaridade	92
5.2.4	Resistência à compressão axial	95
5.2.5	Resistência à tração na flexão.....	99

5.3	CARACTERIZAÇÃO COLORIMÉTRICA DAS ARGAMASSAS E RESISTÊNCIA AO MANCHAMENTO.....	102
5.3.1	Sem manchamento: referência.....	103
5.3.2	Manchamento: azul de metileno.....	110
5.3.3	Manchamento: particulado de poluição.....	116
5.3.4	Manchamento: produto de corrosão.....	121
5.3.5	Manchamento: pichação.....	126
5.3.6	Análise comparativa de resultados da autolimpeza.....	131
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	134
6.1	CONCLUSÕES.....	134
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	136
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138
	ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	144
	APÊNDICE A.....	152
	APÊNDICE B.....	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – ações de manutenção que influenciam no desempenho de uma edificação durante sua vida útil (adaptado de ABNT, 2013).....	26
Figura 2 – manutenção corretiva: custo relativo da intervenção X tempo (CHAVES, 2009).	29
Figura 3 – condições de conservação das edificações em área central de Porto Alegre/RS (LERSCH, 2003).....	29
Figura 4 – nível de comprometimento apresentado pelas edificações conforme as manifestações patológicas observadas em área central de Porto Alegre/RS (OLIVEIRA, 2013).....	30
Figura 5 – diferentes manifestações patológicas encontradas nas fachadas das edificações em área central de Porto Alegre/RS (OLIVEIRA, 2013).....	34
Figura 6 – exemplos de manchamentos em revestimentos argamassados observados em área central de Porto Alegre/RS: (a) manchas na área superior do edifício e abaixo do detalhe central; (b) manchas escuras no prédio do fundo (OLIVEIRA, 2013).....	35
Figura 7 – tipos de revestimentos encontrados nas fachadas das edificações em área central de Porto Alegre/RS (OLIVEIRA, 2013).....	36
Figura 8 – ângulo de contato com a superfície: (a) superfície sem hidrofugante, ângulo de contato menor que 90°; (b) superfície com hidrofugante, ângulo de contato maior que 90° (KUS, 2002).....	37
Figura 9 – tipos de hidrofugantes: (a) altera a tensão superficial; (b) bloqueia os poros; (c) forma película (KUS, 2002).....	38
Figura 10 – profundidade de penetração do hidrofugante. O detalhe mostra que nem todos os poros são tratados, as moléculas grandes do hidrofugante podem entupir os poros (MOLLER, 2003).....	39
Figura 11 – (a) efeito da despoluição do ar; (b) efeito da autolimpeza (adaptado de PICADA PROJECT, S/D).....	41
Figura 12 – resistência ao manchamento em argamassa comprada pronta para o uso. Manchas com azul de metileno e anilina vermelha (MARANHÃO, 2009).	43
Figura 13 – ensaios de limpeza espontânea de manchamento de azul de metileno: inicial e após a exposição à radiação UV (MARANHÃO, 2009).	44
Figura 14 – estruturas cristalinas de (a) anatásio, (b) rutilo, e (c) bruquita (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).....	47
Figura 15 – dimensões de partículas de TiO ₂ a partir de MET: (a) partícula de TiO ₂ para aplicação em pigmentos e (b) partícula de TiO ₂ nanométrica para aplicação em processos fotocatalíticos (ALLEN et al., 2008).	48

Figura 16 – Esquema do processo da fotocatalise heterogênea, onde BV é a banda de valência e BC é a banda de condução (MARANHÃO, 2009).	50
Figura 17 – esquema que representa a energia de bandgap nos materiais (a) condutores, (b) semicondutores e (c) isolantes (MARANHÃO, 2009).	51
Figura 18 – (a) o CO ₂ como produto de reação de decomposição de poluentes; (b) a lâmina de água provocada pela super-hidrofilicidade do semiconductor, lavando os produtos das reações de decomposição (Adaptado de FUJISHIMA et al., 2008).	53
Figura 19 – (a) gotículas de água; (b) lâmina de água formada devido à superfície ser super-hidrofílica (FUJISHIMA, 1999 <i>apud</i> PARAMÉS, 2008).	54
Figura 20 – Igreja <i>Dives in Misericordia</i> , em Roma. Estrutura em concreto branco aparente com utilização do cimento com TiO ₂ na composição: (a) foto logo após a conclusão, em 2003 (fonte: http://www.arcvision.org/wp-content/uploads/2003/10/chiesa-dives-in-misericordia-2.jpg); (b) foto no ano de 2014 (fonte: google street view).	55
Figura 22 – Etapas de processo do projeto experimental.	58
Figura 23 – matriz experimental que foi adotada na pesquisa.	59
Figura 24 – composição mineralógica do TiO ₂ obtida a partir de análise por Difração de Raios X (DRX).	66
Figura 25 – Análise microestrutural do TiO ₂ a partir do MEV – elétrons secundários. Aumento: (a) x1000; (b) x5000; (c) x10000; (d) x20000.	67
Figura 26 – argamassadeira com capacidade para 40 litros sendo utilizada para a mistura das argamassas.	69
Figura 27 – (a) pó de TiO ₂ ; (b) pó de TiO ₂ em suspensão na água, antes de ser adicionado à mistura da argamassa.	69
Figura 28 – (a) grelha utilizada para subdividir as placas de argamassa; (b) colocação da grelha na fôrma com argamassa no estado fresco.	71
Figura 29 – para cada tipo de argamassa, foram executadas seis placas pequenas extras, em caso de perdas.	71
Figura 30 – (a) corpos-de-prova prismáticos nos moldes; (b) corpos-de-prova e placas desmoldados, prontos para serem levados para cura imersa.	72
Figura 31 – (a) borrifadores e spray com os agentes de manchamentos utilizados nas placas; (b) aspecto visual das placas com aplicação das manchas.	75
Figura 32 – (a) estrutura metálica existente utilizada para exposição ao intemperismo natural das placas de argamassa; (b) placas manchadas apoiadas sobre cantoneiras.	76
Figura 33 – representação do sólido de cor do espaço L*a*b* (adaptado de MINOLTA, 1998 <i>apud</i> PASSUELO, 2004).	77
Figura 34 – (a) espectrofotômetro portátil utilizado para realizar as leituras de cor; (b) gabarito com aberturas equidistantes utilizado sobre as placas.	78

Figura 35 – relação entre água/cimento e porcentagem de TiO_2 para cada um dos traços utilizados nas argamassas.	81
Figura 36 – densidade de massa no estado fresco das argamassas confeccionadas.	83
Figura 37 – teor de ar incorporado das argamassas confeccionadas.	84
Figura 38 – densidade de massa aparente média das argamassas aos 28 dias de idade. ...	86
Figura 39 – (a) efeito isolado do traço da argamassa em relação à densidade de massa aparente; (b) efeito isolado do teor de adição do TiO_2 em relação à densidade de massa aparente.	87
Figura 40 – módulo de elasticidade dinâmico médio das argamassas aos 28 dias de idade.	89
Figura 41 – (a) efeito isolado do traço da argamassa em relação ao módulo de elasticidade dinâmico; (b) efeito isolado da porcentagem de adição do TiO_2 em relação ao módulo de elasticidade dinâmico.	90
Figura 42 – efeito da interação entre o traço e adição de TiO_2 em relação ao módulo de elasticidade dinâmico; (a) Módulo de elasticidade dinâmico (GPa) x traço; (b) Módulo de elasticidade dinâmico (GPa) x TiO_2	91
Figura 43 – absorção de água por capilaridade média aos 10 min e aos 90 min das argamassas.	93
Figura 44 – coeficientes de capilaridade das argamassas confeccionadas.	93
Figura 45 – (a) efeito isolado do traço da argamassa em relação ao coeficiente de capilaridade; (b) efeito isolado da porcentagem de adição do TiO_2 em relação ao coeficiente de capilaridade.	94
Figura 46 – resistência à compressão axial média das argamassas aos 28 dias de idade. .	95
Figura 47 – (a) efeito isolado do traço da argamassa em relação à resistência à compressão axial; (b) efeito isolado da porcentagem de adição do TiO_2 em relação à resistência à compressão axial.	96
Figura 48 – efeito da interação entre o traço e adição de TiO_2 em relação à resistência à compressão axial: (a) Resistência à compressão axial x traço; (b) Resistência à compressão axial x TiO_2	97
Figura 49 – resistência à tração na flexão média das argamassas aos 28 dias de idade. .	100
Figura 50 – (a) efeito isolado do traço da argamassa em relação à resistência à tração na flexão; (b) efeito isolado da porcentagem de adição do TiO_2 em relação à resistência à tração na flexão.	101
Figura 51 – efeito da interação entre o traço e adição de TiO_2 em relação à resistência à tração na flexão: (a) Resistência à tração na flexão x traço; (b) Resistência à tração na flexão x TiO_2	101

Figura 52 – resistência de coloração das argamassas de referência ao longo do tempo: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.....	104
Figura 53 – comparação de coloração de corpos de prova de traço 1:3 sem adição de TiO ₂ (acima) e com 10% de adição de TiO ₂ (abaixo).	105
Figura 54 – médias das coordenadas colorimétricas L*a*b* nas placas de referência: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.....	106
Figura 55 – análise de variância das argamassas de referência em relação à luminosidade (coordenada L*) na leitura 0.	107
Figura 56 – médias das variações de cor (ΔE) nas placas de referência: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.	109
Figura 57 – resistência ao manchamento de azul de metileno ao longo do tempo: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.	111
Figura 58 – médias das coordenadas colorimétricas L*a*b* de azul de metileno nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.	113
Figura 59 – médias das variações de cor (ΔE) de azul de metileno nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.....	115
Figura 60 – resistência ao manchamento de particulado de poluição ao longo do tempo: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.....	117
Figura 61 – médias das coordenadas colorimétricas L*a*b* de particulado de poluição nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.	119
Figura 62 – médias das variações de cor (ΔE) de particulado de poluição nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.....	121
Figura 63 – resistência ao manchamento de produto de corrosão ao longo do tempo: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.....	122
Figura 64 – médias das coordenadas colorimétricas L*a*b* do produto de corrosão nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.	124
Figura 65 – médias das variações de cor (ΔE) do produto de corrosão nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.	126
Figura 66 – resistência ao manchamento de pichação ao longo do tempo: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.	127
Figura 67 – médias das coordenadas colorimétricas L*a*b* de pichação nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.	129
Figura 68 – médias das variações de cor (ΔE) de pichação nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – degradação em edificações históricas de Porto Alegre - relação total das ocorrências verificadas (LERSCH, 2003).	33
Tabela 2 – caracterização física do cimento Portland branco estrutural utilizado.....	62
Tabela 3 – caracterização química do cimento Portland branco estrutural utilizado, obtida através de FRX.	63
Tabela 4 – composição granulométrica e caracterização física do agregado miúdo utilizado.	64
Tabela 5 – caracterização física do TiO_2 utilizado.....	65
Tabela 6 – composição química do TiO_2 utilizado, obtida através de FRX.	65
Tabela 7 – denominação das argamassas conforme traço e porcentagem de adição de TiO_2	68
Tabela 8 – consumo de materiais utilizados para a moldagem e relação água/cimento das argamassas.	68
Tabela 9 – métodos de ensaios no estado fresco realizados para caracterizar as argamassas.	72
Tabela 10 – métodos de ensaios no estado endurecido realizados para caracterizar as argamassas.	73
Tabela 11 – comparação de valores de diferenças de cor de acordo com a percepção do olho humano (adaptado de Petter e Gliese, 2004 <i>apud</i> Fioretti, 2010).	78
Tabela 12 – índice de consistência médio das argamassas confeccionadas.	81
Tabela 13 – densidade de massa no estado fresco das argamassas confeccionadas.....	82
Tabela 14 – teor de ar incorporado das argamassas confeccionadas.	83
Tabela 15 – densidade de massa aparente média das argamassas aos 28 dias de idade. .	85
Tabela 16 – análise de variância das densidades de massa aparente no estado endurecido das argamassas.	86
Tabela 17 – distribuição de Fischer para os resultados de densidade de massa aparente das argamassas.	88
Tabela 18 – módulo de elasticidade dinâmico médio das argamassas aos 28 dias de idade.	88
Tabela 19 – análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.	89
Tabela 20 – distribuição de Fischer para os resultados de módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.	91
Tabela 21 – absorção de água por capilaridade média e coeficiente de capilaridade das argamassas confeccionadas.	92

Tabela 22 – análise de variância do coeficiente de capilaridade das argamassas.	94
Tabela 23 – resistência à compressão axial média das argamassas aos 28 dias de idade.	95
Tabela 24 – análise de variância da resistência à compressão axial das argamassas.	96
Tabela 25 – distribuição de Fischer para os resultados de resistência à compressão axial das argamassas.	98
Tabela 26 – resistência à tração na flexão média das argamassas aos 28 dias de idade....	99
Tabela 27 – análise de variância da resistência à tração na flexão das argamassas.	100
Tabela 28 – distribuição de Fischer para os resultados de resistência à tração na flexão das argamassas.	102
Tabela 29 – análise de variância da coordenada L* para a leitura inicial das argamassas de referência.	107
Tabela 30 – distribuição de Fischer para os resultados de luminosidade (coordenada L*) nas argamassas de referência.	108
Tabela 31 – tabela geral dos resultados obtidos com esta pesquisa.	134

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a/c: relação água/cimento

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

CIENTEC: Fundação de Ciência e Tecnologia

DMAE: Departamento Municipal de Água e Esgotos

DRX: Difração de Raios X

FRX: Fluorescência de Raios X

LACER: Laboratório de Materiais Cerâmicos

LAMTAC: Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído

PPGEC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

NORIE: Núcleo Orientado para Inovação na Edificação

TiO₂: Dióxido de titânio

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As fachadas das edificações podem ser consideradas elementos limitadores do espaço externo em relação ao espaço interno e, portanto, têm um papel preponderante na configuração do espaço e das paisagens urbanas (PETRUCCI, 2000). Para o homem, existe uma grande necessidade de estabelecer limites e fronteiras, não só pela função de proteção, mas também pela formação da ideia de realidade, pois um espaço só existe se for quantificável (ROCHA, 2005). O exterior de um edifício determina o seu aspecto visual e permite, assim, a expressão da sua funcionalidade. Além disso, a fachada de uma edificação é a parede de um espaço exterior e define, portanto, parte do espaço no qual está inserido. A partir de então, o entorno urbano se torna importante, sendo definido pela arquitetura que o rodeia (CARRIÓ, 1985).

Considera-se fachada cada uma das faces do edifício, limitada de aresta a aresta. É um elemento envoltório com determinada espessura, composto por uma ou mais camadas (LEÃO, 2011). Algumas fachadas, até mesmo aquelas com pouco tempo de uso, podem exibir suas aparências desfiguradas, conforme é possível constatar principalmente em cidades com grandes centros urbanos (PETRUCCI, 2000).

As vedações das edificações, que limitam o espaço urbano, estão expostas diretamente aos agentes de degradação e, portanto, vão sendo deterioradas ao longo da vida útil. A degradação se inicia a partir do momento em que o edifício está inserido no ambiente construído e depende de diversos fatores: a localização da edificação, o ambiente e condições climáticas em que a mesma está inserida, a orientação solar, os métodos construtivos e os materiais utilizados na edificação.

Esta deterioração física acarreta em queda no desempenho das fachadas, e muitas vezes o comportamento do invólucro do edifício situa-se abaixo dos níveis mínimos exigidos para cumprirem suas funções. O comprometimento dos revestimentos das edificações pode causar não somente danos à própria edificação, mas também coloca em risco a segurança de pedestres e veículos que transitam neste espaço.

Dentre as manifestações patológicas recorrentes em fachadas, as manchas são as primeiras a serem percebidas, pois alteram os padrões estéticos do edifício (FLORES, 2002). Estas são facilmente percebidas por observadores que prezam pela conservação da imagem no contexto urbano, sendo este parte de seu ambiente vital (PETRUCCI, 2000). As

manchas são causadas principalmente pela deposição de poluentes atmosféricos, e pela proliferação de microrganismos, que normalmente dependem da presença de água na sua forma líquida para se proliferar (MARANHÃO, 2009).

Como resultado, as manchas nas fachadas acarretam prejuízos para os usuários da edificação e para a sociedade, uma vez que desvalorizam o ambiente construído no contexto urbano e são necessários constantes reparos, os quais envolvem custos elevados. A limpeza, independente do material de revestimento das fachadas, é um dos itens essenciais para a conservação do desempenho esperado em uma edificação. Porém, sabe-se que são poucos os responsáveis que se conscientizam e se comprometem com a limpeza e manutenção periódicas das vedações externas das edificações.

Os produtos apresentados no mercado brasileiro com objetivo de evitar o manchamento de fachadas têm baixa eficiência (MARANHÃO, 2009), sendo que os principais deles adotam a técnica do pós-tratamento com hidrofugantes. Isto adiciona uma etapa no processo de produção dos elementos, muitas vezes altera a coloração das fachadas e pode até ser a origem de novos problemas nas edificações. Além disso, os hidrofugantes exigem manutenções, pois perdem a sua função com o passar do tempo.

Poucos estudos científicos foram realizados no Brasil com o objetivo de reduzir as manchas em fachadas. A pesquisa de maior relevância encontrada desenvolveu um método baseado na modificação de propriedades superficiais de materiais de construção silicosos e pororos, com a sobreposição de uma camada hidrofóbica e outra hidrofílica (MARANHÃO, 2009). As demais pesquisas avaliam apenas a alteração da aparência das fachadas de edifícios devido a diferentes mecanismos de degradação (LERSCH, 2003) ou discutem sobre a implantação de leis de inspeção de elementos de fachada (PETRUCCI, 2000). Portanto, esta é uma lacuna de conhecimento encontrada na comunidade científica, e considera-se essencial aprimorar o requisito de resistência ao manchamento em fachadas, melhorando o seu desempenho técnico e estético.

Para que as edificações alcancem os objetivos estéticos que a sua funcionalidade necessita, tanto nos espaços interiores como no entorno, deve-se usufruir da tecnologia e da capacidade criativa disponível, além de utilizar as técnicas adequadas para que os sistemas e materiais construtivos respondam às intenções do projeto (CARRIÓ, 1985). A nível internacional, alguns países apresentam estudos avançados usufruindo da nanotecnologia e de materiais que possuem propriedades autolimpantes devido a algumas características específicas, como é exemplo do dióxido de titânio (TiO_2).

O TiO_2 é um dos materiais nanométricos atualmente estudados na área científica e que tem atraído grande interesse pela sua aplicação em diferentes áreas. É um material com alto índice de refração e se destaca com suas propriedades fotoelétricas e fotoquímicas (BRANDÃO, 2008). Sua aplicação pode ser observada em diferentes ramos da indústria atualmente, principalmente como pigmento branco em tintas, protetores solares, pomadas, entre outros. Na construção, é aplicado em matrizes cimentícias e pesquisado na utilização em revestimentos de argamassa, além da aplicação em tintas, sendo empregado como um eficiente fotocatalisador. A fotocatalise é um processo eletroquímico com capacidade de reduzir ou oxidar substâncias orgânicas e inorgânicas (MARANHÃO, 2009), e normalmente, para este tipo de processo, são utilizados óxidos semicondutores¹.

Internacionalmente, importantes pesquisas foram iniciadas com a descoberta do TiO_2 , nas quais Akira Fujishima e sua equipe investigam as propriedades fotocatalíticas do material desde o final de 1960, iniciando com a conversão da energia solar em fotoeletroquímica, passando pelas características hidrofílicas até as superfícies autolimpantes e antiembaçantes (FUJISHIMA; RAO; TRYK, 2000). Recentemente, algumas pesquisas analisam a introdução de nanopartículas em materiais de construção com objetivo de torná-los autolimpantes (PARAMÉS, 2008). Outros estudos investigam a aplicação do material em apenas uma camada superficial da argamassa para verificar as suas propriedades autolimpantes, além de suas propriedades super-hidrofílicas e fotocatalíticas (DIAMANTI, 2008). Ainda, há investigações com foco na oxidação de poluentes atmosféricos (NO_x) a partir da implementação do TiO_2 em materiais cimentícios (FOLLI et al., 2012 e CASSAR, 2004).

No Brasil, o uso do TiO_2 ainda é investigado como uma nova tecnologia para materiais cimentícios, portanto as pesquisas ainda se encontram em estágios iniciais. Os poucos estudos encontrados utilizam o TiO_2 com a finalidade de realizar a fotodegradação de óxidos de nitrogênio (NO_x), com o intuito de reduzir a poluição ambiental, introduzindo o material em argamassas (CASAGRANDE, 2012) ou em peças pré-moldadas de concreto utilizadas para pavimentação (MELO, 2011). Entre os estudos brasileiros, com foco na redução de manchas e de autolimpeza a partir da utilização de TiO_2 , foi encontrado o de Maranhão (2009), o qual aplica uma camada superficial no material a ser utilizado em fachadas.

Como consequência deste interesse recente, há uma carência na bibliografia acadêmica brasileira relacionada ao assunto. Além disso, ainda são pouco conhecidas as propriedades

¹ Óxidos semicondutores possuem uma camada de valência incompleta e uma camada condutora separadas por uma *bandgap* tal que é compatível com a energia fornecida pela radiação solar na faixa de UV necessária (MARANHÃO, 2009).

e características de desempenho dos materiais que são produzidos com o uso de TiO_2 . A partir de então, sabendo-se que o TiO_2 atua como excelente fotocatalisador e é eficaz para a obtenção de alguns tipos de superfícies autolimpantes, manifesta-se a hipótese de que o material possa ser introduzido em argamassas, com o objetivo de reduzir manchas em revestimentos de fachadas. Deste modo, retardando a velocidade com que as superfícies das edificações ficam sujas ou manchadas, elimina-se a necessidade de realizar limpezas tão frequentes, reduzindo os custos envolvidos e suscitando um ambiente urbano mais agradável.

Neste contexto, torna-se necessário examinar se a proposta de uso para o TiO_2 é realmente eficaz. É preciso averiguar a qualidade dos materiais desenvolvidos com o TiO_2 , garantir que o mesmo mantenha as suas propriedades ao longo de sua vida útil e verificar a sua viabilidade, para que este produto possa ser inserido no mercado construtivo com credibilidade. Diante do cenário exposto e da ausência de maiores estudos brasileiros relacionados ao tema, é justificada a necessidade e importância desta pesquisa.

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

O principal objetivo deste trabalho é a obtenção de superfícies autolimpantes a partir da adição de dióxido de titânio (TiO_2) em revestimentos de argamassa branca.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da pesquisa consistem em:

- a) avaliar a influência da adição de TiO_2 nas propriedades e características das argamassas no estado fresco: demanda de água (relação a/c), densidade de massa e teor de ar incorporado;
- b) avaliar a influência da adição de TiO_2 nas propriedades e características das argamassas no estado endurecido: resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade dinâmico, densidade de massa aparente e absorção de água por capilaridade;
- c) analisar a influência de diferentes teores de adição de TiO_2 na cor (luminosidade) de argamassas com cimento branco;
- d) analisar a influência de diferentes teores de adição de TiO_2 na eficácia da autolimpeza e na resistência ao manchamento utilizando diferentes agentes, após exposição das argamassas ao intemperismo natural;

1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa conta com uma parceria firmada junto a uma empresa de sistemas construtivos de Ivoti/RS, a qual está viabilizando este estudo com a doação dos principais materiais para a confecção das argamassas de cimento branco (TiO_2 , agregado miúdo e cimento branco). Ainda, busca-se uma aplicação para o principal material em questão, o TiO_2 . Para que esta pesquisa fosse executada no tempo estipulado, julgou-se necessário delimitar alguns fatores:

- a) foi utilizado somente um tipo de TiO_2 (de granulometria e área superficial fixos), um tipo de agregado miúdo e um tipo de cimento branco;
- b) a exposição natural dos corpos-de-prova está limitada à localização de Porto Alegre/RS, restringido às suas condições climáticas e ambientais;
- c) as diferentes técnicas e métodos existentes para a redução de manchas em fachadas são inúmeras e não esgotam o assunto, vão desde a alteração de métodos construtivos e seus detalhes, até as tintas impermeabilizantes para os materiais. Entretanto, apenas as duas mais relevantes foram apresentadas, sendo a fotocatalise a mais bem explicitada por ser utilizada nessa pesquisa;
- d) não foi avaliada a durabilidade do revestimento, visto que seria necessário um período maior de ensaios e observação dos corpos-de-prova para uma avaliação adequada.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos e a seguir serão apresentadas as descrições dos mesmos com os conteúdos respectivos.

O capítulo 1, **Introdução**, apresenta o tema de forma abrangente, no qual é realizada uma contextualização do assunto, expondo a importância e a justificativa para o desenvolvimento desta pesquisa. Ainda, são discutidos o objetivo geral e os objetivos específicos, as delimitações da pesquisa e a estrutura da mesma.

O capítulo 2, **Manchamento em fachadas**, expõe sobre o desempenho requerido para as fachadas das edificações e os motivos da problemática da manutenção na atualidade. Posteriormente, são expostos os tipos de manchas mais comumente encontrados em Porto Alegre/RS, e os agentes e mecanismos que causam estes manchamentos. Em seguida, são

expostas algumas técnicas já existentes que são utilizadas com o intuito de reduzir as manchas em fachadas.

O capítulo 3, **Dióxido de titânio (TiO₂)**, explicita de forma breve o histórico do principal material desta pesquisa, bem como as suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Ainda, descreve sobre a fotocatalise heterogênea, uma das propriedades vinculadas ao TiO₂, a qual pertence aos processos oxidativos avançados. Também, são expostas algumas das aplicações gerais do TiO₂ e suas aplicações na construção civil. Posteriormente, faz-se uma breve apresentação do seu custo e a atual disponibilidade no mundo.

O capítulo 4, **Programa experimental**, é composto pelo projeto experimental desta pesquisa, bem como expõe os materiais que foram empregados, os métodos de moldagem e consumo de materiais, e os métodos de ensaios que foram utilizados.

O capítulo 5, **Análise e discussão de resultados**, apresenta uma análise geral dos resultados obtidos e discute o que se conquistou com a pesquisa, com base em uma análise estatística e qualitativa.

O capítulo 6, **Considerações finais**, expõe os resultados alcançados a partir das conclusões. Ainda, são fornecidas sugestões para trabalhos futuros.

2 MANCHAMENTO EM FACHADAS

2.1 DESEMPENHO E MANUTENÇÃO DE FACHADAS

As fachadas são compostas por elementos do sistema estrutural e do sistema de vedação, que, em conjunto, formam o envelope protetor da edificação. O revestimento externo, e as propriedades que o suportam, são responsáveis por essa função de proteção. Ainda, os elementos que compõem as fachadas, muitas vezes descritos como meramente decorativos, auxiliam além da função de revestimento, como também garantem a durabilidade do mesmo. O correto desempenho do sistema das fachadas será garantido por todo este conjunto (OLIVEIRA, 2013).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013), que aborda sobre o desempenho das edificações habitacionais, define desempenho como o “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”. As especificações de desempenho são definidas pela mesma norma como um “conjunto de requisitos e critérios de desempenho estabelecidos para a edificação ou

seus sistemas”, e, além disso, “são uma expressão das funções requeridas da edificação ou de seus sistemas e que correspondem a um uso claramente definido”.

Ainda, a mesma norma define a vida útil como sendo o período de tempo compreendido entre o início do uso de um produto e o momento em que o seu desempenho deixa de atender os requisitos mínimos do usuário. Em relação à edificação, a vida útil de projeto de um edifício e dos seus sistemas deve respeitar os valores teóricos apresentados na referida NBR 15575-1 (ABNT, 2013), a qual estabelece uma vida útil para o sistema de vedação vertical externa, por exemplo, de pelo menos 40 anos.

De acordo com a figura 1, é possível verificar o desempenho das edificações em relação ao tempo. Nota-se que, ao serem executadas manutenções periódicas, há um acréscimo na vida útil da edificação, garantindo o seu desempenho ao longo do tempo. Há um desempenho requerido, dito o mínimo que deve ser garantido, e a partir do momento em que este se encontra abaixo do nível, é necessário realizar grandes reparos e até reforços para que a edificação ainda consiga cumprir minimamente as suas funções.

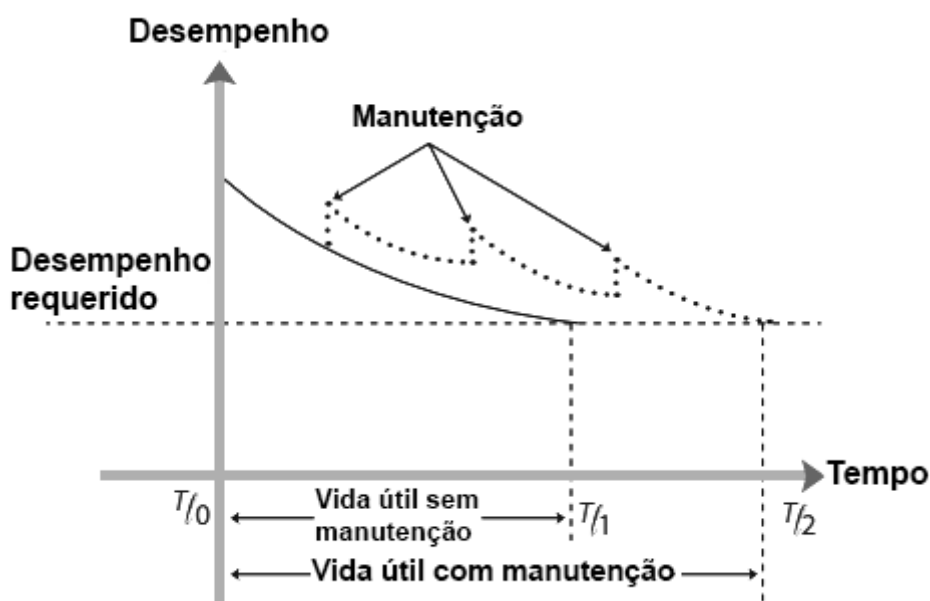


Figura 1 – ações de manutenção que influenciam no desempenho de uma edificação durante sua vida útil (adaptado de ABNT, 2013).

Ainda de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), os requisitos de desempenho são “condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender aos requisitos dos usuários”. Os sistemas são uma parte funcional do edifício e, portanto, são destinados a atender uma

macrofunção, que é aquela que o define. As fachadas fazem parte de um sistema maior, que pode ser definido como o sistema das vedações verticais.

Em uma edificação, a envolvente exterior é componente fundamental em relação a sua funcionalidade e, portanto, os revestimentos da fachada possuem um papel funcional e bem definido, denominado por proteção, acabamento final e complemento das vedações. A função de proteção está integrada às exigências de durabilidade dos elementos estruturais, protegendo os elementos de vedação e elementos estruturais dos agentes agressivos exteriores, evitando uma ação direta sobre os mesmos (CHAVES, 2009).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) define os requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (fachadas). Estes se referem a: desempenho estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e na operação, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, durabilidade e manutenibilidade, saúde, conforto antropodinâmico e adequação ambiental.

Em relação à durabilidade e à manutenibilidade, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) exige como requisito a vida útil de projeto, e estabelece que as vedações verticais externas e internas devem manter a capacidade funcional e as suas características estéticas, de forma compatível ao envelhecimento natural dos materiais durante a vida útil do projeto. Ainda, sobre a manutenibilidade, a norma estabelece que os sistemas de vedações devem manter a capacidade funcional durante a vida útil, desde que submetidos às intervenções periódicas de manutenção especificadas.

De acordo com a NBR 5674 (ABNT, 1999), que aborda a manutenção de edificações, a mesma é definida como um “conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários”. Segundo a mesma norma, as necessidades dos usuários são as exigências de segurança, saúde, conforto, adequação ao uso e economia, as quais devem ser atendidas minimamente para o cumprimento das atividades previstas em projeto.

Sabe-se que as edificações estão sujeitas a agressões extrínsecas e intrínsecas ao longo da sua vida útil. A manutenção de um edifício auxilia a que este permaneça em condições íntegras de uso e habitabilidade, atendendo aos requisitos funcionais para o qual foi projetado, assim como permite que sejam conservados seus valores históricos e estéticos diante de várias gerações. A manutenção preventiva evita ou retarda, na medida do possível, que problemas como manchas, desgastes e falhas dos materiais ocorram na edificação ou até mesmo evitam que sejam necessários extensos trabalhos de restauração.

A partir de rotinas de inspeção periódicas nas edificações, é possível detectar os possíveis pontos de problemas, realizar um diagnóstico e averiguar qual é o procedimento adequado a ser seguido. Segundo a NBR 5674 (ABNT, 1999), “todos os serviços de manutenção devem ser definidos em planos de curto, médio, e longo prazos”. Ou seja, ao contrário do que se pensa como senso comum, a manutenção deve ser um plano executado também em períodos de extensão menores. De acordo com a NBR 14037 (ABNT, 1998), as etapas consecutivas à construção da edificação (operação, uso e manutenção) estão intimamente ligadas aos objetivos do processo de produção e à qualidade da edificação, e por isso têm assumido ampla importância na gerência do processo.

É necessário que existam preocupações com a manutenção e reabilitação dos edifícios ao longo de sua vida útil, e as fachadas são um componente importante de cuidado, pois estão mais expostas aos mecanismos de degradação e, ainda, são os elementos mais visíveis da construção. Pela complexidade, a reabilitação das fachadas das construções implica em uma componente técnica interdisciplinar e especializada importante, que passa pelo estabelecimento de políticas públicas e normas regulamentares que visem o incentivo à reabilitação do edificado (CHAVES, 2009).

Porém, a manutenção das edificações não é uma realidade da tradição brasileira, e ainda se opta por recorrer à restauração diante da conservação preventiva e manutenção. Conceitos como o de “conhecer muito para intervir pouco” e o de “prevenir para não intervir” ainda são pouco disseminados e muitas vezes ignorados pela atual cultura (INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL, 2001). Atualmente, constata-se a cada dia mais, que os projetos de conservação estão dissociados de ações periódicas e contínuas de gestão e de manutenção das edificações (TINOCO, 2014). Isto porque, muitas vezes, necessita-se de mão de obra especializada, além do uso de equipamentos, ferramentas e materiais adequados, que geralmente estão relacionados a uma despesa elevada. Entretanto, intervenções posteriores à degradação geralmente são muito mais onerosas.

Este fato pode ser confirmado ao observar-se a figura 2, que relaciona o custo relativo da intervenção e o tempo (que, no caso, significa a fase de projeto da edificação) em que essa intervenção é realizada. Se as decisões relativas ao prolongamento da vida útil forem definidas na fase de projeto, estas terão um custo reduzido. Por outro lado, se estas decisões não estiverem previstas em projeto e forem colocadas em prática somente em fase de execução, elas custarão cinco vezes mais para se alcançar o mesmo tempo de vida útil (CHAVES, 2009).

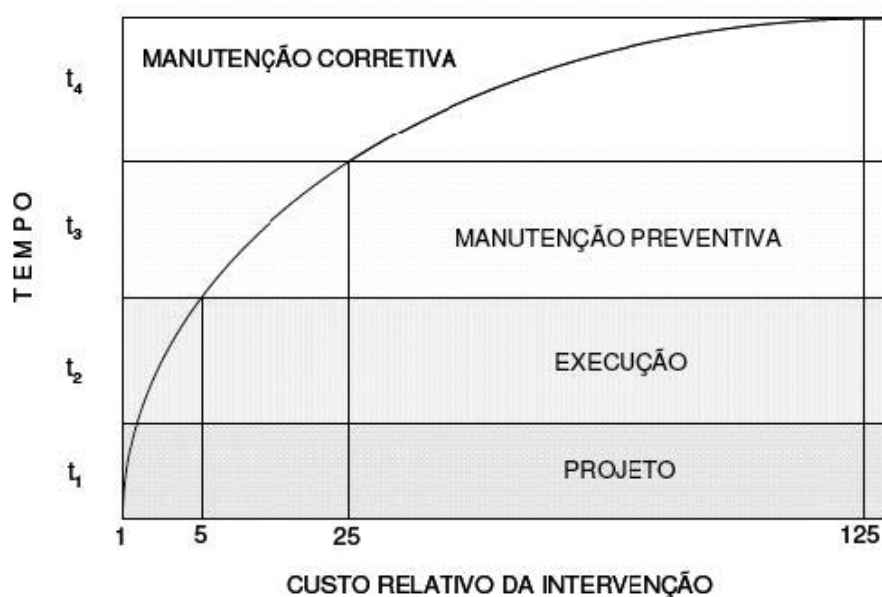


Figura 2 – manutenção corretiva: custo relativo da intervenção X tempo (CHAVES, 2009).

De acordo com uma pesquisa realizada por Lersch (2003), na cidade de Porto Alegre/RS, sobre as condições de conservação em edificações históricas de patrimônio cultural, 32% das edificações apresentaram registro de danos por falta de manutenção, de acordo com a figura 3. Apresentaram conservação preventiva 58% das edificações, e 10% já se encontravam em situação de abandono. Foram analisadas 52 edificações no total, sendo a maioria localizada em área central da cidade, no denominado Centro Histórico.

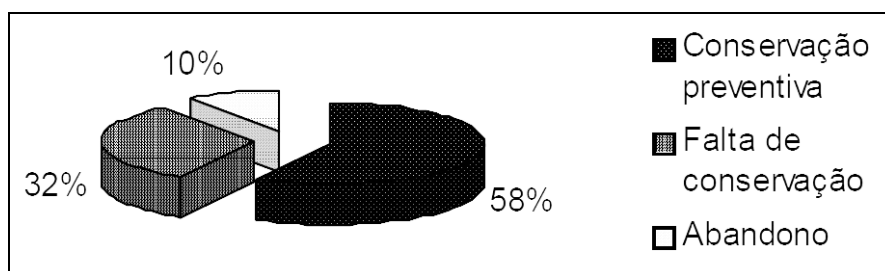


Figura 3 – condições de conservação das edificações em área central de Porto Alegre/RS (LERSCH, 2003).

Dez anos depois, outra pesquisa foi realizada na cidade de Porto Alegre/RS, por Oliveira (2013), a qual avaliou o estado de conservação das fachadas de 135 edificações em área central da cidade, indiferente do tipo de uso das edificações (comercial, residencial, mista, religiosa) e considerando vários tipos de revestimentos. De acordo com a autora, a maioria das edificações apresentou níveis de comprometimento médios ou altos, conforme as

manifestações patológicas apresentadas (manchamentos, descolamentos, desgaste de pintura, fissuras). A figura 4 demonstra os resultados coletados em números totais.

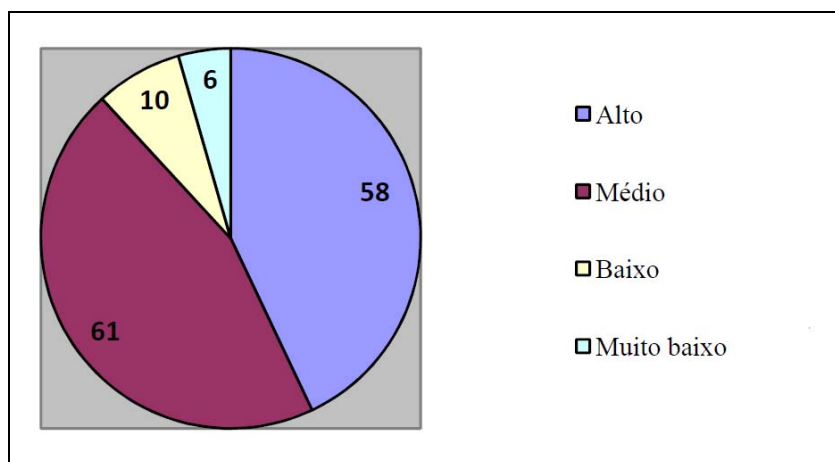


Figura 4 – nível de comprometimento apresentado pelas edificações conforme as manifestações patológicas observadas em área central de Porto Alegre/RS (OLIVEIRA, 2013).

Do número total de edificações, 43% (58 edificações) apresentaram nível alto de comprometimento, o que na pesquisa representa a necessidade de solicitar a avaliação de um profissional da área da construção, pois a edificação estaria apresentando sinais de deterioração. Ainda, 45% (61 edificações) apresentaram nível médio de deterioração, o que indicaria uma necessidade de procedimentos de manutenção prontamente nos próximos anos. No nível de comprometimento baixo, 7% (10 edificações) indicavam que os elementos das fachadas apenas necessitariam de manutenções de limpeza ou pintura, alguns procedimentos básicos para que as fachadas continuassem apresentando o desempenho adequado. E apenas 4% (6 edificações) apresentaram nível de comprometimento muito baixo, as quais indicam ausência de manifestações patológicas, segundo a autora, e que provavelmente receberam um procedimento de manutenção recente, já que não havia edificações novas no perímetro analisado.

Estes levantamentos, realizados na cidade de Porto Alegre/RS em períodos distintos, corroboram a importância da manutenção em fachadas, visto que existe uma falta de conservação e um alto nível de comprometimento das edificações em presença significativa, conforme os números já apresentados. Assim, os processos de transformação causados pela ação conjunta de agentes incidentes sobre a edificação e pela consequente falta de manutenção fazem com que o elemento construído se aproxime do estado limite da sua utilização, ocasionando a perda de desempenho e a degradação do edifício.

2.2 TIPOS DE MANCHAS: AGENTES E MECANISMOS

As manchas estão entre um dos problemas mais frequentes relacionados às manifestações patológicas das fachadas das edificações. É de grande necessidade analisar os tipos de manchas que ocorrem nas fachadas e investigar quais são os seus agentes e mecanismos, para assim realizar um diagnóstico correto destas manifestações patológicas e buscar a solução para cada caso.

De acordo com Vallejo² (1990 *apud* PETRUCCI, 2000), o manchamento de fachadas pode ser descrito como:

(...) uma alteração formal e, com frequência, material da fachada de um edifício, cuja consequência é a aparição, em um curto espaço de tempo, de uma imagem desagradável acompanhada, em maior ou menor medida, por uma deterioração física do material de revestimento. Dita imagem não desejada está produzida por uma pátina marcada e irregular de sujeira progressivamente acumulada em toda a superfície da fachada. Marcada, pelo contraste forte de cor com o material de suporte; irregular, pelas diferenças de intensidade de acumulação de partículas, derivadas da própria morfologia da fachada, e pelas zonas de limpeza e lavado que produzem os agentes meteorológicos.

Os principais agentes de manchamento de fachadas podem ser divididos em dois: fatores extrínsecos e fatores intrínsecos. Os fatores extrínsecos são os agentes climáticos (fatores independentes das características das fachadas) como o vento, a precipitação pluviométrica, a radiação solar, a temperatura, a umidade relativa do ar e contaminantes atmosféricos (as partículas poluentes). Os fatores intrínsecos são determinados pela característica das fachadas, como a geometria e a qualidade dos materiais das mesmas (POYASTRO, 2010).

A combinação de contaminantes do ar com o vento e a chuva, e a interação destes com os materiais das fachadas, a geometria e os seus detalhes, acaba por determinar mudanças visuais e a alteração estética dos edifícios, podendo modificar a intenção inicial do projetista. As modificações da aparência dos edifícios podem ser através de dois fenômenos que têm certa interação. O primeiro é devido ao ataque químico na camada da superfície, já o segundo, devido à deposição de partículas sólidas na superfície. O último é responsável pela manifestação patológica de manchamento das superfícies das fachadas, com aderência das partículas (PETRUCCI, 2000).

A deposição de partículas sólidas na superfície é um fator relevante que modifica a aparência das fachadas. Podem ser divididas em quatro as fontes das quais estas partículas

² VALLEJO, F. J. L. **Ensuciamiento de fachadas por contaminación atmosférica**; análisis y prevención. Valladolid: Universidad, Secretariado de Publicaciones, 1990.

podem se originar: do interior do próprio material construtivo; dos materiais de construção próximos ou vizinhos às fachadas; de microorganismos; do meio ambiente (atividades humanas ou fontes naturais) (PETRUCCI, 2000).

Ainda, quando a deposição de partículas sólidas provém do meio ambiente, pode-se dizer que os poluentes atmosféricos e a fuligem são os principais responsáveis pelos manchamentos, e provocam manchas de causa quase imediata. Estes geralmente são compostos por pequenos resíduos e seus efeitos nas fachadas dependem da concentração dos mesmos e do tamanho das partículas, juntamente com a ação do vento e da chuva. Em grandes centros urbanos são encontradas maiores concentrações de poluição atmosférica se comparados a cidades de menor escala.

Com relação ao fator extrínseco da temperatura, esta é determinante para o desenvolvimento das manchas e depósitos nas fachadas, pois favorece o aumento da pressão e saturação do ar e o conseqüente risco de condensação, o qual contribui para o aumento do número de partículas que podem ser aderidas na superfície da fachada. A umidade relativa elevada do ar também favorece a deposição de partículas (CHAVES, 2009).

Ainda, pode ocorrer o mecanismo de manchamento através do transporte de substâncias providas do interior do próprio material, caracterizada por um fator intrínseco, e que se manifesta no exterior através de fenômenos de umidade e evaporação. Os manchamentos mais conhecidos são as eflorescências (depósitos de sais na superfície) e os produtos de corrosão das armaduras (carregados pela água até a superfície). Muitas vezes, a origem do problema está no princípio, na concepção do próprio projeto, onde foram definidos e escolhidos os materiais componentes. A especificação errônea de materiais, a qualidade daqueles que são utilizados na execução do projeto e a relação entre os mesmos são fatores interferentes.

O mecanismo da biodeterioração (popularmente conhecido como mofo) está relacionado à presença de fungos, bactérias e algas e necessita da presença de água para se proliferar. As sujidades causadas por organismos vivos ou de origem biológica se apresentam em zonas abrigadas e não laváveis pela água da chuva (CHAVES, 2009).

Além das características dos materiais, também influenciam na ação dos manchamentos a geometria das fachadas, a forma e seus relevos. A forma de cada fachada influencia no modo de incidência do vento, que ao encontrar obstáculos, modifica sua trajetória, modifica a distribuição das linhas de fluxo, que geram pressão e sucção sobre as fachadas. Por um

lado permite o transporte de partículas e sua deposição nas fachadas e por outro, exerce uma ação de limpeza (CHAVES, 2009).

A arquitetura moderna trouxe alguns problemas relativos a isto, visto que os detalhes arquitetônicos não são mais frequentemente utilizados como antigamente, e mesmo que indiretamente, de alguma forma estes preveniam o escoamento da chuva e de poluentes atmosféricos (POYASTRO, 2010). Por outro lado, os relevos existentes nas fachadas antigas como cornijas, ornamentos, juntas, entre outros, formavam descontinuidades e poderiam constituir em fontes de acumulação de sujidades e de água proveniente da chuva (CHAVES, 2009).

No levantamento de dados de Lersch (2003), na cidade de Porto Alegre/RS, a respeito dos fatores de degradação das edificações em área central, estão como principais responsáveis os aspectos relacionados ao clima e ao ambiente, à biodeterioração e à ação do homem. O clima e o ambiente foram apontados como fatores predominantes, pois praticamente a metade dos danos (53%) ocorreu devido a estes fatores. A biodeterioração ocorreu em 20% das edificações analisadas e a ação do homem em 26%. A incidência de fenômenos da natureza pode ser considerada desprezível sobre a degradação, totalizando 0,5% na análise. A tabela 1 apresenta as ocorrências verificadas.

Tabela 1 – degradação em edificações históricas de Porto Alegre - relação total das ocorrências verificadas (LERSCH, 2003).

Partes da edificação	Clima e ambiente		Agentes biológicos		Fenômenos da natureza		Ação do homem		Total	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Estrutura	84	27%	13	11%	1	33%	20	13%	118	20%
Cobertura	36	12%	22	18%	2	66%	29	19%	89	15%
Esquadrias	22	7%	22	18%	-	-	27	18%	71	12%
Elementos Autônomos	54	17%	19	16%	-	-	28	18%	101	17%
Revestimento	114	37%	45	37%	-	-	48	32%	207	36%
Total	310	53%	121	20,5%	3	0,5%	152	26%	586	100%

A poluição atmosférica, o ambiente em que a edificação está inserida, as condições climáticas e microclimas formados são alguns dos efeitos do clima e do ambiente que auxiliam para o início dos primeiros sinais da deterioração das edificações. A falta de conservação e as alterações indevidas nas edificações são as principais causas apontadas como de responsabilidade da ação do homem. Os danos relacionados à ação do homem, para Lersch (2003), significam aqueles desgastes devido ao uso, à falta de conservação preventiva, às intervenções indevidas da edificação, ao desenvolvimento urbano, além dos atos de vandalismo (como exemplo disso tem-se a pichação).

No estudo de Oliveira (2013), foram verificadas as manifestações patológicas mais frequentes nos revestimentos das fachadas das 135 edificações observadas em Porto Alegre/RS. Percebeu-se que a manifestação patológica mais recorrente foi o manchamento por percolação de água, item que englobava as eflorescências, contemplando 101 edificações das 135 averiguadas. E o manchamento devido à sujidade estava presente em 11 fachadas. Outras manifestações patológicas também foram encontradas, porém, o foco do presente estudo está relacionado aos manchamentos. Os números totais da pesquisa podem ser observados na figura 5.

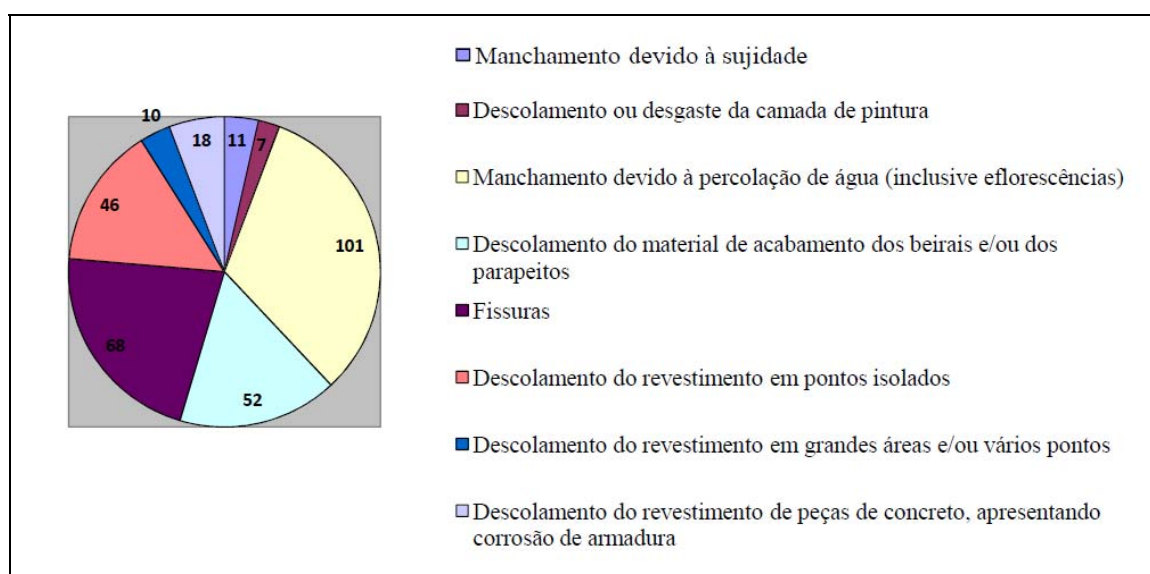


Figura 5 – diferentes manifestações patológicas encontradas nas fachadas das edificações em área central de Porto Alegre/RS (OLIVEIRA, 2013).

A pesquisa recente comprova que a maioria das edificações situadas em área central de Porto Alegre/RS sofre com a manifestação patológica dos manchamentos nas fachadas, seja ele por percolação de água (em maior número) ou pela deposição de sujidades.

Exemplos destes manchamentos em fachadas da área central da cidade podem ser visualizados na figura 6.

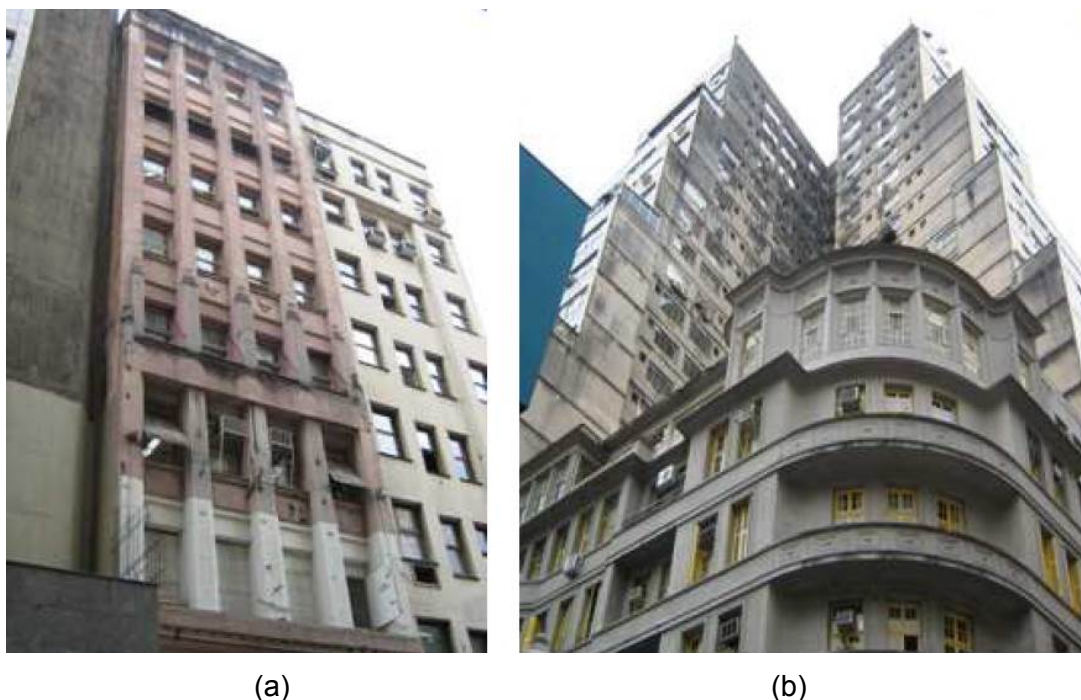


Figura 6 – exemplos de manchamentos em revestimentos argamassados observados em área central de Porto Alegre/RS: (a) manchas na área superior do edifício e abaixo do detalhe central; (b) manchas escuras no prédio do fundo (OLIVEIRA, 2013).

Estes exemplos de manchamentos ocorreram por adesão de partículas contaminantes, pó e fuligem, ou ainda por micro-organismos, ocasionando o recobrimento do revestimento. Os números da pesquisa, bem como as imagens, confirmam que o manchamento é uma das manifestações patológicas mais recorrentes nas fachadas das edificações na área central da cidade de Porto Alegre/RS atualmente.

2.3 REDUÇÃO DE MANCHAS: ALGUMAS TÉCNICAS EXISTENTES

Sabe-se que o uso da argamassa como revestimento externo é bastante comum no Brasil em edifícios ditos convencionais: estrutura de concreto armado e vedação em alvenaria de tijolos ou blocos cerâmicos (BRITTEZ, 2007). No estudo de Oliveira (2013), antes de averiguar o estado de conservação das fachadas das edificações da área central de Porto Alegre/RS, foram verificados os tipos de revestimentos mais utilizados nas mesmas. Observou-se que o revestimento argamassado estava presente em 66% das fachadas verificadas, representando a grande maioria. O revestimento cerâmico, segundo material mais encontrado, abrangia 13% das edificações. Com porcentagens menores estavam os

revestimentos pétreo (8%), pétreo/argamassado (7%), pétreo/cerâmico (5%) e outros – composto por chapas metálicas (1%). Os números totais encontrados pela autora estão representados pela figura 7.

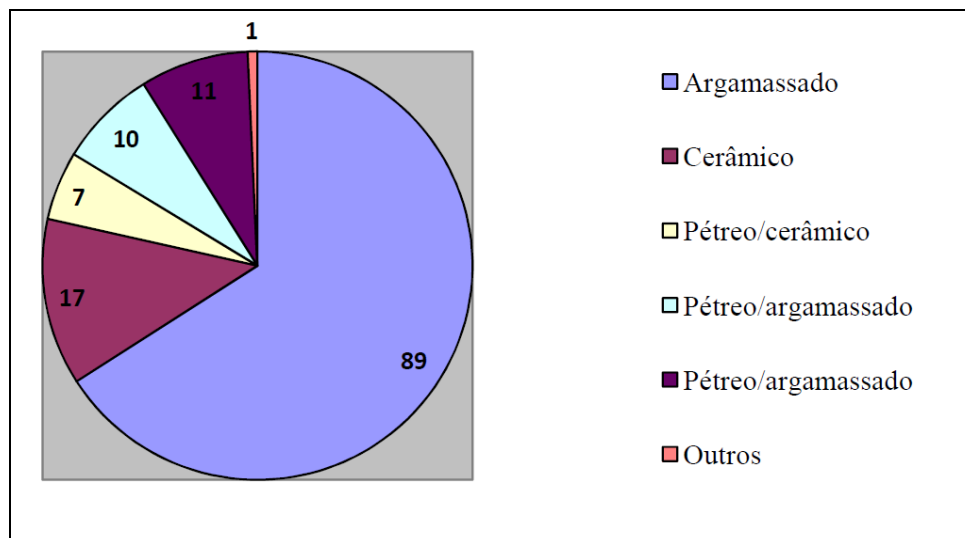


Figura 7 – tipos de revestimentos encontrados nas fachadas das edificações em área central de Porto Alegre/RS (OLIVEIRA, 2013).

O revestimento de argamassa no Brasil, tradicionalmente, é executado em duas camadas (emboço e reboco), sobre uma camada de preparo da base, chamada de chapisco, e o acabamento final é o próprio reboco ou a pintura (BRITZ, 2007). Estes acabamentos finais têm um papel fundamental, pois realizam a função de acabamento estético além da proteção do revestimento das fachadas. Porém, o revestimento argamassado, por ser um material com elevada porosidade, permite grande número de manifestações patológicas.

Atualmente, diferentes métodos estão sendo desenvolvidos para evitar o manchamento nas fachadas das edificações, como exemplo, tem-se a alteração de métodos construtivos e seus detalhes que modificam o fluxo das águas, utilização de materiais impermeabilizantes, alteração da emissividade dos materiais, uso de biocidas nas tintas e argamassas (MARANHÃO, 2009). Para esta pesquisa foram abordadas apenas aquelas consideradas de maior relevância para revestimentos de argamassa, que é o foco desta pesquisa: a hidrofugação e a fotocatalise. Cabe ainda ressaltar que não são abordadas aqui as técnicas existentes para a limpeza de manchas após elas já terem ocorrido, apenas técnicas que evitam ou que se propõem a impedir o aparecimento das mesmas.

2.3.1 Hidrofugação

A hidrofugação é uma técnica fundamentada no princípio de minimizar ou até impedir a ação da água. É a técnica mais antiga e conhecida para proteger os materiais utilizados em vedações externas (MARANHÃO, 2009). Os hidrofugantes também são denominados por alguns autores como hidrorrepelentes ou de superfície. O princípio de funcionamento baseia-se em penetrar na porosidade do substrato e modificar as características de absorção capilar pela mudança do ângulo de contato entre a parede do capilar e a superfície da água. A partir de então, ocorre a modificação da tensão superficial dos materiais (FIORETTI, 2010).

Os produtos hidrofugantes mais conhecidos são os siliconatos, silanos, siloxanos (estes são à base de silicone), estearatos, fluorcarbonos (LU; ZHOU; ZHANG, 2004). Estes formam um ângulo de contato com a água maior do que 90° (KUS, 2002). Existem ainda os super-hidrofugantes, que possuem um ângulo de contato com a água superior a 140° , sendo baseados no princípio da folha de lótus (rugosidade superficial nanométrica) e são revestidos por um material hidrofugante (YAN et al., 2003). A figura 8 representa os ângulos de contato da água com uma superfície sem e com hidrofugante.

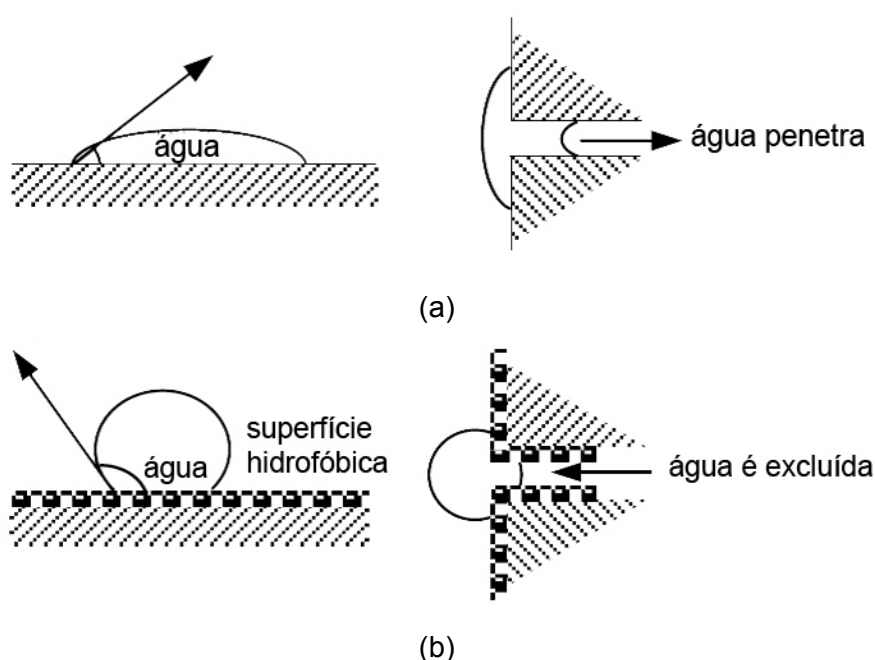


Figura 8 – ângulo de contato com a superfície: (a) superfície sem hidrofugante, ângulo de contato menor que 90° ; (b) superfície com hidrofugante, ângulo de contato maior que 90° (KUS, 2002).

Existem alguns tipos de hidrofugantes de acordo com as maneiras como estes evitam a penetração da água: (a) os que alteram a tensão superficial dos poros; (b) os que bloqueiam

os poros; (c) e os que formam uma película (KUS, 2002). A figura 9 representa as três classificações descritas.

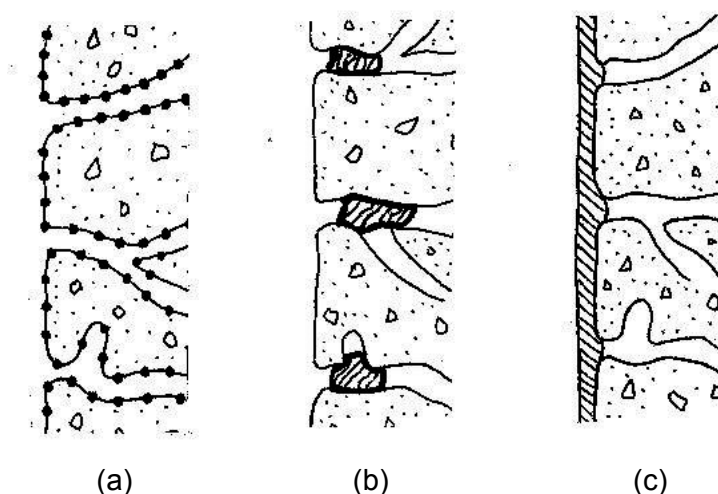


Figura 9 – tipos de hidrofugantes: (a) altera a tensão superficial; (b) bloqueia os poros; (c) forma película (KUS, 2002).

O tipo (a) age penetrando no substrato e reagindo com o material, fazendo com que as paredes dos poros fiquem revestidas com moléculas repelentes à água. Os poros não estão totalmente bloqueados, o que permite passar vapor de água e outros gases. Como exemplos, podem ser citados os silanos, siloxanos e compostos de silicone (KUS, 2002).

O tipo (b) penetra no substrato e obstrui os poros. Assim, a água é repelida juntamente com outros sais, ácidos ou agentes agressivos. A transmissão de vapores é limitada pelo bloqueio total dos poros. Geralmente são utilizados como um *primer* antes do revestimento final. Os mais comuns são os silicatos e silicofluorídricos (KUS, 2002).

Já o tipo (c) forma uma película contínua sobre a superfície, tem uma boa adesão ao substrato e muitas vezes é utilizado como *primer*. Impede a penetração de água, mas também de vapores. Essa película pode ser pigmentada, quando se deseja adição de cor na fachada. Os exemplos mais conhecidos são as resinas epóxi, poliuretanos, acrílicos, resinas alquídicas, vinilos e betumes (KUS, 2002). Os produtos formadores de películas podem ser divididos em tintas e vernizes. Os vernizes apresentariam menor durabilidade em relação às tintas devido à ausência de pigmento (MEDEIROS, 2008).

Existem duas formas de aplicação dos hidrofugantes. A primeira delas é adicionando à mistura, na qual se aplica a adição diretamente no material, fazendo com que não sejam necessárias etapas posteriores no processo de produção. Já a segunda é o pós-tratamento, um método mais tradicional e conhecido que o anterior. Pode ser aplicado por pintura,

spray, gel ou creme para materiais já em uso (nas próprias fachadas). E ainda, pode ser por imersão quando os produtos ainda estão nas unidades industriais, como por exemplo, as telhas cerâmicas e pré-moldadas (MARANHÃO, 2009).

As vantagens no pós-tratamento são o custo baixo, o histórico de utilização e a compatibilidade com diversos tipos de materiais. As desvantagens são que ele acrescenta uma etapa no método de construção (o que tarda a finalização da obra) e seu desempenho é reduzido se aparecerem fissuras posteriores, prejudicando o bom desempenho do hidrofugante.

A profundidade de penetração dos hidrofugantes influencia diretamente no desempenho em longo prazo do tratamento hidrofóbico, e é um resultado obtido a partir de muitos fatores e suas combinações. Dentre os parâmetros mais importantes estão: a porosidade do material (quanto mais poroso, mais rápido e profundo será absorvido); tempo de contato (quando maior o tempo de contato entre o agente hidrofóbico e o material, mais tempo haverá para o agente ser transportado até o interior do material); agente hidrofóbico (a base do agente influencia na penetração do material e a espessura dos poros); aplicação (a forma de aplicação, bem como as condições que o material apresenta antes de receber o tratamento podem afetar o resultado) (MOLLER, 2003). A figura 10 representa a profundidade de penetração dos hidrofugantes em materiais porosos.

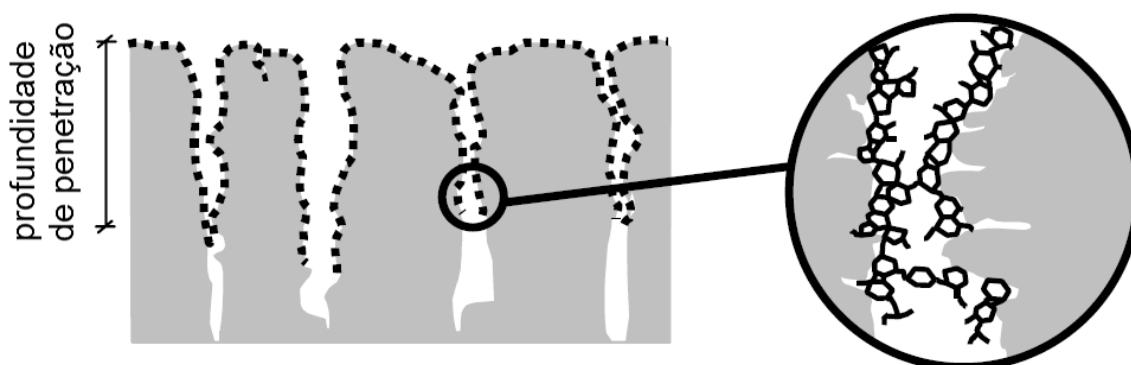


Figura 10 – profundidade de penetração do hidrofugante. O detalhe mostra que nem todos os poros são tratados, as moléculas grandes do hidrofugante podem entupir os poros (MOLLER, 2003).

Os hidrofugantes têm sido bastante utilizados na construção civil, porém eles não conseguem impedir completamente o aparecimento de manchas, pois possuem um caráter que facilita a adesão de partículas de poluição, gerando escurecimento precoce. Os mais utilizados atualmente são à base de silicone, os quais têm boa aderência ao substrato, boa repelência à água, elevada durabilidade e não alteram a aparência da superfície na qual é

aplicado (MARANHÃO, 2009). É de grande importância ressaltar que o profissional encarregado deve estar ciente das condições de serviço às quais o edifício está submetido, cabendo a ele tomar o cuidado na especificação correta do produto de proteção superficial (MEDEIROS, 2008).

É necessário que a especificação do material hidrofugante seja realizada adequadamente, pois este deve ter propriedades compatíveis com as do substrato. Devem-se investigar as condições de aplicação e os prováveis agentes de degradação atuantes, que vão depender do material utilizado para o revestimento da fachada, da localização da edificação e dos detalhes arquitetônicos projetados.

2.3.2 Fotocatálise

A energia solar que atinge a superfície da Terra é muito maior do que o consumo anual mundial de energia. A ânsia por encontrar uma maneira de aplicar este recurso, juntamente com a necessidade de um meio ambiente mais agradável, é a motivação para os arquitetos e projetistas para combinar o uso da energia solar com materiais de construção funcionalizados, a fim de diminuir o consumo de energia e reduzir os poluentes, principalmente nos ambientes urbanos. A grande área de superfície de revestimentos cimentícios utilizados nas fachadas das edificações oferece um recurso útil para aproveitar de modo mais produtivo a energia da luz e aplicá-lo às necessidades da sociedade (CASSAR, 2004).

A técnica da fotocatalise é baseada em um processo eletroquímico que acelera as reações de oxidação e redução de substâncias orgânicas e inorgânicas pela incidência de luz ou energia. Consiste na transformação de um material em super-hidrofílico, fazendo com que, na presença de chuva, se forme uma lâmina de água capaz de eliminar partículas aderidas na sua superfície (MARANHÃO, 2009). Esta técnica faz com que as superfícies dos materiais, como exemplo das fachadas, se tornem autolimpantes e despoluentes, utilizando apenas o material de revestimento (com propriedades fotocatalíticas), a energia solar e a presença da água.

O efeito da despoluição do ar ocorre quando os poluentes que estão presos à superfície do revestimento são transformados em nitratos – que são em seguida eliminados pela matriz de cimento do revestimento. Já o efeito da autolimpeza ocorre quando as sujidades, que estão fixas sobre a superfície, se dissociam sob o efeito do revestimento fotocatalítico e, posteriormente, são lavadas pela água da chuva (PICADA PROJECT, S/D). A figura 11 demonstra estes dois os processos.

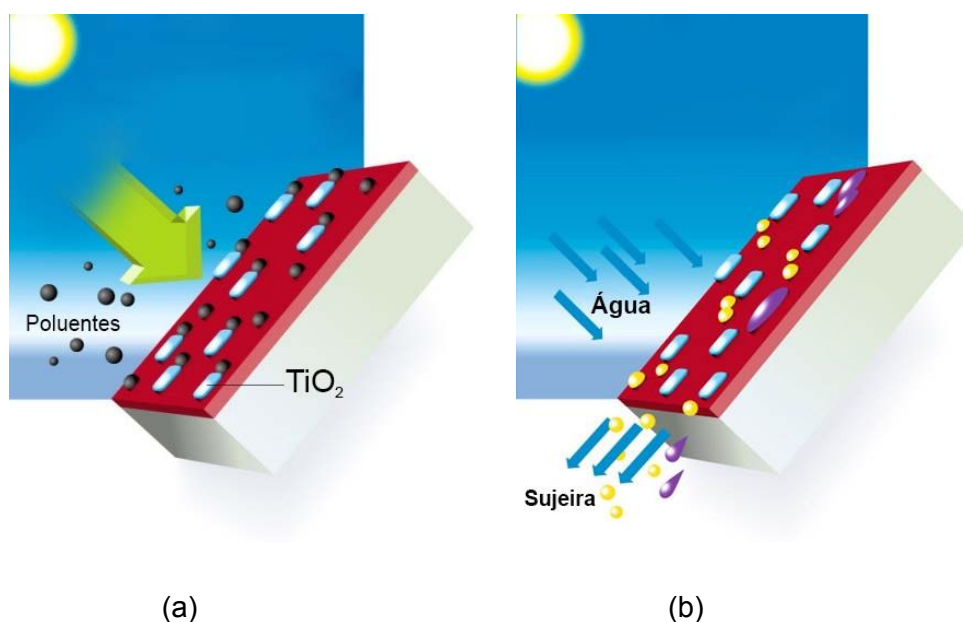


Figura 11 – (a) efeito da despoluição do ar; (b) efeito da autolimpeza (adaptado de PICADA PROJECT, S/D).

Este processo oferece diversas características vantajosas. Além da grande variedade de compostos poderem sofrer transformações de redução ou decomposição, o processo age em temperatura ambiente e utiliza a energia solar. Algumas pesquisas desenvolvidas na área da fotocatalise têm grande possibilidade de desenvolvimento comercial. Em particular, algumas com grande potencial são: síntese seletiva de compostos orgânicos; remoção de poluentes orgânicos; remoção de poluentes inorgânicos; foto-oxidação de organismos patogênicos (vírus, bactérias); autolimpeza e antiembaçamento de materiais (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).













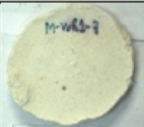


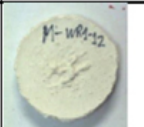

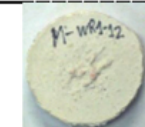






Um dos grandes impulsos para a disseminação da técnica da fotocatalise foi o projeto PICADA (PICADA PROJECT, S/D) – *Photocatalytic Innovative Coverings Applications for De-pollution Assessment* – desenvolvido entre 2002 e 2006, com oito parceiros da União Europeia, sendo eles construtoras, indústrias e centros de pesquisas. O projeto tinha como principal objetivo desenvolver e otimizar materiais inovadores que pudessem ser facilmente aplicados nas fachadas das edificações, e que tivessem propriedades autolimpantes e despoluentes. Posteriormente, propunha-se desenvolver o material e avaliar o seu efeito em grande escala. O principal material utilizado era o dióxido de titânio (TiO_2), o qual está melhor explicitado no capítulo 3.

Para obter materiais com superfícies fotocatalíticas, é possível realizar o pós-tratamento ou a adição à mistura. Para materiais silicosos e porosos, os métodos de pós-tratamento mais comuns são o sol-gel, a pintura com tinta mineral, a pulverização do semicondutor após

conformação do componente e antes do endurecimento e ligantes orgânicos. Para concretos e argamassas, o mais comum é a adição do material semicondutor na própria mistura (MARANHÃO, 2009). O TiO_2 , ZnO e Cd são alguns exemplos de materiais com propriedades fotocatalíticas amplamente utilizados (CASSAR, 2004).

A pesquisa desenvolvida por Maranhão (2009), objetivou reduzir as manchas em fachadas unindo duas técnicas já anteriormente citadas, a hidrofugação e a fotocatalise, formando duas camadas sobre o substrato. Este estudo foi realizado por meio de produtos à base de silicone para a formação de uma camada hidrofóbica, e o TiO_2 fotoativado para uma camada hidrofílica. Os objetivos deste trabalho foram: aplicar a suspensão como um pós-tratamento, não necessitar de cura térmica em elevadas temperaturas, não alterar as características estéticas dos materiais, apresentar boa aderência ao substrato e ser de fácil aplicação.

Os benefícios obtidos foram a redução de manchas causadas pela adesão de partículas com características similares às partículas de poluição dos grandes centros urbanos; limpeza espontânea de certos tipos de manchas, decorrentes dos processos fotocatalíticos que promovem a oxidação/redução de matéria orgânica; inibição do crescimento de microrganismo em escala laboratorial; redução da absorção total de água e, principalmente, da cinética do ganho de massa. A figura 12 demonstra os resultados característicos de resistência ao manchamento com dois tipos de pigmentos (azul de metileno e anilina vermelha) em um tipo de argamassa (industrializada, pronta para uso).

	Azul de metileno			Anilina Vermelha		
	inicial	1 minuto após da deposição da gota	Depois da lavagem com água corrente	inicial	1 minuto após da deposição da gota	Depois da lavagem com água corrente
referência						
TiO ₂						
WR						
WR + TiO ₂ -sequencial						

(WR - hidrofugante)

Figura 12 – resistência ao manchamento em argamassa comprada pronta para o uso. Manchas com azul de metileno e anilina vermelha (MARANHÃO, 2009).

A figura 13 demonstra os resultados característicos dos ensaios de limpeza espontânea de manchamento após a exposição à radiação UV.

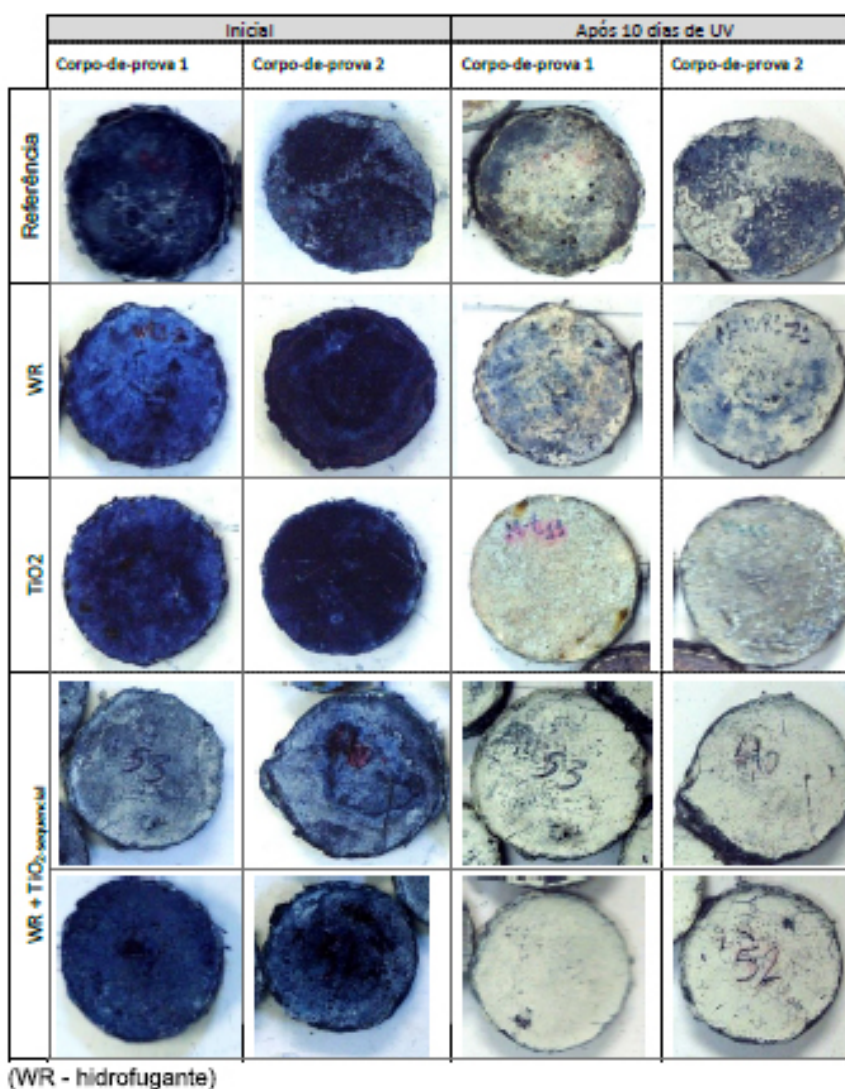


Figura 13 – ensaios de limpeza espontânea de manchamento de azul de metileno: inicial e após a exposição à radiação UV (MARANHÃO, 2009).

O objetivo principal do método realizado pelo autor foi alcançado, pois foi possível reduzir o surgimento de manchas nos materiais silicosos e porosos com muita eficácia. Tanto os ensaios de resistência ao manchamento quanto os ensaios de limpeza espontânea obtiveram bons resultados.

O interesse científico pela fotocatalise com a utilização de semicondutores tem crescido bastante nos últimos anos, visto o número de pesquisas relacionadas à área. Porém, segundo Cassar (2004), a preocupação principal desta técnica é a eliminação de poluentes ambientais. Para a presente pesquisa, o foco principal é a obtenção de superfícies autolimpantes a partir da técnica da fotocatalise.

3 DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO₂)

3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS

Em 1791, o titânio foi descoberto pelo mineralogista Reverendo William Gregor, na Inglaterra, o qual distinguiu a presença de um novo elemento na ilmenita. O elemento, muitos anos depois, foi redescoberto pelo químico alemão Heinrich Klaporth em minério rutilo, que posteriormente, nomeou-o de Titãs, em homenagem aos primeiros filhos mitológicos da Deusa Ge, deusa da Terra na mitologia grega (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).

Desde o final dos anos 1960, Akira Fujishima tem desenvolvido pesquisas científicas com o material TiO₂. O estudo com o titânio iniciou com a conversão da energia solar fotoeletroquímica, e posteriormente migrou para o âmbito da fotocatalise ambiental, incluindo as superfícies autolimpantes, e mais recentemente entrou no campo de estudo da hidrofobicidade fotoinduzida, que não envolve somente as superfícies autolimpantes, mas também superfícies antiembaçantes (FUJISHIMA; RAO; TRYK, 2000).

Foi no ano de 1972 que Akira Fujishima descobriu o fenômeno da fotocatalise quando expôs um eletrodo de dióxido de titânio em uma solução aquosa sob uma luz de intensidade forte. Logo, bolhas de ar emergiram à superfície. Quando o foco de luz se distanciava, as bolhas cessavam. Os estudos mostraram que as bolhas eram formadas por oxigênio puro, e que bolhas de hidrogênio eram formadas no eletrodo oposto, de platina. Assim, a água foi decomposta em hidrogênio e oxigênio. Para a sociedade japonesa de nanotecnologia, foi neste momento que a fotocatalise foi descoberta e a reação foi chamada de efeito Honda-Fujishima (NANONET³, 2005 *apud* ALMEIDA, 2011).

Nos anos 80, a equipe de Fujishima iniciou pesquisas envolvendo a fotocatalise para tratamento de poluentes ambientais, principalmente na área de desinfecção e desodorização do ar. Uma das pesquisas envolveu o revestimento das paredes e pisos de um hospital com uma tinta à base de dióxido de titânio. Foi determinado que a concentração de bactérias nas superfícies e no ar sofreu uma redução considerável (NANONET, 2005 *apud* ALMEIDA, 2011).

³ NANONET - JAPANESE NANOTECHNOLOGY SOCIETY. **Japan Nanonet Bulletin**. 44th Issue. May, 12th 2005.

No ano de 1998 superfícies de TiO_2 altamente hidrófilas com excelente atividade anti-embacamento e com propriedades de autolimpeza foram obtidas por Wang (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).

Em 2002, foi criado o Projeto PICADA, a partir de um programa europeu chamado *Competitive and Sustainable Growth* (Desenvolvimento Competitivo e Sustentável). Este, conforme citado anteriormente, buscou desenvolver materiais com o TiO_2 e avaliar os benefícios do mesmo, assim como os métodos de aplicação e o estabelecimento de um modelo comportamental (PARAMÉS, 2008).

Atualmente, a equipe de Fujishima continua com estudos na área da fotocatalise com a utilização de TiO_2 , e vem desenvolvendo diversos artigos científicos de grande importância para a evolução dos estudos.

3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E MECÂNICAS

O TiO_2 nanométrico tem atraído um grande interesse em pesquisas das ciências dos materiais, pois tem se observado uma enorme variedade de aplicações em diversos ramos da indústria. Tais aplicações são devidas às propriedades elétricas e óticas do elemento, que é um semicondutor e tem um *gap*⁴ de energia na região ultravioleta (BRANDÃO, 2008).

O dióxido de titânio (TiO_2), também designado como titânio anidrido, ácido titânio anidrido, óxido de titânio, titânio branco e titânia, pode se apresentar na forma de pó, e quando no seu estado puro, apresenta coloração branca (FERNANDES, 2009), além de possuir elevada pureza cristalina (FONSECA, 2009). O TiO_2 é um dos fotocatalisadores mais eficientes utilizados atualmente e pode aparecer sob três formas cristalográficas: rutilo, anatásio e bruquita (AZEVEDO; AGUIAR; TORGAL, 2012). A estrutura cristalina dos polimorfos de TiO_2 encontrados na natureza, de acordo com a figura 14, é tetragonal para rutilo e anatase, e ortorrômbica para bruquita (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).

⁴ *Gap* é a energia necessária para mover um dos elétrons da banda de valência (BV) de um semicondutor, onde se forma uma lacuna, para a banda de condução (BC), onde o elétron é depositado (ALMEIDA, 2011).

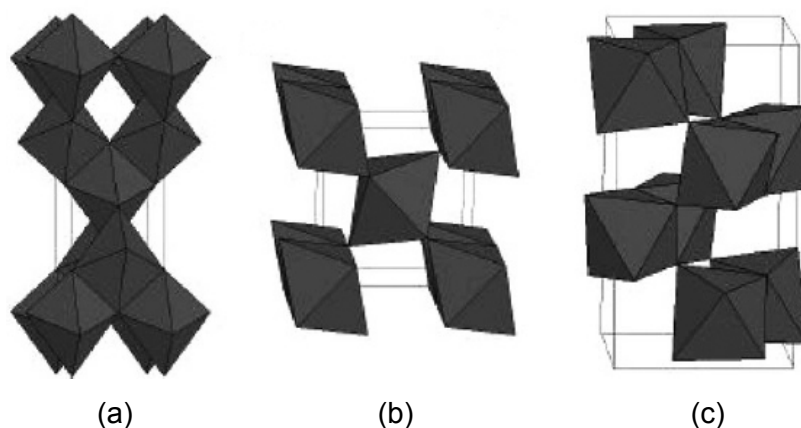


Figura 14 – estruturas cristalinas de (a) anatásio, (b) rutilo, e (c) bruquita (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).

O **rutilo** é basicamente utilizado para aplicação de pigmento (como exemplo das tintas), pois tem um elevado índice de refração, o que lhe justifica a cor branca (PARAMÉS, 2008). Além disso, possui a forma mais estável em termos termodinâmicos. As outras formas cristalográficas podem ser transformadas em rutilo em virtude de um tratamento térmico, pois são metaestáveis (AZEVEDO; AGUIAR; TORRAL, 2012).

O principal minério de TiO_2 , na forma de rutilo, foi encontrado na Espanha em 1803, por Werner, provavelmente em Cajuelo, Burgos. O seu nome deriva do latim *rutilus*, vermelho, que faz referência à cor vermelha intensa observada em algumas amostras quando sob a luz. Comumente, é encontrado na cor marrom avermelhado, mas também pode ser visto em cores como o amarelo, azul ou violeta, geralmente varia de transparente a opaco. O rutilo pode conter até 10% de ferro e algumas outras impurezas, como o tântalo, o nióbio, o crómio, o vanádio e o estanho. Está associado a minerais como o quartzo, turmalina, barita, hematita e silicatos (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).

O **anatásio** é um material utilizado para aplicações fotocatalíticas, pois tem um forte poder oxidante quando exposto aos raios ultra-violetas, é estável quimicamente e não apresenta toxicidade (PARAMÉS, 2008). Essa é a fase cristalina de maior efeito fotocatalítico que o TiO_2 pode apresentar (FONSECA, 2009) e a fase mais estudada. Tem atraído grande interesse de pesquisadores pela sua vasta aplicação em nanotecnologia (BRANDÃO, 2008).

A forma estrutural do anatásio é mais alongada, tem volume maior e, portanto, torna-se menos densa que o rutilo (BRANDÃO, 2008). Tem seu nome derivado da palavra grega *anatsis* que significa extensão, devido ao seu eixo vertical ser longo em comparação com o do rutilo e foi nomeado por RJ Hauy, em 1801. Está associado a minerais como cristal de rocha, feldspato e axinite (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).

A **bruquita** tem este nome em homenagem a um mineralogista inglês, HJ Brooke, e foi descoberto na Inglaterra em 1825, por Levy, mais especificamente em Snowen. Seus cristais variam de marrom escuro ao preto opaco esverdeado. A forma cristalina inclui os típicos cristais tabulares com um esboço pseudo-hexagonal. Está associado a minerais como quartzo, feldspato, calcopirita, hematita e titanita (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004). Para a bruquita não há interesse comercial, pois esta não possui uma forma cristalográfica estável (MARANHÃO, 2009).

Estruturalmente, cada átomo de oxigênio tem três titânios vizinhos, que pertencem a três octaedros diferentes. Assim, as estruturas de rutilo e de anatásio são diferentes entre si, pois apresentam diferentes distorções nos octaedros formados pelos átomos de oxigênio (BRANDÃO, 2008). Em se tratando do tamanho de partícula, quanto menor for a partícula, a qual preferencialmente deve ser nanométrica, mais intensa será a atividade fotocatalítica (ALLEN et al., 2008). A figura 15 demonstra diferentes dimensões das partículas de TiO_2 .

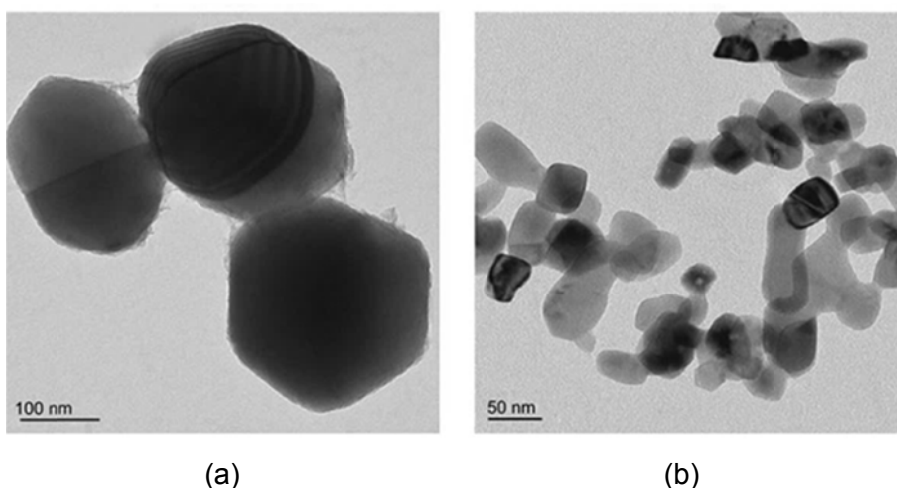


Figura 15 – dimensões de partículas de TiO_2 a partir de MET: (a) partícula de TiO_2 para aplicação em pigmentos e (b) partícula de TiO_2 nanométrica para aplicação em processos fotocatalíticos (ALLEN et al., 2008).

Em relação à quantidade de partículas, quanto mais partículas de TiO_2 estiverem em contato com a radiação ultravioleta, maior será o desempenho fotocatalítico. Quando adicionado à mistura, somente a parcela que fica na superfície do substrato em contato com os raios UV pode ser considerada ativa (MARANHÃO, 2009).

O TiO_2 pode ser desenvolvido sob a forma de pó, cristais ou filmes finos. Os pós e os filmes podem ser feitos a partir de cristais nanométricos até micrométricos. Há uma grande tendência dos cristais nanométricos se aglomerarem, portanto, para que as partículas

nanométricas permaneçam separadas, deve-se realizar uma etapa de desaglomeração (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).

Além do alto potencial fotocatalítico, o material possui propriedades super-hidrofílicas, as quais facilitam a dispersão de água na superfície dos materiais, fazendo com que se mantenham continuamente limpos e facilitando no processo de descontaminação microbiana (FONSECA, 2009).

3.2.1 Processos oxidativos avançados (POAs): fotocatalise heterogênea

A fotocatalise pertence à categoria dos processos oxidativos avançados, sendo o termo POA utilizado para definir o processo em que radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$) são gerados para atuar como agentes oxidantes químicos (ALMEIDA, 2011). O princípio de funcionamento físico da fotocatalise heterogênea é baseado no deslocamento de elétrons da camada (ou banda) de valência para a camada condutora que certos materiais apresentam quando incididos por radiação ultravioleta. Nesse momento, ocorrem dois fenômenos: reação de oxirredução de substâncias da superfície do material e aumento da hidrofiliabilidade, ou seja, a redução do ângulo de contato (MARANHÃO, 2009).

No momento em que o semicondutor recebe a radiação, a energia do fóton deve ser maior ou igual à energia de *bandgap* do semicondutor para que ocorra a transição dos elétrons. A energia de *bandgap* é a energia necessária para mover um dos elétrons da banda de valência (BV) de um semicondutor, onde se forma uma lacuna, para a banda de condução (BC), onde o elétron é depositado (ALMEIDA, 2011). O processo da fotocatalise heterogênea de um semicondutor está representado na figura 16.

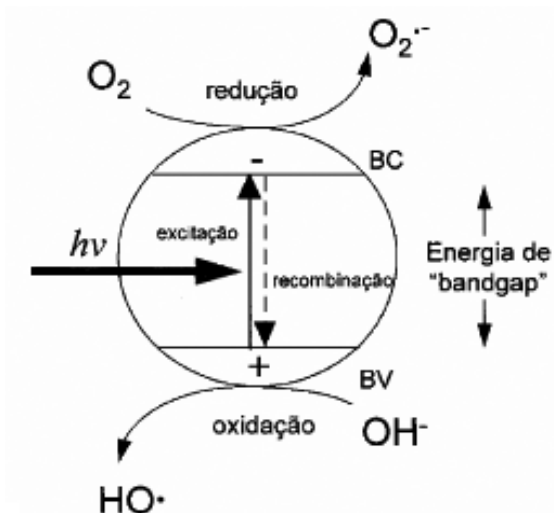


Figura 16 – Esquema do processo da fotocatalise heterogenea, onde BV é a banda de valência e BC é a banda de condução (MARANHÃO, 2009).

A energia de *bandgap* do anatásio é de 3,23 eV (384nm) e na forma rutilo é de 3,02 eV (411 nm). Por isso, a recombinação do elétron/lacuna é mais frequente e provável no rutilo, o que pode explicar a maior atividade fotocatalítica do anatásio (LITTER⁵, 1999 *apud* CASAGRANDE, 2012).

Os materiais semicondutores possuem uma camada de valência incompleta e uma camada condutora separadas pela *bandgap*, que é compatível com a energia fornecida pela radiação solar na faixa de UV necessária. Nos materiais condutores, esta *bandgap* não existe, e nos materiais considerados isolantes, essa distância é muito grande para que haja troca de elétrons (MARANHÃO, 2009). A figura 17 demonstra esquematicamente os materiais condutores, semicondutores e isolantes em relação a *bandgap*.

⁵ LITTER, M. **Heterogeneous photocatalysis, transition metal ions in photocatalytic systems.** Applied Catalysis B: Environmental, v. 23, p 89-114. 1999

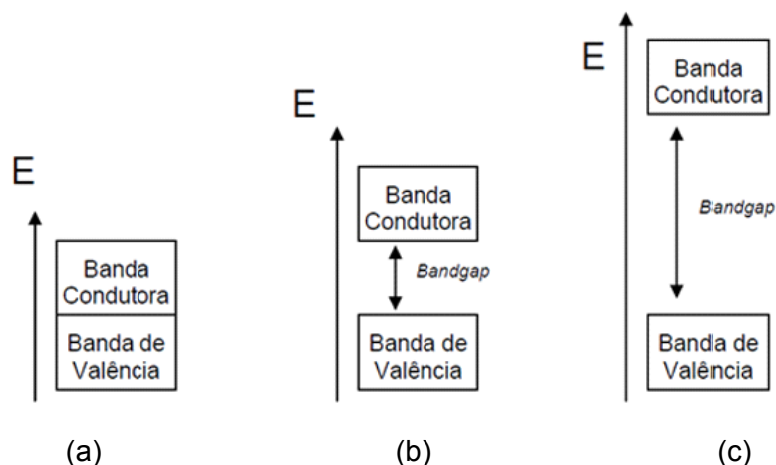
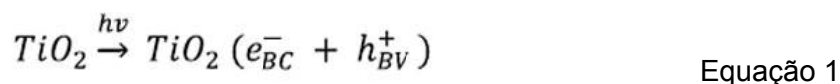


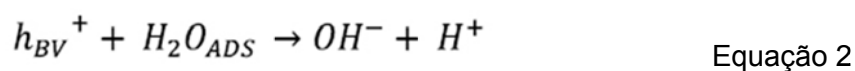
Figura 17 – esquema que representa a energia de bandgap nos materiais (a) condutores, (b) semicondutores e (c) isolantes (MARANHÃO, 2009).

Em resumo, a sequência de reações fotocatalíticas pode ser assim apresentada, segundo Maranhão (2009):

- a) O processo fotocatalítico se inicia com a incidência da radiação UV na faixa adequada. Assim, ocorre o deslocamento de elétrons da banda de valência para a banda de condução, gerando o par elétron/lacuna:



- b) A falta de elétrons na banda de valência em contato com a água adsorvida na superfície dissocia a água em OH^- e H^+ :



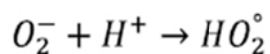
- c) A falta de elétrons na banda de valência (h_{BV}^+) age na OH^- , dissociada da água, formando o radical hidroxila:



- d) Ao mesmo tempo, o elétron que foi deslocado para a banda condutora reduz o oxigênio e forma o ânion superóxido:



e) Enfim, o ânion superóxido reage com o H^+ dissociado da água para produzir radicais hidroperóxidos (HO_2°):



Equação 5

Existem três fatores principais que influenciam no desempenho do processo fotocatalítico: quantidade de partículas fotoativadas, tamanho da partícula e estrutura cristalina (JANG et al., 2001). Ainda, o sucesso deste processo depende da eficiência do fotocatalisador utilizado, da fonte de iluminação, e das condições do meio de reação em que se encontra (FERNANDES, 2009).

Para maiores efeitos da atividade fotocatalítica, menores devem ser suas dimensões, as partículas devem ser nanométricas. Porém, algumas pesquisas recentes propõem que partículas com 15nm apresentam as melhores e mais intensas atividades fotocatalíticas, pois aperfeiçoam a dinâmica da transferência de elétrons e da absorção da radiação (MARANHÃO, 2009).

Um fotocatalisador semiconductor ideal deve ser quimicamente e biologicamente inerte, fotocataliticamente estável, fácil de ser produzido e utilizado, ativado eficientemente pela luz solar, capaz de catalisar as reações, barato e sem riscos para o ambiente e para o ser humano. O TiO_2 está bem próximo de ser considerado um fotocatalisador semiconductor ideal, a única exceção é que este não absorve a luz visível (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).

Para que ocorra, a fotocatalise necessita de uma fonte de radiação ultravioleta, a qual se decompõe em três tipos: UV-A, UV-B e UV-C. Nos revestimentos externos, essa radiação é fornecida através da luz solar, já nos revestimentos internos, pode ser fornecida por meio de luzes fluorescentes, porém, com uma menor porcentagem de radiação ultravioleta, o que resulta em uma diminuição dos efeitos benéficos da fotocatalise (PARAMÉS, 2008).

As substâncias fortemente oxidantes e degradantes, formadas a partir da absorção de raios UV, reagem com a sujidade ou com outros compostos orgânicos e inorgânicos e provocam a sua dissociação e desintegração (AZEVEDO; AGUIAR; TORGAL, 2012). Quando chove, ocorre a redução do ângulo de contato e o arraste das partículas aderidas. O arraste dos subprodutos que se depositam na superfície é muito importante, caso contrário eles impedem novos ciclos de foto-ativação, pois agem como barreira ao UV (MARANHÃO, 2009). O modelo do funcionamento de um material com propriedade fotocatalítica está exemplificado na figura 18.

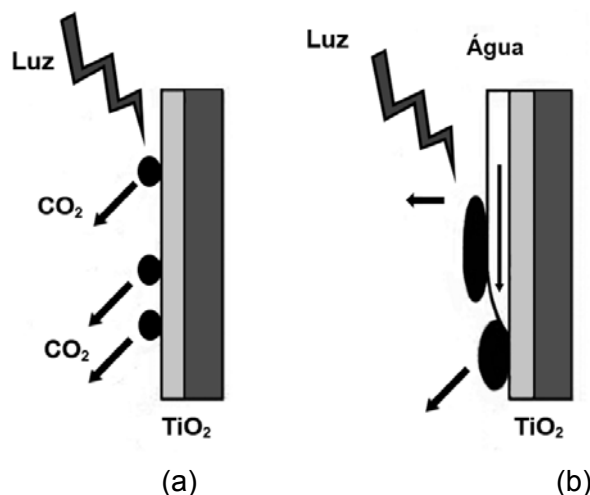


Figura 18 – (a) o CO_2 como produto de reação de decomposição de poluentes; (b) a lâmina de água provocada pela super-hidrofilicidade do semiconductor, lavando os produtos das reações de decomposição (Adaptado de FUJISHIMA et al., 2008).

A fotocatalise possui vantagens em relação aos processos oxidativos avançados tradicionais pois é utilizado um material de baixo custo como fotocatalisador, a reação é bastante rápida e ocorre em temperatura ambiente, não é utilizado nenhum reagente químico e não há produção de reações secundárias. (STAMATE e LAZAR, 2007).

3.3 APLICAÇÕES GERAIS E EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Aproximadamente, 98% da produção de titânio no mundo é utilizado para confeccionar pigmento de cor branca e apenas 2% desta produção de titânio é utilizada como metal, para soldagem de revestimentos e outros produtos (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004). Os pigmentos de cor branca são empregados em tintas, papel, borracha, plásticos e cosméticos (FERNANDES, 2009).

Algumas áreas de aplicação encontradas nas quais o TiO_2 fotocatalítico pode ser utilizado são: tratamento de água, autolimpeza de materiais, efeito anti-bactéria, efeito antiembaçante (comum em vidros e espelhos) e purificação do ar. Desde o final da década de 90, a fotocatalise heterogênea utilizando o TiO_2 tornou-se bastante atraente para a indústria em relação ao desenvolvimento de tecnologias para a purificação da água e do ar (STAMATE e LAZAR, 2007). Recentemente, a maioria dos estudos e pesquisas relativos à aplicação do TiO_2 em materiais que tenham como propriedade a fotocatalise, é concentrado na degradação de poluentes como NO_x e SO_2 (FONSECA, 2009).

Dentre as áreas de aplicação do TiO_2 , o efeito antiembaçante é bastante utilizado para as superfícies vítreas, através da sua transformação em super-hidrofilica, visto que impede a

formação de gotículas de água, constituindo uma lâmina de água e evitando que a superfície fique embaçada (PARAMÉS, 2008). Este efeito pode ser visualizado na figura 19.

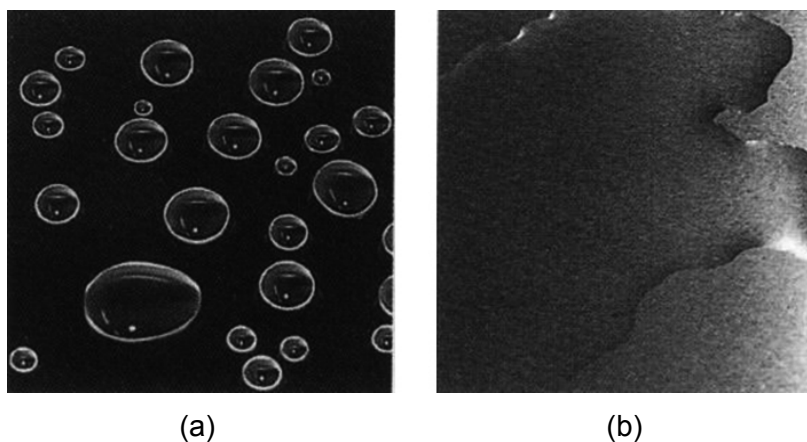


Figura 19 – (a) gotículas de água; (b) lâmina de água formada devido à superfície ser super-hidrofílica (FUJISHIMA⁶, 1999 *apud* PARAMÉS, 2008).

Todas as superfícies exteriores podem possuir propriedades fotocatalíticas, desde que recebam a energia necessária para que catalise a reação química, uma fonte de radiação UV, de preferência a luz solar. O TiO_2 pode ser aplicado em materiais construtivos como uma película sobre o substrato ou então incluído na matriz do material (PARAMÉS, 2008).

Atualmente, já são comercializados alguns tipos de cimento que contém na sua formulação a presença do TiO_2 , visando a fotocatalise. Um dos grandes representantes deste produto é a empresa multinacional de origem Italiana, a *Italcementi Group*. Um dos exemplos de utilização do cimento branco contendo TiO_2 é o projeto da Igreja *Dives in Misericordia*, em Roma, do arquiteto Richard Meier, que iniciou em 1996 e foi finalizado em 2003. O projeto utilizou concreto branco aparente e vidro, e previa que as propriedades fotocatalíticas do cimento auxiliassem na estética da edificação. Pode-se visualizar o projeto na figura 20.

⁶ FUJISHIMA, A., HASHIMOTO, K., WATANABE, T. **TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals and Applications**. Tokyo: Bkc, 1999.



(a) (b)
 Figura 20 – Igreja *Dives in Misericordia*, em Roma. Estrutura em concreto branco aparente com utilização do cimento com TiO_2 na composição: (a) foto logo após a conclusão, em 2003 (fonte: <http://www.arcvision.org/wp-content/uploads/2003/10/chiesa-dives-in-misericordia-2.jpg>); (b) foto no ano de 2014 (fonte: google street view).

Conforme as figuras pode-se observar que a edificação manteve-se com a coloração branca ao longo do tempo, apresentando pequenos manchamentos escuros encontrados nas juntas das placas de concreto.

3.4 DISPONIBILIDADE E CUSTO

O titânio é identificado principalmente em minerais como rutilo, ilmenita, leucoxênio, anatásio, bruquita, perovskita, e sphene, além de ser encontrado em titanatos e diversos minérios de ferro. Este metal também é encontrado em carvão, cinzas, plantas e até no corpo humano. As principais fontes minerais do TiO_2 são rutilo, ilmenita e leucoxene (a partir do intemperismo da ilmenita). No rutilo, 93 de 96% é composto por TiO_2 . A ilmenita pode conter de 44% a 70% de TiO_2 . Já o leucoxene concentrado pode conter até 90% de TiO_2 . Além disso, uma escória de alto- TiO_2 é produzida a partir da ilmenita que contém de 75 a 85% de TiO_2 (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004).

Atualmente, o titânio é o quarto metal mais abundante do mundo (superado apenas pelo alumínio, ferro e magnésio) e está em nona colocação como elemento mais abundante, estando presente em 0,63% da crosta terrestre (CARP; HUISMAN; RELLER, 2004). A China apresenta-se como a maior detentora das reservas do minério de titânio do mundo, seguida pela África do Sul, Índia e Austrália (DOS SANTOS, 2010).

O Brasil detém a quinta posição em relação às maiores reservas mundiais de ilmenita. A principal mina do mineral titânio está localizada na costa nordeste, no litoral paraibano, ao sul da fronteira do estado do Rio Grande do Norte. Além desta, possui outros importantes

depósitos ainda não avaliados devidamente, ao longo da costa brasileira (litoral do nordeste, sudeste e sul). O país detém as maiores jazidas de titânio na forma de anatásio que ocorrem nos estados de Goiás e Minas Gerais, de 440 milhões de toneladas. Ainda, existem reservas de anatásio conhecidas no estado do Pará (DOS SANTOS, 2010).

A busca pelo material tem aumentado em nível mundial, e a sua potencial utilização em materiais de construção fará com que esta procura aumente ainda mais (PARAMÉS e BRITO, 2010). O TiO_2 nanométrico é mais caro que os demais materiais de construção, e quando adicionado na mistura, acaba se tornando um produto de custo final elevado (MARANHÃO, 2009).

Considerando que, atualmente há uma necessidade de 2,5 t de concentrado de titânio para a produção de uma tonelada de pigmento TiO_2 , estimou-se que, para manter este nível de reservas, no ano de 2030 serão necessários 2,52 a 6,20 milhões de toneladas, a um custo de investimento entre US\$ 5,5 e 13,5 milhões em prospecção mineral (DOS SANTOS, 2010).

Avaliando a questão do custo do TiO_2 incorporado à argamassas, há um acréscimo bastante notável de valores, quando comparada uma argamassa com TiO_2 e outra tradicional. Em uma argamassa de espessura 2,5 cm, com traço 1:3 e adições de 5 e 10% de TiO_2 , houve um acréscimo de aproximadamente 600% na argamassa com adição de 5% em comparação à mesma argamassa sem adição. E um acréscimo de 1100% na argamassa com adição de 10% em comparação à tradicional (BAZIGNAN, 2013).

Os custos ainda são bastante elevados, porém, o foco desta pesquisa é estudar a eficiência do TiO_2 com o objetivo principal da autolimpeza. Posteriormente, podem-se aperfeiçoar os métodos e pesquisar distintas adições do material para que se torne uma argamassa de revestimento com um custo-benefício atrativo para o mercado da construção civil.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 PROJETO EXPERIMENTAL

Um projeto de experimentos é conduzido através da metodologia baseada em conceitos estatísticos, com intenção de otimizar o planejamento, a execução e a posterior análise do experimento. Mediante uma sequência bem estruturada de ensaios, consegue-se exprimir os objetivos estabelecidos anteriormente pelo pesquisador. Em relação à informação, um projeto de experimentos tem uma eficiência superior a qualquer outro tipo de sequência de experimentos não estruturada (RIBEIRO e TEN CATEN, 2001).

A metodologia utilizada em projeto de experimentos tem como objetivo otimizar um sistema. Este é entendido como qualquer produto, processo ou serviço, o qual será avaliado posteriormente por indicadores de desempenho. Em todo processo existem parâmetros, estes são definidos como todas aquelas variáveis que podem ser alteradas na linha de produção e que talvez tenham algum efeito sobre a resposta (RIBEIRO e TEN CATEN, 2001).

O projeto experimental desta pesquisa foi embasado estatisticamente a fim de obter uma maior confiabilidade dos resultados. Foi realizado um projeto fatorial cruzado, onde todas as combinações dos níveis dos fatores foram investigadas, com a intenção de verificar o efeito isolado de cada fator na resposta, assim como o efeito da interação entre os fatores. A figura 21 demonstra esquematicamente as etapas de processo do projeto experimental, as quais estão explicadas na sequência.

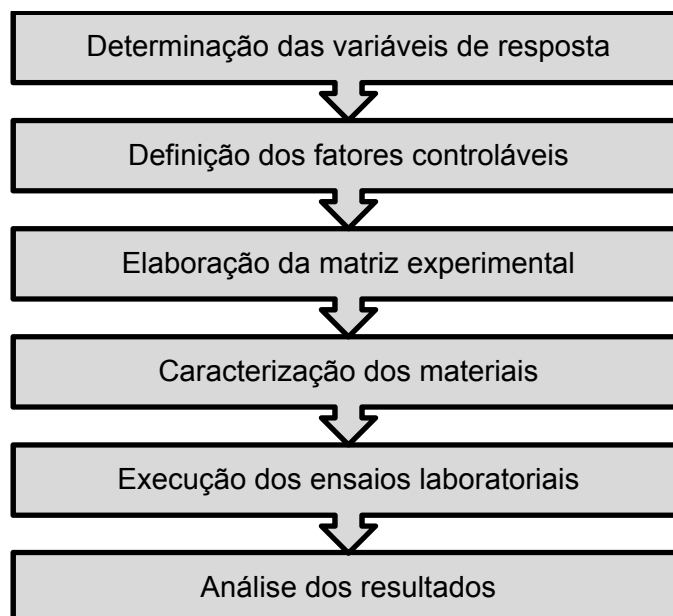


Figura 21 – Etapas de processo do projeto experimental.

4.1.1 Variáveis de resposta

As variáveis de resposta ou indicadores de desempenho são, por definição, aspectos de um produto que podem ser medidos, ou que se permitem quantificar as características de qualidade (RIBEIRO e TEN CATEN, 2001). Para definir as variáveis de resposta deste estudo, foi realizado um embasamento bibliográfico a respeito do tema, a fim de compreender as propriedades fundamentais das argamassas. As variáveis de resposta avaliadas foram:

- a) resistência à compressão axial;
- b) resistência à tração na flexão;
- c) absorção de água por capilaridade;
- d) densidade de massa aparente;
- e) módulo de elasticidade dinâmico;
- f) resistência ao manchamento (caracterização colorimétrica).

Os ensaios de resistência à compressão e à tração são necessários para verificar o desempenho da argamassa em relação às tensões a que o revestimento pode estar sujeito. A densidade de massa aparente e a absorção de água por capilaridade são ensaios necessários para verificar a compactidade e a porosidade capilar da argamassa, que

refletem na durabilidade e estanqueidade das mesmas, respectivamente. O módulo de elasticidade dinâmico é útil para verificar a capacidade da argamassa de sofrer possíveis deformações. O ensaio de resistência ao manchamento avalia a capacidade de autolimpeza da argamassa, e é um dos principais ensaios para este estudo.

O conjunto destas variáveis é importante para o melhor entendimento do comportamento das argamassas com adição de TiO_2 . A qualidade das argamassas não se limita apenas a estas variáveis, outras podem ser testadas em estudos futuros, porém, devido ao tempo e aos recursos limitados, para esta pesquisa foram elencadas apenas estas.

4.1.2 Fatores controláveis

Os fatores controláveis são um subconjunto dos parâmetros do processo, os quais foram escolhidos para serem estudados a vários níveis no experimento (RIBEIRO e TEN CATEN, 2001). A matriz experimental formada, a partir dos fatores controláveis definidos, está representada esquematicamente pela figura 22.

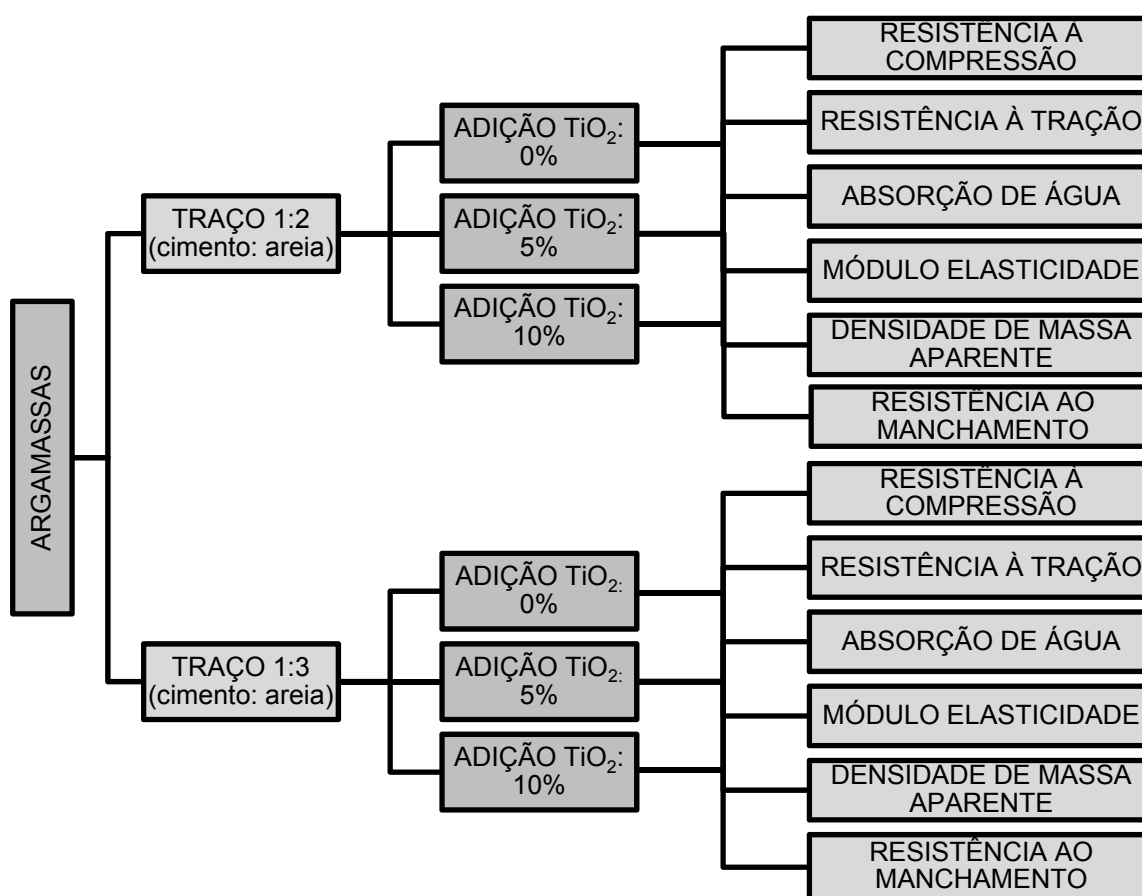


Figura 22 – matriz experimental que foi adotada na pesquisa.

Os fatores controláveis definidos e uma breve justificativa dos mesmos estão apresentados a seguir:

a) traços

O proporcionamento dos materiais para a produção das argamassas foi realizado com os traços de 1:2 e 1:3 (cimento: areia seca) em massa, pois estes foram os traços mais comumente encontrados na literatura acadêmica que envolviam argamassas com TiO_2 . Na pesquisa de Bazignan (2013) foi utilizado apenas o traço 1:3 e manteve-se a relação água/cimento fixa. Na presente pesquisa, a consistência foi mantida fixa para os dois traços apenas variando a quantidade de água das misturas, a fim de poder compará-las posteriormente. Não foi utilizado nenhum tipo de aditivo na mistura.

a) adições de TiO_2

Foram utilizados teores de adição distintos em virtude de este ser o fator de maior influência na resposta ao efeito fotocatalítico. A maioria dos estudos encontrados na literatura acadêmica, que utilizam adição de TiO_2 em materiais cimentícios, fazem uso do mesmo em proporções baixas, sendo mais comumente encontrada uma variação de 1 até 10%. Casagrande (2012), em pesquisa sobre argamassas fotocatalíticas com incorporação de TiO_2 , utilizou adições de 3, 5, 7 e 10%. Investigando a fotocatalise em materiais cimentícios, Cassar (2004) empregou 5% de adição de TiO_2 em argamassa para comparação a uma argamassa de referência com 0%. Assim, optou-se por utilizar um valor de referência (0%), um valor máximo segundo as pesquisas realizadas (10%) e um valor intermediário (5%), todos utilizados na mistura como adição em relação à massa de cimento.

b) manchamentos

Foram testados agentes de manchamentos de distintas fontes e com diferentes composições para verificar a eficácia da autolimpeza. Foi necessário utilizar uma argamassa como referência, que não recebeu nenhum manchamento, a fim de poder compará-la com as demais manchas posteriormente. A escolha da solução do indicador orgânico azul de metileno (1%) se justifica por ser normalizada pela ASTM 1378-97 (2014) e por ser comumente utilizada em pesquisas científicas, além de apresentar um elevado contraste de cor com o substrato; o particulado de poluição é um dos fatores externos de manchamentos e um dos grandes responsáveis pela deposição de partículas em fachadas de grandes centros

urbanos, sendo bastante perceptível na cidade de Porto Alegre/RS, conforme foi observado nos trabalhos de Petrucci (2000) e Lersch (2003); os produtos de corrosão são advindos de fontes internas às fachadas, ou seja, dos próprios materiais constituintes das estruturas das edificações; a pichação é uma mancha ocasionada por um fator externo e incontrolável, que é a ação do homem, bastante presente atualmente nas fachadas e muros de edificações.

c) idades

As placas manchadas foram expostas ao intemperismo natural aos 29 dias de cura, e as leituras de acompanhamento foram realizadas antes do manchamento, logo após o manchamento e aos 7, 14, 21, 28, 56, 84 dias de exposição com manchas.

4.1.3 Fatores não controláveis

Em todo o experimento existem os fatores não controláveis, variáveis que não podem ser controladas pela equipe técnica, sendo estas as responsáveis pelo erro do experimento ou variabilidade, inerentes ao processo experimental (RIBEIRO e TEN CATEN, 2001). Os possíveis fatores de ruídos nos experimentos estão relacionados a seguir:

- a) temperatura e umidade relativa no dia da mistura e moldagem dos corpos-de-prova;
- b) efeito da betonada.

4.1.4 Fatores constantes

Os fatores constantes são mantidos fixos ao longo do experimento, ou seja, são parâmetros que não entram no experimento (RIBEIRO e TEN CATEN, 2001). Para limitar os fatores que influenciam nas propriedades da argamassa, alguns deles foram mantidos constantes:

- a) tipo de cimento Portland branco (estrutural CPB-40);
- b) tipo de TiO_2 (granulometria, área superficial, forma cristalográfica);
- c) métodos de produção das argamassas;
- d) consistência das argamassas;
- e) local para exposição natural.

Com a intenção de reproduzir o ambiente em que as fachadas das edificações estão expostas, o ambiente de exposição natural considerado é o próprio ambiente externo urbano, localizado na cidade de Porto Alegre/RS, mais precisamente na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC). Os corpos-de-prova ficaram expostos ao intemperismo natural, com incidência direta de radiação UV e da ação da chuva.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Estão descritos, a seguir, os materiais que foram utilizados para a realização do programa experimental e as técnicas de caracterização dos mesmos.

4.2.1 Cimento Portland Branco Estrutural

O cimento Portland utilizado foi o cimento branco estrutural (CPB-40) fabricado no México e importado por uma empresa de cimentos brasileira. A escolha do cimento deveu-se ao fato de este ser empregado pela empresa que está envolvida nesta pesquisa. A caracterização física e mecânica do material foi realizada a partir de dados fornecidos pelo fabricante e através de ensaios complementares executados no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) da UFRGS e no Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído (LAMTAC) da mesma instituição.

A massa específica do material foi determinada de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001); a superfície específica foi analisada através de equipamento Quantachrome NovaWin, por meio do método de BET (Braunauer, Emmet e Teller); o diâmetro médio foi determinado através de difração a laser. Os resultados da caracterização física estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – caracterização física do cimento Portland branco estrutural utilizado.

Características físicas		
Identificação	Método de ensaio	Resultado
Massa específica (g/cm ³)	NBR NM 23/2001	3,00
Superfície específica (m ² /g)	BET	0,37
Diâmetro médio (µm)	Difração a laser	14,50

A caracterização química foi realizada através da Fluorescência de Raios X (FRX), pelo LACER. O resultado da caracterização química do cimento pode ser visualizado na tabela 3.

Tabela 3 – caracterização química do cimento Portland branco estrutural utilizado, obtida através de FRX.

Características químicas	
Principais compostos (%)	Resultado*
CaO	63,94
SiO ₂	21,32
SO ₃	5,62
Al ₂ O ₃	4,11
MgO	0,45
Fe ₂ O ₃	0,40
K ₂ O	0,17
TiO ₂	0,16
SrO	0,08
P ₂ O ₅	0,04
CO ₂	3,70

*Ensaio realizado no LACER/UFRGS.

4.2.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado tem como matéria-prima a rocha calcária, e está disponível comercialmente. A escolha por este agregado deveu-se, também, ao fato de ser aquele utilizado pela empresa que está envolvida nesta pesquisa. A caracterização física do agregado miúdo e a sua composição granulométrica foram obtidas através de ensaios executados no LAMTAC e os resultados estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – composição granulométrica e caracterização física do agregado miúdo utilizado.

Identificação	Método de ensaio	Resultado		
		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	0	0
		0,3	56	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	1,55		
Massa específica	NBR NM 52/2009	2,60 g/cm ³		
Absorção de água	NBR NM 30/2000	0,11%		
Massa unitária	NBR NM 45/2006	1522 kg/m ³		

4.2.3 Água

A água utilizada para a confecção da argamassa foi proveniente da rede pública de abastecimento local, fornecida pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre/RS.

4.2.4 Dióxido de titânio (TiO₂)

O TiO₂ utilizado para esta pesquisa foi disponibilizado pela empresa que está envolvida nestes estudos. A caracterização física do material foi efetuada no LACER e no LAMTAC, através de equipamentos e ensaios laboratoriais específicos. A análise de distribuição do tamanho de partícula (DTP), que verifica o tamanho médio das partículas e a distribuição das mesmas, foi realizada através de difração a laser. A superfície específica do TiO₂ foi analisada através de equipamento Quantachrome NovaWin, por meio do método de BET. A massa específica foi determinada de acordo com os métodos da NBR NM 53 (ABNT, 2009). A caracterização física do TiO₂ está resumida através da tabela 5.

Tabela 5 – caracterização física do TiO₂ utilizado.

Identificação	Método de ensaio	Resultado
Diâmetro médio (nm)	Difração a laser	210
Superfície específica (m ² /g)	BET	9,44
Massa específica (g/cm ³)	NBR NM 23/2001	3,81

Segundo Maranhão (2009), algumas pesquisas recentes apontam que partículas de TiO₂ com diâmetro médio de 15 nm apresentam as melhores e mais intensas atividades fotocatalíticas. O estudo de Azevedo et al. (2012), que avaliou a eficiência da autolimpeza com adição de TiO₂ em argamassas, utilizou um material com 21 nm de diâmetro médio e superfície específica de 50 m²/g. Ruot et al. (2009) utilizaram em sua pesquisa pós de TiO₂ com superfícies específica de 85 ± 10 m²/g e diâmetro médio de 15 a 25 nm.

A caracterização química foi realizada por meio da Fluorescência de Raios X (FRX) e da Difração de Raios X (DRX), pelo LACER. Desta forma, permitiu-se verificar a composição química e caracterizar a mineralogia do TiO₂, respectivamente. A tabela 6 representa a composição química obtida através da Fluorescência de Raios X (FRX), realizada no LACER.

Tabela 6 – composição química do TiO₂ utilizado, obtida através de FRX.

Composição química	
Principais compostos (%)	Resultado*
TiO ₂	94,00
SiO ₂	1,26
Al ₂ O ₃	0,44
P ₂ O ₅	0,40
Fe ₂ O ₃	0,24
K ₂ O	0,20
NbO	0,16
CaO	0,15
SO ₃	0,09
CO ₂	3,07

*Ensaio realizado no LACER/UFRGS.

Através desta análise, verificou-se que o material disponível é representado por 94% de TiO₂ e pequenas porcentagens de outros elementos complementam a amostra.

A caracterização química através da técnica de Difração de Raios X (DRX) pelo LACER/UFRGS permitiu a caracterização mineralógica do TiO_2 . A caracterização foi realizada na faixa de intervalo de 5° a 75° , em 2θ , com tamanho de passo de $0,05^\circ$ e tempo por passo de 1s. A identificação das fases cristalinas foi possível através do uso do software X'Pert High Score, por meio da comparação de fichas cristalográficas. A figura 23 representa a composição mineralógica da amostra, na qual os picos representam a forma cristalográfica do anatásio.

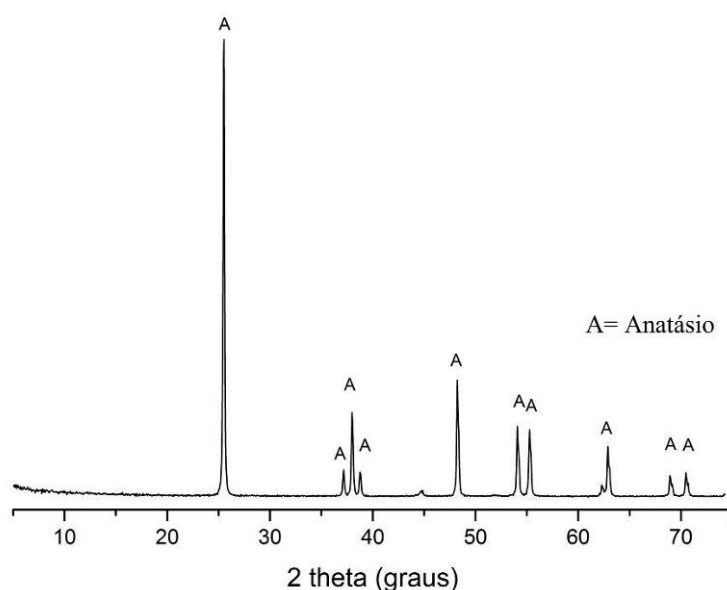


Figura 23 – composição mineralógica do TiO_2 obtida a partir de análise por Difração de Raios X (DRX)⁷.

A análise morfológica do TiO_2 foi realizada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), obtida no laboratório do Centro de Microscopia Eletrônica (CME) da UFRGS. A partir do MEV, tem-se uma análise microestrutural do material. O material está representado pela figura 24, com diferentes ampliações do microscópio e com tensão de aceleração variando entre 8 e 10 kV.

⁷ Fica cristalográfica utilizada para análise de DRX: 00-021-1272.

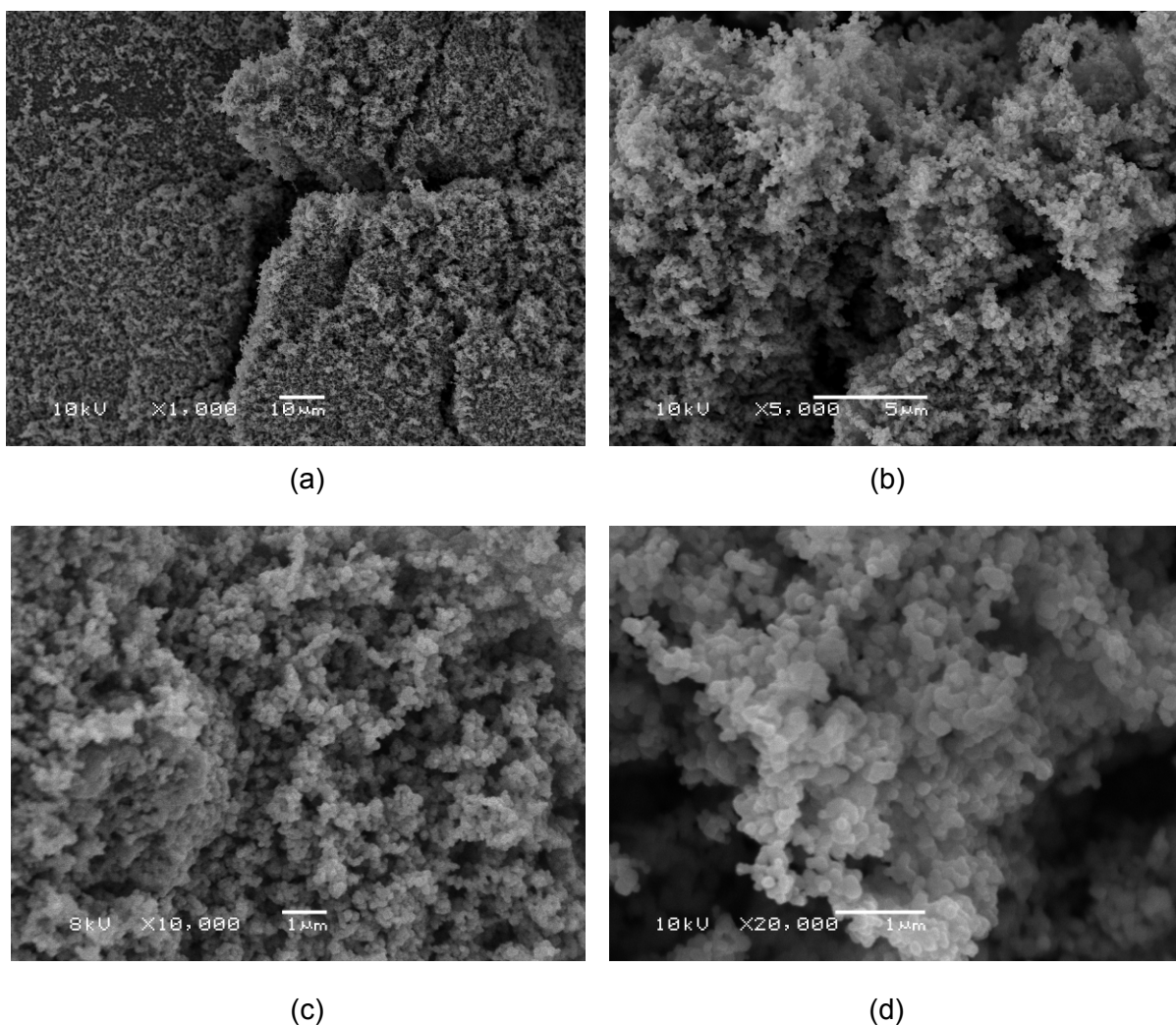


Figura 24 – Análise microestrutural do TiO_2 a partir do MEV – elétrons secundários. Aumento: (a) x1000; (b) x5000; (c) x10000; (d) x20000.

4.3 MÉTODOS DE MOLDAGEM E CONSUMO DE MATERIAIS

Estão apresentados, a seguir, os métodos de moldagem dos corpos-de-prova e placas, bem como o consumo de materiais utilizado nesta pesquisa.

4.3.1 Dosagem de materiais e produção das argamassas

O proporcionamento dos materiais para a produção das argamassas foi realizado com os traços de 1:2 e 1:3 (cimento: areia seca) em massa. Os teores de TiO_2 de 0%, 5% e 10% estipulados para cada argamassa foram dosados como adição em relação à massa de cimento utilizada para cada uma delas. Todos os materiais foram pesados em balança de precisão de 0,01g. Foram confeccionadas seis argamassas distintas, que foram denominadas conforme a tabela 7.

Tabela 7 – denominação das argamassas conforme traço e porcentagem de adição de TiO₂.

Adição de TiO ₂ (%)	Traços	
	1:2	1:3
0	A20	A30
5	A25	A35
10	A210	A310

Antes da produção dos corpos-de-prova e placas, foi realizado um estudo prévio de consistência da matriz cimentícia com os dois traços e as diferentes adições de TiO₂ para determinar a quantidade de água necessária nas misturas, a fim de obter a consistência e a trabalhabilidade adequadas para uma argamassa de revestimento. Com este estudo, definiu-se o índice de consistência desejado em 260 mm \pm 10 mm, tomando-se como base a NBR 13276 (ABNT, 2005), que recomenda adotar um índice de 260 mm \pm 5 mm. O intervalo do índice de consistência foi ampliado em função dos diferentes teores de adição de TiO₂. Foram realizadas três medições em cada argamassa confeccionada, a fim de se obter uma média dos valores obtidos. O consumo de materiais utilizado para a moldagem das argamassas, bem como a relação água/cimento obtida e a consistência das argamassas, estão apresentados na tabela 8. A quantidade de materiais utilizada em cada betonada obedeceu ao limite máximo permitido pela argamassadeira utilizada.

Tabela 8 – consumo de materiais utilizados para a moldagem e relação água/cimento das argamassas.

Identificação da argamassa	Consumo de materiais (kg)				Relação a/c
	Cimento	Areia	Água	TiO ₂	
A20	6,0	12,0	2,46	0	0,41
A25	6,0	12,0	2,58	0,3	0,43
A210	6,0	12,0	2,70	0,6	0,45
A30	6,0	18,0	3,42	0	0,57
A35	6,0	18,0	3,54	0,3	0,59
A310	6,0	18,0	3,60	0,6	0,60

A produção das argamassas foi realizada em argamassadeira com turbilhoador da marca Betomac, modelo MT-40, com capacidade para 40 litros de material e rotação de 50 rpm, disponível no LAMTAC/UFRGS, que pode ser visualizado na figura 25. A ordem de colocação dos materiais foi mantida constante em todas as misturas. Primeiramente,

colocou-se no recipiente o agregado miúdo juntamente com o cimento branco. Acionou-se o equipamento até que a mistura estivesse visualmente homogênea. A seguir, foi adicionada a água na quantidade necessária para obter a consistência desejada. O processo de mistura e homogeneização das argamassas foi realizado em um tempo médio de quatro minutos.



Figura 25 – argamassadeira com capacidade para 40 litros sendo utilizada para a mistura das argamassas.

As argamassas que continham o TiO_2 seguiram o procedimento inicial de mistura do agregado miúdo com o cimento. Então, o TiO_2 foi suspenso em água em um recipiente independente, pois, segundo Melo (2011), a distribuição do TiO_2 é melhor quando ele é colocado em suspensão com a água de amassamento, evitando a formação de aglomerados na argamassa. Em seguida, a suspensão de TiO_2 foi adicionada à mistura, e posteriormente, foi colocado o restante da água para obter a consistência desejada. Através da figura 26, pode-se visualizar o pó de TiO_2 no recipiente individual e o TiO_2 em suspensão.

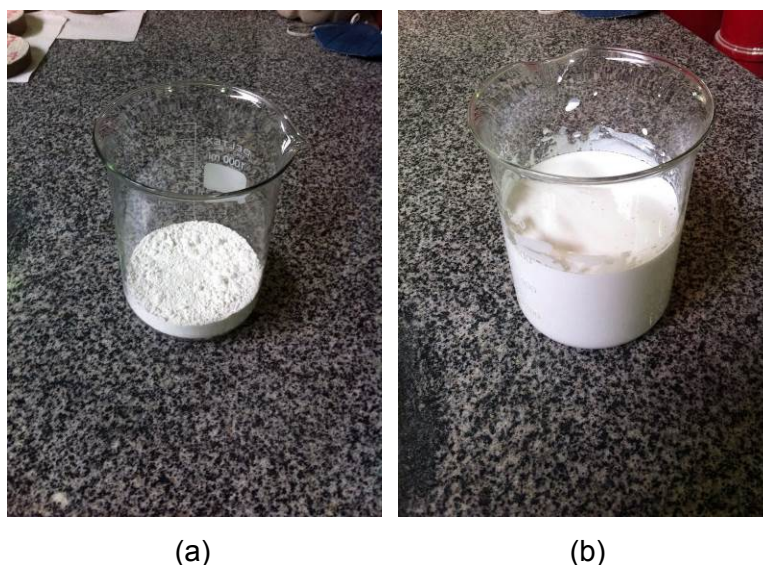


Figura 26 – (a) pó de TiO_2 ; (b) pó de TiO_2 em suspensão na água, antes de ser adicionado à mistura da argamassa.

Cada argamassa foi confeccionada em dosagem única na argamassadeira. Porém as seis argamassas foram produzidas em dias diferentes, visto que a execução de todas no mesmo dia seria impraticável pelo tempo disponível e em função de outros ensaios laboratoriais que estavam vinculados à confecção das mesmas.

4.3.2 Moldagem e cura dos corpos-de-prova e placas

Para a realização do programa experimental estipulado, foi necessária a moldagem de três placas de dimensão 25x35x1 cm e 18 corpos-de-prova prismáticos de dimensão 4x4x16 cm por cada argamassa. As fôrmas metálicas utilizadas para a moldagem das placas continham uma base em fórmica, visando um acabamento liso. Moldaram-se os corpos-de-prova em número excedente às normas estabelecidas para a realização dos ensaios laboratoriais, a fim de evitar possíveis perdas de material e obter resultados mais confiáveis, com um maior número de dados.

Após a dosagem e preparação da mistura, determinou-se o índice de consistência segundo os procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 2005) para averiguar se a argamassa produzida correspondia aos padrões de consistência anteriormente estipulados. Se esta não estivesse dentro dos padrões, era necessário corrigir o traço com água, ou então, com materiais secos, dependendo do seu resultado. Se a argamassa estivesse no intervalo de consistência desejado, então eram moldados as placas e os corpos-de-prova em número definido.

Para a moldagem dos corpos-de-prova prismáticos, seguiram-se os procedimentos da NBR 13279 (ABNT, 2005), utilizando a mesa de adensamento e rasando os mesmos com régua metálica. Já para a execução das placas, utilizou-se a mesa vibratória por 15 segundos para realizar o adensamento das mesmas e então executou-se o rasamento com régua metálica. Após a colocação da argamassa no estado fresco, cada fôrma recebeu uma grelha na sua base, a fim de subdividir a placa em 12 placas menores, de dimensão 8,75x 8,33 cm, conforme se pode observar na figura 27. Optou-se por este método de subdivisão, pois o corte posterior à cura da argamassa poderia ocasionar quebras ou fissuras nas placas.



(a)

(b)

Figura 27 – (a) grelha utilizada para subdividir as placas de argamassa; (b) colocação da grelha na fôrma com argamassa no estado fresco.

A dimensão das placas foi estipulada com base nos espaçamentos da estrutura metálica disponível na qual as placas foram expostas posteriormente. Para cada combinação traço/TiO₂/manchas/ambientes, foram designadas três placas pequenas, totalizando 30 por combinação. Em caso de perdas, foram executadas seis placas extras por tipo de argamassa, conforme figura 28.

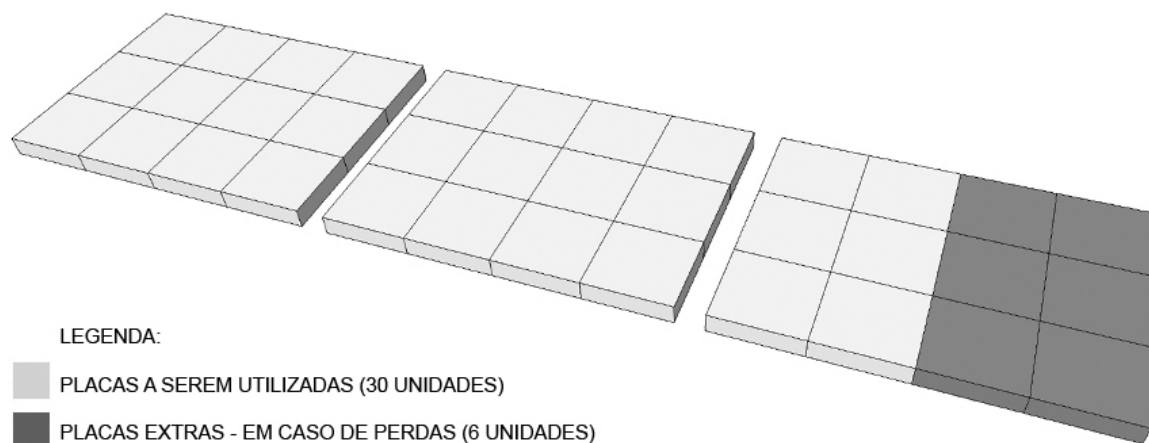
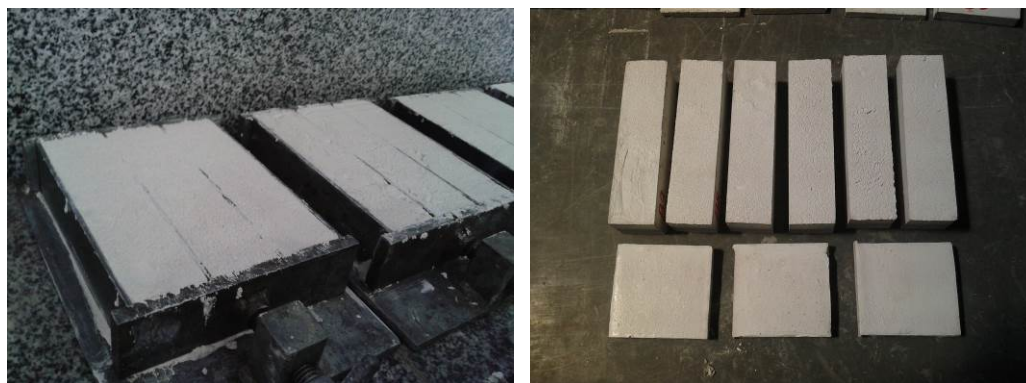


Figura 28 – para cada tipo de argamassa, foram executadas seis placas pequenas extras, em caso de perdas.

Os corpos-de-prova e placas permaneceram nos moldes por 24h e então, foram desmoldados, conforme se pode visualizar na figura 29. Após, foram levados para a cura imersa em água com cal até completarem 28 dias, quando eram retirados para a execução dos ensaios.



(a)

(b)

Figura 29 – (a) corpos-de-prova prismáticos nos moldes; (b) corpos-de-prova e placas desmoldados, prontos para serem levados para cura imersa.

4.4 MÉTODOS DE ENSAIO

Os métodos de ensaio realizados nesta pesquisa estão descritos a seguir, citando as normas brasileiras utilizadas.

4.4.1 Ensaios no estado fresco

Através da tabela 9, pode-se visualizar um resumo dos métodos de ensaio no estado fresco realizados para caracterizar as argamassas, os quais estão descritos posteriormente.

Tabela 9 – métodos de ensaios no estado fresco realizados para caracterizar as argamassas.

Determinação	Método de ensaio
Índice de consistência	NBR 13276/2005
Densidade de massa e teor de ar incorporado	NBR 13278/2005

4.4.1.1 Índice de consistência

O índice de consistência foi mantido fixo ($260 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$) para todas as argamassas, a fim de poder compará-las posteriormente. Adotou-se como base a NBR 13276 (ABNT, 2005) para determinar o índice de consistência, em conformidade ao explicitado anteriormente.

4.4.1.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A densidade de massa e o teor de ar incorporado foram obtidos através dos procedimentos da NBR 13278 (ABNT, 2005).

4.4.2 Ensaios no estado endurecido

Um resumo dos métodos de ensaio no estado endurecido realizados para caracterizar as argamassas está representado na tabela 10, os quais estão descritos de forma sucinta posteriormente.

Tabela 10 – métodos de ensaios no estado endurecido realizados para caracterizar as argamassas.

Determinação	Método de ensaio	Idade de ensaio (dias)	Nº de cp's	Formato cp's
Densidade de massa aparente	NBR 13280/2005	28	6*	Prismático (4cm x 4cm x 16cm)
Módulo de elasticidade dinâmico	NBR 15630/2009	28	6*	Prismático (4cm x 4cm x 16cm)
Absorção de água por capilaridade	NBR 15259/2005	28	6	Prismático (4cm x 4cm x 16cm)
Resistência à tração na flexão e à compressão axial	NBR 13279/2005	28	12	Prismático (4cm x 4cm x 16cm)
Resistência ao manchamento	-	7, 14, 21, 28, 56, 84	3	Placas (8,75x 8,33 x 1cm)

* Corpos-de-prova que foram reaproveitados para outros ensaios.

4.4.2.1 Densidade de massa aparente no estado endurecido

A determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido seguiu as recomendações da NBR 13280 (ABNT, 2005), utilizando seis corpos-de-prova na idade de 28 dias. Como se trata de um ensaio não destrutivo, após a realização do mesmo, os corpos-de-prova foram reutilizados para o ensaio do módulo de elasticidade dinâmico.

4.4.2.2 Módulo de elasticidade dinâmico

A determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi realizada segundo a NBR 15630 (ABNT, 2009), utilizando seis corpos-de-prova na idade de 28 dias. Foram realizadas três leituras em cada corpo-de-prova, em conformidade com a norma. Trata-se de um ensaio não destrutivo, e, portanto, estes corpos-de-prova foram reutilizados para o ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão axial.

4.4.2.3 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade das argamassas foi realizada através da NBR 15259 (ABNT, 2005), e foram utilizados três corpos-de-prova na idade de 28 dias. As leituras de ensaio foram realizadas aos 10 e aos 90 min, em conformidade ao que estabelece a norma. Apesar de não estar normalizado, foi realizado o procedimento de impermeabilizar os corpos-de-prova nas quatro faces laterais com uma resina epoxídica, para que estes não evaporassem água durante as leituras.

4.4.2.4 Resistência à tração na flexão e à compressão axial

A resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial das argamassas foi realizada de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), sendo utilizados 12 corpos-de-prova na idade de 28 dias. Os corpos-de-prova utilizados para o ensaio de resistência à tração na flexão tiveram as suas metades reutilizadas posteriormente para o ensaio de compressão axial, resultando no dobro de corpos-de-prova para este ensaio.

4.4.2.5 Manchamento e exposição das placas

O manchamento das placas ocorreu aos 29 dias de cura das argamassas e foi realizado manualmente com aspersão dos agentes de manchamentos (líquidos e partículas) através de borrifadores. O particulado de poluição utilizado foi advindo da queima de madeira de eucalipto nas caldeiras do Complexo Santa Casa de Misericórdia, misturado a uma solução com água, em proporção 1:2 (particulado: água) em massa, visando uma grande concentração do particulado. Para a execução do manchamento de corrosão, foi mantida uma barra de ferro com uma lâmina de água por 30 dias, formando uma solução corrosiva. O azul de metileno foi utilizado em solução de 1%, de acordo com a norma ASTM 1378-97 (2014) e conforme é normalmente comercializado. Para a pichação foi utilizado o próprio spray de tinta comercializado em lojas. As soluções de manchamentos utilizadas podem ser visualizadas na figura 30(a).

Todos os agentes de manchamentos foram aplicados da mesma forma para que houvesse mínimas diferenças na avaliação da autolimpeza posteriormente. Os borrifadores eram colocados na mesma inclinação, com distância de 20 cm da placa, aspergindo a mesma quantidade de vezes para cada manchamento. O aspecto visual das placas logo após a aspersão e espera pela secagem pode ser visualizado na figura 30 (b).



(a)

(b)

Figura 30 – (a) borrifadores e spray com os agentes de manchamentos utilizados nas placas; (b) aspecto visual das placas com aplicação das manchas.

Após o manchamento, as placas foram colocadas no ambiente estipulado. O período de exposição das placas foi de 08/12/2014 a 09/04/2015, sendo este período essencialmente no verão, com temperatura variando entre 25°C e 35°C e índice pluviométrico médio de 100 mm por mês (dados retirados da Prefeitura Municipal de Porto Alegre). O local de exposição das placas era livre de bloqueios por vegetação de grande porte ou edificações em altura.

Para a exposição ao intemperismo natural, foram utilizadas estruturas metálicas disponíveis na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), em Porto Alegre/RS, que estão voltadas para a orientação solar norte, a uma inclinação de aproximadamente 40°. Estas estruturas foram utilizadas em experimentos científicos anteriores, e já se encontravam na CIENTEC. Não foi possível obter maiores informações sobre o estudo realizado anteriormente com essas estruturas, porém, essas se mostraram adequadas para o experimento em questão, devido à inclinação e à orientação solar.

As estruturas metálicas utilizadas para este experimento estão demonstradas na figura 31(a). Ainda, foram fixadas cantoneiras no sentido da inclinação da estrutura principal, encaixadas na furação já existente a cada 9 cm, para que as placas pudessem ser apoiadas, conforme pode ser visualizado na figura 31(b).



(a)

(b)

Figura 31 – (a) estrutura metálica existente utilizada para exposição ao intemperismo natural das placas de argamassa; (b) placas manchadas apoiadas sobre cantoneiras.

4.4.2.6 Caracterização colorimétrica e resistência ao manchamento

Diversas foram as técnicas desenvolvidas para analisar e avaliar a cor ao longo dos últimos anos. Para que a comunicação e a linguagem das cores fosse correta e mais fácil, foi necessário quantificar e expressar a cor a partir de uma forma numérica. Alguns desses métodos foram desenvolvidos pela CIE (*Commission Internationale L'Eclairage*), uma comissão internacional de iluminação e cor (FIORETTI, 2010). Podem ser citados os métodos: sistema XYZ, sistema $L^*a^*b^*$, sistema L^*C^*h .

O padrão de coordenadas de cores utilizado para este trabalho foi o CIELAB, ou apenas $L^*a^*b^*$. Este sistema foi desenvolvido para garantir uma maior uniformidade na representação da cor, além de tornar as diferenças numéricas da escala de cor mais próximas das percepções visuais. Ainda, este é o sistema de representação de cor mais popular, sendo utilizado em diversas áreas científicas (PASSUELO, 2004).

No sistema $L^*a^*b^*$, a coordenada L representa a reflectância ou luminosidade (variando de 0 a 100), enquanto a^* e b^* são coordenadas cromáticas que indicam a intensidade da cor (variando de -128 a +127). A coordenada a^* , quando varia no sentido positivo indica uma tendência crescente em direção ao vermelho, e quando no sentido negativo, uma tendência ao verde. A coordenada b^* mede a tendência ao amarelo para valores positivos, enquanto no sentido negativo vai em direção ao azul. A figura 32 representa o sólido de cor do espaço $L^*a^*b^*$.

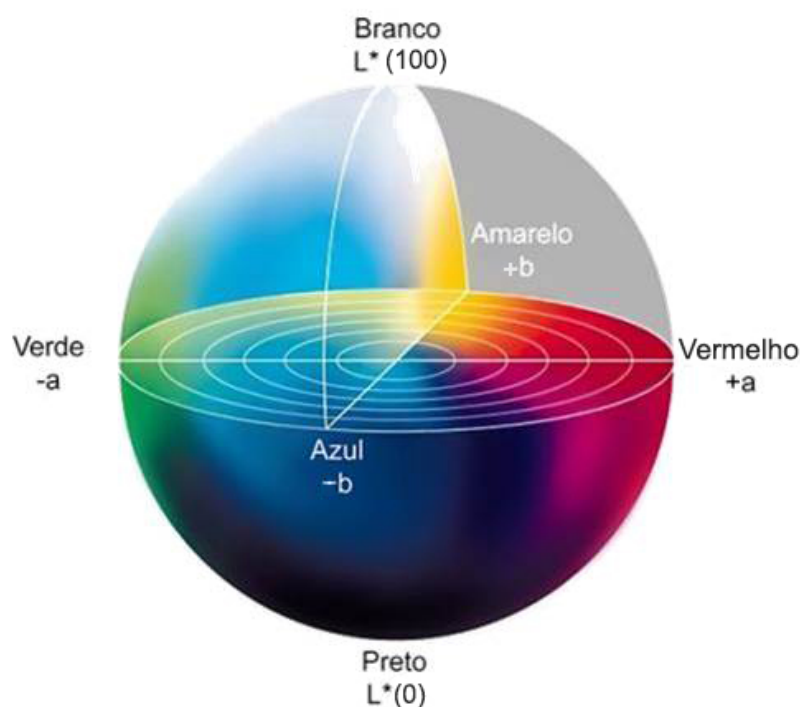


Figura 32 – representação do sólido de cor do espaço $L^*a^*b^*$ (adaptado de MINOLTA⁸, 1998 *apud* PASSUELO, 2004).

Para verificar a diferença de cor entre duas amostras, pode-se utilizar o parâmetro ΔE_{ab}^* . Segundo Fioretti (2010), é um parâmetro que corresponde à distância euclidiana entre dois pontos no sistema $L^*a^*b^*$. Sendo assim, as equações a seguir detalham este parâmetro.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{Equação 6}$$

$$\Delta L = L2 - L1 \quad \text{Equação 7}$$

$$\Delta a = a2 - a1 \quad \text{Equação 8}$$

$$\Delta b = b2 - b1 \quad \text{Equação 9}$$

Assume-se que existe uma diferença de cores entre os materiais, e, para tal, é importante avaliar a partir de quando ou de que valor de ΔE essa variação é perceptível (MULLER, 2013). Para que a percepção de cor fique mais clara, existe uma classificação utilizada na indústria de tintas, que estabelece os diferentes valores de ΔE , de acordo com a percepção de cor do olho humano. Essa classificação pode ser verificada na tabela 11.

⁸ MINOLTA. **Precise color communication**: Color control from perception to instrumentation. Japão: Minolta CO. Ltd, 1998.

Tabela 11 – comparação de valores de diferenças de cor de acordo com a percepção do olho humano (adaptado de Petter e Gliese⁹, 2004 *apud* Fioretti, 2010).

Diferenças (ΔE)		Classificação
0	0,2	Imperceptível
0,2	0,5	Muito pequena
0,5	1,5	Pequena
1,5	3	Distinguível
3	6	Facilmente distinguível
>6		Muito grande

Para quantificar facilmente estes atributos de cor, são utilizados instrumentos de medição. Equipamentos como os espectrofotômetros e os colorímetros medem a luz refletida dos objetos em cada comprimento de onda ou em determinadas faixas. O equipamento quantifica os dados espectrais para determinar as coordenadas de cor do objeto no espaço de cor $L^*a^*b^*$ e apresenta a mesma informação de forma numérica (KONICA MINOLTA SENSING AMERICAS INC, 2013).

Para este trabalho, a caracterização colorimétrica foi realizada através de um espectrofotômetro portátil, da marca Konica Minolta, modelo CM-2500d, apresentado na figura 33(a). Para que as leituras ocorressem sempre nos mesmos pontos nas placas, foi confeccionado um gabarito com cinco aberturas equidistantes, de dimensões apropriadas à lente do equipamento, que se colocava sobre as placas, conforme se pode visualizar na figura 33(b).

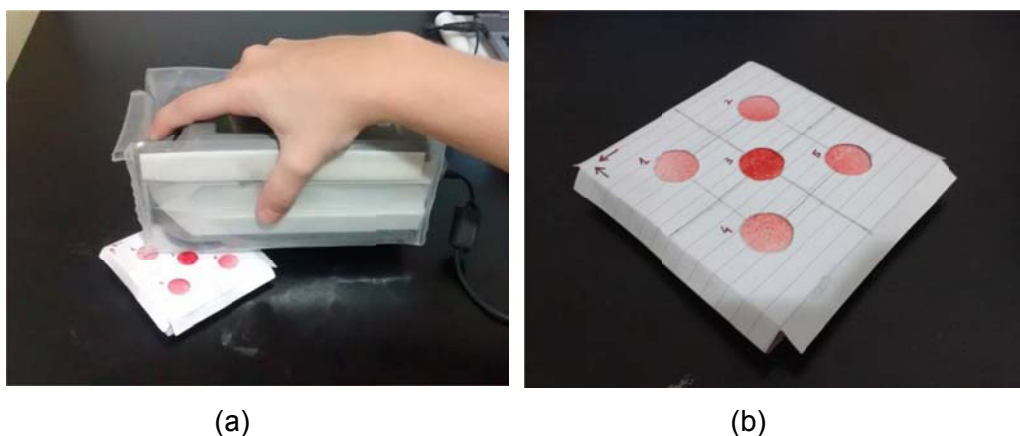


Figura 33 – (a) espectrofotômetro portátil utilizado para realizar as leituras de cor; (b) gabarito com aberturas equidistantes utilizado sobre as placas.

⁹ PETTER, C. O.; GLIESE, R. **Fundamentos de Colorimetria**. Apostila do Curso de Colorimetria. Laprom, 2004

O software utilizado para reunir todos os dados necessários a partir do espectrofotômetro foi o *Cyberchrome OnColor*, o qual acompanha o equipamento. Antes de utilizar o equipamento, o mesmo ordenava uma calibração prévia em relação ao “branco”, exigida a cada vez que era ligado. Os resultados podiam ser obtidos sob diferentes coordenadas, sendo escolhido o sistema L*a*b*.

Com o espectrofotômetro, foi realizada uma leitura inicial nas placas aos 29 dias de idade, antes das mesmas receberem os manchamentos. Logo, foram aplicados os manchamentos e, depois de transcorridas pelo menos três horas, foi realizada nova leitura com espectrofotômetro para controlar o máximo manchamento a que cada placa foi submetida. Então, as placas foram expostas ao ambiente natural. A fim de verificar o efeito da eficácia da autolimpeza das argamassas manchadas em relação ao tempo, foram realizadas leituras periódicas nas placas após 7, 14, 21, 28, 56 e 84 dias de manchamento. Todos os dados e gráficos gerados a partir do software foram coletados e importados para arquivos do tipo “.txt” para a posterior comparação e análise.

5 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo, estão apresentados os resultados obtidos através dos ensaios realizados no programa experimental, além de uma análise e discussão com embasamento na literatura. Optou-se por realizar uma análise estatística dos resultados dos ensaios físico-mecânicos, a fim de obter uma maior objetividade e confiabilidade dos resultados. Para esta análise, utilizou-se o software *Statistica*, versão 10. Porém, para avaliar os dados colorimétricos, optou-se por realizar uma análise visual, além de uma análise das coordenadas $L^*a^*b^*$ e da variação colorimétrica (ΔE).

Para cada ensaio físico-mecânico, realizou-se uma análise de variância (ANOVA) para verificar a significância estatística das variáveis nos diferentes parâmetros e as suas interações. Para melhor compreensão das respostas, quando necessário, fez-se a comparação múltipla de médias através da distribuição de Fischer (teste F). Foram considerados significativos os resultados com valores de confiança iguais ou superiores a 95%, e foram discutidos e analisados aqueles resultados ou interações que se mostraram significativos.

Os resultados estão apresentados em tabelas e gráficos para uma melhor visualização. Resultados complementares dos ensaios realizados podem ser encontrados no apêndice A .

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

A seguir, estão apresentados os resultados de caracterização das argamassas no estado fresco confeccionadas.

5.1.1 Índice de consistência

Em concordância com o descrito anteriormente, definiu-se o índice de consistência desejado em $260\text{mm} \pm 10\text{mm}$. A tabela 12 apresenta o índice de consistência médio das seis argamassas confeccionadas.

Tabela 12 – índice de consistência médio das argamassas confeccionadas.

Identificação da argamassa	Índice de consistência médio (mm)
A20	260
A25	270
A210	265
A30	260
A35	260
A310	265

Para que as argamassas obtivessem o índice de consistência dentro do mesmo intervalo, foi necessária uma maior quantidade de água para as argamassas de traço 1:3 em relação às argamassas de traço 1:2, conforme era esperado, devido a maior quantidade de agregado miúdo naquela mistura. E para as argamassas que continham TiO_2 (A25, A210, A35, A310), também foi necessária uma maior quantidade de água, já que o TiO_2 introduz-se na mistura como um material fino e pulverulento, necessitando mais água. Quanto maior a porcentagem de adição, maior foi a necessidade de água na mistura. A figura 34 evidencia esta afirmação.

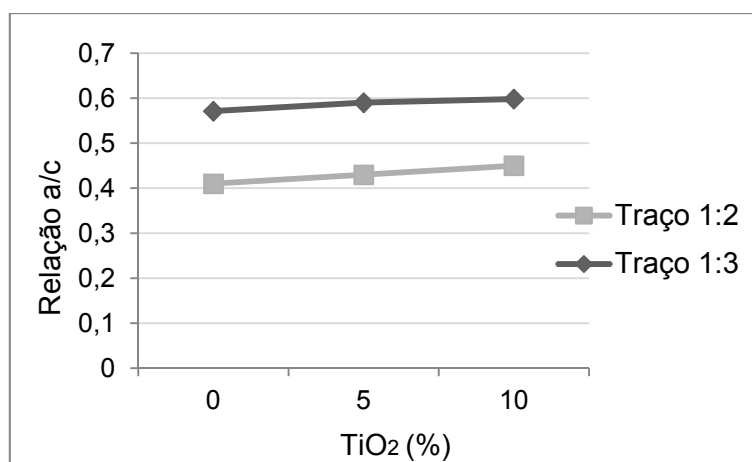


Figura 34 – relação entre água/cimento e porcentagem de TiO_2 para cada um dos traços utilizados nas argamassas.

Portanto, com uma maior quantidade de agregado miúdo, que é fino, e de TiO_2 na argamassa, foi necessária uma maior quantidade de água de amassamento para obter o índice de consistência estipulado para todas as misturas. O mesmo comportamento foi observado por Casagrande (2012), o qual observou que os menores valores de consistência encontrados foram de argamassas que continham 10% da adição de TiO_2 em comparação a

uma argamassa de referência (sem adição de TiO_2), visto que as partículas de titânio adsorvem as moléculas de água necessária para a água de amassamento das misturas. Ainda, conforme analisaram Chen et al. (2012), o início de pega e o fim de pega foram mais rápidos, tanto em argamassas quanto em pastas com adição de TiO_2 , além de mais água ter sido necessária para manter a consistência normal, devido à adição de TiO_2 . No estudo de Bazignan (2013), na qual a relação água/cimento se manteve fixa, observou-se que as argamassas com adições de 10 e 15% se mostraram mais secas e menos trabalháveis em comparação à argamassa com adição de 5%, recomendando-se o uso de plastificantes para melhorar a mistura. Para Senff et al. (2012), a adição de nano partículas de TiO_2 e SiO_2 em argamassas aumentaram os valores de torque e de limite de elasticidade, o que corresponde a uma diminuição do tempo em aberto das mesmas.

5.1.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Os resultados obtidos para as densidades de massa das argamassas confeccionadas estão apresentados na tabela 13 e na figura 35.

Tabela 13 – densidade de massa no estado fresco das argamassas confeccionadas.

Identificação da argamassa	Densidade de massa (kg/m^3)
A20	2175,91
A25	2191,61
A210	2216,45
A30	2119,68
A35	2123,51
A310	2138,12

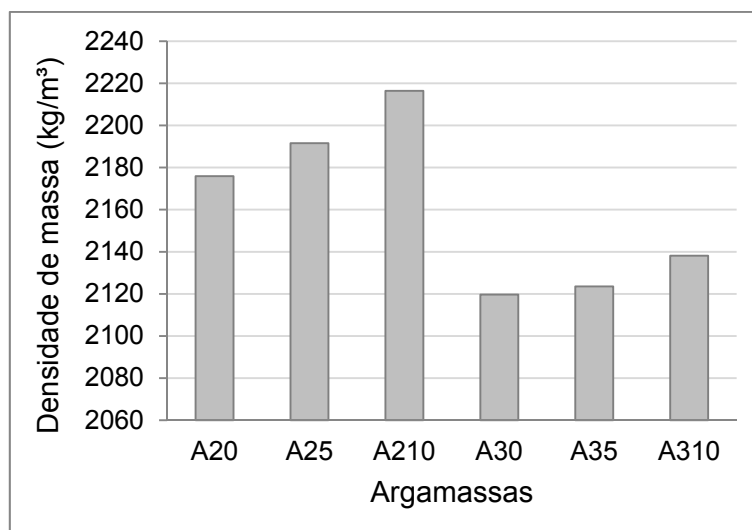


Figura 35 – densidade de massa no estado fresco das argamassas confeccionadas.

Pode-se notar que as argamassas de traço 1:2 (A20, A25, A210) obtiveram resultados de densidade de massa maiores que as argamassas de traço 1:3 (A30, A35, A310). Em comparação ao mesmo traço, aquelas que continham maiores teores de TiO_2 (A210 e A310) obtiveram valores de densidade maiores.

Os resultados obtidos para o teor de ar incorporado das argamassas confeccionadas estão apresentados na tabela 14 e na figura 36.

Tabela 14 – teor de ar incorporado das argamassas confeccionadas.

Identificação da argamassa	Teor de ar incorporado (%)
A20	3,5
A25	2,7
A210	1,5
A30	4,6
A35	4,4
A310	4,0

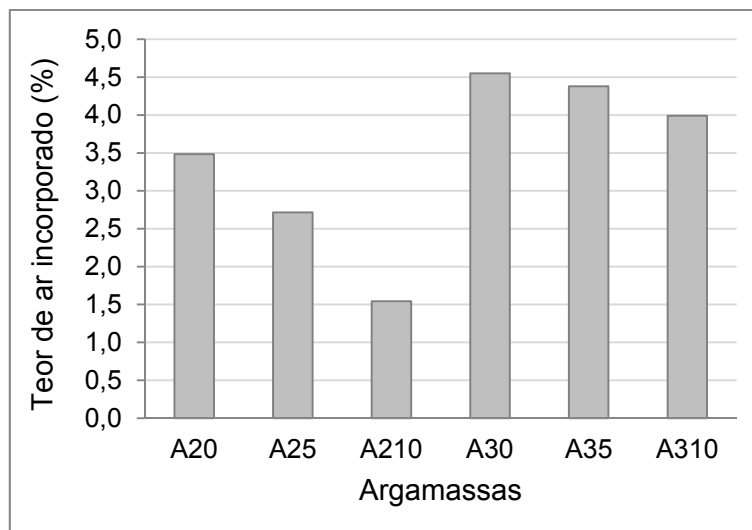


Figura 36 – teor de ar incorporado das argamassas confeccionadas.

A partir destes resultados, foi possível observar que os teores de ar incorporado mais altos foram encontrados nas argamassas de traço 1:3. Em relação ao mesmo traço, os teores de ar mais baixos foram encontrados nas argamassas que continham o TiO_2 na mistura, as quais foram também mais densas, que foram as argamassas A210 e A310.

Conforme era esperado, as argamassas que apresentaram resultados médios de densidade mais altos, de traço 1:2 e com maior porcentagem de TiO_2 , foram aquelas que apresentaram resultados mais baixos de teor de ar incorporado, sendo um resultado inversamente proporcional e coerente. A proporção de agregado miúdo nas argamassas de traço 1:3, um traço considerado mais pobre, provavelmente aumentou a quantidade de poros da mistura, fazendo com que a densidade ficasse mais baixa, e, conseqüentemente, o teor de ar incorporado fosse mais elevado. Além deste fato, a troca da areia pelo cimento (comparando o traço 1:3 em relação ao traço 1:2), que tem maior massa específica, tornou a mistura mais densa.

O TiO_2 exerceu influência sobre a densidade da argamassa e também sobre o teor de ar incorporado das mesmas, entrando como um elemento fino e promovendo o fechamento dos poros capilares da argamassa, diminuindo conseqüentemente o teor de ar incorporado das misturas. Nas argamassas A210 e A310, o aumento do teor de finos e da quantidade de água das misturas de responsabilidade do TiO_2 , fez com que estas se tornassem mais densas em relação às demais. Isso pode ser explicado devido a um melhor empacotamento da mistura com o preenchimento do volume de vazios. Além disso, a massa específica do TiO_2 é mais elevada que a dos demais materiais constituintes, o que influencia também para a densidade maior nas misturas com maior porcentagem de adição do TiO_2 .

Este mesmo desempenho foi encontrado por Chen et al. (2012), que relatam que os TiO_2 utilizados nas misturas atuaram diminuindo a porosidade das pastas de cimento e modificando a distribuição de tamanho e volume total dos poros das misturas. O estudo de Ruot et al. (2009) reitera essa afirmação, no qual observou-se que, tanto para pastas de cimento quanto para argamassas, a adição de partículas de TiO_2 na forma de anatásio pareceram reduzir o tamanho e a quantidade dos poros, indicando que estas partículas preencheram estes vazios.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

A seguir, são apresentados os resultados de caracterização das argamassas no estado endurecido.

5.2.1 Densidade de massa aparente

O ensaio de densidade de massa aparente foi realizado aos 28 dias em todas as argamassas. Os resultados das médias das densidades, desvio padrão e coeficiente de variação das argamassas estão apresentados na tabela 15, e as médias dos resultados também podem ser visualizadas na figura 37. Os demais resultados deste ensaio encontram-se no apêndice A.

Tabela 15 – densidade de massa aparente média das argamassas aos 28 dias de idade.

Identificação da argamassa	Densidade de massa aparente (kg/m^3)	Desvio padrão (kg/m^3)	Coeficiente de variação (%)
A20	2085,67	20,07	0,96
A25	2101,80	8,50	0,40
A210	2088,91	27,93	1,34
A30	2017,63	18,31	0,91
A35	2068,49	27,14	1,31
A310	2027,63	21,52	1,06

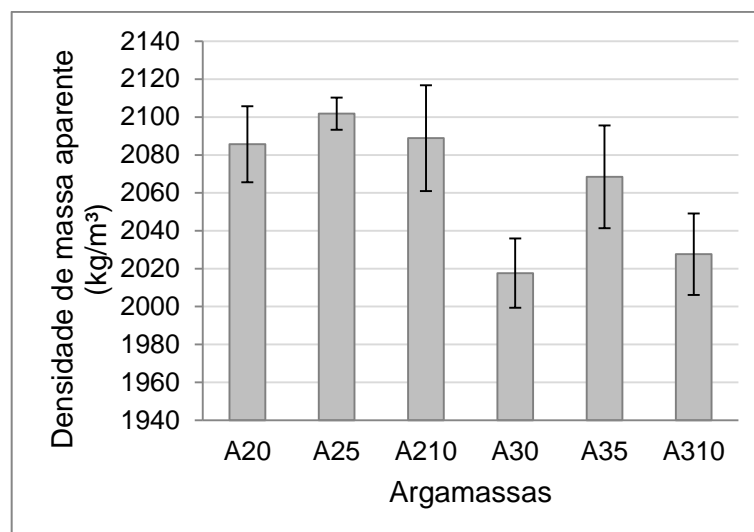


Figura 37 – densidade de massa aparente média das argamassas aos 28 dias de idade.

As argamassas de traço 1:2 apresentaram resultados médios de densidade de massa superiores às argamassas de traço 1:3. Comparativamente ao mesmo traço, as argamassas com 5% de TiO_2 obtiveram resultados médios de densidades mais elevados que as combinações com 0 ou 10% de adição.

Para auxiliar na análise dos resultados, foi realizada uma análise de variância das densidades de massa aparente das argamassas, exposta na tabela 16.

Tabela 16 – análise de variância das densidades de massa aparente no estado endurecido das argamassas.

Efeito	SQ	GDL	MQ	F calc	Fator p	Significância
Traço	26449	1	26449	56,9	0,000000	S
TiO_2	7552	2	3776	8,1	0,001519	S
Traço* TiO_2	2034	2	1017	2,2	0,129833	N/S
Erro	13950	30	465			

SQ= soma quadrática; GDL= graus de liberdade; MQ= média quadrática; F calc= valor calculado de F; Se $p < 5\%$ = Efeito significativo; S=valor significativo; N/S= não significativo.

Pode-se verificar que as densidades de massa aparente das argamassas no estado endurecido apresentam valores estatisticamente diferentes entre si para o traço e para a adição de TiO_2 . Porém, não há significância estatística na interação do traço das argamassas com o teor de adição de TiO_2 . A figura 38 representa o efeito isolado do traço (a) e do teor de adição de TiO_2 (b) nas argamassas.

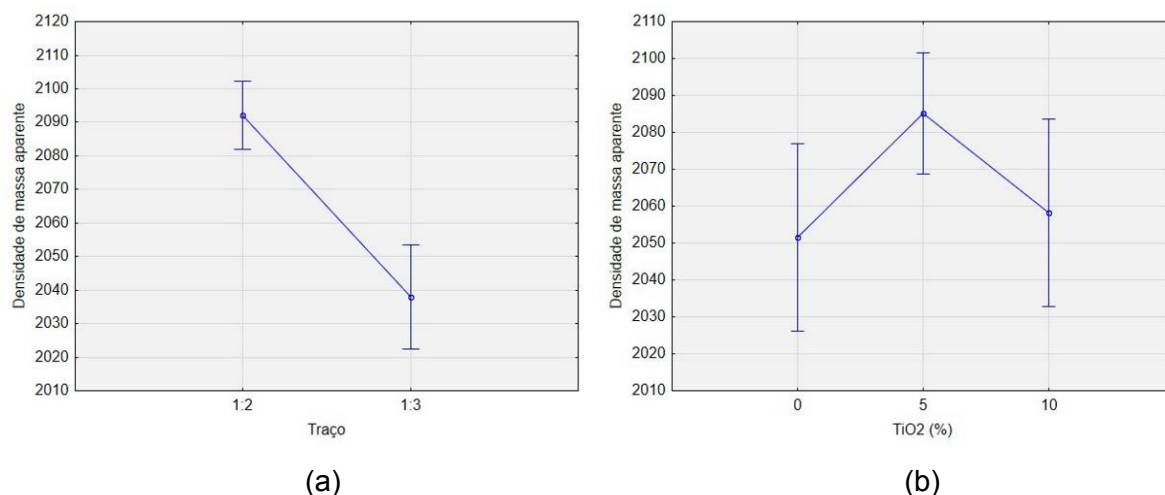


Figura 38 – (a) efeito isolado do traço da argamassa em relação à densidade de massa aparente; (b) efeito isolado do teor de adição do TiO₂ em relação à densidade de massa aparente.

Analisando os efeitos isolados destes resultados, verificou-se que o fator traço influenciou nos resultados das densidades de massa, conforme era esperado. Há diferença significativa na utilização do traço 1:2 em relação ao traço 1:3, ou seja, à medida que se aumentou a proporção de agregado miúdo na mistura, diminuiu-se a densidade de massa das argamassas. Ainda, há diferença expressiva entre utilizar o TiO₂ na mistura e não utilizá-lo, pois, à medida que aumenta o teor de adição na mistura (de 0 para 5% de TiO₂), aumenta a densidade da mesma. Porém, isso ocorre até certa porcentagem de TiO₂, pois de 5% para 10% de adição, a densidade de massa decaiu. Provavelmente, a argamassa A310, que teve maior consumo de água, teve também maior perda de água durante o processo de secagem do material, visto que a adição de TiO₂ acelera o processo de hidratação das argamassas de cimento (SENFF et al., 2012), nas quais a temperatura também aumenta rapidamente (SENFF et al., 2012). Essa perda rápida de água fez com que a mistura apresentasse menor densidade quando no estado endurecido.

Realizando-se uma análise múltipla de médias através da distribuição de Fischer, verifica-se que nem todos os resultados são significativos entre si. Estes resultados encontram-se na tabela 17.

Tabela 17 – distribuição de Fischer para os resultados de densidade de massa aparente das argamassas.

Argamassas		1:2			1:3		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1:2	0%		N/S	N/S	S	N/S	S
	5%	N/S		N/S	S	S	S
	10%	N/S	N/S		S	N/S	S
1:3	0%	S	S	S		S	N/S
	5%	N/S	S	N/S	S		S
	10%	S	S	S	N/S	S	

S=valor significativo; N/S= não significativo.

Os traços 1:2 e 1:3 das argamassas são diferentes entre si, conforme comprova a distribuição de Fischer. Porém, verificou-se que para o traço 1:2, todos os teores de TiO_2 são iguais entre si. Ou seja, a adição ou não de TiO_2 para este traço não influenciou na densidade de massa no estado endurecido. Já para o traço 1:3, a igualdade estatística ocorre apenas entre teores de 0 e 10% de TiO_2 , tornando o teor de 5% diferente dos demais, conforme já havia sido observado anteriormente. Ou seja, utilizando o TiO_2 em 10% ou não utilizando-o, para este traço é indiferente. Apenas utilizando-se 5% de TiO_2 faz diferença significativa, obtendo-se uma argamassa mais densa que as demais.

5.2.2 Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de ondas ultrassônicas foi realizado nas argamassas aos 28 dias. Os resultados das médias do módulo de elasticidade, desvio padrão e coeficiente de variação, estão apresentados na tabela 18, e as médias dos resultados também estão representadas na figura 39. Os demais resultados deste ensaio encontram-se no apêndice A.

Tabela 18 – módulo de elasticidade dinâmico médio das argamassas aos 28 dias de idade.

Identificação da argamassa	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	Desvio padrão (GPa)	Coeficiente de variação (%)
A20	33,97	0,56	1,65
A25	29,44	0,48	1,62
A210	32,52	1,15	3,54
A30	30,17	1,16	3,85
A35	31,80	1,12	3,53
A310	24,58	0,43	1,76

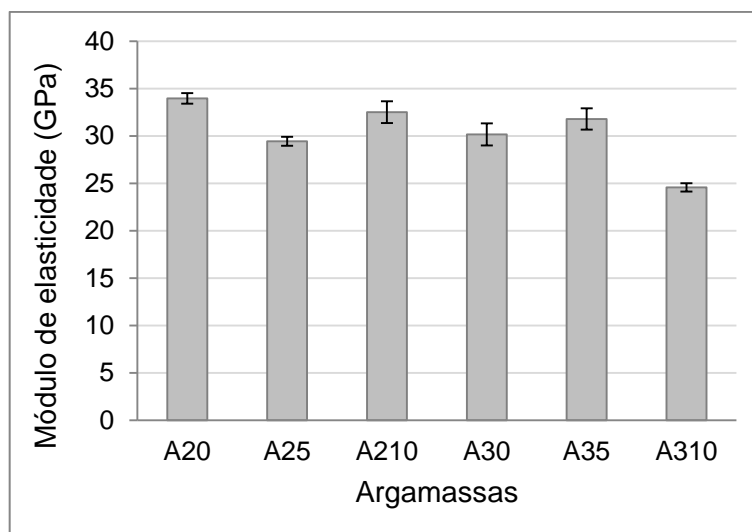


Figura 39 – módulo de elasticidade dinâmico médio das argamassas aos 28 dias de idade.

Foi realizada uma análise de variância para verificar se os resultados encontrados são estatisticamente diferentes entre si, a qual está apresentada na tabela 19.

Tabela 19 – análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.

Efeito	SQ	GDL	MQ	F calc	Fator p	Significância
Traço	88,21	1	88,21	113,29	0,000000	S
TiO ₂	75,12	2	37,56	48,24	0,000000	S
Traço*TiO ₂	161,21	2	80,60	103,53	0,000000	S
Erro	23,36	30	0,78			

SQ= soma quadrática; GDL= graus de liberdade; MQ= média quadrática; F calc= valor calculado de F; Se $p < 5\%$ = Efeito significativo; S=valor significativo; N/S= não significativo.

De acordo com a análise de variância apresentada, pode-se verificar que o traço e os teores de adição de TiO₂ influenciam significativamente nos resultados do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas, bem como a interação destes dois fatores. A figura 40 representa o efeito isolado do traço (a) e do teor de adição de TiO₂ (b) nas argamassas.

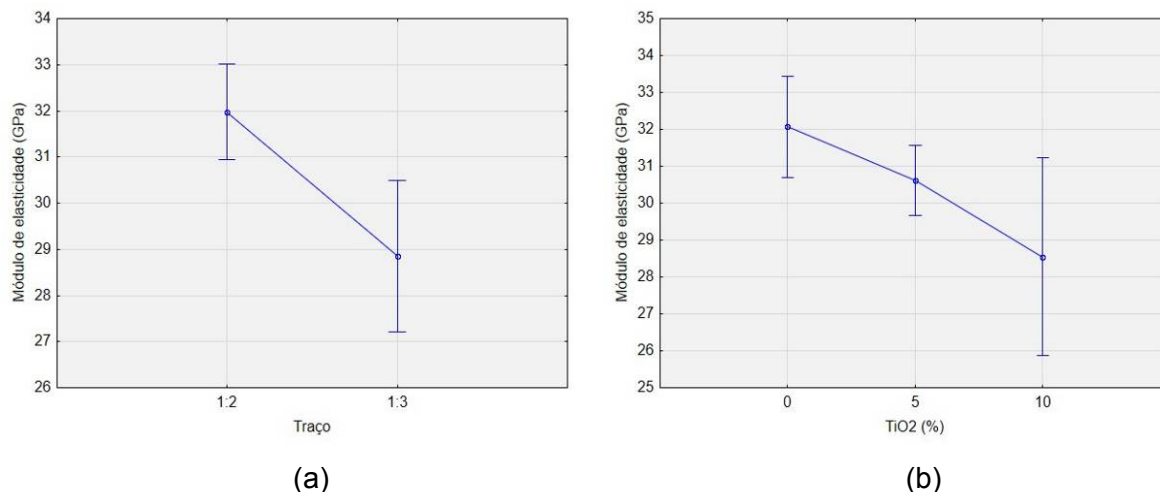


Figura 40 – (a) efeito isolado do traço da argamassa em relação ao módulo de elasticidade dinâmico; (b) efeito isolado da porcentagem de adição do TiO₂ em relação ao módulo de elasticidade dinâmico.

Em relação aos efeitos isolados destes resultados, constatou-se que o fator traço influenciou no resultado do módulo de elasticidade dinâmico. Sabe-se que o módulo de elasticidade está relacionado à capacidade da argamassa absorver deformações, e quanto menor é o valor do módulo, maior a capacidade do material de absorver deformações e possíveis fissurações.

O traço 1:3, em relação ao traço 1:2, apresentou valores de módulo de elasticidade mais baixos, constatando que este teria uma maior capacidade de absorver possíveis deformações da argamassa. Ainda, as adições de TiO₂ também são significativas para o módulo de elasticidade. De acordo com a figura, analisando isoladamente o fator TiO₂, quanto maior a adição deste material, menor é o módulo de elasticidade e maior é a capacidade de absorver deformações. A queda no módulo de elasticidade das argamassas de 0 para 10% pode ser explicada pela maior quantidade de água necessária nas misturas com adição de TiO₂, que gerou maior quantidade de poros capilares, diminuindo o módulo de elasticidade. Na figura 41, estão demonstrados os efeitos das interações entre o traço (a) e a adição de TiO₂ (b) para o resultado do módulo de elasticidade.

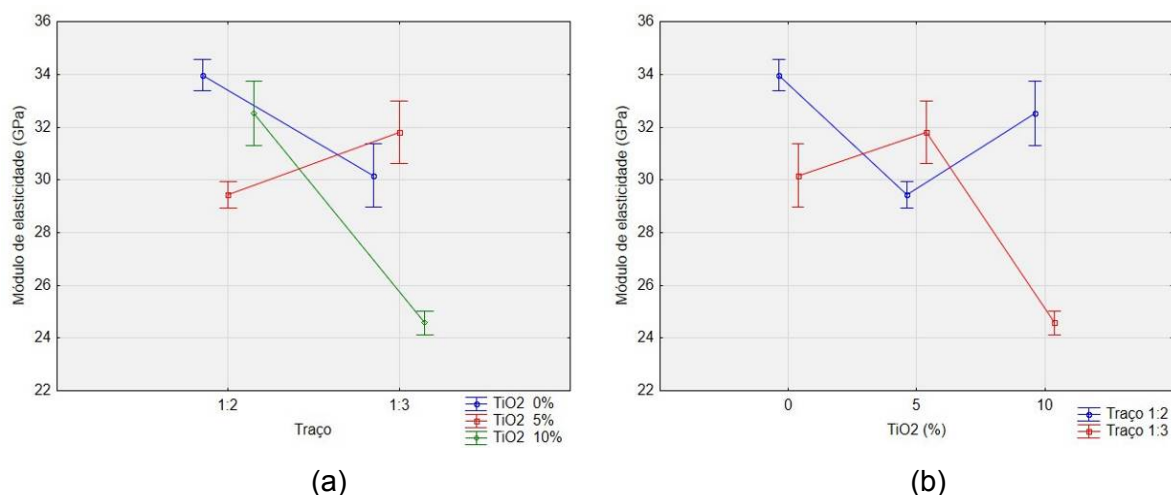


Figura 41 – efeito da interação entre o traço e adição de TiO₂ em relação ao módulo de elasticidade dinâmico; (a) Módulo de elasticidade dinâmico (GPa) x traço; (b) Módulo de elasticidade dinâmico (GPa) x TiO₂.

A partir das figuras, pode-se observar que as argamassas que continham 0% e 10% de adição de TiO₂, para ambos os traços, apresentaram comportamentos semelhantes, onde as misturas com 0% mostraram resultados de módulo de elasticidade maiores em comparação às de 10%. A argamassa com 5% de adição de TiO₂ revelou resultado inverso das anteriores. Para verificar quais destes fatores têm significância estatística, foi realizada uma análise múltipla de médias através da distribuição de Fischer, a qual pode ser visualizada na tabela 20.

Tabela 20 – distribuição de Fischer para os resultados de módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.

Argamassas		1:2			1:3		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1:2	0%		S	S	S	S	S
	5%	S		S	N/S	S	S
	10%	S	S		S	N/S	S
1:3	0%	S	N/S	S		S	S
	5%	S	S	N/S	S		S
	10%	S	S	S	S	S	

S=valor significativo; N/S= não significativo.

A partir da distribuição de Fischer, podem-se verificar alguns comportamentos. A argamassa de traço 1:2 com 5% de TiO₂, por exemplo, apresentou o mesmo efeito que a argamassa de traço 1:3 sem a adição. Tal resultado indica que estas argamassas têm o mesmo

desempenho quanto ao módulo de elasticidade, ou seja, quando colocadas sob avaliação, provavelmente ambas teriam a mesma capacidade de absorver deformações. O mesmo comportamento ocorreu com a argamassa de traço 1:2 com 10% de adição em relação à argamassa de traço 1:3 com 5% de adição, os quais não apresentaram diferença significativa entre si. Ou seja, para um traço mais pobre (traço 1:3) com menores adições de TiO_2 (5%) é possível obter estatisticamente as mesmas características que utilizando um traço mais rico (traço 1:2) com maiores adições de TiO_2 (10%).

5.2.3 Absorção de água por capilaridade

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade foram realizadas leituras antes da colocação dos corpos de prova na água, aos 10 min e aos 90min. Os resultados das médias da absorção de água por capilaridade, o coeficiente de capilaridade, o desvio padrão e o coeficiente de variação estão apresentados na tabela 21. Os demais resultados deste ensaio encontram-se no apêndice A.

Tabela 21 – absorção de água por capilaridade média e coeficiente de capilaridade das argamassas confeccionadas.

Identificação da argamassa	Absorção 10 min (g/cm ²)	Absorção 90 min (g/cm ²)	Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	Desvio Padrão do Coef. de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	Coeficiente de variação do Coef. de capilaridade (%)
A20	0,03	0,09	0,89	0,46	52,23
A25	0,03	0,10	1,16	0,27	23,40
A210	0,05	0,15	1,64	0,32	19,34
A30	0,05	0,17	1,77	0,36	20,62
A35	0,08	0,22	2,19	0,20	9,04
A310	0,11	0,24	2,15	0,05	2,30

Constatou-se com estes resultados que as argamassas de traço 1:2 obtiveram resultados de absorção de água mais baixos que as argamassas de traço 1:3, tanto aos 10min, quanto aos 90min, conforme esperado. Ainda, em relação à presença do TiO_2 , independente do traço, as argamassas apresentaram um aumento da absorção de acordo com o aumento do teor de TiO_2 e da relação a/c das misturas, em consonância ao esperado. Este comportamento pode ser observado na figura 42.

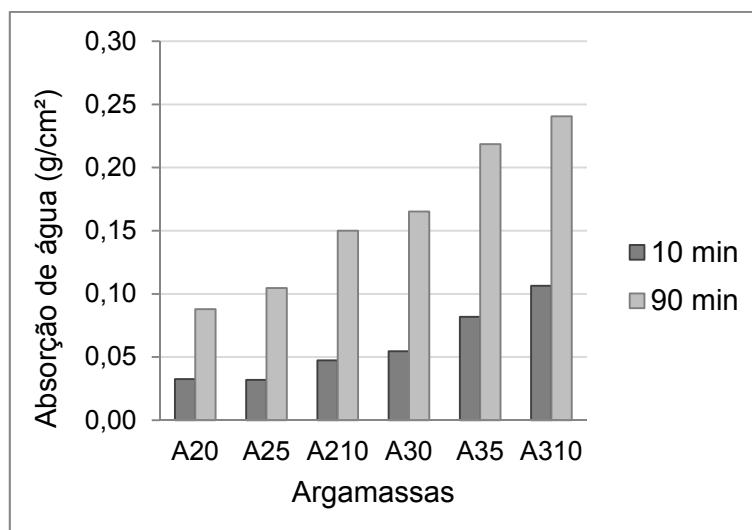


Figura 42 – absorção de água por capilaridade média aos 10 min e aos 90 min das argamassas.

Este comportamento era esperado, pois a maior proporção de agregado miúdo e a maior relação a/c nas argamassas de traço 1:3 conferiram maior porosidade à mistura, fazendo com que este traço absorvesse maior quantidade de água em comparação ao traço 1:2. O mesmo comportamento foi avaliado para o coeficiente de capilaridade: maiores valores foram encontrados nas argamassas de traço 1:3 em relação às argamassas de traço 1:2, e nas argamassas com adição de TiO_2 , conforme pode ser visualizado na figura 43.

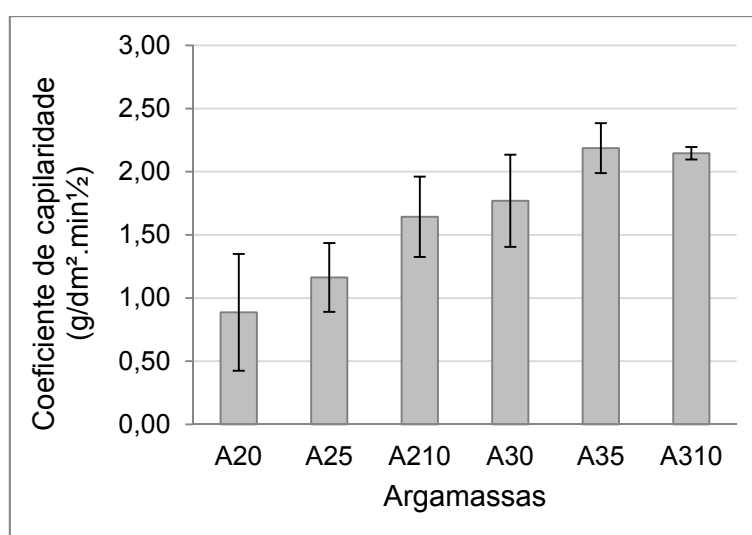


Figura 43 – coeficientes de capilaridade das argamassas confeccionadas.

Este comportamento também era esperado, pois a inserção do TiO_2 , apesar de fechar alguns dos poros capilares da argamassa, ao mesmo tempo faz com que as misturas

necessitem maior quantidade de água para manter a mesma consistência que as demais. Este fato aumenta a presença de poros capilares na mistura, fazendo com que o coeficiente de capilaridade seja mais elevado quanto maior for a adição de TiO_2 . Para auxiliar na análise dos resultados, foi realizada uma análise de variância para o coeficiente de capilaridade das argamassas, a qual está apresentada na tabela 22.

Tabela 22 – análise de variância do coeficiente de capilaridade das argamassas.

Efeito	SQ	GDL	MQ	F calc	Fator p	Significância
Traço	2,90405	1	2,90405	30,8795	0,000124	S
TiO_2	0,97938	2	0,48969	5,2070	0,023549	S
Traço* TiO_2	0,21720	2	0,10860	1,1548	0,347802	N/S
Erro	1,12853	12	0,09404			

SQ= soma quadrática; GDL= graus de liberdade; MQ= média quadrática; F calc= valor calculado de F; Se $p < 5\%$ = Efeito significativo; S=valor significativo; N/S= não significativo.

Através da análise de variância, pode-se verificar que o fator traço das argamassas influencia significativamente para o coeficiente de capilaridade, ou seja, há diferença entre utilizar o traço 1:2 ou o traço 1:3 para o resultado da capilaridade. Também, a inserção do TiO_2 influenciou significativamente nos capilares da argamassa, conforme era esperado. Porém, observou-se que não há interação entre os fatores traço e adição de TiO_2 . Na figura 44, podem ser visualizados os efeitos isolados do traço das argamassas (a) e da adição de TiO_2 (b).

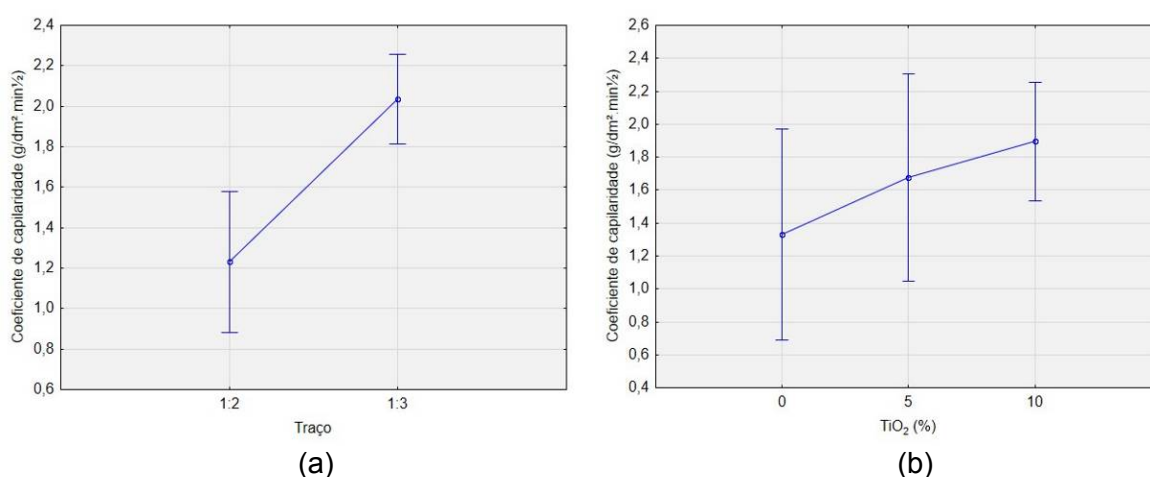


Figura 44 – (a) efeito isolado do traço da argamassa em relação ao coeficiente de capilaridade; (b) efeito isolado da porcentagem de adição do TiO_2 em relação ao coeficiente de capilaridade.

Devido à elevada variabilidade deste ensaio, não foi possível realizar uma análise mais aprofundada da presença do TiO_2 em relação aos resultados do coeficiente de capilaridade.

5.2.4 Resistência à compressão axial

A resistência à compressão axial foi realizada com as metades dos corpos de prova formados a partir da ruptura do ensaio de resistência à tração na flexão, totalizando assim 24 corpos de prova, com idade de 28 dias. Foi realizado um tratamento dos dados antes de analisá-los, no qual foram considerados valores espúrios aqueles que permaneceram fora do intervalo de mais ou menos dois desvios padrão em relação à média. Os resultados médios da resistência à compressão axial, desvio padrão e coeficiente de variação estão apresentados na tabela 26, e as médias dos resultados também podem ser visualizadas na figura 45. Os demais resultados deste ensaio encontram-se no apêndice A.

Tabela 23 – resistência à compressão axial média das argamassas aos 28 dias de idade.

Identificação da argamassa	Resistência à compressão axial (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
A20	41,73	5,61	13,44
A25	48,79	5,33	10,92
A210	51,99	4,26	8,20
A30	29,80	3,32	11,13
A35	29,90	2,38	7,95
A310	29,36	4,15	14,15

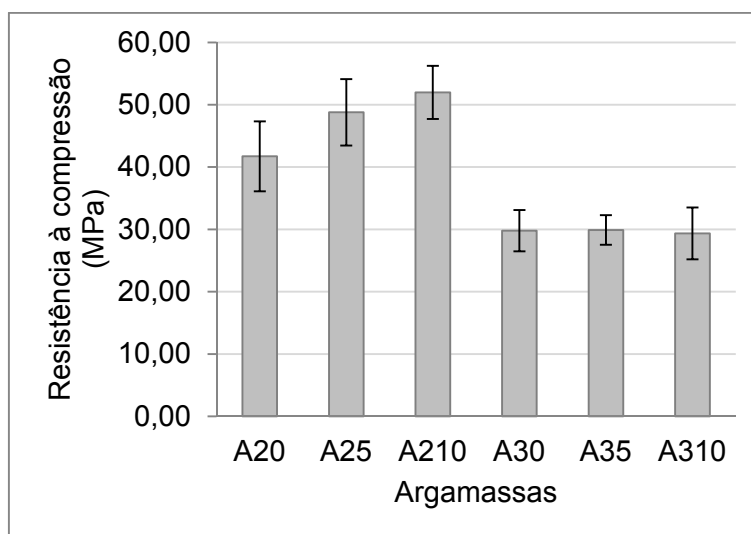


Figura 45 – resistência à compressão axial média das argamassas aos 28 dias de idade.

As argamassas de traço 1:2 apresentaram valores mais elevados de resistência à compressão em relação às argamassas 1:3, conforme era esperado. Porém, as três diferentes argamassas de traço 1:3 apresentaram um comportamento bastante parecido entre si. Para avaliar melhor estes resultados, foi realizada uma análise de variância, que se encontra na tabela 24.

Tabela 24 – análise de variância da resistência à compressão axial das argamassas.

Efeito	SQ	GDL	MQ	F calc	Fator p	Significância
Traço	10779,1	1	10779,1	569,81	0,000000	S
TiO ₂	587,0	2	293,5	15,51	0,000001	S
Traço*TiO ₂	671,5	2	335,8	17,75	0,000000	S
Erro	2459,2	130	18,9			

SQ= soma quadrática; GDL= graus de liberdade; MQ= média quadrática; F calc= valor calculado de F; Se $p < 5\%$ = Efeito significativo; S=valor significativo; N/S= não significativo.

Com a análise de variância, é possível verificar que todos os fatores apresentaram efeito significativo, tanto o traço utilizado, a adição de TiO₂, quanto a interação dos dois fatores. Ou seja, faz diferença entre utilizar um ou outro traço, bem como utilizar ou não o TiO₂. Na figura 46, podem ser visualizados os efeitos isolados do traço (a) e da adição de TiO₂ (b) nas argamassas.

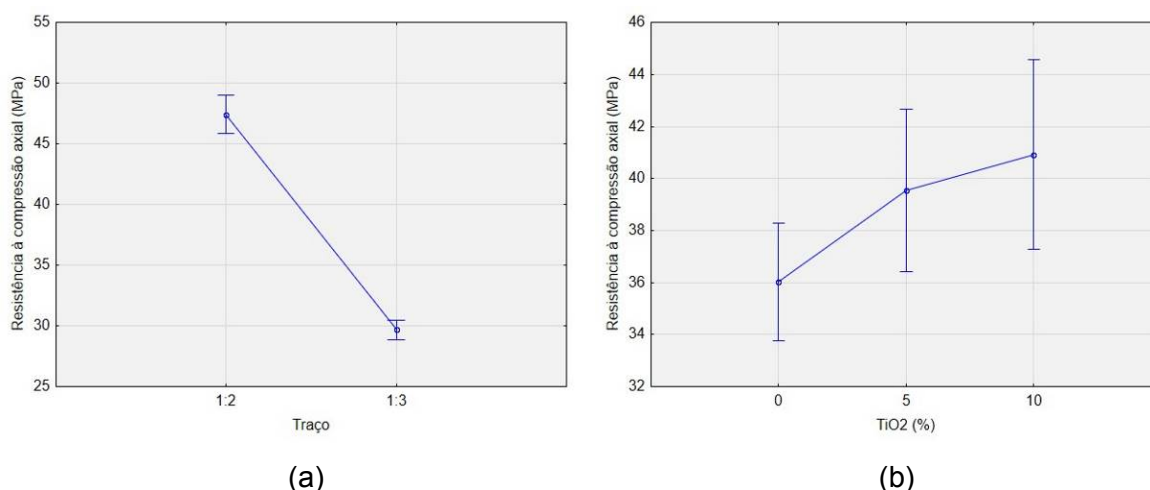


Figura 46 – (a) efeito isolado do traço da argamassa em relação à resistência à compressão axial; (b) efeito isolado da porcentagem de adição do TiO₂ em relação à resistência à compressão axial.

Analisando os efeitos isolados, é possível verificar as tendências de comportamento em relação ao traço e a adição de TiO₂. As argamassas de traço 1:2 apresentaram maiores resultados de resistência à compressão em relação às de traço 1:3, conforme era esperado,

pois argamassas mais ricas (1:2) e com menor relação a/c são mais resistentes. Com relação ao efeito isolado da adição de TiO_2 , as resistências se tornaram mais elevadas conforme foi se elevando o teor de adição de TiO_2 . É possível dizer que o TiO_2 , por ser um material muito fino, executa um efeito fíler na argamassa, o qual fecha seus poros, aumentando a resistência da mesma. Na figura 47, estão ilustrados os efeitos das interações entre o traço (a) e a adição de TiO_2 (b) para o resultado de resistência à compressão axial.

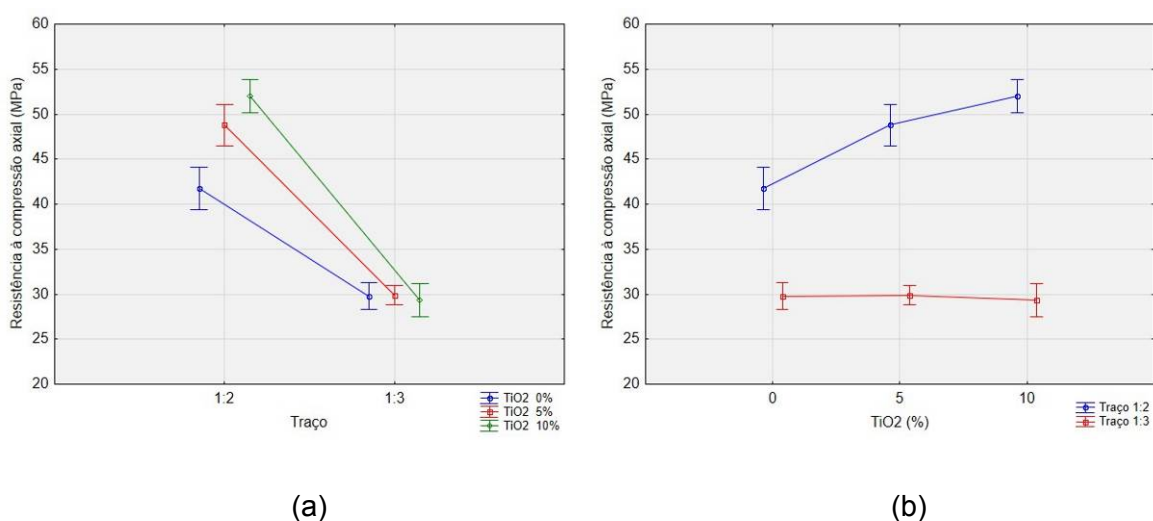


Figura 47 – efeito da interação entre o traço e adição de TiO_2 em relação à resistência à compressão axial: (a) Resistência à compressão axial x traço; (b) Resistência à compressão axial x TiO_2 .

A partir das figuras, observa-se que todas as argamassas, independente da utilização ou não do TiO_2 , revelaram uma queda na sua resistência do traço 1:2 para o traço 1:3, conforme justificado anteriormente. Por sua vez, o traço 1:2 revelou um aumento da sua resistência à compressão à medida que elevou o teor de TiO_2 e a relação a/c, enquanto no traço 1:3, a adição de TiO_2 e aumento da relação a/c mantiveram a resistência à compressão constante. Para verificar quais são os teores realmente significativos, foi realizada uma análise múltipla de médias através da distribuição de Fischer, que pode ser visualizada na tabela 25.

Tabela 25 – distribuição de Fischer para os resultados de resistência à compressão axial das argamassas.

Argamassas		1:2			1:3		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1:2	0%		S	S	S	S	S
	5%	S		S	S	S	S
	10%	S	S		S	S	S
1:3	0%	S	S	S		N/S	N/S
	5%	S	S	S	N/S		N/S
	10%	S	S	S	N/S	N/S	

S=valor significativo; N/S= não significativo.

A partir da distribuição de Fischer, nota-se que quase todos os efeitos são significativos, exceto para os diferentes teores de adição de TiO_2 no traço 1:3. Conforme já havia sido mostrado nas figuras, através da tabela fica evidente que os efeitos para a resistência mecânica são os mesmos se for adicionado ou não o TiO_2 , independente se 0%, 5% ou 10%. Porém, é importante salientar que quanto maior é a adição de TiO_2 , maior é a necessidade de água na mistura, e a tendência é que ocorra uma queda de resistência a partir do momento em que a quantidade de água é elevada na mistura. Porém, neste caso o TiO_2 supriu essa demanda de água e auxiliou no fechamento dos poros capilares, se não trazendo acréscimo de resistência, pelo menos mantendo a resistência constante para as diferentes adições de TiO_2 , mesmo com o aumento de água.

Em contrapartida, todos os teores de TiO_2 para o traço 1:2 se mostraram significativos, indicando que há diferença no efeito da resistência à compressão ao se utilizar 0% ou 5%, ou ainda 10% de adição nas misturas, ou seja, mesmo que aumentando o teor de água das misturas (que causaria uma queda na resistência das argamassas), houve um ganho de resistência mecânica das amostras, em função da adição de TiO_2 . Ou seja, a adição de TiO_2 foi suficiente para o fechamento dos vazios existentes, aumentando a resistência das argamassas com a adição.

Alguns autores observaram, da mesma forma, ganho na resistência à compressão de misturas de argamassa. Chen et al. (2012) observaram que a resistência à compressão das argamassas foi reforçada, principalmente nas primeiras idades (3 e 7 dias) e concluiu-se que o TiO_2 atuou como um catalisador na mistura, auxiliando nas reações de hidratação do cimento. No estudo de Zhang et al. (2015), a resistência à compressão das argamassas com adição de 5% de TiO_2 aumentou em 20% em relação à argamassa de referência. Ainda, os mesmo autores relataram que para haver um acréscimo considerável de

resistência à compressão é necessária certa quantidade de adição de TiO_2 , já que as resistências apresentadas com 1% e 3% de adição foram praticamente iguais às da argamassa de referência. Tais adições provavelmente não foram suficientes para preencher os vazios existentes nas argamassas e agir como filer.

Outros autores observaram queda da resistência à compressão com o aumento da porcentagem de TiO_2 . Azevedo et al. (2012), em seu estudo com argamassas fotocatalíticas de traços 1:3 e 1:4 e diferentes adições de TiO_2 (0%, 2%, 4% e 6%), observaram que o aumento de água necessária para manter a consistência desejada nas misturas determinou a redução da resistência à compressão, mesmo o TiO_2 exercendo certo efeito filer nas argamassas. As médias de resistência à compressão encontradas pelo autor variam de 20,97 MPa para a argamassa de referência, para 8,67 MPa na argamassa de traço 1:3, com 6% de adição de TiO_2 .

5.2.5 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão foi realizada com 12 corpos de prova de argamassa, aos 28 dias. Para o tratamento destes resultados, foram considerados valores espúrios aqueles que permaneceram fora do intervalo de mais ou menos dois desvios padrão em relação à média. Os resultados médios da resistência à tração, desvio padrão e coeficiente de variação estão apresentados na tabela 26, e as médias dos resultados também podem ser visualizadas na figura 48. Os demais resultados deste ensaio encontram-se no apêndice A.

Tabela 26 – resistência à tração na flexão média das argamassas aos 28 dias de idade.

Identificação da argamassa	Resistência à tração na flexão (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
A20	4,56	0,65	14,17
A25	5,48	0,45	8,18
A210	4,95	0,49	9,82
A30	4,30	0,67	15,62
A35	4,48	0,33	7,28
A310	5,26	1,27	24,08

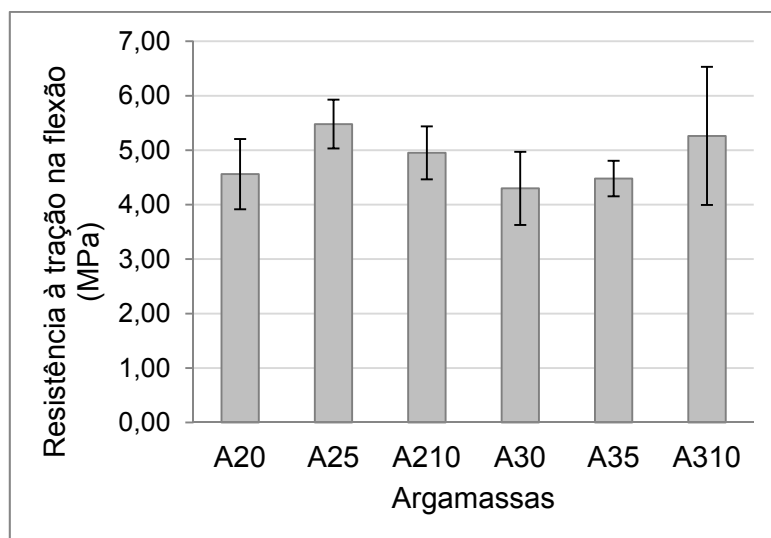


Figura 48 – resistência à tração na flexão média das argamassas aos 28 dias de idade.

Todas as argamassas apresentaram resultados de resistência à tração na flexão bastante próximos entre si. Para auxiliar na análise do comportamento destes resultados, foi realizada uma análise de variância, a qual está apresentada na tabela 27.

Tabela 27 – análise de variância da resistência à tração na flexão das argamassas.

Efeito	SQ	GDL	MQ	F calc	Fator p	Significância
Traço	1,729	1	1,729	3,349	0,071967	N/S
TiO ₂	5,991	2	2,995	5,801	0,004870	S
Traço*TiO ₂	4,929	2	2,464	4,773	0,011746	S
Erro	32,528	63	0,516			

SQ= soma quadrática; GDL= graus de liberdade; MQ= média quadrática; F calc= valor calculado de F; Se $p < 5\%$ = Efeito significativo; S=valor significativo; N/S= não significativo.

A partir da análise de variância, pode-se verificar que o traço das argamassas não influenciou para o resultado da resistência à tração na flexão, porém, este resultado pode estar vinculado à alta variabilidade dos resultados de resistência à tração. Já a utilização do TiO₂ nas misturas mostrou-se significativa, bem como a interação do traço com o TiO₂. Na figura 49, podem ser visualizados os efeitos isolados do traço (a) e da adição de TiO₂ (b) nas argamassas.

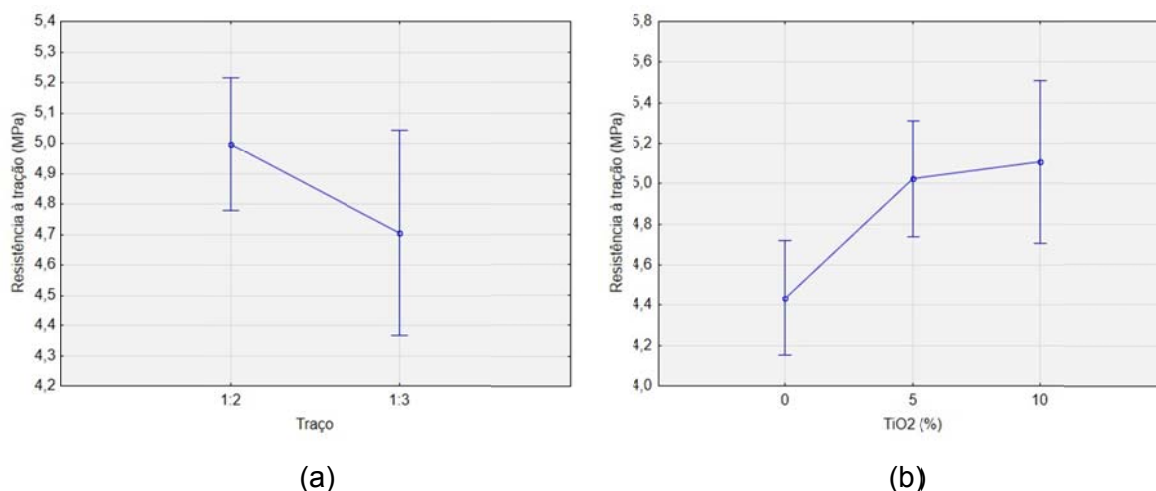


Figura 49 – (a) efeito isolado do traço da argamassa em relação à resistência à tração na flexão; (b) efeito isolado da porcentagem de adição do TiO_2 em relação à resistência à tração na flexão.

Analisando os efeitos isolados, é possível notar que os traços, apesar de se mostrarem não significativos, tiveram uma queda dos resultados do traço 1:2 em relação ao traço 1:3. Este efeito era esperado, pois a resistência de um material está intimamente ligada à porosidade do mesmo, conferida pela maior relação a/c do traço 1:3, e devido ao traço 1:2 ser considerado um traço mais rico. Analisando o efeito do TiO_2 , observa-se que houve ganho de resistência quanto mais elevado foi o teor de adição. Provavelmente, isso ocorreu devido ao TiO_2 ser um elemento muito fino, executando um efeito fíler na argamassa, fechando seus poros e aumentando a sua resistência à tração na flexão. Na figura 50, estão demonstrados os efeitos das interações entre o traço (a) e a adição de TiO_2 (b) para o resultado de resistência à tração na flexão.

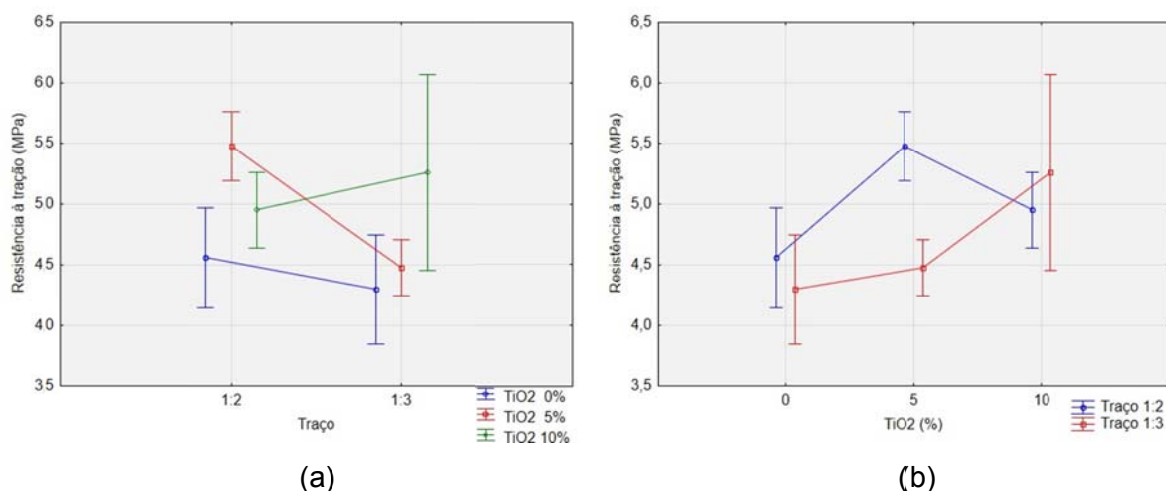


Figura 50 – efeito da interação entre o traço e adição de TiO_2 em relação à resistência à tração na flexão: (a) Resistência à tração na flexão x traço; (b) Resistência à tração na flexão x TiO_2 .

Observando as figuras, constata-se que as argamassas de traço 1:2 aumentaram a sua resistência com adição de 5%, porém, voltaram a decair com a adição de 10%. O mesmo não ocorreu com o traço 1:3, o qual elevou a sua resistência proporcionalmente à adição de TiO_2 e à relação a/c, ou seja, a resistência foi aumentando à medida que se aumentava a adição e à medida que aumentava a quantidade de água na mistura. Foi realizada uma análise múltipla de médias através da distribuição de Fischer, para verificar quais teores são realmente significativos, que pode ser visualizada na tabela 28.

Tabela 28 – distribuição de Fischer para os resultados de resistência à tração na flexão das argamassas.

Argamassas		1:2			1:3		
		0%	5%	10%	0%	5%	10%
1:2	0%		S	N/S	N/S	N/S	S
	5%	S		N/S	S	S	N/S
	10%	N/S	N/S		S	N/S	N/S
1:3	0%	N/S	S	S		N/S	S
	5%	N/S	S	N/S	N/S		S
	10%	S	N/S	N/S	S	S	

S=valor significativo; N/S= não significativo.

Analisando a distribuição de Fischer, percebe-se que nem todos os efeitos são estatisticamente diferentes entre si. As argamassas que continham 0% de TiO_2 se mostraram iguais para a resistência à tração na flexão em ambos os traços, bem como as argamassas com 10%. Porém, as argamassas que continham 5% da adição, mostraram-se diferentes entre si para ambos os traços. Ainda, em relação à resistência a tração, o mesmo efeito foi alcançado entre, por exemplo, a argamassa de traço 1:2 com 5% de adição e a argamassa de traço 1:3 com 10% de adição, pois para ambas a adição de TiO_2 foi suficiente para preencher os vazios.

5.3 CARACTERIZAÇÃO COLORIMÉTRICA DAS ARGAMASSAS E RESISTÊNCIA AO MANCHAMENTO

A caracterização colorimétrica foi realizada através de um espectrofotômetro portátil e do auxílio do software *Cyberchrome OnColor*, para compilar todos os dados gerados. Foram realizadas leituras antes do manchamento (considerada a leitura 0), após o manchamento (considerada a leitura 1) e as demais leituras aos 7, 14, 21, 28, 56 e 84 dias de manchamento, indicadas nos gráficos com o número referente aos dias de leitura. Não foi

realizado nenhum tipo de tratamento dos dados, visto que a variação das manchas estava no princípio do processo, no manchamento inicial. Portanto, foram considerados todos os pontos de leituras das placas como válidos.

O sistema de cores escolhido, citado anteriormente, foi o sistema $L^*a^*b^*$. A partir deste, também foi possível verificar a diferença de cor entre as amostras através do tempo, utilizando o parâmetro ΔE . Foi realizado o cálculo da variação de cor (ΔE) para cada um dos dias analisados, sempre em relação às placas manchadas, ou seja, a variação de cor analisada mensura quanto a cor da mancha variou ou, no caso, quanto conseguiu ser limpa. A partir dos cinco pontos de cada placa, obtiveram-se cinco valores de ΔE , então, foi realizada uma média destes valores por placa. Ao final, têm-se análises das três placas referentes às argamassas A, B, C, D, E, F ao longo do tempo, no qual foram avaliadas as imagens obtidas a cada período de tempo, além da análise de resultados das coordenadas $L^*a^*b^*$ e análise dos valores de variação de cor (ΔE).

5.3.1 Sem manchamento: referência

a) Análise visual - resistência ao manchamento ao longo do tempo

As argamassas de referência não receberam nenhum tipo de manchamento, justamente para servir de comparação para as demais. Porém, também foi analisada a sua resistência de coloração ao longo do tempo, visto que foram expostas ao intemperismo natural, podendo sofrer algum tipo de variação cromática. A figura 51 exibe as argamassas de referência ao longo do tempo.

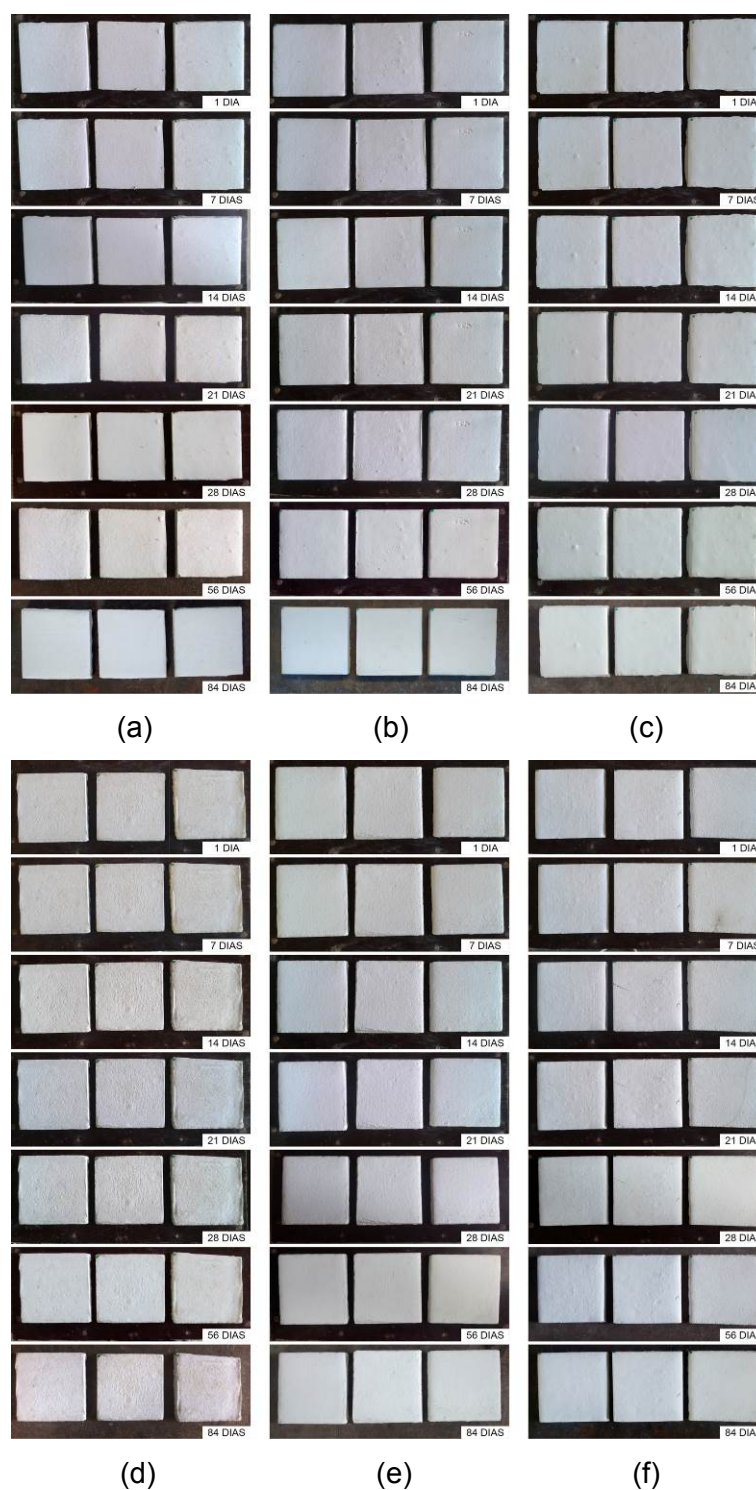


Figura 51 – resistência de coloração das argamassas de referência ao longo do tempo: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

A partir das imagens, pode-se notar que, para o olho humano, não houve variação de coloração que pudesse ser visível ao longo do tempo. Porém, foi possível verificar certa diferença de tonalidade das placas no momento inicial, logo após a desforma das mesmas.

As argamassas que continham o TiO_2 mostraram-se mais claras/brancas que aquelas que não o continham, devido ao pó de TiO_2 apresentar a coloração branca e ser comumente utilizado como pigmento. Ainda, as argamassas de traço 1:2 apresentaram uma coloração mais clara em comparação às de traço 1:3, provavelmente devido a maior quantidade de agregado miúdo destas em relação às de traço 1:3, o que fornece uma coloração mais amarelada à mistura. Além deste fator, as argamassas de traço 1:2 apresentam um teor de TiO_2 maior em relação às de traço 1:3, em proporção, o que também influencia na coloração. As diferenças de tonalidade entre as argamassas são sutis, difíceis de visualizar em imagens, porém, os extremos de cromaticidade podem ser vistos na argamassa A30 em comparação à argamassa A210. A diferença de coloração também foi notada nos corpos de prova utilizados para realizar os ensaios físico-mecânicos, como pode ser observado na figura 52, na qual se comparam duas argamassas de traço 1:3, uma sem a adição de TiO_2 (argamassa A30) e outra com adição de 10% (argamassa A310).



Figura 52 – comparação de coloração de corpos de prova de traço 1:3 sem adição de TiO_2 (acima) e com 10% de adição de TiO_2 (abaixo).

b) Coordenadas $L^*a^*b^*$

As médias das coordenadas colorimétricas encontradas nas placas das argamassas de referência, ao longo do tempo, estão exibidas na figura 53. Os dados completos destas coordenadas encontram-se no apêndice B.

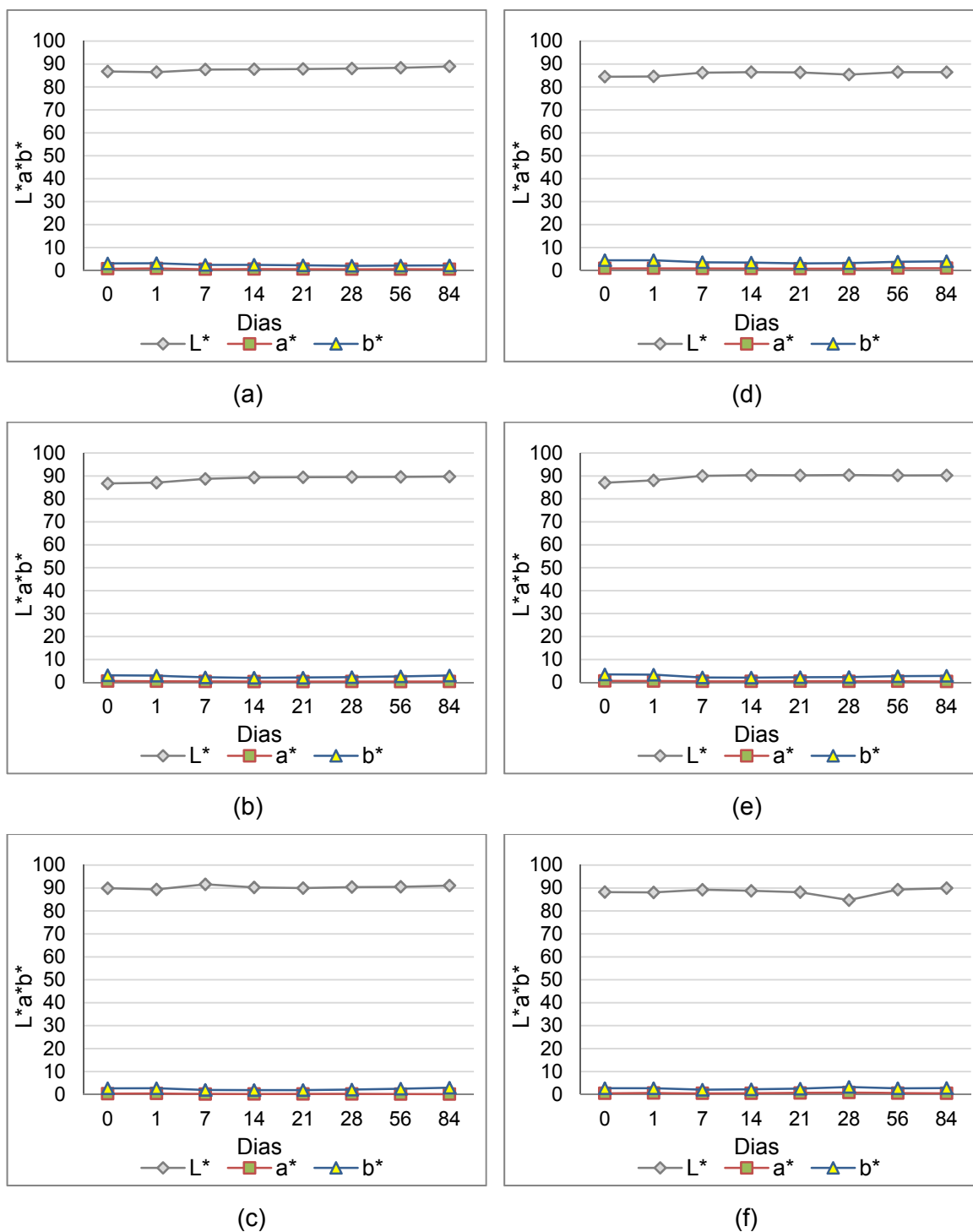


Figura 53 – médias das coordenadas colorimétricas $L^*a^*b^*$ nas placas de referência: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

As coordenadas colorimétricas encontradas nas placas de referência apresentaram uma tendência de comportamento bastante semelhante entre si. Nas leituras iniciais (leitura 0), a coordenada L^* , que avalia a luminosidade da argamassa, mostrou-se bastante elevada, principalmente por se tratar de uma argamassa de cimento branco. Os valores encontrados

nas leituras iniciais ficaram entre 80 e 90, e, ao longo do tempo, esses valores sofreram um leve acréscimo. A argamassa A210, considerada a mais clara pelas imagens, indicou um valor médio de 90 para a luminosidade, logo na leitura inicial. Em comparação, a argamassa A30, considerada menos clara, revelou um valor médio de 84,5 de luminosidade. Para verificar se a luminosidade das diferentes argamassas é realmente significativa, foi realizada uma análise de variância somente desta coordenada (L^*), para a leitura inicial (leitura 0), que está apresentada na tabela 29.

Tabela 29 – análise de variância da coordenada L^* para a leitura inicial das argamassas de referência.

Efeito	SQ	GDL	MQ	F calc	Fator p	Significância
Argamassas	244,8	5	49,0	30,0	0,00	S
Erro	136,9	84	1,6			

SQ= soma quadrática; GDL= graus de liberdade; MQ= média quadrática; F calc= valor calculado de F; Se $p < 5\%$ = Efeito significativo; S=valor significativo; N/S= não significativo.

A análise de variância confirmou que as argamassas apresentaram influência sobre o fator da coordenada L^* , ou seja, o tipo de argamassa confeccionada, traço e utilização ou não de TiO_2 , vai diferir na luminosidade manifestada. Na figura 54, podem ser visualizadas as luminosidades das diferentes argamassas.

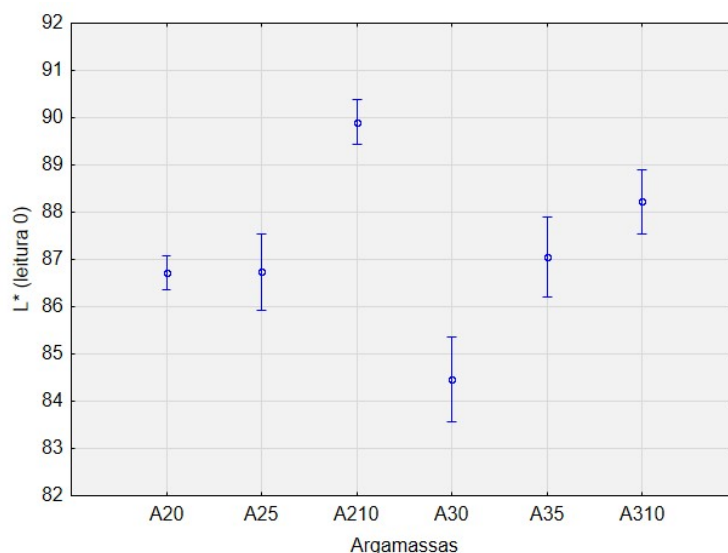


Figura 54 – análise de variância das argamassas de referência em relação à luminosidade (coordenada L^*) na leitura 0.

A partir da figura, reitera-se que comparativamente ao mesmo traço, há uma tendência a elevar a luminosidade da argamassa à medida que cresce a adição de TiO_2 . O mesmo

desempenho foi encontrado por Diamanti et al. (2013) que relatou que as argamassas que continham TiO_2 aumentaram claramente o brilho dos materiais, sendo um efeito típico dos pós de TiO_2 , já que o mesmo possui um elevado índice de refração. Ainda, de forma geral, as argamassas de traço 1:2 apresentaram valores mais elevados de L^* em relação ao traço 1:3, justificado pela maior proporção de cimento branco naquelas. Ainda, nota-se que para o traço 1:2, a diferença de luminosidade começa a aparecer a partir de teores mais elevados de adição (10%), já que este traço possui maior proporção de cimento branco. Já no traço 1:3, essa diferença de luminosidade começa a aparecer para teores mais baixos de adição (5%), pois essa mistura possui menos cimento branco e mais areia, proporcionalmente. Para verificar quais são as argamassas consideradas realmente diferentes entre si, realizou-se o teste de Fischer, exposto na tabela 30.

Tabela 30 – distribuição de Fischer para os resultados de luminosidade (coordenada L^*) nas argamassas de referência.

Argamassas	A20	A25	A210	A30	A35	A310
A20		N/S	S	S	N/S	S
A25	N/S		S	S	N/S	S
A210	S	S		S	S	S
A30	S	S	S		S	S
A35	N/S	N/S	S	S		S
A310	S	S	S	S	S	

S=valor significativo; N/S= não significativo.

A partir da distribuição de Fischer, notou-se que a maioria das argamassas é diferente entre si. Apenas podem ser consideradas iguais, as luminosidades das argamassas A20, A25 e A35, as demais apresentaram diferenças significativas de luminosidade.

As leituras aos 84 dias mostraram a coordenada L^* com um leve aumento em relação ao valor inicial, significando que as argamassas se tornaram mais claras ao longo do tempo. A coordenada a^* está relacionada à variação de coloração entre o verde e o vermelho, a qual se situou muito próxima ao valor de zero, variando entre 0 e 1 para todas as argamassas, o que significa que não há um valor importante para esta variação de cor nas mesmas. A coordenada b^* relaciona à variação de cor entre o amarelo e o azul, e se mostrou positiva nas argamassas, porém, com um valor bastante baixo, variando entre 1 e 5. Tal valor positivo indica uma leve coloração amarela nas argamassas, efeito este que pode ter sido causado pelo agregado miúdo das misturas, o qual tem essa tonalidade.

c) Variação de cor (ΔE)

As médias de variação de cor (ΔE) encontradas nas placas das argamassas de referência, ao longo do tempo, estão apresentadas na figura 55. As variações de cor são sempre comparadas à leitura 1 das placas. Os dados completos das coordenadas podem ser visualizados no apêndice B.

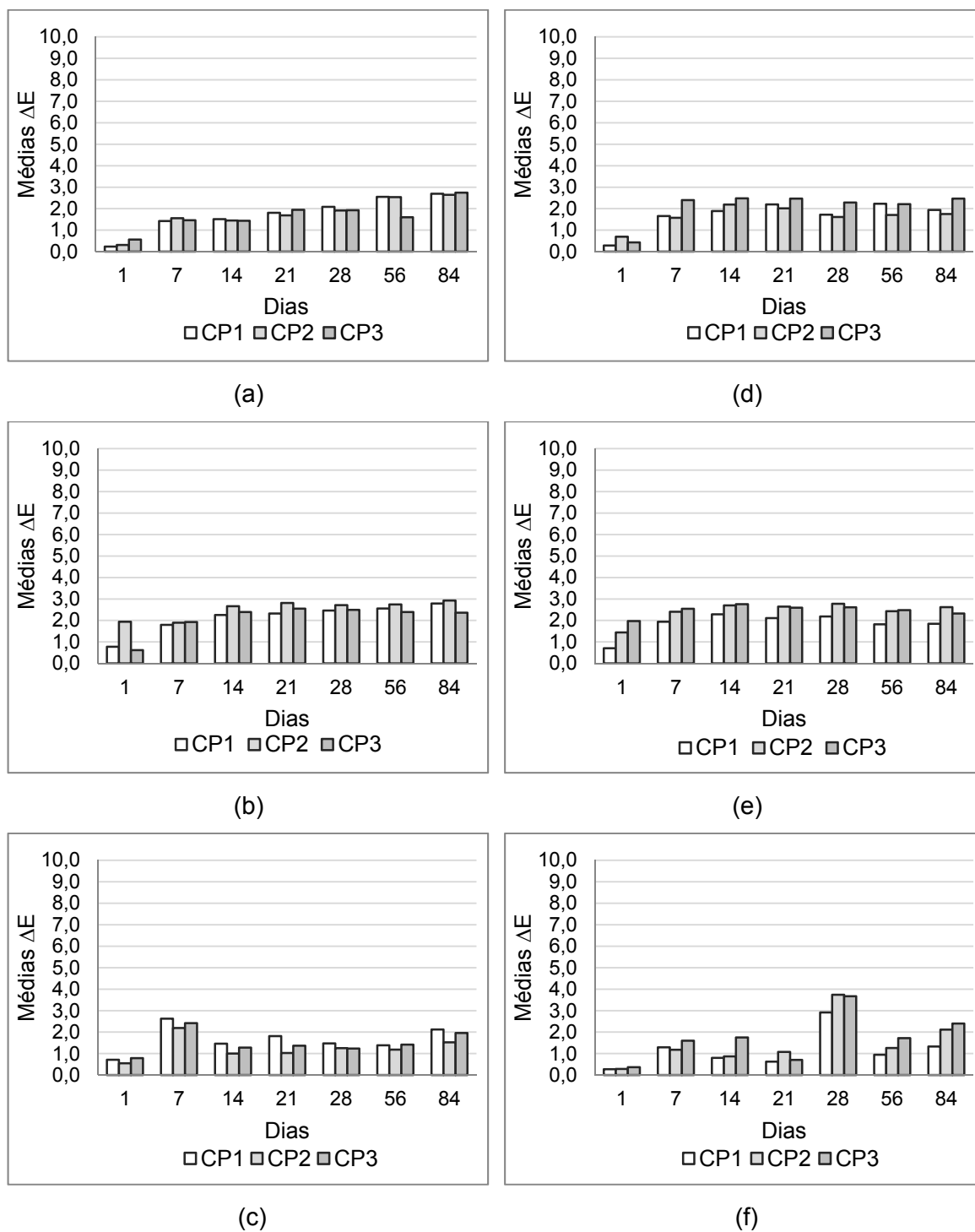


Figura 55 – médias das variações de cor (ΔE) nas placas de referência: (a) A20; (b) A25; (c) A10; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

Observou-se que a variação de cor para todas as argamassas foi pequena ao longo do tempo, oscilando entre os valores de 0 e 3, o que indica uma variação pequena (0,5 a 1,5) ou distinguível (1,5 a 3). Porém, por se tratar do branco em comparação com o próprio branco ao longo do tempo, essa modificação não foi percebida. Aos sete dias, as argamassas demonstraram o primeiro pico de variação de cor, após a primeira semana de exposição ao intemperismo natural. Ao longo do tempo, mantiveram uma variação de cor constante, ou demonstraram um pequeno acréscimo. Houve um pico da alteração de cor aos 28 dias na argamassa A310, porém, através das imagens, não foi possível perceber tal modificação. Isso pode ser explicado caso a leitura aos 28 dias tenha sido realizada logo após ocorrência de chuva, o que escurece, de certa forma, a coloração das placas. É importante salientar que ocorreu alguma alteração de cor ao longo do tempo, se forem comparadas as argamassas finais com as iniciais, apesar destas não serem tão facilmente perceptíveis.

5.3.2 Manchamento: azul de metileno

a) Análise visual - resistência ao manchamento ao longo do tempo

A resistência ao manchamento do azul de metileno nas argamassas, ao longo do tempo, pode ser visualizada na figura 56.

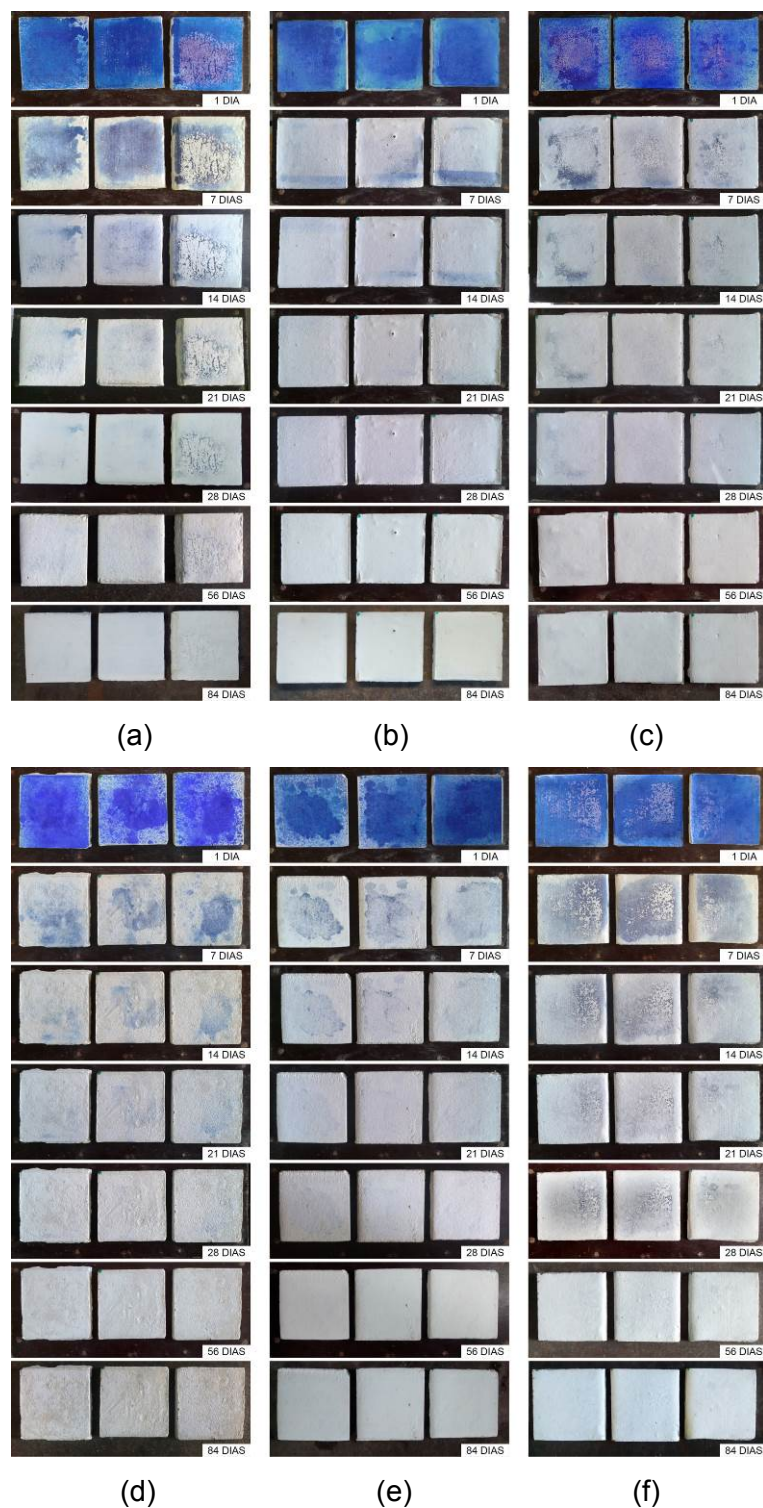


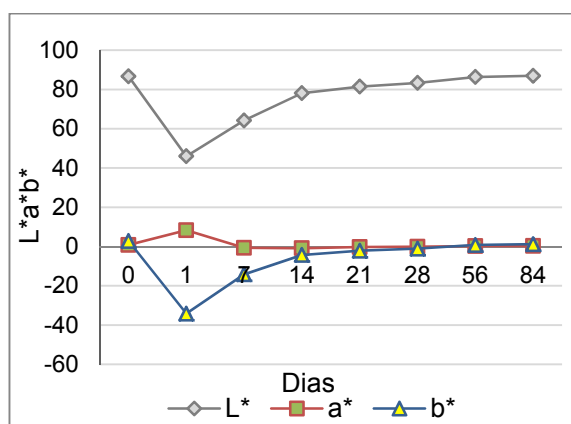
Figura 56 – resistência ao manchamento de azul de metileno ao longo do tempo: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

A partir da imagem, é possível visualizar que o manchamento inicial nas placas não foi homogêneo. Por exemplo, as placas da argamassa A35 tiveram manchamentos diferentes entre si. Ainda, entre as diferentes argamassas também houve distintos manchamentos. O

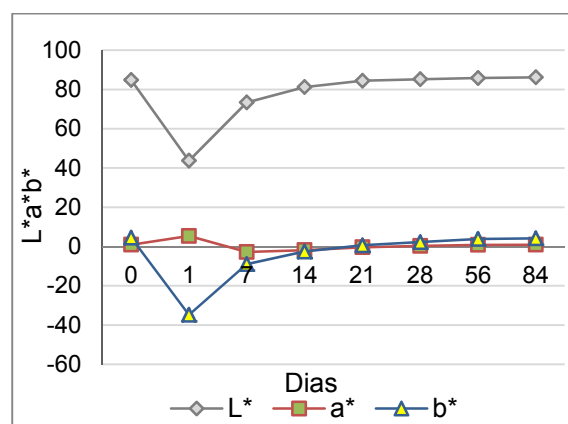
manchamento das placas da argamassa A25 foi diferente do manchamento das placas da argamassa A30, por exemplo. Nota-se ainda que, aos sete dias, houve grande descoloração das manchas de azul de metileno em todas as placas. Pode-se dizer que a argamassa A20 e a argamassa A310, aos sete dias, foram as que menos descoloriram, mostrando um manchamento de azul considerável em relação às demais argamassas. Ao longo do tempo, todas as argamassas foram perdendo a coloração do azul e foram se tornando novamente placas brancas. Ao fim dos 84 dias, pode-se dizer que, com a percepção do olho humano, todas as argamassas voltaram a ficar brancas novamente. Ao que parece, as argamassas A25 e A35 foram as que limpam o manchamento antes das demais, onde, aos 21 dias já se podiam notar estas placas praticamente brancas.

b) Coordenadas $L^*a^*b^*$

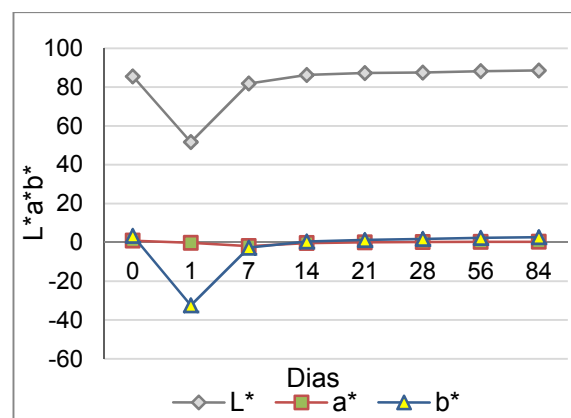
As médias das coordenadas colorimétricas encontradas nas placas das argamassas manchadas com o azul de metileno, ao longo do tempo, estão expostas através da figura 57. Os dados completos das coordenadas podem ser visualizados no apêndice B.



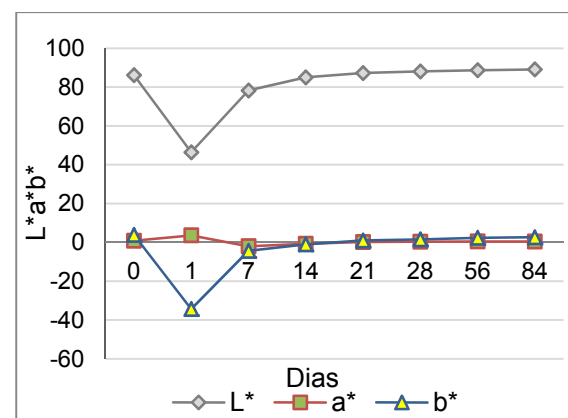
(a)



(d)



(b)



(e)

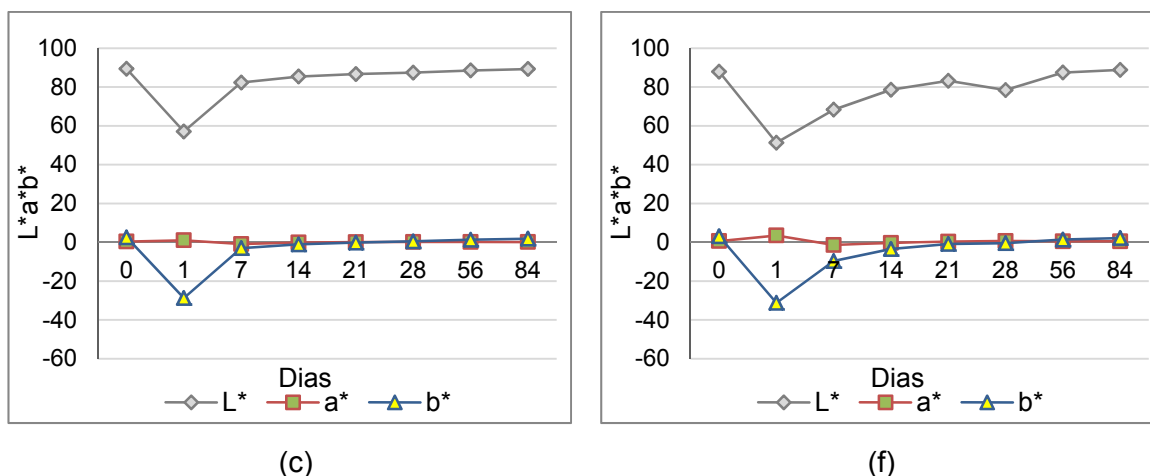


Figura 57 – médias das coordenadas colorimétricas $L^*a^*b^*$ de azul de metileno nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

A partir das figuras, é possível notar que as coordenadas colorimétricas obtiveram um comportamento bastante semelhante em todas as argamassas, independente do traço ou da adição de TiO_2 . Em um primeiro momento, antes do manchamento (leitura 0), a coordenada L^* obteve valores bastante elevados (entre 80 e 90), por se tratar de uma argamassa de cimento branco, manifestou valores altos quanto a sua luminosidade. A coordenada a^* , antes do manchamento, ficou próxima do valor zero, pois se trata da variação de cor entre verde e vermelho, e, portanto, a argamassa de cimento branco não apresentou coloração significativa nesse intervalo. Já a coordenada b^* permaneceu um pouco acima do valor de zero, representando um valor positivo para essa coordenada, o que indica que as argamassas continham uma coloração levemente amarelada, possivelmente causada pelo agregado miúdo da mistura.

Logo após o manchamento (leitura 1), a luminosidade das placas baixou bastante, ficando contida entre 40 e 60, justamente porque houve um escurecimento da sua superfície através do manchamento inicial. A coordenada a^* não demonstrou grandes variações, elevou minimamente o seu valor após o manchamento, sendo este um valor positivo, inclinou-se para a cor vermelha, porém, imperceptível ao olho humano. Para a coordenada b^* houve uma variação maior, já que ela está associada à variação de cor entre azul e amarelo, e o manchamento do qual se trata é o azul de metileno. Esta variação ficou entre 20 e 40, para valores negativos de b^* , o que indica a sua inclinação à coloração azul, conforme era esperado.

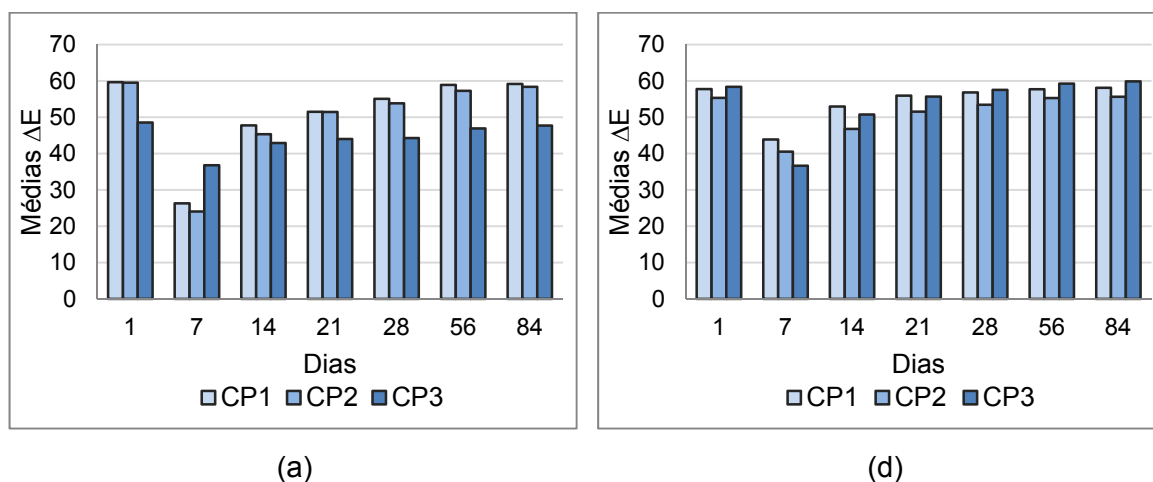
Após a exposição ao intemperismo natural por sete dias, já ocorreu alteração das coordenadas. Conforme pôde ser visualizado nas imagens das placas, aos sete dias houve

grande descoloração do manchamento do azul de metileno. A coordenada L^* voltou a se elevar, já que boa parte do manchamento superficial já havia sido descolorido, ficando entre os valores de 60 e 85 de luminosidade. Já a coordenada a^* , a qual não tinha sofrido grandes variações, voltou a ficar mais próxima do valor de zero. O valor de azul da coordenada b^* também voltou a se aproximar do valor de zero, que foi o caso das argamassas A25, A210, A35. Porém, para algumas das argamassas ainda permaneceu com valores negativos, caso das argamassas A20, A30, A310, indicando a permanência de alguma coloração de azul.

Ao longo dos 14, 21, 28, 56 e 84 dias, a luminosidade voltou a se elevar aos poucos em todas as argamassas, indicando que a sua claridade foi sendo recuperada conforme as placas iam sendo descoloridas. Alguns valores de L^* voltaram a ficar muito próximos do inicial e outros até se mostraram um pouco mais altos que o valor percebido no dia de leitura 0. A coordenada a^* não sofreu grandes variações ao longo do tempo, ficando próxima do valor de zero. Já a variação do azul, relacionado à coordenada b^* , foi diminuindo ao longo do tempo até chegar próximo do valor de zero, indicando que houve descoloração do manchamento de azul de metileno. Nas últimas idades avaliadas, a coordenada b^* passou a demonstrar valores positivos (entre 1 e 4) para todas as argamassas, indicando que havia certa coloração amarelada na sua superfície, provavelmente ocasionada pela total descoloração do azul e exposição da superfície ao intemperismo natural.

e) Variação de cor (ΔE)

As médias de variação de cor (ΔE) encontradas nas placas das argamassas manchadas com o azul de metileno, ao longo do tempo, estão expostas através da figura 58. As variações de cor são sempre comparadas à leitura 1 das placas, referente à placa manchada. Os dados completos das coordenadas podem ser visualizados no apêndice B.



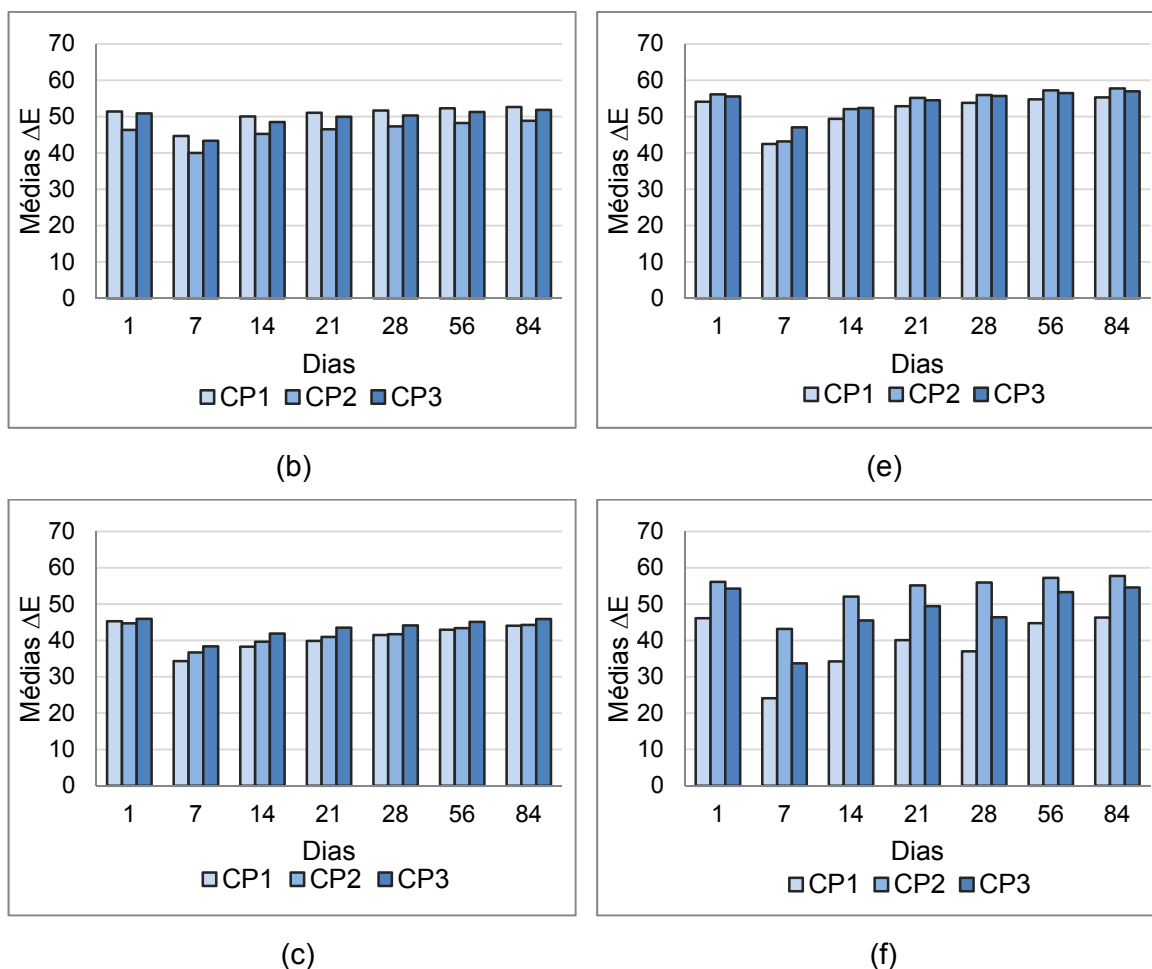


Figura 58 – médias das variações de cor (ΔE) de azul de metileno nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

A partir das figuras, percebe-se que todas as argamassas tiveram uma variação de cor maior entre as leituras de 0 e 1, na qual se comparam a placas iniciais não manchadas com as recentemente manchadas. Também, notou-se que os maiores valores de variação de cor foram encontrados nas argamassas sem adição de TiO_2 (A20 e A30), ou seja, ao que parece estas mancharam mais. Percebeu-se grande alteração de cor no início da exposição, entre as leituras 1 e 7, nas quais se comparam as placas manchadas com as placas expostas por sete dias ao intemperismo natural. As maiores alterações de coloração aos sete dias ocorreram nas argamassas A25, A210, e A35, as quais demonstraram valores bem próximos aos da leitura 1. Os resultados aos 7, 14, 21, 28, 56 ou 84 dias quanto mais próximos forem dos resultados da leitura 1, maior será a descoloração ou limpeza da placa.

Aos 14, 21, 28, 56 dias as diferenças de cor foram aumentando gradativamente, nas quais as últimas leituras as placas de argamassa já obtinham variações bem próximas das originais (leitura 1). Aos 84 dias, última leitura realizada, a variação de cor foi máxima em

relação às placas iniciais. Ou seja, a variação de cor da placa manchada (leitura 1) em comparação à placa final (leitura 84) foi a mesma da placa inicial (leitura 0) em comparação à placa manchada (leitura 1), fazendo com que essas placas se equivalessem em alteração de cor, praticamente tornando-as argamassas de coloração iguais.

5.3.3 Manchamento: particulado de poluição

a) Análise visual - resistência ao manchamento ao longo do tempo

A resistência ao manchamento do particulado de poluição nas argamassas, ao longo do tempo, pode ser visualizada na figura 59.

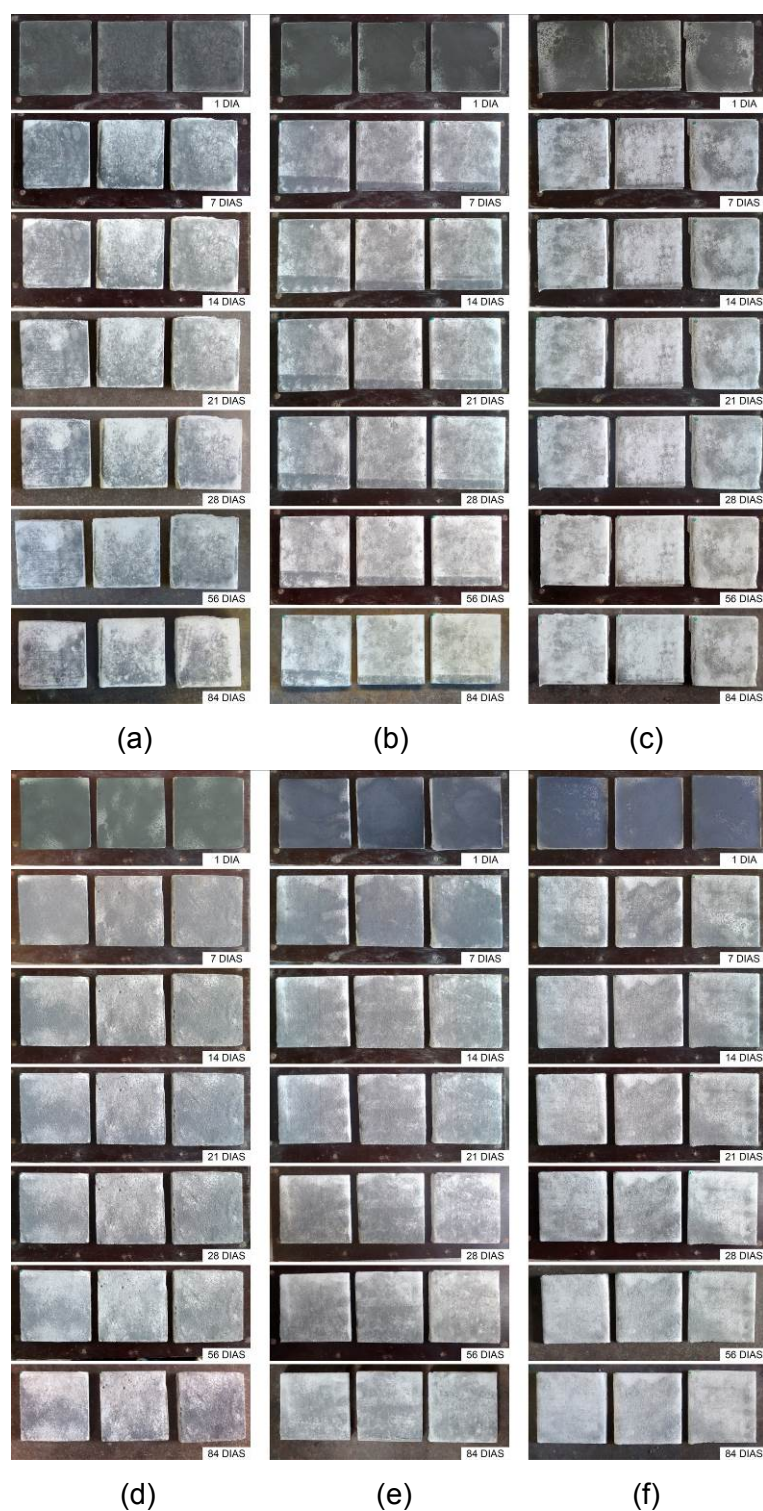


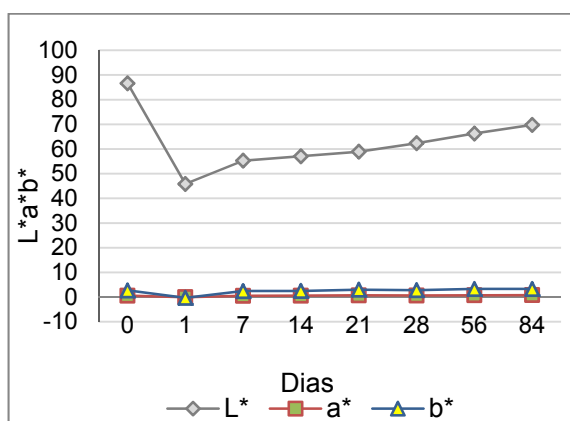
Figura 59 – resistência ao manchamento de particulado de poluição ao longo do tempo: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

A partir das imagens, observa-se que todas as argamassas tiveram um comportamento semelhante. Nos primeiros dias de exposição ao intemperismo natural houve uma maior descoloração do manchamento, possivelmente, o excesso de particulado que tenha ficado

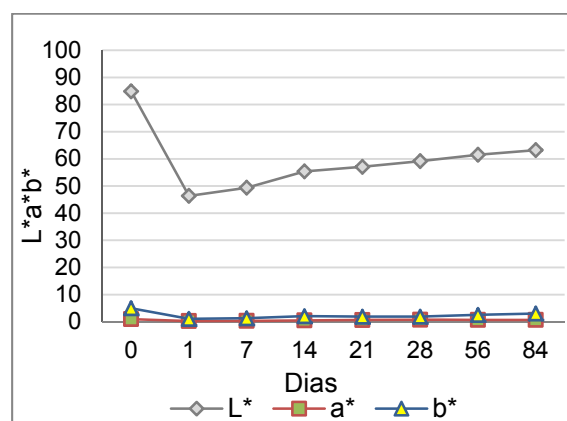
sobre a superfície da placa foi lavado pela ação da chuva. No decorrer do tempo, houve pouca descoloração nas placas, e ainda, a limpeza da mancha ocorreu de forma simultânea em todas as argamassas. Ao final dos 84 dias, ainda era perceptível a mancha do particulado de poluição, porém, de uma forma bastante heterogênea, com algumas áreas mais escuras que outras, onde era possível enxergar a superfície branca da placa original. Comparando as argamassas das imagens finais com as iniciais é possível enxergar uma pequena variação de cor.

b) Coordenadas L*a*b*

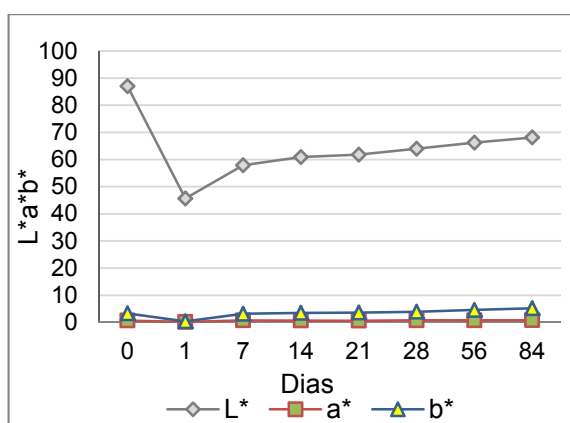
As médias das coordenadas colorimétricas encontradas nas placas das argamassas manchadas com o particulado de poluição, ao longo do tempo, estão expostas através da figura 60. Os dados completos das coordenadas podem ser visualizados no apêndice B.



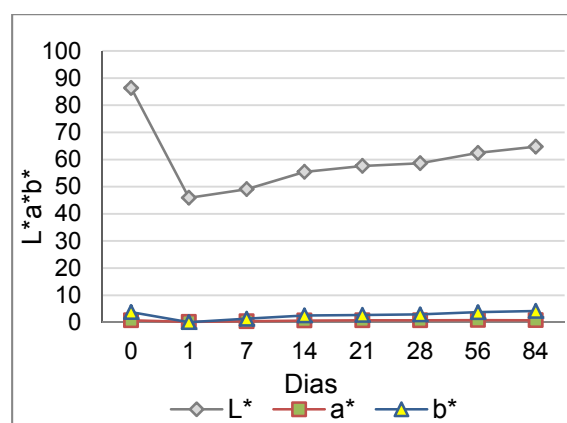
(a)



(d)



(b)



(e)

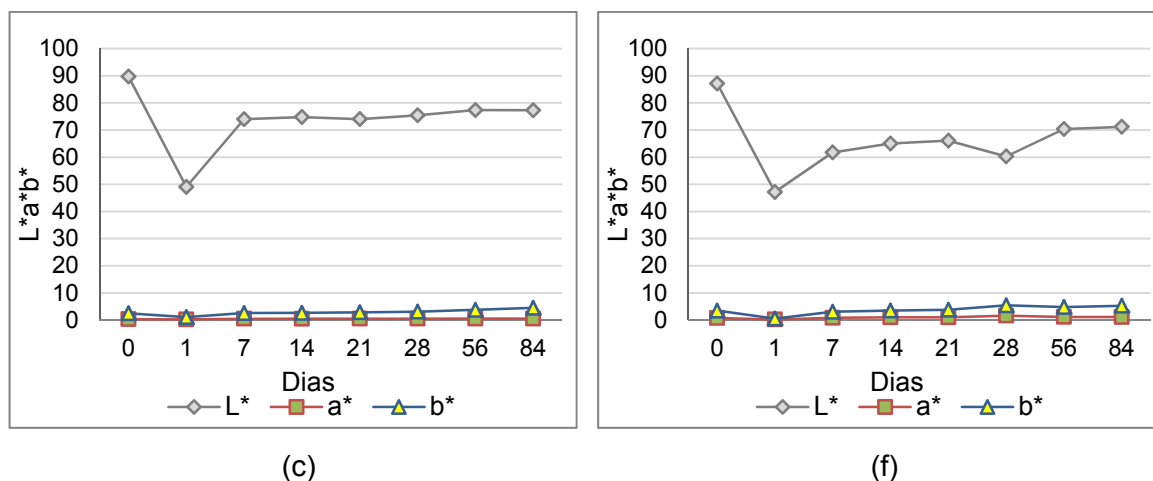


Figura 60 – médias das coordenadas colorimétricas $L^*a^*b^*$ de particulado de poluição nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

As coordenadas colorimétricas apresentaram uma tendência de comportamento semelhante em todas as argamassas. Para a coordenada L^* , que representa a luminosidade, foram encontrados valores altos na primeira leitura (leitura 0), entre 84 e 90. A coordenada a^* , que representa a variação entre verde e vermelho, ficou próxima do valor de zero na primeira leitura, bem como relatado nas leituras de avaliações anteriores. A coordenada b^* apresentou uma variação na faixa entre 2 e 5 para valores positivos, o que indica a coloração levemente amarelada das placas, possivelmente causada pelo agregado miúdo da mistura.

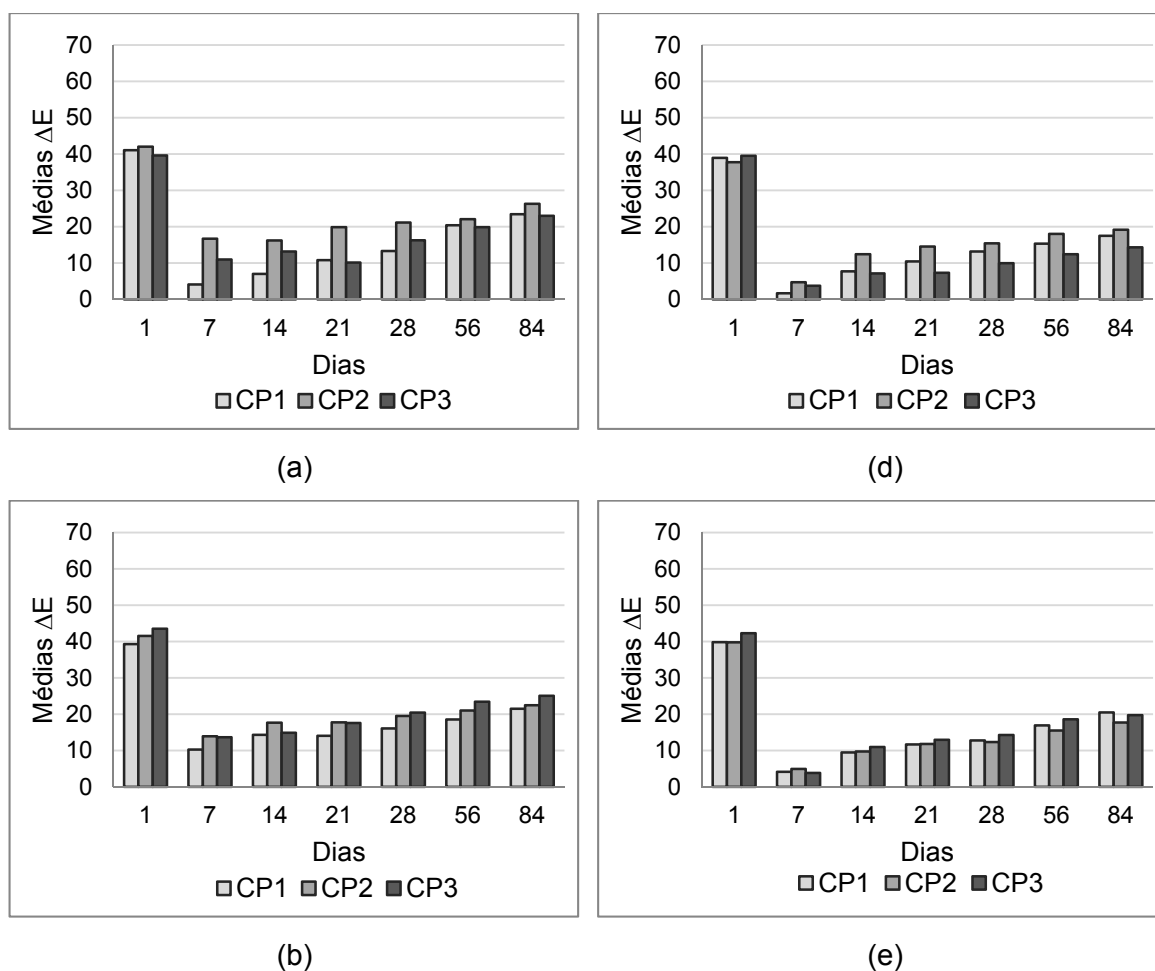
Após o manchamento, foi realizada a leitura 1, na qual houve modificação nas coordenadas, principalmente na luminosidade (L^*). Esta foi afetada pelo manchamento, escurecendo a superfície da placa e baixando o seu valor em relação ao valor inicial, ficando em uma faixa de valores entre 45 e 49 para todas as argamassas. Para a coordenada a^* quase não houve variação após o manchamento, e, para a coordenada b^* , houve um decréscimo do valor obtido anteriormente, ficando muito próximo ao valor de zero. Este, também possivelmente justificado pelo manchamento, já que agora não apresentava praticamente nenhuma coloração amarelada.

Aos sete dias houve um acréscimo no valor da coordenada L^* , visto que parte do manchamento foi lavado ou descolorido. O valor da luminosidade aumentou aos sete dias e seguiu aumentando lentamente até a leitura de 84 dias, na qual variou entre 63 e 77 para as diferentes argamassas. Pode-se perceber a recuperação mais lenta da luminosidade do 1 aos 7 dias para as argamassas A20 e A30, que não continham TiO_2 . A coordenada a^* praticamente não foi modificada desde a leitura inicial, permanecendo sempre próxima ao

eixo, ficando no valor de zero, até no máximo 1 para algumas argamassas. Para a coordenada b^* , houve um leve acréscimo desde o manchamento. A partir do manchamento em diante, as argamassas apresentaram variação no sentido positivo, com certa coloração amarelada, porém, esse valor não passou de 5.

c) Variação de cor (ΔE)

As médias de variação de cor (ΔE) encontradas nas placas das argamassas manchadas com particulado de poluição, ao longo do tempo, estão apresentadas na figura 61. As variações de cor são sempre comparadas à leitura 1 das placas, referente à placa manchada. Os dados completos das coordenadas podem ser visualizados no apêndice B.



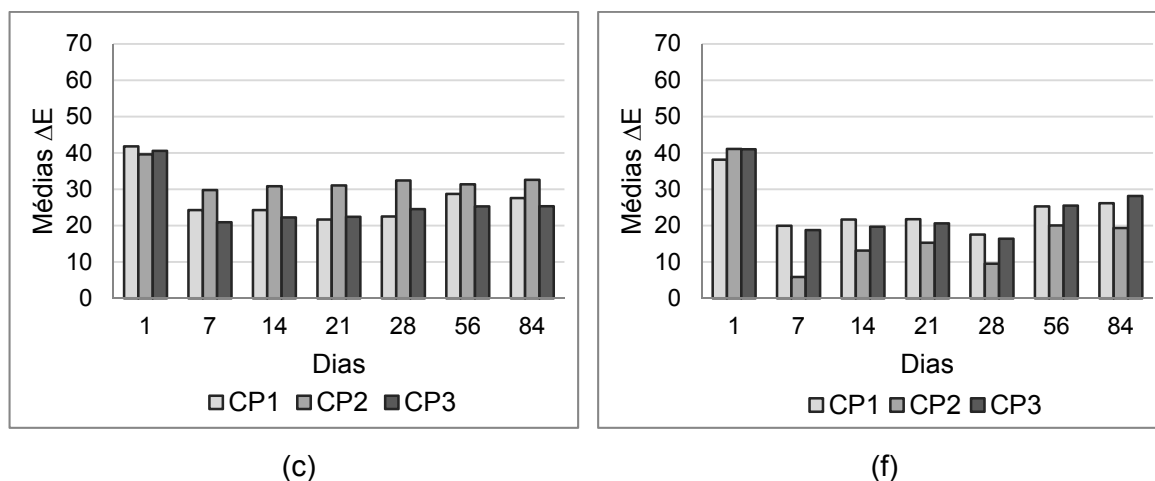


Figura 61 – médias das variações de cor (ΔE) de particulado de poluição nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

Todas as argamassas manifestaram variação de cor maior na leitura 1, a qual é comparada com a leitura 0, ou seja, são comparadas as placas não manchadas com as recentemente manchadas, e logicamente a grande variação de cor era esperada. Aos sete dias, a maioria das argamassas não apresentou grandes alterações na coloração, apenas a argamassa A210 demonstrou uma variação maior logo na segunda leitura. Ao longo do tempo, as argamassas exibiram um comportamento semelhante entre si, estas mostraram uma maior variação de cor com o passar do tempo, exibindo uma leve tendência crescente até o final dos 84 dias. Quanto mais próximo é o valor de variação de cor dos 84 dias em relação ao dia 1, mais limpas as placas de argamassa se apresentam. As manchas ainda eram bastante perceptíveis ao final das leituras, porém, aquelas que mais se aproximaram da variação de cor esperada ao final dos 84 dias foram as argamassas A210 e, com uma variação um pouco menor, a argamassa A310.

5.3.4 Manchamento: produto de corrosão

a) Análise visual - resistência ao manchamento ao longo do tempo

A resistência ao manchamento do produto de corrosão nas argamassas, ao longo do tempo, pode ser visualizada na figura 62.

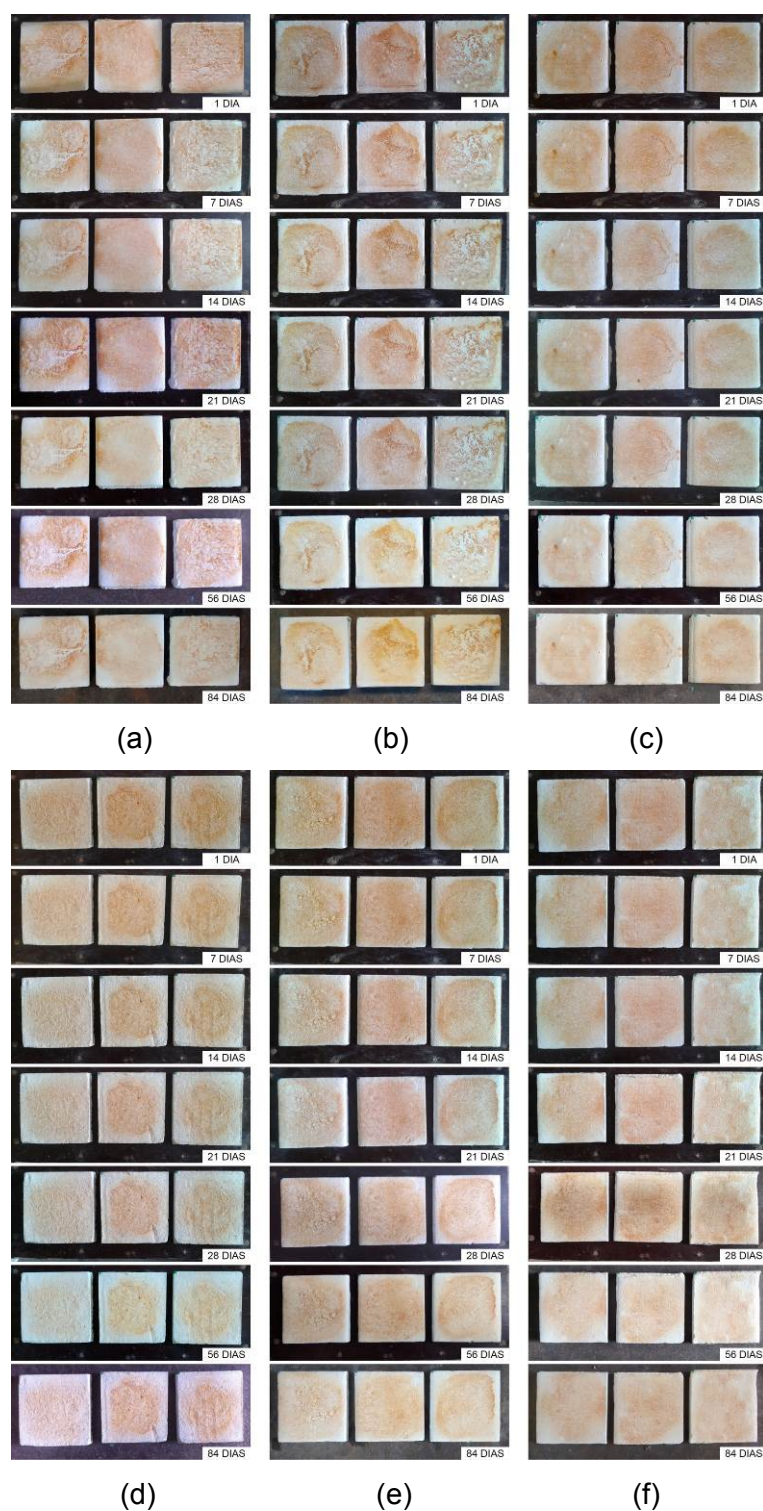


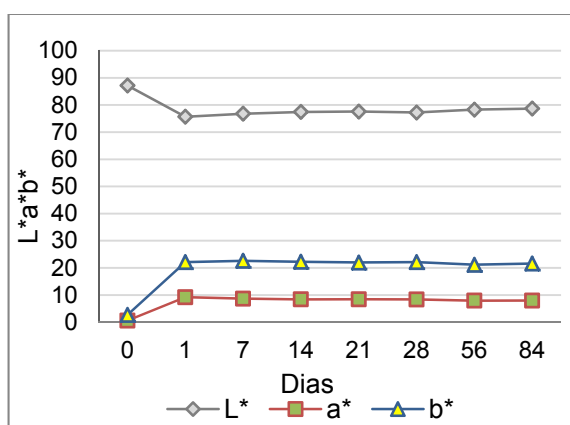
Figura 62 – resistência ao manchamento de produto de corrosão ao longo do tempo: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

A partir das imagens das argamassas manchadas com o produto de corrosão, verifica-se que as mesmas tiveram um manchamento inicial heterogêneo, tanto entre as três placas da mesma argamassa, quanto entre as diferentes argamassas, dificultando a análise. Ainda, é

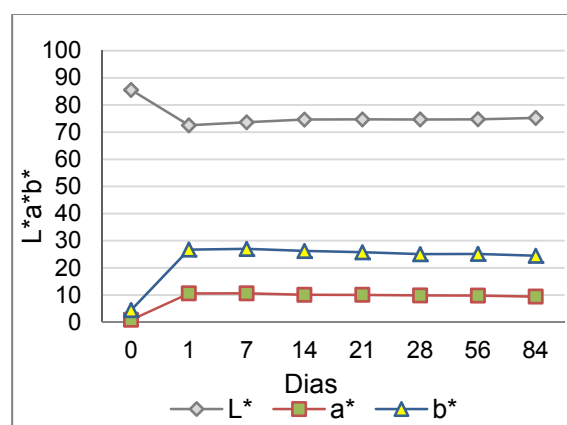
importante salientar que a mistura do produto de corrosão na água não se tornou uma solução totalmente homogênea, podendo ser vistas pequenas partículas metálicas na água, as quais se depositaram e se acumularam em alguns pontos das placas quando aspergidas. Nas argamassas, pode-se dizer que não parece ter havido grande descoloração ou limpeza das placas com o passar do tempo. Ao final dos 84 dias, pode-se notar uma sutil variação na coloração em comparação às placas iniciais, porém, quase imperceptível.

b) Coordenadas $L^*a^*b^*$

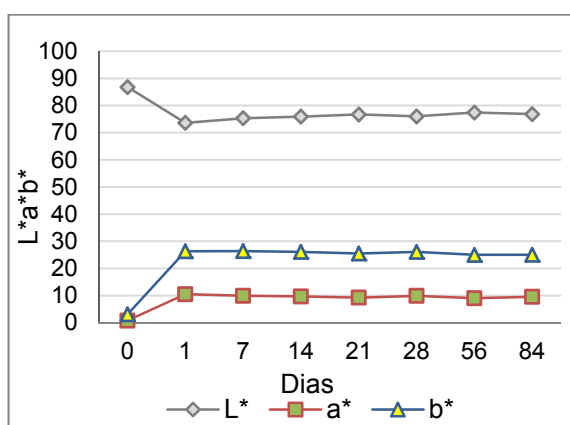
As médias das coordenadas colorimétricas encontradas nas placas das argamassas manchadas com o produto de corrosão, ao longo do tempo, estão apresentadas na figura 63. Os dados completos das coordenadas podem ser visualizados no apêndice B.



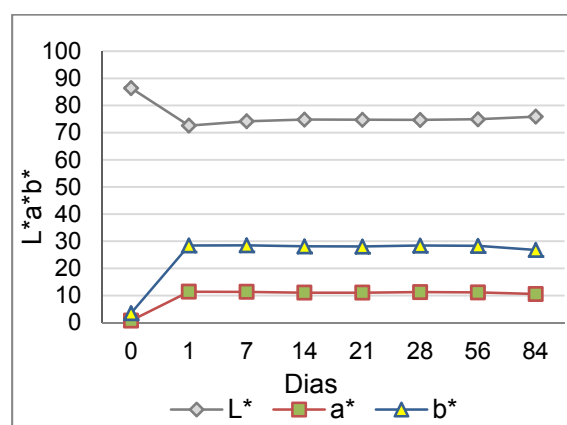
(a)



(d)



(b)



(e)

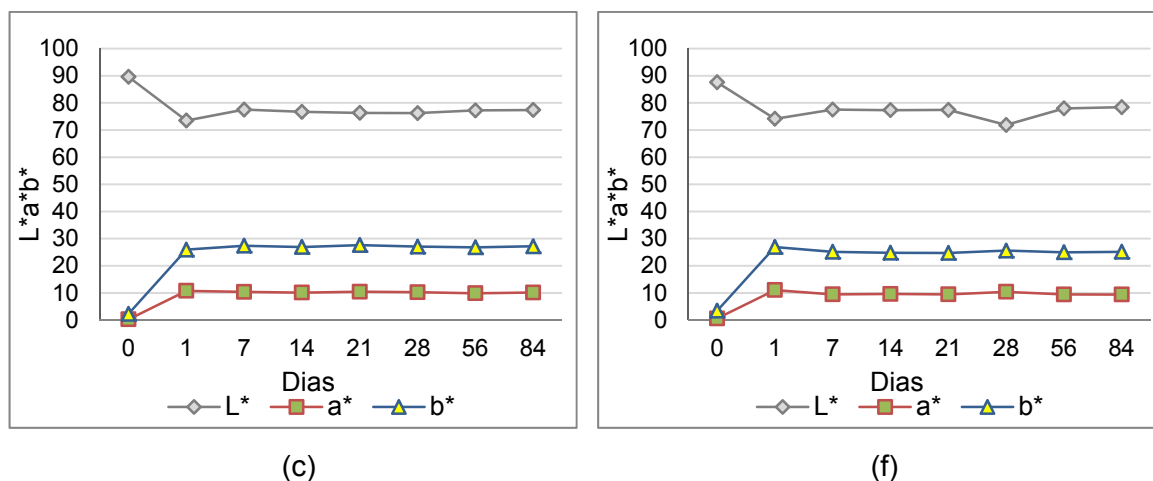


Figura 63 – médias das coordenadas colorimétricas $L^*a^*b^*$ do produto de corrosão nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

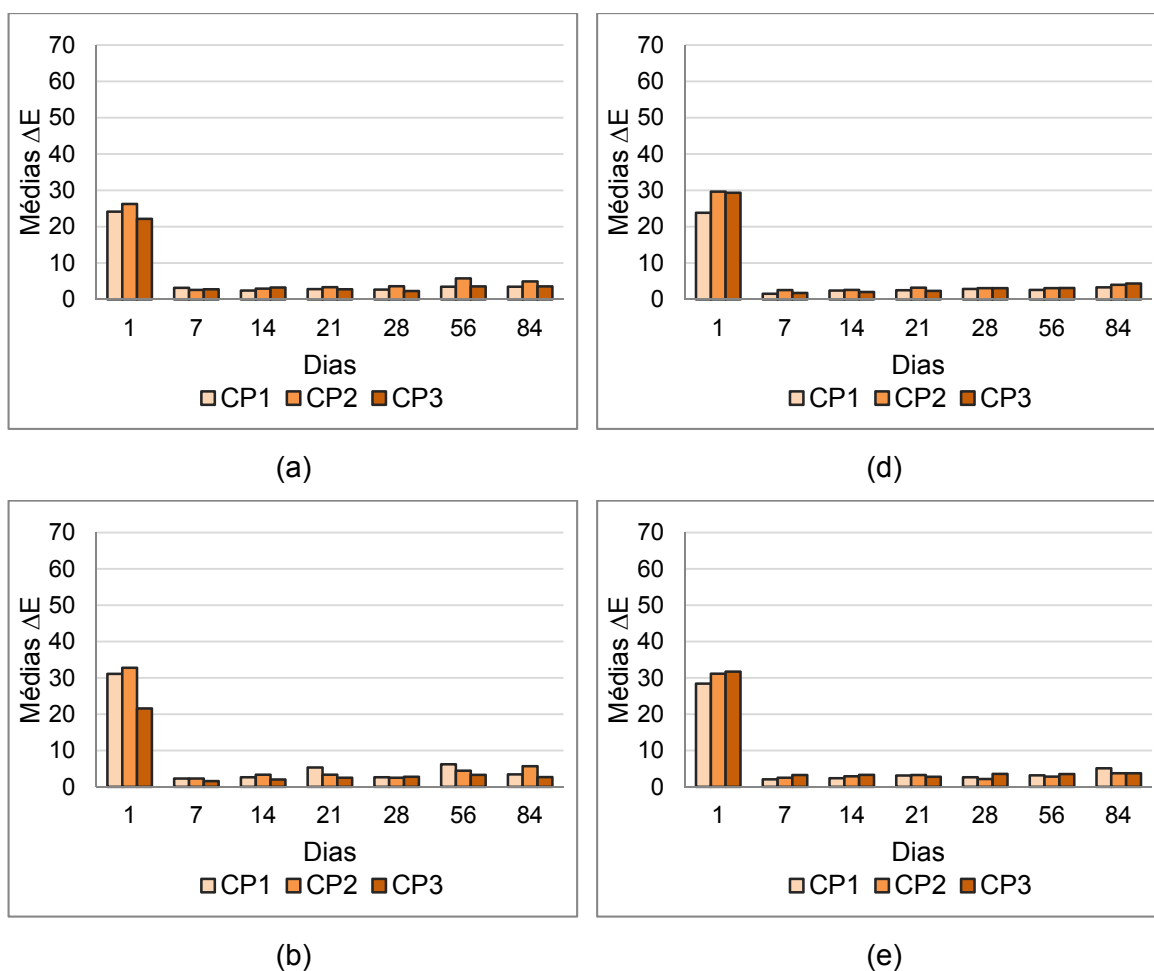
Todas as argamassas apresentaram uma tendência de comportamento semelhante entre si. Para a coordenada L^* , relacionada à luminosidade, foram encontrados valores altos na leitura inicial (leitura 0), conforme se pode observar nas análises anteriores. As argamassas apresentaram valores que variaram entre 85 e 90 para esta coordenada (L^*). Já a coordenada a^* , que relaciona a variação entre verde e vermelho, permaneceu próxima ao valor de zero na primeira leitura. A coordenada b^* , para a leitura 0, apresentou valores positivos, porém baixos, entre 2 e 4, o que significa uma leve coloração amarela nas argamassas.

Na leitura 1, após realizado o manchamento, houve variação em todas as coordenadas. A coordenada L^* decaiu devido ao escurecimento causado pela mancha, variando agora entre 72 e 75. Estes valores ainda são altos para a luminosidade, em comparação aos demais manchamentos observados, porém, reitera que o produto de corrosão não cobriu perfeitamente a superfície da placa, acumulando-se em alguns pontos e elevando o valor para a luminosidade da mesma. A coordenada a^* sofreu um acréscimo no sentido positivo, variando entre valores de 9 a 11, o que indica a sua coloração avermelhada. É justificado já que se trata de um manchamento alaranjado, e esta coordenada está relacionada à variação de cor entre verde e vermelho. A coordenada b^* também sofreu um acréscimo no sentido positivo, a qual está relacionada ao intervalo de colorações amarela e azul. O sentido positivo, variando entre 22 e 28, indica a sua coloração amarelada, também justificada pela coloração do manchamento alaranjado, já que para a formação desta cor são necessários os pigmentos amarelo e vermelho.

Ao longo do tempo, a maioria das coordenadas se manteve constante, havendo pequenas variações até o final dos 84 dias. A coordenada L* ainda sofreu algum pequeno acréscimo de luminosidade ao longo do tempo, porém, quase imperceptível.

c) Variação de cor (ΔE)

As médias de variação de cor (ΔE) encontradas nas placas das argamassas manchadas com o produto de corrosão, ao longo do tempo, estão apresentadas na figura 64. As variações de cor são sempre comparadas à leitura 1 das placas, referente à placa após o manchamento. Os dados completos das coordenadas podem ser visualizados no apêndice B.



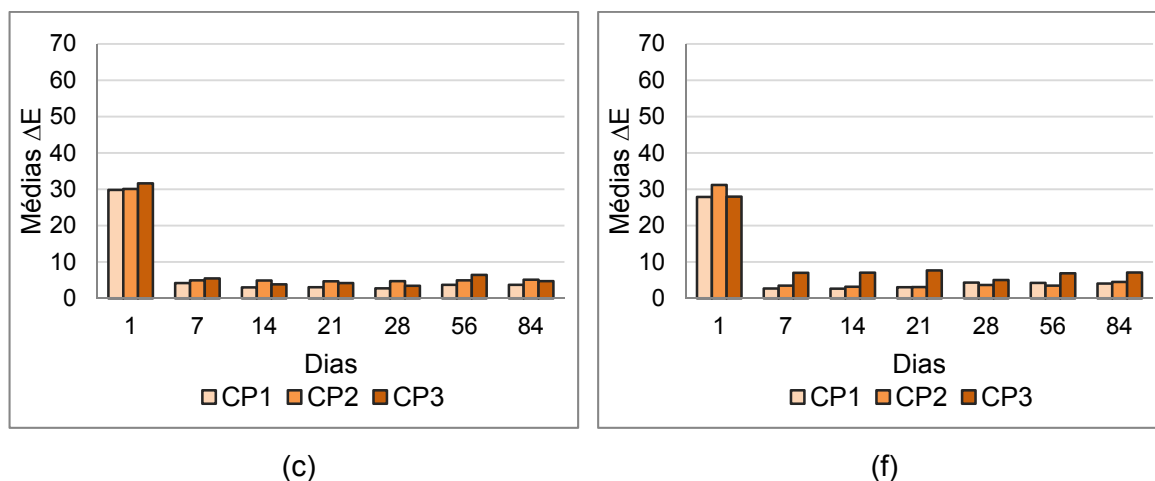


Figura 64 – médias das variações de cor (ΔE) do produto de corrosão nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

Todas as argamassas apresentaram um comportamento semelhante para a variação de cor, independente do traço e da utilização de TiO_2 . A maior variação de coloração foi na primeira leitura, a qual compara a placa não manchada com a recentemente manchada. Ao longo do tempo a alteração de cor se manteve praticamente constante, inclusive ao final dos 84 dias. A variação de cor em todas as argamassas foi mínima, de acordo com as fotos anteriormente mostradas, e ao final das leituras as manchas ainda eram percebidas. A partir dos dados, a variação de cor para a leitura aos 84 dias em comparação à leitura 1 variou entre valores de 3 e 5. De acordo com classificação, uma variação de 1,5 a 3 pode ser considerada distinguível, e de 3 a 5, facilmente distinguível.

5.3.5 Manchamento: pichação

a) Análise visual - resistência ao manchamento ao longo do tempo

A resistência ao manchamento de pichação nas argamassas, ao longo do tempo, pode ser visualizada na figura 65.

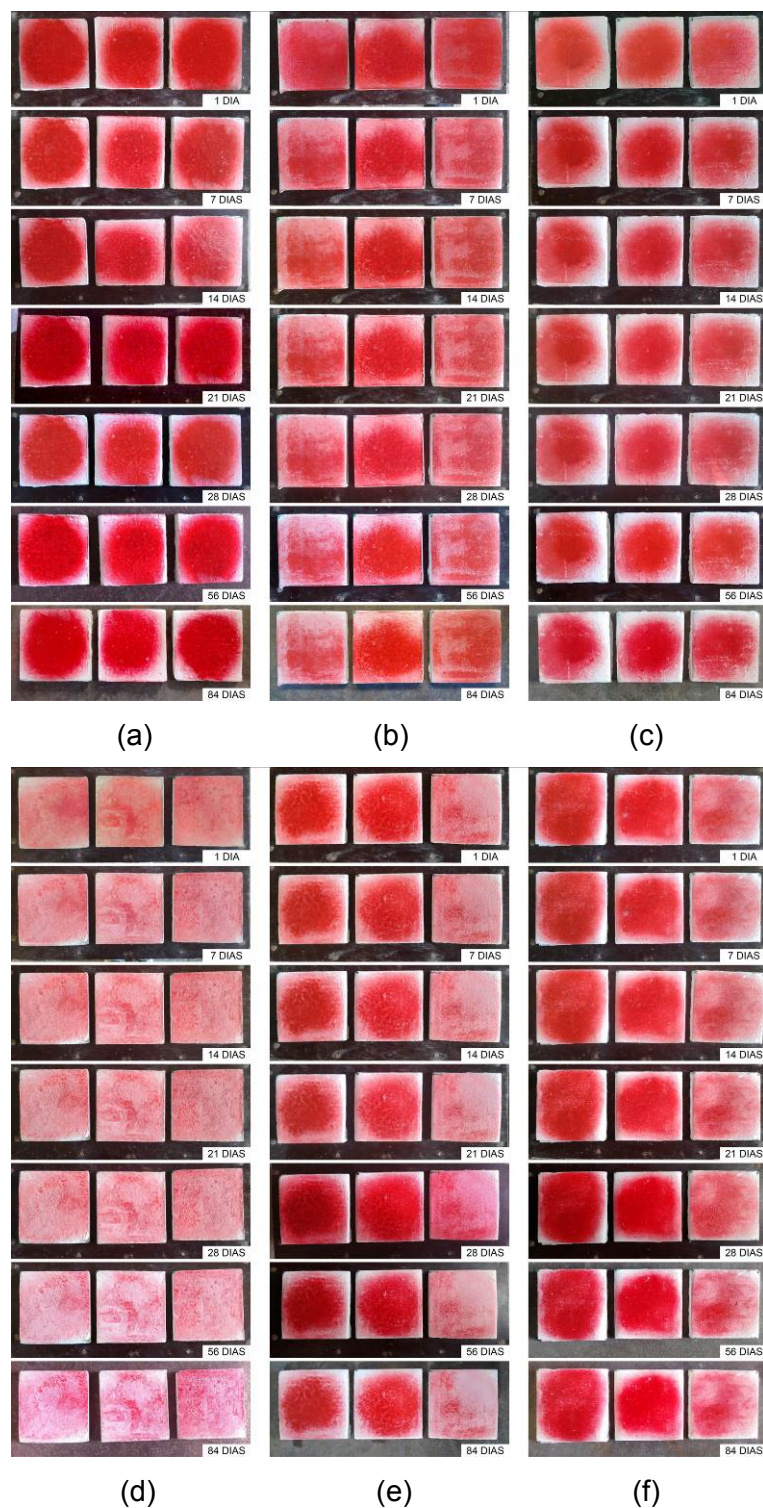


Figura 65 – resistência ao manchamento de pichação ao longo do tempo: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

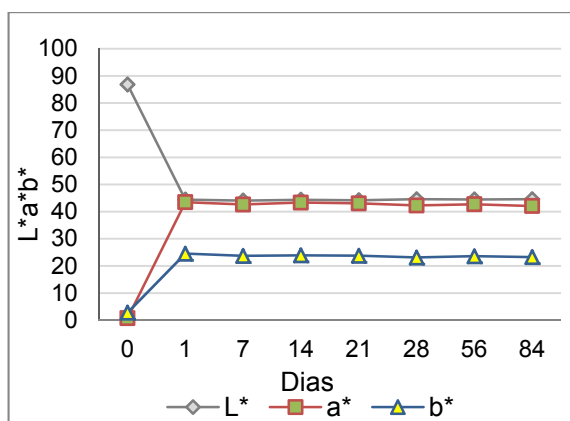
Visualizando as imagens, é possível observar que o manchamento inicial nas placas foi diferente uns dos outros, tanto entre as diferentes argamassas, quanto entre as próprias placas da mesma argamassa. À medida que o spray era pressionado, o pigmento saía do tubo com mais ou com menos pressão, dificultando a precisão dos manchamentos. Ainda

Argamassa autolimpante para revestimento de fachadas: o efeito das propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio (TiO₂)

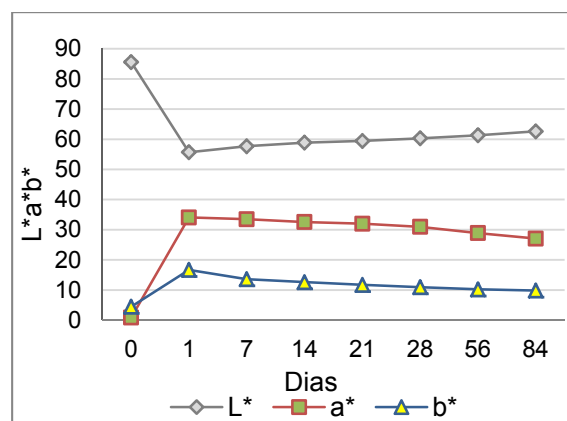
assim, é possível verificar que a tinta utilizada para pichação ficou impregnada nas argamassas. Nota-se que quando a tinta saiu com menos pressão, a coloração ficou mais rosada, e foi mais facilmente descolorida com o tempo, que foi o caso da argamassa A30. Porém, o contrário também é válido, quando a tinta saiu com mais pressão, o pigmento ficou mais avermelhado e dificilmente foi limpo, que é o caso da argamassa A20. Ao final dos 84 dias de exposição, observou-se que as argamassas não apresentaram muita variação em relação ao manchamento inicial, alguma modificação de coloração foi notada nas bordas do manchamento. Aquelas manchas que tiveram seu pigmento mais rosado no início foram as que apresentaram uma descoloração aparentemente maior. Possivelmente, a limpeza não ocorreu em virtude do bloqueio promovido pela película de tinta à incidência do sol, essencial para o funcionamento do TiO_2 como agente limpante.

b) Coordenadas $L^*a^*b^*$

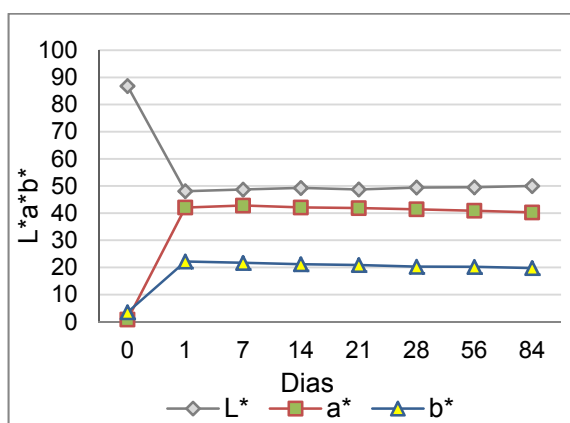
As médias das coordenadas colorimétricas encontradas nas placas das argamassas manchadas com pichação, ao longo do tempo, estão apresentadas na figura 66. Os dados completos das coordenadas podem ser visualizados no apêndice B.



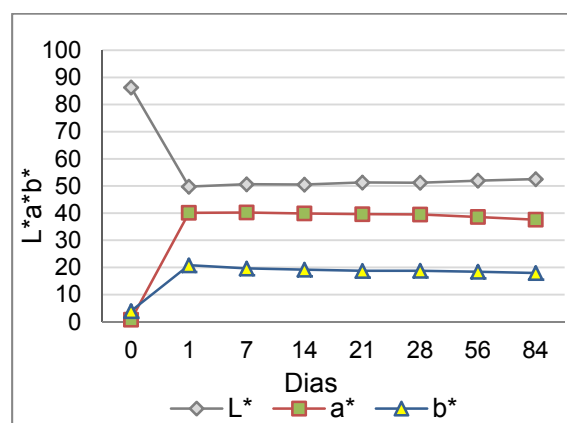
(a)



(d)



(b)



(e)

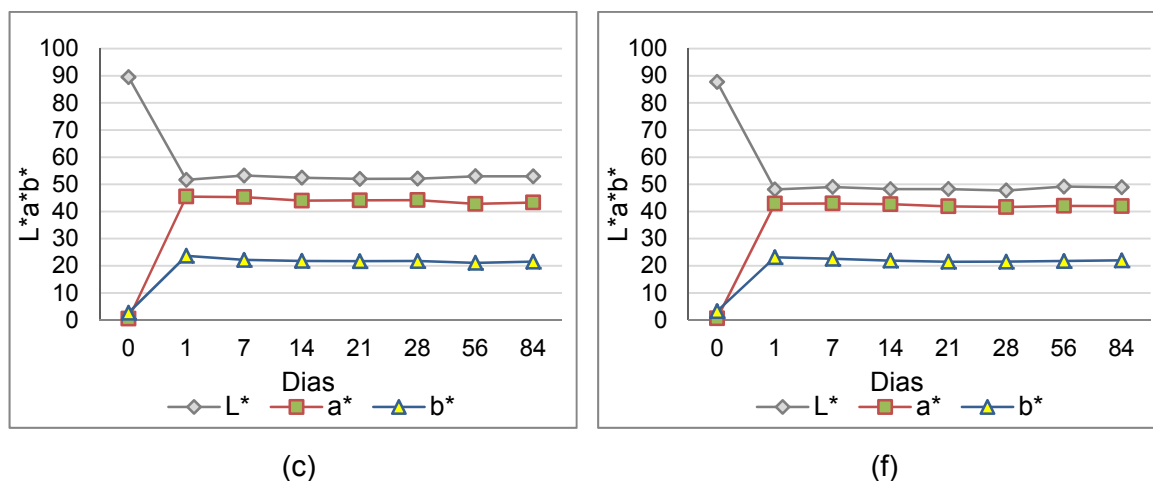


Figura 66 – médias das coordenadas colorimétricas $L^*a^*b^*$ de pichação nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A210; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

As argamassas apresentaram comportamentos bastante semelhantes entre si, conforme pode-se visualizar nas figuras apresentadas. Para a leitura 0, as argamassas apresentaram um valor alto de coordenada L^* , entre 80 e 90, de acordo com as análises anteriores. Já a coordenada a^* , que relaciona o intervalo de coloração entre verde e vermelho, permaneceu próxima ao valor de zero. A coordenada b^* , para a leitura 0, apresentou valores positivos, porém baixos.

Logo após o manchamento, na leitura 1, as argamassas apresentaram um valor mais baixo para a coordenada L^* , pois a sua superfície escureceu com o manchamento e a sua luminosidade decaiu, ficando entre os valores de 44 e 55. Para a argamassa A30, a qual o manchamento foi inicialmente mais claro, é notável um valor maior de luminosidade. As demais coordenadas também sofreram variação após o manchamento. A coordenada a^* , relacionada à variação verde e vermelho, mostrou-se com valores positivos, entre 34 e 45, indicando a sua inclinação à coloração vermelha (já que o pigmento de spray utilizado foi da cor vermelha). A coordenada b^* também elevou o seu valor, mostrando valores positivos, o que a inclina para a coloração amarela. Os valores permaneceram entre 16 e 24.

Ao longo do tempo, todas as coordenadas sofreram pouca variação, conforme pode ser visto nas imagens. A única que sofreu maior variação nas coordenadas foi a argamassa A30, conforme visto pelas fotos. Esta aumentou a sua luminosidade ao longo do tempo, decaiu a sua coloração de vermelho (coordenada a^*) e decaiu levemente a sua coloração amarelada também (coordenada b^*).

c) Variação de cor (ΔE)

As médias de variação de cor (ΔE) encontradas nas placas das argamassas, ao longo do tempo, estão apresentadas na figura 67. As variações de cor são sempre comparadas à leitura 1 das placas, referente à placa após o manchamento. Os dados completos das coordenadas podem ser visualizados no apêndice B.

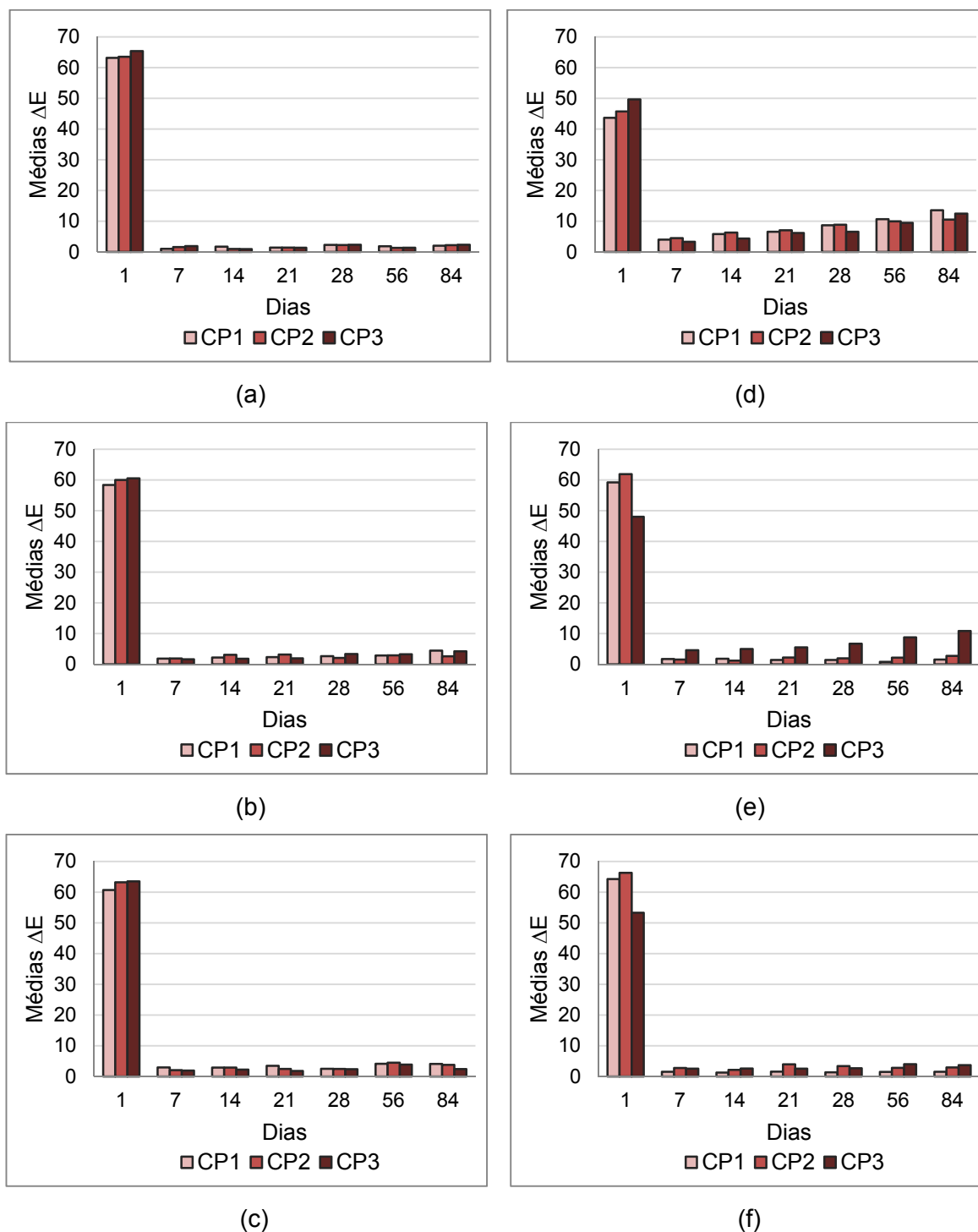


Figura 67 – médias das variações de cor (ΔE) de pichação nas placas: (a) A20; (b) A25; (c) A310; (d) A30; (e) A35; (f) A310.

Conforme era esperado, todas as argamassas apresentaram uma maior variação de cor na leitura 1, a qual compara a argamassa sem manchamento à recentemente manchada. Nota-se que a variação de cor foi bastante elevada neste primeiro momento, ficando em valores médios de 46, para a argamassa A30 que apresentou variação mais baixa, e as demais entre 60 e 65. Ao longo do tempo, as variações de cor praticamente permaneceram constantes, variando muito pouco, entre 2 e 4. Porém, para a argamassa A30, que apresentou comportamento diferenciado, houve um valor mais elevado de variação de cor ao final dos 84 dias, ficando em uma média de 12, valor classificado como variação de cor “muito grande”.

5.3.6 Análise comparativa de resultados da autolimpeza

Após a apresentação dos resultados de análise visual da resistência ao manchamento, das coordenadas $L^*a^*b^*$ e da variação de cor, foi possível perceber que cada uma das manchas demonstrou um comportamento diferente ao longo do tempo. Desta forma, torna-se necessário analisar as possíveis causas para os distintos desempenhos demonstrados.

A **estrutura das matrizes** cimentícias e a **porosidade** das mesmas parecem ter influenciado na autolimpeza. As argamassas com maior porcentagem de TiO_2 apresentaram as maiores densidade e também se mostraram menos porosas, o que refletiu na dificuldade de penetração da água nas placas para que ocorresse o processo de oxidação. Para Pereira et al. (2010), as argamassas com maiores porcentagens também apresentaram uma microestrutura mais densa, significando que para determinado traço a eficácia foi maior quanto maior a porosidade da argamassa, pois permitiu a entrada de água com maior facilidade para dar início à formação de agentes oxidativos. Ruot et al. (2009) observaram que há uma forte influência da estrutura e da matriz cimentícias na qual o TiO_2 é incorporado nas propriedades fotocatalíticas do material resultante.

O **acabamento da superfície** também é um fator que deve ser levado em conta, visto que superfícies mais rugosas podem aglomerar mais sujidades que superfícies mais lisas, bem como podem acumular maior quantidade de água. Todas as placas tiveram o mesmo acabamento, que foi alisado. Porém, segundo pesquisa de Pereira et al. (2010), corpos de prova com superfícies mais rugosas apresentaram um desempenho melhor, o que pode ser explicado devido a maior retenção de água na superfície, o que potencializa a formação de agentes oxidativos e conseqüentemente da maior facilidade da autolimpeza. Como os acabamentos das superfícies foram alisados, possivelmente a água da superfície foi rapidamente lavada, não havendo o tempo necessário para que ocorresse a formação dos agentes oxidativos.

O **tamanho do grão** do TiO_2 também influencia nos resultados, pois, conforme afirmam Allen et al. (2008), quanto menor for a partícula, a qual preferencialmente deve ser nanométrica, mais intensa será a atividade fotocatalítica. O TiO_2 utilizado nesta pesquisa foi testado previamente e apresentou um bom resultado de degradação do corante Rodamina B em solução aquosa. O ensaio foi realizado num reator em batelada com o catalisador em suspensão, empregando 0,70 g/L de catalisador, sob radiação UV. Em 60 minutos ocorreu 90% de degradação do corante.

A possível **aglomeração do material**, devido a sua finura, e a não utilização de **aditivo** na mistura para dispersar o mesmo também pode ter sido uma causa do não funcionamento da autolimpeza das manchas da forma esperada. O estudo de Treviso (dissertação em andamento), que está utilizando misturas de traço 1:3, com adições de 0, 5, 10 e 15% de TiO_2 , fez uso do aditivo dispersor nas misturas e parece ter sido efetivo o seu uso, devido aos recentes resultados de autolimpeza notados nas placas de argamassas manchadas com o corante Rodamina B.

Além desses fatores, alguns estudos abordam sobre a diferença entre se utilizar **pastas e argamassas** com adição de TiO_2 , reiterando que pastas seriam mais eficientes que argamassas para os resultados da fotocatalise. O estudo de Ruot et al. (2009), comparou argamassas fotocatalíticas e pastas, e observou que, para pastas, a taxa de descoloração pareceu maior (nas primeiras 3h de exposição) quanto maior foi a porcentagem de TiO_2 , enquanto a mesma tendência não foi tão direta para argamassas. No presente estudo, apenas foram confeccionadas argamassas e não pastas. Também, a pesquisa de Diamanti et al. (2008) revelou que, realizando uma suspensão com TiO_2 na superfície das placas de argamassa depois de secas, estas apresentaram a melhor eficiência fotocatalítica em relação às demais (que continham o TiO_2 como pó ou em suspensão na mistura). Porém, este método apresentou problemas de adesão da camada superficial de TiO_2 nas placas.

O **tipo de mancha** utilizado também parece ter influenciado nos resultados. A mancha da pichação acabou criando uma crosta sobre a superfície, gerando uma barreira à penetração dos raios UV, impedindo que ocorresse de forma satisfatória o ciclo de foto-ativação. Também, a água da chuva não conseguiu penetrar na argamassa para que fosse concluído o processo da fotocatalise. O estudo de Azevedo et al. (2009) também utilizou a pichação para avaliar a autolimpeza em argamassas aditivadas com TiO_2 . Porém, foi manchada a figura de um "X" nas placas, sendo mais eficiente para a penetração dos raios UV do que manchar a placa inteira como foi realizado no presente estudo.

Assim como a pichação, a mancha do produto de corrosão pareceu apresentar um comportamento semelhante. Apesar de não criar uma crosta, a mesma continha pequenas partículas sólidas na solução, que acabaram penetrando em alguns poros da superfície da placa. Também, o fato de ser um manchamento ferroso pode ser a justificativa para que não tenha ocorrido a auto-limpeza, no qual o TiO_2 não conseguiu reduzir esse material. O manchamento do azul de metileno, que é um corante orgânico semelhante à rodamina B, normalmente utilizado para pesquisas, foi o que melhor mostrou resultados de auto-limpeza. Porém, tanto nas argamassas que continham TiO_2 e nas argamassas que não continham TiO_2 , a limpeza da mancha ocorreu. A diferença ocorreu no fato de as argamassas sem TiO_2 apresentarem um maior manchamento inicial. A mancha do particulado de poluição apresentou certa limpeza, porém, ocorreu da mesma forma em todas as argamassas. Apenas, a luminosidade pareceu ser recuperada mais lentamente naquelas argamassas que não continham adição de TiO_2 .

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo principal a obtenção de superfícies autolimpantes a partir da adição de dióxido de titânio (TiO_2) em revestimentos de argamassa branca, além da análise da influência desta adição nas propriedades físico-mecânicas das mesmas. Ainda, buscou-se avaliar os diferentes teores de adição utilizados (0%, 5%, 10%) para a eficácia da autolimpeza a partir de diferentes tipos de manchamentos. Para tal, foram realizados diversos ensaios laboratoriais, tanto no estado fresco como no estado endurecido, além de análise de cromaticidade ao longo de tempo.

Os resultados e conclusões apresentados a seguir, mesmo que embasadas na literatura nacional e internacional atual, são referentes às argamassas confeccionadas especificamente para este trabalho, com os materiais e métodos descritos, não podendo ser considerados de forma absoluta. Para confirmar a representatividade do comportamento dos materiais são necessárias novas pesquisas que reiterem ou complementem os resultados apresentados.

6.1 CONCLUSÕES

Os resultados finais alcançados neste trabalho pelas argamassas desenvolvidas estão resumidos através da tabela 31.

Tabela 31 – tabela geral dos resultados obtidos com esta pesquisa.

Propriedades	Identificação da argamassa					
	1:2			1:3		
	0%	5%	10%	0%	5%	10%
	A20	A25	A210	A30	A35	A310
Estado fresco						
Relação a/c	0,41	0,43	0,45	0,57	0,59	0,60
Índice de consistência médio (mm)	260	270	265	260	260	265
Densidade de massa (kg/m^3)	2175,00	2191,61	2216,45	2119,68	2123,51	2138,12
Teor de ar incorporado (%)	3,5	2,7	1,5	4,6	4,4	4,0

Estado endurecido						
Densidade de massa aparente (kg/m ³)	2085,67	2101,80	2088,91	2017,63	2068,49	2027,63
Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	33,97	29,44	32,52	30,17	31,80	24,58
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	0,89	1,16	1,64	1,77	2,19	2,15
Resistência à compressão axial (MPa)	41,73	48,79	51,99	29,80	29,90	29,36
Resistência à tração na flexão (MPa)	4,56	5,48	4,95	4,30	4,48	5,26

Com relação às propriedades e características das argamassas com adição de TiO₂ no **estado fresco**, pode-se concluir que:

- a) para uma mesma consistência, quanto maior o teor de adição de TiO₂, maior a demanda de água da mistura, refletindo em uma maior relação a/c;
- b) quanto maior o teor de adição de TiO₂, maior a densidade de massa e menor o teor de ar incorporado.

Com relação às propriedades das argamassas com adição de TiO₂ no **estado endurecido**, pode-se concluir que:

- a) a densidade de massa aparente foi maior nas argamassas A25 e A35, as quais continham adição de 5% de TiO₂;
- b) a adição de TiO₂, para o módulo de elasticidade dinâmico, não apresentou uma tendência clara de comportamento;
- c) o coeficiente de capilaridade foi maior nas argamassas que continham adição de TiO₂;
- d) a resistência à compressão demonstrou acréscimo com a adição de TiO₂, porém, até certo limite. Para traços mais ricos (1:2), quanto maior a adição de TiO₂, maior a resistência, mesmo com o aumento da relação a/c resultante da adição. Para traços mais pobres (1:3), o TiO₂ apenas compensou o acréscimo de água, mantendo a resistência constante;

- e) a resistência à tração na flexão aumentou com a adição de TiO_2 tanto para os traços ricos (1:2) como para os traços pobres (1:3), sendo que o teor ótimo de adição foi de 5 e 10% para os traços 1:2 e 1:3, respectivamente;
- f) como foi mantida constante a consistência da argamassa, a relação a/c e a quantidade de TiO_2 mudavam em cada mistura. Isso dificultou a análise visto que estão sendo alteradas duas variáveis ao mesmo tempo, e se torna difícil mensurar o limite de atuação de cada uma delas.

Com relação à **cor** e à **luminosidade** das argamassas com adição de TiO_2 , pode-se concluir que:

- a) em todos os traços, a adição de TiO_2 apresentou um aumento na luminosidade das argamassas;
- b) quanto maior o teor de adição de TiO_2 , mais claras (brancas) ficaram as argamassas, comprovado pela medida de luminosidade com o espectrofotômetro;
- c) para argamassas mais ricas (1:2), a diferença da cor branca foi notada mais nitidamente a partir de maiores porcentagens de adição de TiO_2 (de 5 para 10%), e para traços mais pobres (1:3), a diferença de cor branca foi notada imediatamente com porcentagens menores de TiO_2 (de 0 para 5%).

Com relação à influência de diferentes teores de adição de TiO_2 na **eficácia da autolimpeza** e na **resistência ao manchamento**, pode-se concluir que:

- a) nas superfícies em que o tipo de manchamento criou uma barreira aos raios UV, como no caso da pichação e dos produtos de corrosão, o ciclo de foto-ativação foi dificultado e a adição de TiO_2 não foi eficaz na autolimpeza.
- b) a mancha de azul de metileno foi a mais eficiente para o estudo, porém, argamassas com e sem TiO_2 foram limpas ao passar do tempo.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer deste trabalho, algumas questões e hipóteses foram levantadas. Estas podem ser abordadas em futuros trabalhos, para que venham a desenvolver o estudo sobre o TiO_2 como alternativa de material autolimpante para fachadas de edificações. Portanto, como propostas a serem abordadas em pesquisas futuras, sugere-se:

- a) testar diferentes teores de adição de TiO_2 nas argamassas, distintos dos que foram utilizados nesta pesquisa;
- b) utilizar um aditivo dispersor para que o TiO_2 não se aglomere nas misturas, já que se trata de um material muito fino;
- c) experimentar outros pós de TiO_2 existentes, com maior superfície específica e menor diâmetro médio;
- d) investigar a possibilidade e a viabilidade de utilizar o TiO_2 somente em uma camada superficial da placa, ao invés de inseri-la na mistura da argamassa;
- e) explorar outros tipos de manchas e estudar diferentes métodos para a aplicação das mesmas nas placas, de forma que fiquem mais homogêneas entre si, quando se tratar do mesmo tipo de mancha;
- f) estudar diferentes acabamentos superficiais nas placas (mais rugoso/menos rugoso) para averiguar o efeito na autolimpeza;
- g) analisar a porcentagem de TiO_2 na superfície da placa ao longo do tempo;
- h) realizar ensaios em laboratório com radiação UV em câmara de intemperismo acelerado, para verificar mais brevemente o efeito da fotocatalise;
- i) analisar a hidroflicidade da superfícies das placas, antes e depois da exposição à radiação UV;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, N. S. et al.. Photocatalytic titania based surfaces: environmental benefits. **Polymer degradation and stability**, v. 93, n. 9, p. 1632-1646, 2008.

ALMEIDA, M. K. **Fotocatálise heterogênea aplicada na degradação do corante rodamina-b utilizando nanopartículas de dióxido de titânio**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5674**: Manutenção de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **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 14037**: Manual de operação, uso e manutenção das edificações — Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. 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 ultrassônica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 23.** Cimento portland — Determinação e massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 30.** Agregado miúdo — Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR NM 45.** Agregados — Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52.** Agregado miúdo — Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248.** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS STANDARDS. **Standard Test Method for Determination of Resistance to Staining:** ASTM 1378. West Conshohocken, 2014.

AZEVEDO, N. M.; AGUIAR, J. L. B.; TORRALBA, F. P. **Argamassas fotocatalíticas: influência da composição na resistência mecânica e na capacidade de auto-limpeza.** C-TAC – Livros de actas. Universidade do Minho, Coimbra, 2012.

BAZIGNAN, A. M. M. A. **Evaluación técnico ambiental del dióxido de titanio (TiO₂) en los morteros de cemento chilenos.** Tesis para optar al grado de Magíster en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética. Universidad del Bío-Bío, Concepción, 2013.

BRANDÃO, F. D. **Identificação, quantificação e controle de defeitos em monocristais e nanopartículas de TiO₂.** Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

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

CARRIÓ, J. M. Arquitectura, arte funcional. **Informes de la Construcción.** Universidad de Valladolid, Madrid, v. 37, n. 374, 1985.

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

CASAGRANDE, C. A. **Estudo da incorporação de partículas de titânia em argamassas fotocatalíticas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2012.

CASSAR, L. **Photocatalysis of cementitious materials: clean buildings and clean air.** MRS Bulletin, Cambridge, v. 29, p. 328-331, 2004.

CHAVES, A. M. V. A. **Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Coimbra, 2009.

CHEN, J.; KOU, S.; POON, C. Hydration and properties of nano-TiO₂ blended cement composite. **Cement & Concrete Composites**, v. 34, p. 642-649, 2012.

DIAMANTI, M.V.; DEL CURTO, B.; ORMELLESE, M.; PEDEFERRI, M. P. Photocatalytic and self-cleaning activity of colored mortars containing TiO₂. **Construction and Building Materials**, v. 46, p. 167–174, 2013.

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

DOS SANTOS, J. F. Produto 16 – Titânio. Relatório técnico 36 – Perfil do titânio. **Ministério de Minas e Energia**. 2010.

FIORETTI, G. **Avaliação de desempenho de hidrofugantes para revestimentos pétreos quanto à permeabilidade e alteração de cor**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FLORES, M. **Estratégia de manutenção: elementos da envolvente de edifícios correntes**. Dissertação (Mestrado em Construção) - Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2002.

FERNANDES, I. M. D. **Aplicação de compósitos de TiO₂ em carvão activado na fotodegradação do fenol com luz ultravioleta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Bioquímica) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

FOLLI, A.; PADE, C.; HANSEN, T. B.; DE MARCO, T.; MACPHEE D. E. TiO₂ photocatalysis in cementitious systems: Insights into self-cleaning and depollution chemistry. **Cement and Concrete Research**, v. 42, p. 539–548, 2012.

FONSECA, A. J. M. D. **Avaliação da eficácia de tratamentos convencionais e aplicações alternativas para prevenir biodeterioração em património cultural**. Dissertação (Mestrado em Conservação e Restauro) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

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

FUJISHIMA, A.; ZHANG, X.; TRYK, D. A. TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena. **Surface Science Reports**, v. 63, p. 515-582, 2008.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Manual de Conservação Preventiva**. Recife, 2001.

JANG, H.D.; KIM, S.; KIM, S. Effect of particle size and phase composition of titanium dioxide on photocatalytic properties. **Journal of Nanoparticles Research**, v. 3, p. 141-147, 2001.

KUNZEL, H.; SCHIMIDT, TH.; HOLM, A. Exterior surface temperature of different wall constructions comparison of numerical simulation and experiment. In: SYMPOSIUM FOR BUILDING PHYSICS, 11, 2002, Dresden. **Proceedings**, Dresden: Technische Universität Dresden, 2002. p. 441-449.

KUS, H. **Long-term performance of water-repellants on rendered autoclaved aerated concrete**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Centre for Built Environment, University of Gavle. Gavle, 2002.

LEÃO, S. L. C. **As fachadas da Casa Moderna**. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Programa de pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

LERSCH, I. M. **Contribuição para a identificação dos principais fatores de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

LU, Z.; ZHOU, X.; ZHANG, J. Study on the performance of a new type of water-repellent admixture for cement mortar. **Cement and concrete research**, v. 34, n. 11, p. 2015-2019, 2004.

MARANHÃO, F. L. **Método para redução de mancha nas vedações externas de edifícios**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloreto**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

MELO, J. V. S. **Desenvolvimento de peças pré-moldadas de concreto fotocatalíticas para pavimentação e purificação do ar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

KONICA MINOLTA SENSING AMERICAS INC. **Entendendo o Espaço de Cor L*a*b***. Disponível em: <<http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>>. Acesso em: 03 mai. 2015.

MOLLER, E. **Hygrothermal performance and soiling of exterior building surface**. Ph.D. Thesis. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark. Denmark, 2003.

MULLER, A. A. **Avaliação de propriedades e fatores que regem as variações de cor do revestimento decorativo monocamada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

OLIVEIRA, C. S. P. de. **Análise crítica de experiências e discussão de estratégias para implantação de leis de inspeção de elementos de fachada**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Rio do Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

PARAMÉS, J.; BRITO, J. Materiais de construção nanotecnológicos de auto-limpeza. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.15, p.55-62, 2010.

PARAMÉS, J. R. R. **Nanotecnologias na Indústria da Construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2008.

PASSUELO, A. **Análise de parâmetros influentes na cromaticidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

PEREIRA, M.; JALALI, S.; TORGAL, F. P. **Capacidade de auto-limpeza de argamassas contendo dióxido de titânio (TiO₂)**. 3º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção (APFAC). Universidade do Minho, 2010.

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

PICADA PROJECT. **Photocatalytic Innovative Coverings Applications for Depollution Assessment**. Disponível em: <<http://www.picada-project.com/>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

POYASTRO, P. C. **Avaliação da influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. **Projeto de Experimentos**. Porto Alegre. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

ROCHA, P. A. V. P. F. **Metodologias de concepção arquitectónica com base na perspectiva da manutenção**. Dissertação (Mestrado em Reabilitação do Património Edificado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2005.

RUOT, B.; PLASSAIS, A.; OLIVE, F.; GUILLOT, L.; BONAFIOUS, L. TiO₂-containing cement pastes and mortars: Measurements of the photocatalytic efficiency using a rhodamine B-based colourimetric test. **Solar Energy**, v. 83, p 1794–1801, 2009.

SEFF, L.; HOTZAB, S.; LUCAS, S.; FERREIRA, V.M.; LABRINCHA, J.A. Effect of nano-SiO₂ and nano-TiO₂ addition on the rheological behavior and the hardened properties of cement mortars. **Materials Science and Engineering A**, v. 532, p. 354-361, 2012.

STAMATE, M; LAZAR, G. Application of titanium dioxide photocatalysis to create self-cleaning materials. **Romanian Technical Sciences Academy**, v. 3, p. 280-285, 2007.

TINOCO, J. E. L. Plano de Gestão da Conservação para edificações de valor cultural. **Revista CPC**, n.17, p. 001-205, 2014.

TREVISO, J. P. **Avaliação da eficiência de autolimpeza em argamassas com TiO₂ expostas ao microclima urbano**. Dissertação em andamento (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

ZHANG, R.; CHENG, X.; HOU, P.; YE, Z. Influences of nano-TiO₂ on the properties of cement-based materials: Hydration and drying shrinkage. **Construction and Building Materials**, v. 81, p. 35-41, 2015.

YAN, L.; WANG, K.; YE, L. Super hydrophobic property of PVDF/CaCO₃ nanocomposite coatings. **Journal of materials science letters**, v. 22, n. 23, p. 1713-1717, 2003.

ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

CIMENTO PORTLAND BRANCO ESTRUTURAL

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA instruments
©1994-2012, Quantachrome Instruments
version 11.02



Analysis			Report		
Operator:	LACER	Date:2014/10/23	Operator:	LACER	Date:2014/10/22
Sample ID:	cimento port	Filename:	20141022_1.qps		
Sample Desc:		Comment:			
Sample weight:	0.5203 g	Sample Volume:	0.5203 cc	Sample Density:	1 g/cc
Outgas Time:	0.4 hrs	OutgasTemp:	300.0 C		
Analysis gas:	Nitrogen	Bath Temp:	273.0 K		
Press. Tolerance:	0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des)	Equil timeout:	240/240 sec (ads/des)
Analysis Time:	25.6 min	End of run:	2014/10/23 13:50:16	Instrument:	Nova Station A
Cell ID:	5				

Multi-Point BET**Data Reduction Parameters Data**

Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K	Liquid Density:	0.808 g/cc
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section:	16.200 Å ²		

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]
4.61920e-02	0.3945	9.8212e+01	2.05352e-01	0.8138	2.5406e+02
7.54600e-02	0.4773	1.3683e+02	2.52473e-01	0.9340	2.8933e+02
1.05003e-01	0.5546	1.6926e+02	2.99418e-01	1.0486	3.2612e+02
1.54956e-01	0.6835	2.1464e+02			

BET summary

Slope = 876.839
Intercept = 6.998e+01
Correlation coefficient, r = 0.995846
C constant = 13.530
Surface Area = 3.678 m²/g

Sample : CimPortland
Operator:
Comment : 20 deg/min , for Oxide
Group : [Qual-Quant.]Std-Oxide
Date : 2014-11-07 16:06

[Quantitative Result]

Analyte	Result	Proc-Calc	Line	Net Int.	BG Int.
CaO	63.9449 %	Quant.-FP	CaKa	1131.174	3.099
SiO2	21.3247 %	Quant.-FP	SiKa	130.923	0.558
SO3	5.6180 %	Quant.-FP	S Ka	53.848	0.588
Al2O3	4.1056 %	Quant.-FP	AlKa	29.003	1.732
MgO	0.4484 %	Quant.-FP	MgKa	0.778	0.100
Fe2O3	0.4005 %	Quant.-FP	FeKa	4.644	0.740
K2O	0.1695 %	Quant.-FP	K Ka	4.867	1.078
TiO2	0.1642 %	Quant.-FP	TiKa	0.330	0.126
SrO	0.0840 %	Quant.-FP	SrKa	5.894	6.799
P2O5	0.0416 %	Quant.-FP	P Ka	0.500	0.361
CO2	3.6986 %	Fix	-----	-----	-----



DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA CILAS 1180 Líquido

Faixa : 0.04 mu - 2500.00 mu / 100 Classes

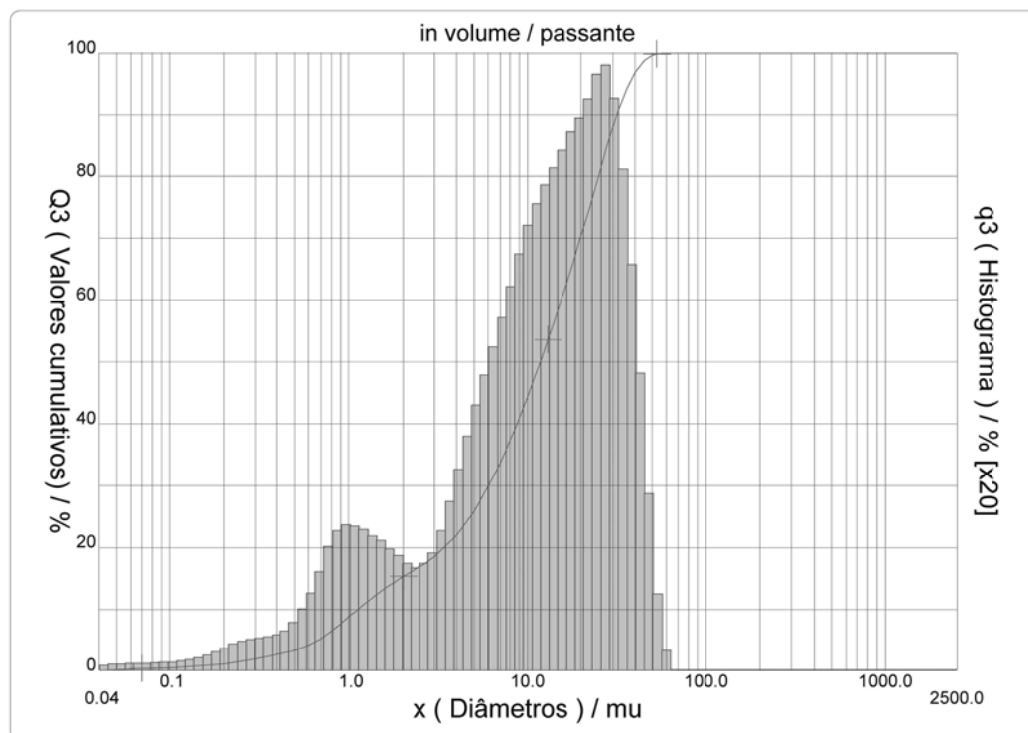
Ref da amostra : Cim. Portland branco estru. amostra : Pó usuario : UFRGS - LACER Comentários : Líquido : Isopropyl alcohol Agente dispersante : Operador : Patrícia Empresa : Localização : Data : 30/10/2014 Hora : 13:31:55 Índice med. : 2054	Ultrassom : 60 s Concentração : 110 Diâmetro a 10% : 1.12 mu Diâmetro a 50% : 11.76 mu Diâmetro a 90% : 31.74 mu Diâmetro médio : 14.50 mu Fraunhofer Densidade/Fator : ----- Superfície específica : ----- Diluição automática : Sim / Não Medida./Limp. : 60/60/4 SOP : UFRGS L
---	--

Valores cumulativos particulares						in volume / passante
x	0.10	1.00	10.00	100.0	1000.0	
Q3	0.50	8.77	44.42	100.00	100.00	

x : diâmetro / mu Q3 : valor cumulativo / % q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	100.0
Q3	56.00





DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

CILAS 1180 Líquido

Faixa : 0.04 mu - 2500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : Cim. Portland branco estru.
 amostra : Pó
 usuario : UFRGS - LACER
 Comentários :
 Líquido : Isopropyl alcohol
 Agente dispersante :
 Operador : Patricia
 Empresa :
 Localização :
 Data : 30/10/2014 Hora : 13:31:55
 Índice med. : 2054

Ultrasom : 60 s
 Concentração : 110
 Diâmetro a 10% : 1.12 mu
 Diâmetro a 50% : 11.76 mu
 Diâmetro a 90% : 31.74 mu
 Diâmetro médio : 14.50 mu
 Fraunhofer :
 Densidade/Fator : -----
 Superfície específica : -----
 Diluição automática : Sim / Não
 Medida./Limp. : 60/60/4
 SOP : UFRGS L

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.09	0.32	0.50	1.15	1.97	2.67	3.35	4.20	5.23	6.44
q3	0.03	0.04	0.05	0.09	0.19	0.23	0.29	0.44	0.63	0.85
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	7.65	8.77	9.77	10.67	11.46	12.18	13.42	14.43	15.29	16.01
q3	0.97	1.00	0.99	0.97	0.93	0.91	0.87	0.81	0.77	0.71
x	2.40	2.60	3.00	4.00	5.00	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
Q3	16.66	17.28	18.50	21.99	25.91	29.86	31.79	33.69	35.56	37.40
q3	0.70	0.73	0.80	1.14	1.65	2.04	2.27	2.41	2.55	2.68
x	8.50	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
Q3	39.21	40.99	44.42	47.66	50.72	53.61	56.35	58.96	61.45	63.84
q3	2.81	2.93	3.07	3.20	3.31	3.40	3.48	3.56	3.63	3.71
x	18.00	19.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	38.00	40.00
Q3	66.12	68.31	70.42	74.43	80.04	85.01	90.33	94.20	95.66	96.85
q3	3.76	3.81	3.87	3.96	4.13	4.13	3.75	3.09	2.54	2.18
x	45.00	50.00	53.00	56.00	63.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00
Q3	98.81	99.65	99.88	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	1.57	0.75	0.37	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	95.00	100.0	106.0	112.0	125.0	130.0	140.0	145.0	150.0	160.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	242.0	250.0	300.0	400.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	1100.0	1200.0	1300.0	1400.0	1500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	1600.0	1700.0	1800.0	1900.0	2000.0	2100.0	2200.0	2300.0	2400.0	2500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu Q3 : valor cumulativo / % q3 : Histograma / %

DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO₂)

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA instruments
©1994-2012, Quantachrome Instruments
version 11.02



Analysis		Report	
Operator: LACER	Date: 2014/10/21	Operator: LACER	Date: 2014/10/20
Sample ID: TiO2	Filename: 20141020_2.qps		
Sample Desc:	Comment:		
Sample weight: 0.2036 g	Sample Volume: 0.2036 cc	Sample Density: 1 g/cc	
Outgas Time: 0.4 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 273.0 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 35.9 min	End of run: 2014/10/21 15:27:27	Instrument: Nova Station A	
Cell ID: 3			

Multi-Point BET**Data Reduction Parameters Data**

Adsorbate	Nitrogen	Temperature	Liquid Density:
Molec. Wt.: 28.013		77.350K Cross Section: 16.200 Å ²	0.808 g/cc

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]
5.35080e-02	2.1646	2.0897e+01	2.02934e-01	2.5729	7.9174e+01
8.06250e-02	2.2267	3.1512e+01	2.52141e-01	2.8370	9.5084e+01
1.07700e-01	2.2518	4.2888e+01	3.01200e-01	3.1020	1.1118e+02
1.57048e-01	2.4215	6.1559e+01			

BET summary

Slope = 366.211
Intercept = 2.752e+00
Correlation coefficient, r = 0.999056
C constant = 134.095
Surface Area = 9.439 m²/g

Sample : TiO2
Operator:
Comment : 20 deg/min , for Oxide
Group : [Qual-Quant.]Std-Oxide
Date : 2014-12-16 10:00

[Quantitative Result]

Analyte	Result	Proc-Calc	Line	Net Int.	BG Int.
TiO2	94.0018 %	Quant.-FP	TiKa	355.135	0.919
SiO2	1.2566 %	Quant.-FP	SiKa	4.613	0.110
Al2O3	0.4411 %	Quant.-FP	AlKa	1.736	0.226
P2O5	0.3963 %	Quant.-FP	P Ka	3.656	0.358
Fe2O3	0.2445 %	Quant.-FP	FeKa	1.405	0.826
K2O	0.1960 %	Quant.-FP	K Ka	5.211	0.852
NbO	0.1559 %	Quant.-FP	NbKa	6.871	14.304
CaO	0.1471 %	Quant.-FP	CaKa	3.044	0.820
SO3	0.0894 %	Quant.-FP	S Ka	0.664	0.350
CO2	3.0713 %	Fix	-----	-----	-----



DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

CILAS 1180 Líquido

Faixa : 0.04 μ m - 2500.00 μ m / 100 Classes

Ref da amostra : TiO₂
 amostra : Pó
 usuario : UFRGS - LACER
 Comentários :
 Líquido : Water (eau)
 Agente dispersante :
 Operador : Patrícia
 Empresa :
 Localização :
 Data : 30/10/2014 Hora : 12:28:46
 Índice med. : 2048

Ultrasom : 60 s
 Concentração : 110
 Diâmetro a 10% : 0.06 μ m
 Diâmetro a 50% : 0.16 μ m
 Diâmetro a 90% : 0.41 μ m
 Diâmetro médio : 0.21 μ m
 Fraunhofer
 Densidade/Fator : -----
 Superfície específica : -----
 Diluição automática : Sim / Não
 Medida./Limp. : 60/60/4
 SOP : UFRGS L

Valores cumulativos particulares

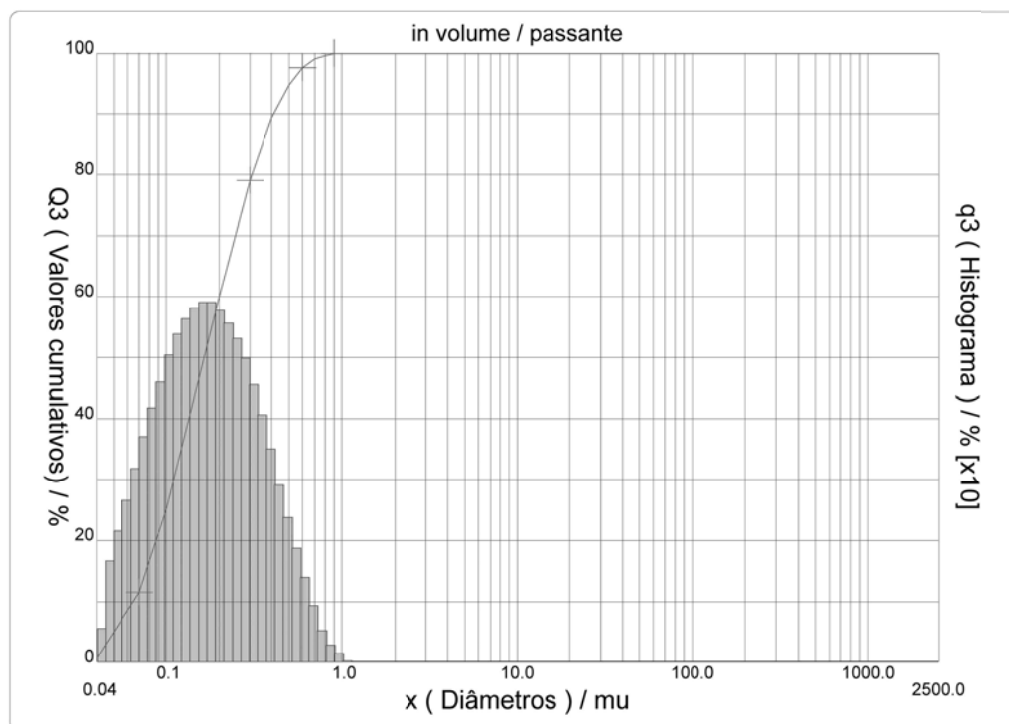
x	0.10	1.00	10.00	100.0	1000.0
Q3	25.00	100.00	100.00	100.00	100.00

in volume / passante

x : diâmetro / μ m Q3 : valor cumulativo / % q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	100.0
Q3	1.00





DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

CILAS 1180 Líquido

Faixa : 0.04 mu - 2500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : TiO2
 amostra : Pó
 usuario : UFRGS - LACER
 Comentários :
 Líquido : Water (eau)
 Agente dispersante :
 Operador : Patrícia
 Empresa :
 Localização :
 Data : 30/10/2014 Hora : 12:28:46
 Índice med. : 2048

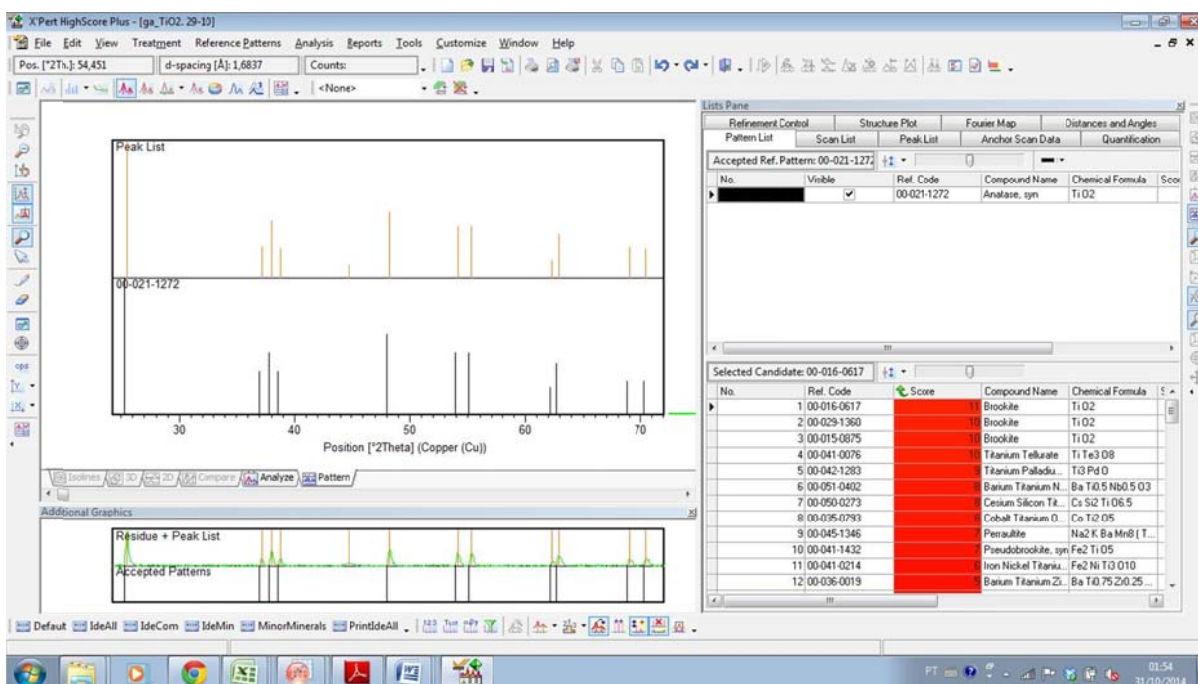
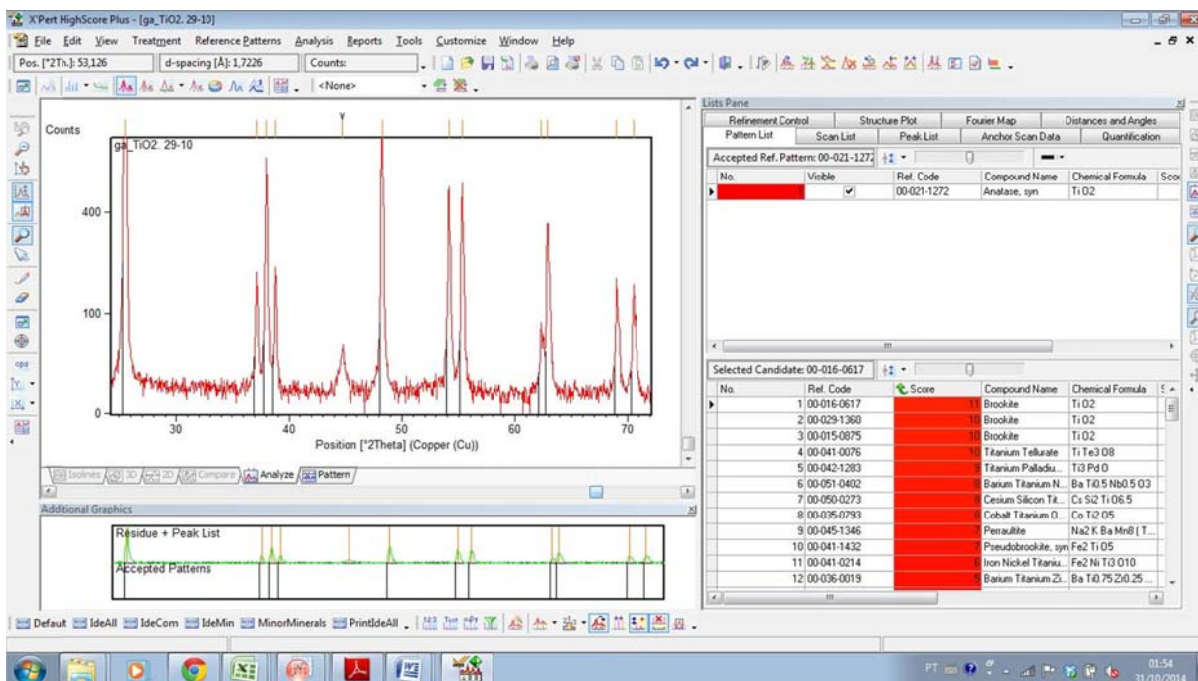
Ultrasom : 60 s
 Concentração : 110
 Diâmetro a 10% : 0.06 mu
 Diâmetro a 50% : 0.16 mu
 Diâmetro a 90% : 0.41 mu
 Diâmetro médio : 0.21 mu
 Fraunhofer
 Densidade/Fator : -----
 Superfície específica : -----
 Diluição automática : Sim / Não
 Medida./Limp. : 60/60/4
 SOP : UFRGS L

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.76	11.57	25.00	60.00	79.12	89.40	94.78	97.64	99.08	99.67
q3	1.06	7.74	15.09	20.24	18.90	14.33	9.67	6.29	3.74	1.77
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	99.91	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.82	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	2.40	2.60	3.00	4.00	5.00	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	8.50	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	18.00	19.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	38.00	40.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	45.00	50.00	53.00	56.00	63.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	95.00	100.0	106.0	112.0	125.0	130.0	140.0	145.0	150.0	160.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	242.0	250.0	300.0	400.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	1100.0	1200.0	1300.0	1400.0	1500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	1600.0	1700.0	1800.0	1900.0	2000.0	2100.0	2200.0	2300.0	2400.0	2500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu Q3 : valor cumulativo / % q3 : Histograma / %



**APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS
ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO**

MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO											
ARG A (1:2 e 0%) - dia											
	L (mm)	t1 (us)	t2 (us)	t3 (us)	V (mm/us)	densidade (kg/m ³)	Ed (Mpa)	Ed (Gpa)	Média	Desvio padrão	Coef. Var (%)
A14	161,18	38,1	38,3	37,9	4,25	2066,31	33632,12	33,63	33,97	0,56	1,65
A13	160,71	38,3	38,3	37,9	4,24	2091,95	33851,19	33,85			
A18	160,91	38,0	38,0	37,9	4,25	2078,62	33721,29	33,72			
A8	161,60	38,4	40,1	37,9	4,26	2110,47	34530,21	34,53			
A15	161,03	38,3	38,0	38,1	4,24	2061,85	33323,14	33,32			
A16	160,68	38,1	38,1	37,5	4,28	2104,85	34777,42	34,78			
ARG B (1:2 e 5%) - dia 08/12											
	L (mm)	t1 (us)	t2 (us)	t3 (us)	V (mm/us)	densidade (kg/m ³)	Ed (Mpa)	Ed (Gpa)	Média	Desvio padrão	Coef. Var (%)
B11	161,49	46,3	41,4	41,4	3,90	2098,00	28730,22	28,73	29,44	0,48	1,62
B16	161,26	41,3	40,5	40,5	3,98	2106,26	30051,82	30,05			
B12	160,90	41,1	41,0	41,0	3,92	2105,29	29180,85	29,18			
B9	161,53	41,0	41,0	40,5	3,99	2087,03	29877,19	29,88			
B6	161,72	41,0	41,0	41,0	3,94	2102,66	29442,30	29,44			
B18	161,20	41,0	41,0	41,0	3,93	2111,58	29375,46	29,38			
ARG C (1:2 e 10%) - dia 04/12											
	L (mm)	t1 (us)	t2 (us)	t3 (us)	V (mm/us)	densidade (kg/m ³)	Ed (Mpa)	Ed (Gpa)	Média	Desvio padrão	Coef. Var (%)
C16	161,82	39,4	41,1	41,0	4,11	2067,24	31381,91	31,38	32,52	1,15	3,54
C17	161,60	38,8	41,4	38,4	4,21	2140,25	34111,54	34,11			
C08	161,34	39,8	39,4	39,9	4,09	2062,95	31131,24	31,13			
C02	161,38	38,9	38,4	38,4	4,20	2096,44	33322,32	33,32			
C04	161,33	38,9	41,9	38,9	4,15	2083,94	32259,64	32,26			
C11	160,97	38,8	38,4	38,5	4,19	2082,60	32934,36	32,93			
ARG D (1:3 e 0%) - dia 10/12											
	L (mm)	t1 (us)	t2 (us)	t3 (us)	V (mm/us)	densidade (kg/m ³)	Ed (Mpa)	Ed (Gpa)	Média	Desvio padrão	Coef. Var (%)
D7	161,23	40,3	39,9	39,4	4,09	2034,75	30665,73	30,67	30,17	1,16	3,85
D4	162,93	39,4	38,9	38,9	4,19	2029,60	32044,68	32,04			
D10	160,965	39,9	39,8	39,8	4,04	1991,86	29322,32	29,32			
D5	161,93	40,3	39,8	39,6	4,09	2035,26	30628,63	30,63			
D18	160,73	40,7	39,8	39,9	4,04	2002,41	29391,59	29,39			
D11	160,78	40,6	40,6	40,2	4,00	2011,90	28964,12	28,96			
ARG E (1:3 e 5%) - dia 15/12											
	L (mm)	t1 (us)	t2 (us)	t3 (us)	V (mm/us)	densidade (kg/m ³)	Ed (Mpa)	Ed (Gpa)	Média	Desvio padrão	Coef. Var (%)
E3	160,755	39,8	39,9	39,8	4,04	2038,18	29925,95	29,93	31,80	1,12	3,53
E4	160,745	38,9	38,9	38,9	4,13	2088,93	32102,81	32,10			
E9	160,96	38,8	39,1	38,4	4,19	2110,22	33369,11	33,37			
E14	160,805	39,3	39,0	38,9	4,13	2047,73	31493,09	31,49			
E16	161,07	39,3	39,2	38,9	4,14	2055,49	31716,66	31,72			
E18	161,26	38,9	38,8	38,8	4,16	2070,38	32187,12	32,19			
ARG F (1:3 e 10%) - dia 17/12											
	L (mm)	t1 (us)	t2 (us)	t3 (us)	V (mm/us)	densidade (kg/m ³)	Ed (Mpa)	Ed (Gpa)	Média	Desvio padrão	Coef. Var (%)
F6	161,155	44,0	43,5	43,5	3,66	2045,73	24698,68	24,70	24,58	0,43	1,76
F5	161,07	44,0	43,5	43,7	3,69	2028,13	24797,35	24,80			
F14	161,33	44,1	43,9	43,9	3,67	2029,76	24671,14	24,67			
F8	160,285	43,5	43,5	43,5	3,68	2054,69	25107,11	25,11			
F10	161,745	44,1	43,5	43,5	3,67	2011,10	24347,92	24,35			
F16	161,76	44,3	44,4	43,9	3,64	1996,35	23848,21	23,85			

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE									
ARG A20 (1:2 e 0%)									
	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	A1= m10-m0	A2= m90-m0	C (g/dm ² .min ^½)	Média	DP	CV (%)
CP1	577,48	577,67	578,03	0,01	0,03	0,36	0,89	0,46	52,23
CP2	589,41	589,79	591,02	0,02	0,10	1,23			
CP3	576,37	577,36	578,43	0,06	0,13	1,07			
ARG A25 (1:2 e 5%)									
	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	A1= m10-m0	A2= m90-m0	C (g/dm ² .min ^½)	Média	DP	CV (%)
CP1	579,45	579,89	580,84	0,03	0,09	0,95	1,16	0,27	23,40
CP2	569,32	569,87	570,94	0,03	0,10	1,07			
CP3	586,13	586,67	588,14	0,03	0,13	1,47			
ARG A210 (1:2 e 10%)									
	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	A1= m10-m0	A2= m90-m0	C (g/dm ² .min ^½)	Média	DP	CV (%)
CP1	569	569,51	570,79	0,03	0,11	1,28	1,64	0,32	19,34
CP2	571,82	572,50	574,28	0,04	0,15	1,78			
CP3	579,43	580,51	582,38	0,07	0,18	1,87			
ARG A30 (1:3 e 0%)									
	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	A1= m10-m0	A2= m90-m0	C (g/dm ² .min ^½)	Média	DP	CV (%)
CP1	560,82	562,00	563,95	0,07	0,20	1,95	1,77	0,36	20,62
CP2	558,36	558,91	560,26	0,03	0,12	1,35			
CP3	550,21	551,10	553,11	0,06	0,18	2,01			
ARG A35 (1:3 e 5%)									
	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	A1= m10-m0	A2= m90-m0	C (g/dm ² .min ^½)	Média	DP	CV (%)
CP1	551,88	552,97	555,12	0,07	0,20	2,15	2,19	0,20	9,04
CP2	560,42	561,64	563,65	0,08	0,20	2,01			
CP3	541,51	543,13	545,53	0,10	0,25	2,40			
ARG A310 (1:3 e 10%)									
	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	A1= m10-m0	A2= m90-m0	C (g/dm ² .min ^½)	Média	DP	CV (%)
CP1	549,76	551,46	553,63	0,11	0,24	2,17	2,15	0,05	2,30
CP2	554,46	556,06	558,15	0,10	0,23	2,09			
CP3	560,66	562,47	564,65	0,11	0,25	2,18			

DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO															
ARG A20 (1:2 e 0%) - dia 22/12															
	massa (g)	L1 (mm)	L2 (mm)	L (média (mm))	H1 (mm)	H2 (mm)	H (média (mm))	C1 (mm)	C2 (mm)	C (média (mm))	Volume (cm³)	Densidade (kg/m³)	Média	DP	CV (%)
A14	546,98	39,97	40,03	40,00	39,40	42,72	41,06	160,66	161,69	161,18	264,71	2066,31			
A13	556,25	42,65	39,76	41,21	40,20	40,11	40,16	160,88	160,53	160,71	265,90	2091,95			
A18	538,72	41,07	40,39	40,73	39,87	39,22	39,55	161,16	160,66	160,91	259,17	2078,62	2085,67	20,07	0,96
A8	559,6	41,71	39,38	40,55	40,08	40,86	40,47	162,08	161,11	161,60	265,15	2110,47			
A15	560,04	40,04	42,96	41,50	40,55	40,74	40,65	161,68	160,38	161,03	271,62	2061,85			
A16	558,29	40,99	40,48	40,74	40,46	40,59	40,53	160,76	160,59	160,68	265,24	2104,85			
ARG A25 (1:2 e 5%) - dia 08/12															
	massa (g)	L1 (mm)	L2 (mm)	L (média (mm))	H1 (mm)	H2 (mm)	H (média (mm))	C1 (mm)	C2 (mm)	C (média (mm))	Volume (cm³)	Densidade (kg/m³)	Média	DP	CV (%)
B11	564,88	40,66	40,67	40,67	41,02	40,98	41,00	161,48	161,50	161,49	269,25	2098,00			
B16	559,8	40,78	41,24	41,01	40,45	39,93	40,19	160,92	161,59	161,26	265,78	2106,26			
B12	550,25	40,42	40,8	40,61	39,6	40,4	40,00	161,02	160,78	160,90	261,37	2105,29	2101,80	8,50	0,40
B9	550,9	41,80	39,91	40,86	40,18	39,82	40,00	161,78	161,27	161,53	263,96	2087,03			
B6	561,14	41,11	41	41,06	40,1	40,29	40,20	161,81	161,63	161,72	266,87	2102,66			
B18	566,86	41,32	40,79	41,06	40,65	40,48	40,57	161	161,39	161,20	268,45	2111,58			
ARG A210 (1:2 e 10%) - dia 04/12															
	massa (g)	L1 (mm)	L2 (mm)	L (média (mm))	H1 (mm)	H2 (mm)	H (média (mm))	C1 (mm)	C2 (mm)	C (média (mm))	Volume (cm³)	Densidade (kg/m³)	Média	DP	CV (%)
C16	544,47	40,20	40	40,10	40,41	40,77	40,59	161,91	161,72	161,82	263,38	2067,24			
C17	563,71	40,16	40,22	40,19	41,06	40,05	40,56	161,46	161,73	161,60	263,38	2140,25			
C08	549,36	40,67	40,7	40,69	40,37	40,77	40,57	161,33	161,34	161,34	266,30	2062,95	2088,91	27,93	1,34
C02	558,83	40,79	40,52	40,66	40,18	41,08	40,63	161,61	161,14	161,38	266,56	2096,44			
C04	540,19	39,81	39,84	39,83	40,61	40,08	40,35	161,02	161,64	161,33	259,22	2083,94			
C11	568,92	40,82	40,91	40,87	41,71	41,35	41,53	160,69	161,24	160,97	273,18	2082,60			
ARG A30 (1:3 e 0%) - dia 10/12															
	massa (g)	L1 (mm)	L2 (mm)	L (média (mm))	H1 (mm)	H2 (mm)	H (média (mm))	C1 (mm)	C2 (mm)	C (média (mm))	Volume (cm³)	Densidade (kg/m³)	Média	DP	CV (%)
D7	532,07	40,15	40,1	40,13	39,44	41,4	40,42	160,88	161,58	161,23	261,49	2034,75			
D4	542,38	40,67	40,85	40,76	40,13	40,35	40,24	162,97	162,89	162,93	267,23	2029,60			
D10	526,46	40,28	40,25	40,27	40,77	40,79	40,78	161,04	160,89	160,97	264,31	1991,86	2017,63	18,31	0,91
D5	532,2	40,34	39,90	40,12	40,44	40,06	40,25	161,81	162,05	161,93	261,49	2035,26			
D18	525,73	40,52	39,69	40,11	40,59	40,87	40,73	160,81	160,65	160,73	262,55	2002,41			
D11	528,13	39,81	39,95	39,88	40,76	41,12	40,94	160,45	161,11	160,78	262,50	2011,90			
ARG A35 (1:3 e 5%) - dia 15/12															
	massa (g)	L1 (mm)	L2 (mm)	L (média (mm))	H1 (mm)	H2 (mm)	H (média (mm))	C1 (mm)	C2 (mm)	C (média (mm))	Volume (cm³)	Densidade (kg/m³)	Média	DP	CV (%)
E3	535,68	40,81	40,56	40,69	40,18	40,19	40,19	160,93	160,58	160,76	262,82	2038,18			
E4	545,33	40,01	40,15	40,08	40,48	40,56	40,52	160,79	160,7	160,75	261,06	2088,93			
E9	551,07	40,65	40,44	40,55	39,99	40,04	40,02	160,57	161,35	160,96	261,14	2110,22	2068,49	27,14	1,31
E14	535,58	40,15	40,25	40,20	40,44	40,48	40,46	161,02	160,59	160,81	261,55	2047,73			
E16	536,69	40,48	40,38	40,43	40,15	40,04	40,10	160,9	161,24	161,07	261,10	2055,49			
E18	538,99	40,35	40,49	40,42	40,37	39,51	39,94	160,94	161,58	161,26	260,33	2070,38			
ARG A310 (1:3 e 10%) - dia 17/12															
	massa (g)	L1 (mm)	L2 (mm)	L (média (mm))	H1 (mm)	H2 (mm)	H (média (mm))	C1 (mm)	C2 (mm)	C (média (mm))	Volume (cm³)	Densidade (kg/m³)	Média	DP	CV (%)
F6	536,09	40,34	40,07	40,21	40,25	40,64	40,45	161,22	161,09	161,16	262,05	2045,73			
F5	530,8	40,16	40,17	40,17	40,26	40,65	40,46	161,07	161,07	161,07	261,72	2028,13			
F14	542,51	40,22	40,33	40,28	41,74	40,53	41,14	161,28	161,38	161,33	267,28	2029,76	2027,63	21,52	1,06
F8	539,99	39,98	40,78	40,38	40,27	40,94	40,61	160,25	160,32	160,29	262,81	2054,69			
F10	536,11	41,11	40,48	40,80	40,33	40,47	40,40	161,88	161,61	161,75	266,57	2011,10			
F16	535,75	40,07	40,74	40,41	41,20	40,92	41,06	161,74	161,78	161,76	268,36	1996,35			

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO											
ARG A20 (1:2 e 0%)		ARG A25 (1:2 e 5%)		ARG A210 (1:2 e 10%)		ARG A30 (1:3 e 0%)		ARG A35 (1:3 e 5%)		ARG A310 (1:3 e 10%)	
TRAÇÃO (N)	TRAÇÃO (Mpa)	TRAÇÃO (N)	TRAÇÃO (Mpa)	TRAÇÃO (N)	TRAÇÃO (Mpa)	TRAÇÃO (N)	TRAÇÃO (Mpa)	TRAÇÃO (N)	TRAÇÃO (Mpa)	TRAÇÃO (N)	TRAÇÃO (Mpa)
1419	3,33	2049	4,80	1813	4,25	1379	3,23	1498	3,51	1452	3,40
1616	3,79	2122	4,97	1819	4,26	1557	3,65	1754	4,11	1517	3,56
1767	4,14	2181	5,11	1918	4,50	1629	3,82	1806	4,23	1905	4,46
1839	4,31	2194	5,14	1990	4,66	1675	3,93	1813	4,25	1918	4,50
1879	4,40	2227	5,22	2082	4,88	1734	4,06	1846	4,33	1950	4,57
1911	4,48	2338	5,48	2095	4,91	1787	4,19	1846	4,33	2095	4,91
1957	4,59	2345	5,50	2122	4,97	1813	4,25	1872	4,39	2253	5,28
2023	4,74	2371	5,56	2148	5,03	1977	4,63	1879	4,40	2312	5,42
2069	4,85	2473	5,80	2233	5,23	2115	4,96	2003	4,69	2673	6,26
2168	5,08	2509	5,88	2279	5,34	2240	5,25	2128	4,99	2851	6,68
2332	5,47	2594	6,08	2391	5,60	2273	5,33	2161	5,06	2969	6,96
2371	5,56	2654	6,22	2463	5,77	2621	6,14			3048	7,14
média	4,56	média	5,48	média	4,95	média	4,30	média	4,48	média	5,26
desvio padrão	0,65	desvio padrão	0,45	desvio padrão	0,49	desvio padrão	0,67	desvio padrão	0,33	desvio padrão	1,27
sem 2 desvios	3,27	sem 2 desvios	4,58	sem 2 desvios	3,98	sem 2 desvios	2,96	sem 2 desvios	3,83	sem 2 desvios	2,73
	5,85		6,38		5,92		5,64		5,13		7,80
CV (%)	14,17	CV (%)	8,18	CV (%)	9,82	CV (%)	15,62	CV (%)	7,28	CV (%)	24,08

APÊNDICE B – RESULTADOS DOS ENSAIOS COLORIMÉTRICOS

AZUL DE METILENO - ARG A20																												
dias	ponto	PLACA A2			PLACA A14			PLACA A29			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)			
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	A2	A14	A29			A2	A14	A29	A2	A14	A29	A2	A14	A29	
0	1	87,0482	0,7843	2,6702	85,3326	0,9403	3,4746	87,5895	0,5955	2,8182																		
	2	86,5377	1,0306	2,8315	86,4582	0,8268	3,1367	87,0273	0,9576	3,0296																		
	3	86,1977	1,1503	2,7633	85,7151	0,7683	3,1757	86,9939	0,4446	2,113																		
	4	87,5077	0,6475	2,6697	86,8804	0,7551	2,8249	87,5581	0,3036	2,5772	86,72	0,77	2,84															
	5	86,4294	1,1459	2,613	86,1886	0,5582	2,4122	87,2725	0,6762	3,4204																		
1	1	43,2759	6,2874	-38,7406	36,2471	13,219	-38,3786	49,3138	13,8645	-28,7625	60,51	65,66	51,37															
	2	33,8453	14,9043	-37,3753	39,2056	-11,7705	-38,3792	52,2015	-2,1169	-34,9124	67,72	63,84	51,59															
	3	43,7945	5,0873	-37,3679	42,8415	8,9243	-35,4721	55,103	16,1258	-24,2477	58,52	58,30	44,25															
	4	46,8482	4,0657	-37,1577	41,6037	7,5907	-37,4294	53,1662	14,0189	-26,0991	57,02	60,97	46,83	55,91	7,17	59,66	59,53	48,55	5,01	6,58	3,11	8,40	11,06	6,41				
	5	48,7738	1,4002	-36,8127	51,165	1,8262	-31,6584	52,3949	7,5448	-29,8728	54,52	48,88	48,70															
7	1	65,928	-4,9445	-19,6491	54,4071	0,8986	-23,2228	69,6688	0,4303	-5,3685	31,68	26,67	33,79															
	2	41,3453	3,6916	-26,2242	47,7937	3,1811	-21,8645	79,3285	-5,8927	-8,9039	17,50	20,50	37,77															
	3	62,5167	-2,6942	-21,9884	62,3705	-1,1678	-20,9371	82,4954	0,0558	0,5939	25,45	26,35	40,32	29,05	7,12	26,29	24,07	36,79	6,99	2,68	2,43	26,60	11,15	6,62				
	4	55,5166	-0,027	-17,244	54,2017	0,7613	-17,3513	75,2246	0,3956	-1,4779	22,10	24,67	35,75															
	5	72,5337	-4,0572	-12,0904	65,3229	-0,8586	-14,8543	74,1715	0,05	-1,8121	34,72	22,14	36,30															
14	1	83,2253	-1,4728	-3,1668	75,0026	-1,7764	-7,5487	73,547	-0,3271	-3,9118	54,05	51,74	37,50															
	2	57,5926	-2,498	-16,0518	65,7608	-0,4894	-12,3967	86,7972	-0,3252	0,5502	36,35	39,12	49,57															
	3	82,332	-1,5147	-3,3941	77,4959	-1,7197	-6,6309	86,7815	0,0704	0,603	51,80	46,33	43,35	45,33	5,87	47,74	45,32	42,92	7,18	5,40	5,04	15,04	11,91	11,74				
	4	77,3516	-0,6133	-4,2534	76,5806	-1,0439	-4,3752	78,7884	0,4247	-0,8412	45,11	48,89	38,46															
	5	84,9752	-0,6644	-0,3976	80,011	-0,7774	-3,3168	85,3422	-0,3009	0,8118	51,39	40,52	45,70															
21	1	85,8101	-0,6263	-0,9863	79,3408	-0,2758	-3,5903	79,7628	-0,4959	-2,8097	57,29	57,00	42,51															
	2	65,4743	-2,1122	-11,9534	74,9783	-0,0402	-6,94	87,3021	0,0484	0,9997	44,00	49,07	50,26															
	3	85,3112	-0,558	-0,9252	82,2788	-0,4636	-2,6099	86,9463	0,047	0,8098	55,53	52,19	43,59	49,00	6,03	51,52	51,47	44,01	5,53	5,12	4,89	10,77	9,95	11,10				
	4	80,0889	-0,4053	-3,0424	82,4885	-0,2126	-1,4007	76,6215	0,2426	-0,8303	47,77	55,05	37,13															
	5	86,2567	-0,0381	0,6132	83,0903	-0,0822	-1,3833	85,8869	-0,0908	1,5834	52,99	44,04	46,58															
28	1	86,9027	-0,3053	-0,6475	82,7614	-0,3352	-2,0999	80,1448	-0,2441	-1,7648	58,29	60,53	43,34															
	2	77,7265	-2,814	-7,8378	77,618	0,3534	-5,3299	87,905	0,2116	1,1892	55,78	51,94	50,83															
	3	86,001	-0,0587	-0,2762	85,353	-0,2522	-1,1436	84,8534	0,1225	1,6169	56,42	55,41	42,55	51,05	6,52	55,06	53,83	44,27	2,82	5,62	4,67	5,12	10,44	10,55				
	4	83,1233	0,2964	-1,7274	83,4796	0,2597	-1,1698	78,0628	0,1778	-0,5549	50,85	55,88	38,26															
	5	87,1401	0,21	1,0851	83,9765	0,2696	-0,3256	84,742	0,2147	2,5054	53,94	45,40	46,35															
56	1	88,2229	0,2366	0,8964	84,8538	0,3038	0,1754	85,4565	0,0654	0,4187	60,23	63,37	48,46															
	2	86,5037	-0,2261	-0,2916	86,785	0,3111	0,7446	88,3128	0,2318	1,5892	66,16	62,66	51,40															
	3	87,6043	0,2707	0,8151	86,6646	0,2146	0,8706	86,694	0,2011	1,9226	58,31	57,59	44,01	54,36	7,63	58,91	57,26	46,91	4,66	7,98	3,49	7,92	13,94	7,43				
	4	87,1669	0,1687	0,8398	86,1561	0,2739	0,606	83,767	0,1396	0,4359	55,54	59,04	42,82															
	5	87,7267	0,2114	1,0438	82,932	0,3283	-1,756	86,1698	0,3612	3,2516	54,33	43,65	47,85															
84	1	88,4366	0,2871	1,2059	85,8513	0,3792	1,0341	86,4222	0,105	0,9356	60,59	64,64	49,48															
	2	86,4469	-0,06	0,04	84,6217	0,2809	-0,5015	88,8353	0,3312	1,7065	66,26	60,24	51,86															
	3	87,7595	0,4051	1,3022	87,5093	0,3958	1,3787	87,6361	0,1721	1,7939	58,74	58,53	44,62	55,09	6,94	59,15	58,39	47,73	4,64	5,87	3,23	7,85	10,05	6,77				
	4	86,6729	0,1674	0,9345	86,6384	0,2389	1,2134	85,3897	0,1548	0,9871	55,25	59,79	44,32															
	5	87,9645	0,396	1,6111	86,8526	0,2868	1,4868	87,0735	0,3984	3,0838	54,89	48,73	48,37															

AZUL DE METILENO - ARG A25																												
dias	ponto	PLACA B19			PLACA B27			PLACA B29			Médias			delta E		média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)				
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	B19	B27			B29	B19	B27	B29	B19	B27	B29	B19	B27	B29	
0	1	84,7704	0,7529	3,8902	87,1668	1,2168	2,3036	87,281	0,8666	3,8818																		
	2	83,6125	1,0935	4,3514	86,311	1,8906	2,7341	87,3908	0,7225	3,3265																		
	3	86,0525	0,717	3,9296	84,7832	1,0793	2,7178	86,9577	0,5502	3,3772	85,52	0,86	3,39															
	4	84,4942	0,9219	5,045	81,8997	0,6634	2,69	86,7949	0,478	3,3964																		
	5	86,5561	0,624	3,2035	82,8453	0,7748	2,7026	85,8692	0,6127	3,2693																		
1	1	46,3246	3,1695	-33,895	63,5193	-8,8846	-24,6545	52,5125	-1,371	-33,0256	53,96	37,26	50,75															
	2	47,8099	3,9432	-33,2141	55,7991	-6,8722	-30,982	57,4117	-4,9522	-30,7349	51,97	46,31	45,73															
	3	50,7202	1,1574	-32,4232	51,6668	2,5747	-32,7464	48,4198	3,1339	-34,4177	50,70	48,55	54,05	49,54	4,74	51,40	46,34	50,87	2,95	6,39	3,12	5,73	13,79	6,13				
	4	52,3656	-3,0187	-28,6084	53,4296	-1,954	-31,6816	50,4069	1,0199	-34,1176	46,69	44,71	52,27															
	5	48,7101	2,8404	-34,8128	45,1368	4,6614	-37,0086	50,5716	0,2609	-34,293	53,69	54,90	51,55															
7	1	81,4666	-2,0459	-2,8543	86,6563	-0,7336	0,2785	84,1053	-1,8261	-1,8915	47,18	34,98	44,36															
	2	79,4102	-1,8949	-2,7472	86,5669	-0,9311	0,5107	86,2245	-1,361	-0,3543	44,28	44,43	42,02															
	3	81,5613	-1,8763	-2,7574	80,8185	-2,4733	-3,7894	83,4625	-2,0109	-2,6191	42,90	41,40	47,62	42,68	3,41	44,69	40,01	43,36	1,88	3,84	2,81	4,20	9,61	6,47				
	4	85,2766	-1,5902	-0,9162	82,885	-1,4805	-1,6363	78,9215	-3,1634	-6,0905	4																	

AZUL DE METILENO - ARG A210																														
dias	ponto	PLACA C20			PLACA C25			PLACA C29			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)					
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	C20	C25	C29			C20	C25	C29	C20	C25	C29	C20	C25	C29			
0	1	89,1738	0,2893	2,4778	90,1536	0,3573	2,608	89,569	0,4388	2,4802	89,38	0,38	2,55	44,83	51,43	45,76	45,32	3,71	45,28	44,73	45,94	3,77	4,61	3,43	8,33	10,32	7,48			
	2	89,1333	0,331	2,4129	89,5142	0,5296	2,975	88,9528	0,5206	3,0281																		42,33	44,81	44,90
	3	88,998	0,3072	2,2712	89,8595	0,2925	2,179	89,3241	0,3629	2,8648																		41,21	39,27	49,90
	4	89,3979	0,3246	2,5552	88,9089	0,3486	2,3785	89,8185	0,4357	2,5014																		47,72	41,88	48,22
	5	88,6751	0,3693	2,5093	89,0572	0,385	2,5761	90,166	0,3725	2,4469																		50,33	46,27	40,91
1	1	55,2114	7,2458	-25,9405	52,898	3,3092	-32,7168	57,1143	0,3812	-29,785	57,04	1,01	-28,76	44,83	51,43	45,76	45,32	3,71	45,28	44,73	45,94	3,77	4,61	3,43	8,33	10,32	7,48			
	2	58,6362	0,1816	-26,9494	59,2171	-3,6897	-29,7636	59,4127	-6,5127	-30,0467																		42,33	44,81	44,90
	3	58,8841	7,1106	-25,0232	61,8488	5,9812	-24,7456	54,0234	0,591	-32,3982																		41,21	39,27	49,90
	4	52,5742	6,8991	-27,0832	60,2766	-1,534	-28,1328	55,6482	-1,2991	-31,4707																		47,72	41,88	48,22
	5	50,5539	3,2835	-30,2163	55,9528	0,8072	-29,754	63,3204	-7,5666	-27,3913																		50,33	46,27	40,91
7	1	70,0749	-0,291	-6,488	79,6967	-1,6473	-5,1583	83,5583	-1,2953	-3,2599	82,29	-0,92	-3,01	25,61	38,76	37,49	36,46	4,22	34,34	36,69	38,37	5,41	4,24	2,21	15,76	11,56	5,75			
	2	83,5697	-1,2861	-2,7955	87,5807	-1,1986	-1,3583	88,8731	-1,4343	-0,9215																		34,75	40,22	41,74
	3	86,4441	-0,457	-1,3127	81,5753	-0,6623	-3,3188	79,184	-0,7253	-3,3193																		37,14	29,87	38,48
	4	83,0952	-0,3931	-2,1424	88,4822	-0,3363	-0,8096	79,0197	-1,2472	-4,543																		40,08	39,29	35,66
	5	74,0628	-1,3655	-5,9572	79,6847	-0,9293	-3,6809	89,5077	-0,6004	-0,0871																		34,10	35,30	38,47
14	1	75,8417	-0,2852	-4,3194	85,2128	-0,3619	-2,3179	87,1799	-0,2821	-0,7212	85,37	-0,15	-1,07	30,82	44,52	41,82	39,95	3,98	38,29	39,66	41,89	4,60	4,41	2,56	12,00	11,12	6,11			
	2	86,8014	-0,1867	-0,6204	87,8701	-0,0923	-0,1076	89,2942	-0,1354	0,9202																		38,56	41,39	43,50
	3	86,9951	0,0035	-0,1561	83,9609	0,0294	-1,6582	86,1914	-0,2562	-0,5399																		38,20	32,52	45,28
	4	85,6472	0,0148	-0,5845	88,1195	0,079	0,1504	82,2432	-0,2609	-2,395																		42,93	39,72	39,42
	5	80,9139	-0,6028	-3,0331	84,4828	0,0694	-1,5244	89,7311	-0,0257	0,9087																		40,94	40,14	39,44
21	1	82,9809	0,1139	-1,8878	86,8398	0,0211	-1,0095	87,8609	0,0331	0,1863	86,65	0,08	-0,16	37,42	46,56	42,94	41,47	3,64	39,89	40,98	43,53	3,13	4,71	2,39	7,84	11,49	5,50			
	2	88,1228	0,0318	0,2719	89,1529	0,0746	0,9854	89,7732	0,0483	1,4233																		40,13	43,08	44,22
	3	87,9177	0,1446	0,8156	85,0806	0,2711	-0,8922	87,6279	0,0654	0,2044																		39,49	33,78	46,82
	4	79,696	0,0098	-2,3329	87,9894	0,1544	0,6462	86,0331	0,0709	-0,3611																		37,36	39,99	43,51
	5	84,9196	-0,1456	-1,3254	85,2863	0,3131	-0,4107	90,4047	0,0216	1,2952																		45,03	41,49	40,18
28	1	82,9603	0,239	-1,6136	85,7687	0,1559	-0,1216	88,5453	0,0873	0,7428	87,41	0,15	0,47	37,56	46,40	43,82	42,46	3,36	41,50	41,71	44,16	3,50	3,91	2,57	8,43	9,38	5,81			
	2	88,0713	0,1205	0,8604	88,5993	0,1328	1,1583	90,2005	0,0988	1,7469																		40,49	42,83	44,75
	3	88,6967	0,1583	0,9783	87,0629	0,1516	-0,0945	88,2045	0,0803	0,778																		40,16	35,74	47,64
	4	84,8752	0,2227	-0,6389	88,6477	0,1369	1,0224	86,4364	0,1701	0,1161																		42,28	40,72	44,13
	5	86,6114	0,0474	-0,2689	86,4232	0,2442	0,4255	90,0087	0,1661	2,0001																		46,98	42,89	40,45
56	1	85,6516	0,2221	-1,003	88,9283	0,0771	1,5456	89,526	0,0821	1,5608	88,51	0,15	1,30	39,97	46,43	45,09	43,82	3,46	42,97	43,40	45,09	3,26	4,72	2,40	7,59	10,87	5,32			
	2	88,907	0,1214	1,7329	90,1704	0,1155	2,3173	90,6087	0,1116	2,5957																		41,70	44,74	45,64
	3	89,2432	0,1486	1,5712	87,998	0,1924	0,6581	88,1534	0,085	0,8561																		40,96	36,91	47,65
	4	86,4119	0,2468	0,3491	89,2037	0,1293	1,6148	87,7344	0,1686	1,3508																		44,07	41,53	45,92
	5	87,3606	0,0605	0,6448	87,2412	0,2777	1,1655	90,4382	0,144	2,5983																		48,14	43,99	41,16
84	1	86,958	0,1127	-0,2054	89,9326	0,066	2,1396	89,8861	0,077	2,0043	89,26	0,12	1,87	41,49	50,96	45,66	44,75	3,59	44,06	44,29	45,91	3,29	4,77	3,00	7,47	10,78	6,54			
	2	89,5674	0,1039	2,3226	90,4469	0,1068	2,7819	90,7708	0,1205	3,082																		42,59	45,27	46,10
	3	89,7469	0,1519	1,9139	88,8268	0,1118	1,1739	90,0031	0,0272	2,2037																		41,55	37,87	49,92
	4	87,7383	0,2254	1,0592	90,0049	0,0884	1,9413	87,9476	0,15	1,8202																		45,53	42,32	46,41
	5	88,071	0,0532	1,4031	88,2967	0,2174	1,5448	90,7022	0,1139	2,8																		49,17	45,01	41,48

AZUL DE METILENO - ARG A30																														
dias	ponto	PLACA D19			PLACA D30			PLACA D35			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)					
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	D19	D30	D35			D19	D30	D35	D19	D30	D35	D19	D30	D35			
0	1	85,1962	0,7276	4,6076	85,5957	-1,007	4,8473	81,271	0,9543	4,1777	84,84	0,90	4,53	59,43	57,44	59,55	57,15	4,22	57,74	55,34	58,37	2,38	6,88	1,75	4,12	12,43	3,00			
	2	86,8605	0,6561	4,1601	85,075	1,1347	5,3135	83,4586	1,041	4,6756																		58,45	46,59	55,85
	3	85,3734	0,8561	4,7575	85,3793	0,8994	4,7022	83,1019	0,8545	4,0042																		59,99	60,32	57,84
	4	85,4606	0,8119	4,5167	85,5402	0,9096	4,3507	84,8118	0,7839	3,8648																		54,12	49,77	58,16
	5	83,8785	1,1039	5,4423	86,2401	0,8739	4,2757	85,353	0,9378	4,3022																		56,73	62,59	60,42
1	1	44,5419	4,8218	-38,5479	43,7223	5,8218	-34,1756	39,7597	7,3388	-38,0416	43,71	5,35	-34,79	59,43	57,44	59,55	57,15	4,22	57,74	55,34	58,37	2,38	6,88	1,75	4,12	12,43	3,00			
	2	46,3816	4,2639	-37,8547	52,4201	2,5061	-27,8884	42,0032	5,3603	-32,5004																		58,45	46,59	55,85
	3	40,477	6,1868	-34,6788	39,3174	7,2151	-33,7337	40,6277	7,1538	-34,7536																		59,99	60,32	57,84
	4	48,4669	2,8632	-34,9258	51,0927	1,7479	-31,5585	44,4022	5,1646	-37,7397																		54,12	49,77	58,16
	5	43,5656	4,3156	-34,3364	38,9925	7,7675	-36,1888	39,8868	7,7051	-34,9123																		56,73	62,59	60,42
7	1	83,0343	-2,2214	-1,3265	66,0582	-3,5904	-15,9102	68,9987	-3,1926	-12,0156	73,36	-2,80	-8,96	54,01	30,35	40,54	40,37	8,46	43,90	40,53	36,68	9,49	6,74	9,07	21,62	16,64	24,72			
	2	81,4564	-3,1153	-4,6868	81,1495	-2,3635	-2,2687	73,8429	-3,1956	-6,5571																		48,83	38,80	41,95
	3	71,4194	-4,301	-11,685	70,4615	-2,8422	-10,4079	65,2225	-2,3517	-17,7917																		39,95	40,19	31,35
	4	81,7825	-2,2227	-1,9007	84,2302	-0,9535	0,548	77,7637	-3,1725	-7,2386																		47,19	46,22	45,97
	5	64,8424	-3,6918	-15,5411	74,3251	-2,2968	-6,7684	55,8117	-2,4315	-20,7756																		29,50	47,07	23,58
14	1	86,2083	-0,3001	2,1826	76,2229	-3,8911	-8,4021	80,9936	-2,5379	-3,8038	81,19	-1,88	-2,53	58,49	42,60	54,50	50,15	5,27	52,94	46,79	50,74	5,46	3,27	5,70	10,31	6,98	11,23			
	2	86,2364	-0,661	1,2865	85,5273	-0,5422	1,222	80,9909	-0,9625	1,3364																		56,08	44,19	52,01
	3	82,3193	-1,9978	-2,1276	78,0822	-3,1922	-6,1188	80,0629	-2,456	-4,4432																		53,64	48,72	50,66
	4	85,4265	-0,0153	2,0425	85,7961	0,0519	1,5644	84,897	-1,1357	-0,4804																		52,35	48,00	55,39
	5	77,0038	-3,5603	-6,6389	77,2527	-2,6025	-5,0311	70,7878	-4,3376	-10,5922																		44,13	50,42	41,13
21	1	87,9275	0,2646	2,5468	84,0493	-1,5273	-1,8078	84,1865	-0,9639	-0,6382	84,42	-0,39	0,64	59,93	52,23	58,67	54,38	4,28	55,93	51,55										

AZUL DE METILENO - ARG A35																										
dias	ponto	PLACA E7			PLACA E8			PLACA E28			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)	
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	A2	A14	A29			A2	A14	A29	A2	A14	A29	A2	A14
0	1	86,3173	0,7287	3,276	85,3583	0,7467	3,4533	85,2845	0,951	4,0066	86,12	0,81	3,83													
	2	86,9877	0,9932	4,1064	88,3343	0,6792	3,5604	84,9279	0,97	4,2399																
	3	85,3606	0,8272	3,9341	87,0612	0,5802	3,6209	84,4773	1,053	4,5893																
	4	88,1017	0,6421	3,5687	85,7401	0,674	3,5625	85,7682	0,8699	3,801																
	5	87,1057	0,6835	3,6995	84,2393	0,8795	4,5526	86,8008	0,7978	3,4597																
1	1	50,9708	-0,1797	-32,7226	46,9418	3,9748	-34,8906	50,1092	2,1218	-32,5813	46,44	3,57	-34,34													
	2	57,5756	-3,9247	-27,8483	48,544	2,1454	-35,0469	46,404	3,5179	-34,1015																
	3	45,6679	4,5994	-34,6596	43,4605	6,2698	-35,193	38,4357	9,8605	-35,688																
	4	43,8094	5,981	-36,435	43,4079	5,6809	-35,6153	45,1308	3,7679	-35,7604																
	5	41,0045	6,7594	-35,733	47,1573	1,2944	-34,9112	47,9268	1,8202	-33,9023																
7	1	80,7359	-1,877	-3,2526	74,5727	-2,4911	-6,1454	83,8395	-1,2163	-0,818	78,26	-2,05	-4,37													
	2	84,1329	-1,4707	-1,4129	80,501	-2,6942	-4,1979	82,7441	-1,4937	-2,2648																
	3	76,8269	-2,1472	-5,3176	70,4488	-2,2119	-8,7001	74,8072	-2,5004	-5,4544																
	4	77,3911	-2,366	-5,7486	73,638	-2,1882	-6,1236	78,7023	-1,7853	-3,3403																
	5	72,699	-2,8244	-7,9204	82,4025	-1,0579	-0,7175	80,4305	-2,3557	-4,174																
14	1	85,6613	-0,4255	-0,3866	84,5543	-1,4817	-2,2124	86,8883	0,1487	1,5139	85,01	-0,76	-1,06													
	2	88,2455	0,0863	1,498	86,8421	-0,5651	-0,0987	85,5154	-0,1879	-0,3995																
	3	85,2572	-0,7099	-1,3587	82,2785	-1,5275	-3,8244	82,5996	-0,968	-0,6582																
	4	86,5188	-0,9757	-1,8715	84,973	-0,6858	-1,8666	84,313	-0,864	-0,9968																
	5	79,1487	-2,4521	-5,56	86,7709	0,3141	1,5964	85,5774	-1,0876	-1,2472																
21	1	87,1931	0,2338	1,2335	87,6811	-0,2019	0,2311	87,4697	0,5442	2,3189	87,25	0,16	0,97													
	2	88,5674	0,2798	1,7154	88,798	0,0882	1,4328	85,462	0,2663	0,5115																
	3	87,5099	0,1934	0,6962	86,9321	-0,1199	-0,8248	85,1638	0,2679	1,9183																
	4	89,0811	0,2453	1,013	87,3732	0,1856	0,3375	86,497	0,082	0,8822																
	5	86,084	-0,2668	-0,4162	87,2032	0,4816	2,346	87,6864	0,1487	1,1207																
28	1	88,196	0,3106	1,3159	88,5475	0,152	0,9482	87,6834	0,5802	2,4861	88,08	0,34	1,50													
	2	88,8893	0,4632	2,0648	88,8852	0,2696	1,6879	87,737	0,4119	1,7192																
	3	88,3096	0,2896	1,1825	88,0137	0,1476	0,1145	86,1676	0,5356	2,1883																
	4	89,6124	0,2878	1,0293	88,1482	0,2923	1,0474	87,6038	0,3824	1,8462																
	5	87,8835	0,1039	0,618	87,1077	0,5345	2,6608	88,3753	0,294	1,5521																
56	1	88,3767	0,4175	2,1739	89,5626	0,3689	1,9075	88,1976	0,6093	2,896	88,69	0,44	2,33													
	2	89,4051	0,5428	2,5335	89,815	0,4004	2,4352	88,0068	0,3593	2,4644																
	3	88,8109	0,4126	2,1498	89,1536	0,2755	1,5141	86,8815	0,7567	3,1871																
	4	90,1322	0,3784	1,8814	88,8597	0,3639	2,1091	87,73	0,4618	2,3224																
	5	89,0033	0,2854	1,6114	87,6856	0,6173	3,3969	88,9493	0,4233	2,2927																
84	1	89,0454	0,3676	2,5044	90,0524	0,3011	2,3319	88,4071	0,5541	3,0909	89,11	0,39	2,64													
	2	89,7777	0,4861	2,7306	89,7793	0,3501	2,881	88,7018	0,2933	2,9603																
	3	89,0992	0,3651	2,3824	89,7738	0,2563	1,9526	87,2688	0,6922	3,4526																
	4	90,2026	0,3249	2,2993	89,2587	0,2771	2,404	88,2965	0,3905	2,687																
	5	89,5634	0,3142	2,1664	88,2322	0,5687	3,3514	89,2116	0,2873	2,4572																

AZUL DE METILENO - ARG A310																										
dias	ponto	PLACA F13			PLACA F18			PLACA F35			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)	
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	F13	F18	F35			F13	F18	F35	F13	F18	F35	F13	F18
0	1	87,7479	0,6218	3,0042	85,6677	0,8803	3,7648	88,2604	0,5813	3,0467	87,89	0,59	3,12													
	2	87,8855	0,5795	2,6684	88,8855	0,5277	2,5255	88,8774	0,3955	3,3029																
	3	88,1121	0,6336	2,9459	87,9562	0,5123	2,7992	88,0622	0,5675	3,6044																
	4	87,9276	0,6559	3,12	87,3699	0,671	3,2559	88,2034	0,5751	3,2852																
	5	86,8053	0,5398	3,1026	88,1145	0,5453	3,1953	88,4571	0,6125	3,1813																
1	1	55,6192	-0,3893	-30,3356	43,3626	6,512	-33,0733	45,3506	6,1458	-35,226	51,30	3,48	-31,22													
	2	58,0551	5,5301	-24,2498	61,1751	4,8482	-21,9359	47,212	2,5033	-36,2284																
	3	55,117	0,7005	-28,3672	51,2445	4,771	-30,1877	46,462	4,3645	-35,7849																
	4	52,0324	-1,1831	-32,4628	45,7226	4,8563	-34,9687	57,0176	3,0019	-28,326																
	5	52,2785	2,6457	-29,8762	48,9	4,0075	-32,4027	49,8087	3,9227	-34,8369																
7	1	74,3431	-2,8095	-8,2274	66,3289	-1,575	-9,9877	57,7966	0,4205	-13,1429	68,32	-1,42	-9,65													
	2	69,6527	0,1079	-7,2996	81,5191	0,2083	-2,2606	72,7651	-4,0524	-8,8537																
	3	63,7689	-0,4536	-10,8057	62,6021	0,0658	-11,6265	71,2448	-3,4956	-10,1796																
	4	69,0179	-2,9566	-9,6982	56,7684	0,246	-15,2962	75,3228	-1,8349	-6,3299																
	5	63,3509	-1,2557	-11,092	63,8492	-0,8838	-12,8563	76,4547	-3,0446	-7,1617																
14	1	84,3928	-0,8403	-2,5217	78,9498	-1,3655	-3,0475	64,2709	0,1115	-7,4778	78,59	-0,34	-3,47													
	2	69,9964	0,9941	-5,3509	86,2862	0,5457	0,2536	86,9471	-0,679	-0,4161																
	3	73,5192	0,0066	-4,5956	73,8534	-0,2759	-4,7495	85,2041	-0,6654	-2,0709																
	4	83,1651	-0,8523	-2,3164	68,2557	-0,7764	-7,3736	84,7224	0,0591	-1,4685																
	5	75,9573	0,1008	-4,3639	76,8763	-0,8401	-4,9832	86,4577	-0,5968	-1,5429																
21	1	87,0965	0,2179	0,1489	83,0781	0,2201	-0,4103	75,2503	0,2675	-3,7127	83,18	0,30	-0,89													
	2	78,2662	0,7582	-1,1135	81,2578	0,9236	-0,0108	89,0813	0,0259	1,1277																
	3	81,9241	0,2388	-1,54	78,374	0,5543	-2,337	87,5096	0,1928	-0,0107																
	4	86,0849	0,1638	0,2173	80,3012	-0,0025	-2,394	86,2987	0,546	-0,2378																
	5	81,0821	-0,0461	-1,6381	83,9326	0,4232	-1,5886	88,1827	0,026	0,1669																
28	1	79,9406	0,5106	0,689	77,9237	0,6442	-0,0221	73,3489	0,7945	-2,8788	78,41	0,65	-0,46													
	2	77,0522	0,7829	-0,7342	83,1693	0,7521	0,2742	82,2918	0,5205	2,5331																
	3	76,6292	0,6782	-1,5479	75,2513	0,9624	-2,5114	81,7558	0,4257	0,6614																
	4	80,2983	0,3984	0,9371	72,5816	0,7876	-3,2442	80,7277	0,7904	0,3091																
	5	75,5491	0,5349	-1,4981	77,5636	0,7286	-1,5457	82,1291	0,4256	1,2014																
56	1	88,6966	0,4785	1,836	86,0144	0,6689	1,9533	85,0285	0,5474	-0,0519	87,45	0,50	1,39													
	2	85,0644	0,466	0,2861	88,0306	0,6658	0,9338	89,4733	0,4655	2,6775																
	3	87,3287	0,3723	1,2243	85,3423	0,596	0,1569	89,6359	0,4946	2,1271																
	4	88,522	0,5161	2,3217	85,7181	0,3908	0,7224	88,9963	0,5979	1,80																

CORROÇÃO - ARG A20																											
dias	ponto	PLACA A10			PLACA A11			PLACA A18			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	A5	A7	A28			A5	A7	A28	A5	A7	A28	A5	A7	A28
0	1	86,8004	0,6945	3,1023	86,805	0,4666	3,3261	88,0257	0,3795	2,3713	87,17	0,60	2,72	32,56	30,97	22,00	24,20	4,73	24,15	26,26	22,18	6,07	3,48	4,35	25,14	13,23	19,60
	2	85,8327	0,7908	2,8429	87,6545	0,4644	3,0909	86,891	0,5552	2,6488																	
	3	87,4696	0,6185	2,5943	87,1652	0,687	3,1044	86,2301	0,587	2,5134																	
	4	86,7599	0,8271	3,204	87,54	0,6349	2,8884	87,9147	0,3664	1,8028																	
	5	86,1902	0,9637	2,6372	88,5676	0,4851	2,5688	87,7303	0,4115	2,1336																	

CORROÇÃO - ARG A25																											
dias	ponto	PLACA B2			PLACA B23			PLACA B28			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	B16	B20	B26			B16	B20	B26	B16	B20	B26	B16	B20	B26
0	1	85,162	0,5913	2,8308	87,47	0,73	3,52	87,9028	0,4027	2,5232	86,79	0,77	3,10	32,67	36,49	29,27	28,51	6,82	31,12	32,80	21,60	4,72	3,81	5,93	15,17	11,61	27,45
	2	85,4479	0,9356	3,3023	86,70	0,66	3,59	87,9332	0,4701	2,7141																	
	3	86,3241	1,5999	3,7587	86,56	0,61	3,05	86,0896	0,8587	2,5509																	
	4	86,8634	0,5128	3,0273	86,01	0,59	3,33	86,0845	2,1628	3,2689																	
	5	88,1093	0,4556	3,0268	87,33	0,50	3,48	87,886	0,4781	2,4717																	

CORROSÃO - ARG A210																												
dias	ponto	PLACA C3			PLACA C22			PLACA C32			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)			
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	C1	C4	C21			C1	C4	C21	C1	C4	C21	C1	C4	C21	
0	1	89,927	0,264	2,5642	89,59	0,34	2,71	88,5331	0,414	2,4604																		
	2	90,1631	0,2343	3,0481	89,80	0,16	2,34	89,6489	0,3085	2,3797																		
	3	89,251	0,4894	2,5687	90,14	0,22	2,01	89,9912	0,2009	1,8801	89,58	0,27	2,30															
	4	76,0951	0,2624	2,1106	86,86	0,34	2,49	90,4113	0,1565	1,8253																		
	5	90,7201	0,1896	2,0487	87,36	0,34	2,21	90,5238	0,1409	1,7771																		
1	1	77,1975	8,4461	24,7089	71,95	10,98	29,22	69,2791	13,4206	29,8078				26,85	33,58	35,89												
	2	75,9247	10,7379	26,9341	74,02	9,49	25,78	68,5647	13,7457	28,759				30,21	29,76	36,35	30,52	4,43	29,82	30,12	31,62	1,81	5,53	5,70	6,08	18,37	18,03	
	3	71,7617	11,604	24,5506	69,02	13,95	29,13	76,4512	8,367	17,9088	73,51	10,75	25,96	30,60	27,66	22,52												
	4	76,0951	10,6903	26,8653	73,34	9,37	24,87	72,1674	12,0001	27,29				31,70	22,58	29,85												
	5	76,0287	10,5354	28,1692	75,57	7,77	19,98	75,2625	10,1734	25,3918																		
7	1	80,1609	7,6009	24,0625	77,97	9,45	27,96	72,4991	14,0274	31,3574				3,15	6,33	3,62												
	2	80,4673	10,0235	27,3743	77,97	9,90	27,05	73,7617	14,4683	34,3645	77,54	10,37	27,40	4,62	4,18	7,68	4,87	1,39	4,20	4,95	5,46	1,02	1,09	1,88	24,25	21,95	34,41	
	3	75,1139	12,2433	28,0797	74,10	12,97	31,88	78,4856	10,0721	24,7109				4,91	5,86	7,30												
	4	78,9576	10,2998	27,9441	77,01	8,16	25,06	76,5599	11,2732	27,9257				3,08	3,87	4,50												
	5	80,774	8,9571	26,5292	79,82	6,45	20,63	79,3898	9,6703	26,1127				5,26	4,50	4,22												
14	1	79,3829	7,6235	23,4114	78,50	9,14	28,33	72,345	13,5522	29,7169				2,67	6,86	3,07												
	2	78,425	10,2218	27,7415	76,33	10,50	28,86	72,2549	14,2139	31,7292				2,68	3,99	4,76												
	3	75,6392	10,7705	26,4123	73,35	12,51	31,27	80,443	7,2274	18,9522	76,70	10,12	26,92	4,38	5,05	4,28	3,93	1,21	3,02	4,91	3,86	0,98	1,19	0,71	32,58	24,16	18,46	
	4	77,7915	10,128	27,1143	76,85	7,61	24,37	75,8597	11,2541	28,4729				1,80	3,96	3,95												
	5	79,1352	9,2559	26,947	75,79	8,38	24,63	78,363	9,4253	25,8417				3,58	4,69	3,32												
21	1	79,5089	7,6344	23,548	78,77	9,06	28,39	72,3646	13,5765	29,5001				2,71	7,14	3,10												
	2	79,1159	9,8487	26,6189	76,00	10,50	29,14	72,459	14,5276	33,4092				3,33	4,04	6,12												
	3	75,8281	10,2526	27,0165	71,08	14,68	33,60	78,7537	8,204	23,5242	76,33	10,44	27,64	4,94	4,98	6,07	3,99	1,55	3,07	4,68	4,21	1,15	1,50	1,75	37,45	32,18	41,67	
	4	77,2015	10,8479	28,6241	76,98	7,83	24,56	75,181	11,3736	28,5734				2,08	3,97	3,33												
	5	78,2556	10,0249	28,0521	76,40	8,25	23,09	77,0841	9,9757	26,9675				2,29	3,26	2,42												
28	1	78,2195	7,8406	22,8566	77,67	10,09	28,60	73,5047	11,709	27,0296				2,20	5,82	5,34												
	2	78,3227	10,478	28,0463	76,82	10,06	27,98	69,7673	14,0882	30,7008				2,66	3,61	2,91												
	3	75,7883	10,7249	26,6911	72,74	13,01	32,16	80,3495	7,7183	20,877	76,25	10,27	27,07	4,64	4,89	4,34	3,64	1,42	2,75	4,73	3,46	1,08	0,84	1,62	39,48	17,78	47,00	
	4	76,7939	11,1803	28,7088	77,22	7,73	24,36	73,3594	10,8921	27,4006				2,03	4,24	1,63												
	5	77,883	10,7819	29,3432	77,20	8,03	24,78	78,0936	9,7705	26,4755				2,21	5,08	3,06												
56	1	78,46	7,715	23,3286	78,72	9,07	28,87	78,2373	8,8059	22,6538				2,01	7,05	12,36												
	2	79,4654	9,758	26,6389	77,77	9,58	27,31	71,5671	15,3688	33,7239				3,69	4,06	6,02												
	3	76,9111	9,8795	26,5177	75,16	11,24	28,60	79,6584	8,3461	23,8509	77,25	9,87	26,80	5,78	6,73	6,75	5,03	2,61	3,72	4,94	6,43	1,65	1,80	3,64	44,40	36,45	56,65	
	4	78,236	10,1733	26,9607	76,38	8,74	25,98	74,7564	12,2174	30,3473				2,20	3,30	4,01												
	5	80,0001	8,5822	26,0007	77,12	7,62	23,19	76,2663	11,0118	28,087				4,93	3,57	3,00												
84	1	80,54	8,0946	24,2682	79,56	8,95	28,56	73,2524	13,2695	29,4004				3,39	7,90	4,00												
	2	78,5137	10,5206	28,3315	77,89	9,70	27,41	73,2947	14,1721	31,2616				2,95	4,21	5,37												
	3	77,4564	9,6565	26,5721	72,21	13,39	32,88	83,1603	5,4276	19,1825	77,37	10,15	27,19	6,35	4,97	7,43	4,54	1,66	3,73	5,13	4,74	1,50	1,73	1,78	40,27	33,68	37,47	
	4	77,1391	11,4967	29,0611	78,10	7,28	23,94	75,3443	12,0358	30,0342				2,56	5,28	4,20												
	5	79,2622	9,8741	27,2773	77,40	7,93	22,71	77,4833	10,4387	26,9215				3,42	3,29	2,71												

CORROSÃO - ARG A30																													
dias	ponto	PLACA D4			PLACA D26			PLACA D36			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)				
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	D1	D3	D20			D1	D3	D20	D1	D3	D20	D1	D3	D20		
0	1	85,5059	0,8294	4,104	85,28	0,92	5,74	84,2435	1,0549	4,8788																			
	2	83,9534	0,7208	4,4384	87,92	0,64	3,52	86,3269	0,8079	4,1122																			
	3	86,425	0,7461	4,008	87,06	0,70	4,01	85,418	0,8898	4,2766	85,54	0,86	4,45																
	4	83,8124	1,1211	4,9552	86,97	0,65	3,76	85,4634	0,9474	4,2007																			
	5	82,0753	1,1653	5,7654	86,30	0,94	4,88	86,3795	0,7472	4,0877																			
1	1	73,9431	9,0822	24,0822	72,61	10,45	26,21	72,8321	9,5888	23,2021				24,51	25,89	23,21													
	2	73,2222	8,9417	22,7284	75,68	10,21	26,14	74,7702	9,5265	24,5463				22,74	27,45	25,04													
	3	75,8153	8,3562	26,5177	74,32	9,95	26,57	69,6949	12,8087	31,9642	72,51	10,60	26,74	24,36	27,51	34,00	27,61	4,42	23,85	29,64	29,35	1,64	3,73	5,00	6,86	12,59	17,03		
	4	73,5742	8,7605	22,5115	70,77	12,76	30,70	70,9899	11,9126	28,8917				21,71	33,69	30,65													
	5	69,7251	10,8206	26,3858	68,52	13,26	30,63	71,1464	12,5354	31,949				25,90	33,64	33,87													
7	1	74,7886	9,6729	24,9593	70,88	12,20	29,08	75,3888	8,9039	23,6155				1,35	3,78	2,68													
	2	74,4337	8,7837	23,3087	76,27	10,28	27,47	75,3059	9,745	25,5425				1,35	1,46	1,15													
	3	75,3672	9,5036	25,9581	76,15	9,71	26,20	70,3308	12,9639	31,9281	73,66	10,61	27,00	1,85	1,89	0,66	1,96	1,15	1,56	2,55	1,76	0,69	1,40	1,23	43,86	54,95	69,89		
	4	74,1041	9,2246	22,5194	74,25	11,23	28,62	74,0315	10,6799	27,9065				0,70	4,33	3,43													
	5	71,8616	10,2131	25,1383	69,70	13,64	31,04	71,9732	12,4385	31,7247				2,55	1,31	0,86													
14	1	75,8201	8,8451	23,8591	74,01	9,93	25,94	74,2903	9,5109	23,8797				1,91															

		CORROSÃO - ARG A35																													
dias	ponto	PLACA E6			PLACA E18			PLACA E20			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)						
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	E2	E4	E34			E2	E4	E34	E2	E4	E34	E2	E4	E34				
0	1	83,8425	0,7488	3,3975	85,43	0,85	3,54	88,0114	0,7359	3,5322																					
	2	85,8567	0,7221	4,1151	87,89	0,92	3,27	88,002	0,7478	3,4493																					
	3	85,6521	0,7223	3,7299	84,93	0,98	4,15	86,8311	0,6949	3,8778	86,40	0,77	3,55																		
	4	85,601	0,7003	3,5713	85,73	0,61	2,62	87,826	0,7277	3,2393																					
	5	85,0904	0,8217	3,9264	87,09	0,86	3,41	88,2345	0,7118	3,4938																					
1	1	72,1313	10,0699	23,7577	70,69	12,15	25,77	70,8027	13,8346	34,0005						25,27	28,97	37,36													
	2	73,8509	10,5147	29,4117	72,56	12,72	30,12	72,1671	12,444	31,219						29,66	33,09	34,04													
	3	73,1183	10,209	28,5314	69,41	13,50	31,83	71,1858	11,723	29,5743	72,62	11,42	28,46			29,36	34,12	32,04													
	4	73,0168	10,9398	29,6031	73,54	10,72	25,12	76,3414	9,0551	26,0344						30,67	27,51	26,85													
	5	72,8881	11,1332	25,7912	71,98	12,49	29,07	75,5628	9,7461	27,0863						27,05	31,97	28,26													
7	1	73,9358	10,7115	24,7996	69,77	13,92	29,81	74,2224	11,8018	30,8696						2,18	4,51	5,06													
	2	74,7798	10,3399	28,9359	74,10	12,08	29,37	75,7247	10,5773	27,6469	74,21	11,36	28,51			1,06	1,83	5,38													
	3	73,0965	11,9952	29,6157	71,65	12,73	30,96	72,9767	11,329	28,977						2,09	2,52	1,93													
	4	74,7899	10,7706	28,6628	75,35	10,50	25,49	77,0343	9,7358	27,2528						2,01	1,86	1,56													
	5	75,0609	11,5201	27,9631	73,75	11,91	28,35	76,8545	10,5393	29,0032						3,10	2,00	2,44													
14	1	73,7945	11,0254	25,3365	72,00	12,45	27,30	73,9888	12,4666	31,6587						2,48	2,04	4,18													
	2	76,3572	9,9756	29,1	76,05	10,08	27,06	76,3591	10,218	27,3325	74,81	11,06	28,12			2,58	5,34	6,13													
	3	73,8337	11,4487	29,6767	72,11	12,52	30,84	73,6675	11,0222	29,1156						1,83	3,04	2,62													
	4	75,1987	10,6527	28,1909	74,89	10,98	26,28	77,0925	9,9823	27,101						2,61	1,81	1,60													
	5	75,322	10,9671	25,39	74,30	11,76	29,05	77,1498	10,3483	28,294						2,47	2,43	2,08													
21	1	76,8122	8,8265	23,0757	73,84	11,28	26,48	73,1555	13,0613	32,715						4,89	3,35	2,79													
	2	77,1286	9,371	28,5729	77,20	8,89	25,08	75,8929	10,6181	27,2581						3,57	7,85	5,74													
	3	73,0152	12,0915	29,7715	69,86	14,14	33,23	73,0927	11,2978	28,7333	74,77	11,06	28,08			2,26	1,61	2,13													
	4	74,8348	11,0342	28,3933	73,95	11,64	26,62	76,8399	9,8674	27,4212						2,19	1,81	1,68													
	5	75,6145	10,8773	25,9169	73,24	12,62	30,38	77,0872	10,2186	27,5247						2,74	1,82	1,66													
28	1	73,4942	11,1615	25,8521	71,26	13,04	28,07	75,6372	10,8927	28,9877						2,73	2,52	7,56													
	2	76,4319	10,0139	29,0569	74,92	11,63	29,78	75,1674	11,221	29,2374						2,65	2,62	3,80													
	3	73,7432	11,7256	29,5634	71,56	13,07	31,31	73,2534	11,3319	28,653	74,70	11,26	28,41			1,94	2,26	2,30													
	4	75,4171	10,5524	28,5629	75,12	10,93	26,10	77,709	9,7629	26,8436						2,64	1,87	1,74													
	5	76,0488	10,9278	27,0357	73,42	12,13	28,57	77,3011	10,5039	28,6051						3,40	1,56	2,43													
56	1	72,2329	12,0556	27,097	75,55	10,58	25,76	73,7194	12,5126	32,2523						3,89	5,11	3,65													
	2	77,8729	9,2066	28,2423	74,99	11,78	30,19	75,5962	10,9885	28,8885	74,94	11,16	28,31			4,39	2,61	4,39													
	3	73,7701	11,7952	29,9431	72,70	12,60	31,00	74,2172	10,7504	28,3923						2,22	3,51	3,40													
	4	75,2252	10,9598	28,6858	75,25	10,61	25,02	76,2091	10,6183	29,2563						2,39	1,72	3,58													
	5	75,6831	10,8632	24,8249	73,08	12,57	29,41	77,9305	9,5046	25,757						2,97	1,15	2,73													
84	1	78,0637	8,476	23,6016	72,57	12,60	27,46	74,7352	12,0334	30,4184						6,14	2,57	5,62													
	2	78,3586	8,1846	25,5717	78,31	8,77	24,97	75,7726	11,1812	27,991						6,36	8,67	5,00													
	3	75,0582	10,9917	26,3594	72,77	12,68	31,45	73,8058	11,2847	28,6536	75,92	10,55	26,81			3,02	3,48	2,81													
	4	76,4103	10,309	26,7291	75,70	10,80	25,76	78,0861	9,4029	25,9016						4,49	2,26	1,78													
	5	77,2725	9,7514	22,5902	73,64	12,60	29,76	78,238	9,149	24,9259						5,60	1,79	3,49													

		CORROSÃO - ARG A310																													
dias	ponto	PLACA F21			PLACA F22			PLACA F30			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)						
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	F8	F15	F33			F8	F15	F33	F8	F15	F33	F8	F15	F33				
0	1	87,6882	0,7667	3,0331	85,25	0,81	3,60	87,4801	0,2391	3,3879																					
	2	89,2513	0,5502	2,9485	85,36	0,81	3,54	85,127	0,1722	3,9974																					
	3	88,4392	0,6549	3,3643	87,81	0,63	3,61	87,4851	0,4083	3,7826	87,59	0,59	3,45																		
	4	89,222	0,6196	2,9265	86,80	0,81	3,99	88,5319	0,3602	3,1087																					
	5	89,1836	0,5533	3,1307	87,28	0,98	4,10	88,9177	0,477	3,2687																					
1	1	73,3508	11,9191	26,664	72,46	10,50	27,29	73,9191	10,8189	26,8377						29,81	28,61	29,08													
	2	76,5709	10,2675	26,6757	71,55	11,57	28,10	74,3934	8,6108	23,4298						28,60	30,16	23,75													
	3	75,1796	11,2881	27,7982	70,99	13,87	30,56	72,6175	11,6449	25,9416	74,16	11,07	26,92			29,76	34,42	28,95													

POLUIÇÃO - ARG A20																													
dias	ponto	PLACA A8			PLACA A30			PLACA A33			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)				
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	A8	A30	A33			A8	A30	A33	A8	A30	A33	A8	A30	A33		
0	1	87,0123	0,6976	2,9849	87,3032	0,3908	2,1755	85,5358	0,8435	3,5814	86,62	0,56	2,73																
	2	86,0473	1,1856	2,9795	86,5118	0,4305	2,9091	87,6933	0,3298	2,3461																			
	3	86,5815	0,5643	2,7572	86,9991	0,3917	2,3914	86,2846	0,4622	2,8428																			
	4	86,5852	0,5876	2,9397	87,201	0,3476	1,9374	85,1542	0,7994	2,7294																			
	5	87,3195	0,5179	2,7011	87,4145	0,4022	2,127	85,6947	0,508	3,4763																			
1	1	45,4988	-0,0008	-0,3848	43,9496	0,2615	0,5308	46,3419	-0,0518	-0,373	45,85	-0,05	-0,29	41,66	43,38	39,40	40,90	1,66	41,05	42,03	39,63	1,84	0,87	1,37	4,49	2,07	3,47		
	2	47,6595	-0,249	-1,1017	45,3018	0,1541	0,3819	45,8965	-0,041	-0,3745				38,63	41,29	41,89													
	3	46,5918	-0,03	-0,3777	45,6521	0,035	-0,1896	46,9139	0,0587	0,1201				40,12	41,43	39,47													
	4	45,4434	0,0422	-0,0071	45,6205	-0,3737	-0,3485	47,2283	-0,1895	-1,1183				41,25	41,65	38,13													
	5	43,797	0,1942	0,3286	45,1065	-0,4103	-0,3953	46,6932	-0,1828	-0,986				43,59	42,39	39,26													
7	1	47,465	0,363	1,8667	64,9283	0,6225	2,553	56,6352	0,8132	3,771	55,29	0,52	2,44	3,01	21,08	11,13	10,59	6,60	4,12	16,69	10,97	1,74	4,68	5,32	42,36	28,03	48,45		
	2	44,6117	0,4206	1,6577	65,6962	0,6701	2,9821	61,7732	0,6118	3,3802				4,17	20,57	16,33													
	3	46,3124	0,3622	1,4353	63,1293	0,523	2,9978	61,6328	0,8563	3,9361				1,88	17,77	15,23													
	4	51,479	0,3157	1,5937	55,2548	0,4501	2,0258	47,6173	0,5222	1,811				6,25	9,96	3,04													
	5	49,0563	0,1056	0,9047	58,7761	0,4391	2,9052	54,9522	0,6876	2,8423				5,29	14,09	9,14													
14	1	50,4395	0,3945	2,1066	65,9141	0,6558	2,5318	59,5924	0,7845	3,6564	57,06	0,58	2,50	5,55	22,06	13,87	12,14	6,72	7,03	16,22	13,17	5,51	4,65	7,17	78,36	28,67	54,43		
	2	49,3823	0,5812	2,5631	64,8508	0,7051	2,9646	67,3528	0,7815	3,3583				4,13	19,73	21,79													
	3	45,4569	0,3276	1,4971	61,1738	0,5689	2,6803	63,5666	0,8569	3,9284				2,22	15,79	17,10													
	4	61,704	0,5897	2,0543	56,765	0,5114	2,3378	46,2512	0,4038	1,4863				16,40	11,50	2,84													
	5	50,652	0,2549	0,7811	56,7186	0,5798	2,5587	56,0723	0,7382	3,0171				6,87	12,02	10,24													
21	1	50,492	0,5786	2,2908	64,8304	0,661	2,6937	50,492	0,5786	2,2908	58,90	0,70	3,01	5,69	21,00	4,97	13,62	6,14	10,81	19,89	10,15	4,69	3,03	5,16	43,41	15,21	50,80		
	2	63,1241	0,7692	3,8562	69,2515	0,7096	3,1213	63,1241	0,7692	3,8562				16,27	24,11	17,76													
	3	54,8591	0,8344	3,5804	65,5889	0,558	3,1325	54,8591	0,8344	3,5804				9,21	20,22	8,70													
	4	52,6246	0,7213	2,5241	61,5833	0,6724	2,3858	52,6246	0,7213	2,5241				7,64	16,23	6,57													
	5	58,7763	0,7501	2,9723	62,5545	0,6543	3,3566	58,7763	0,7501	2,9723				15,22	17,88	12,75													
28	1	57,2556	0,5798	2,2366	68,6402	0,6862	2,6631	62,1177	0,8713	4,2007	62,35	0,64	2,82	12,06	24,79	16,45	16,91	6,30	13,30	21,15	16,28	5,60	2,66	7,83	42,08	12,58	47,64		
	2	53,8613	0,6182	2,6224	68,1947	0,5973	3,4545	73,3042	0,5559	3,1686				7,29	23,10	27,64													
	3	56,0213	0,6074	2,3215	65,373	0,5822	2,9635	64,8661	0,8462	4,4206				9,83	19,98	18,48													
	4	66,9749	0,6768	2,2886	63,9564	0,6025	2,5246	52,765	0,658	2,2075				21,66	18,59	6,51													
	5	59,4001	0,3404	1,5704	64,1348	0,7257	2,7555	58,3431	0,723	2,9331				15,65	19,32	12,32													
56	1	69,1129	0,8147	3,4444	71,6187	0,6771	2,6899	64,5576	1,0099	4,6003	66,26	0,76	3,30	23,94	27,76	18,91	20,80	6,34	20,41	22,09	19,90	7,58	5,25	7,22	37,12	23,78	36,30		
	2	77,2855	0,9494	3,8042	72,618	0,7218	2,7854	75,7269	0,6131	3,9214				30,05	27,43	30,15													
	3	61,9668	0,876	3,4568	65,7326	0,6379	2,4851	70,2988	0,8206	4,6964				15,87	20,27	23,84													
	4	67,0678	0,7622	3,1199	64,2022	0,7874	3,2862	59,9879	0,9508	3,2181				21,86	18,97	13,52													
	5	53,9789	0,3597	2,0803	60,8763	0,5839	2,3232	58,9009	0,7619	3,5968				10,33	16,03	13,07													
84	1	69,9555	0,8314	3,4724	82,4649	0,5317	2,3726	74,17	1,0494	4,3337	69,77	0,81	3,30	24,77	38,56	28,24	24,26	6,17	23,46	26,33	23,00	2,88	7,72	7,57	12,26	29,34	32,90		
	2	69,3316	1,0062	3,4966	69,4857	0,7395	3,3102	77,9	0,6936	4,0116				22,19	24,37	32,31													
	3	66,0958	0,993	3,3891	66,5538	0,7946	3,5358	69,4558	0,7353	5,0308				19,89	21,24	23,08													
	4	72,84	0,8192	2,7998	64,2946	0,7137	2,6336	60,2073	0,9795	3,2582				27,55	18,94	13,75													
	5	66,6267	0,6968	2,1881	73,4704	0,7875	2,3804	63,7494	0,8389	3,25				22,91	28,52	17,60													

POLUIÇÃO - ARG A25																												
dias	ponto	PLACA B1			PLACA B9			PLACA B24			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)			
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	B1	B9	B24			B1	B9	B24	B1	B9	B24	B1	B9	B24	
0	1	87,1131	1,1291	3,4837	86,6089	0,6284	3,3204	87,6178	0,6296	3,4708	87,00	0,67	3,35															
	2	85,7443	0,8454	2,749	86,2319	0,7296	3,5068	89,3843	0,3743	2,7724																		
	3	87,0832	0,6251	3,1159	86,0779	0,5469	2,8549	88,3361	0,4993	3,4687																		
	4	86,3466	0,7437	4,0493	85,5088	0,7534	4,1438	87,9719	0,7288	3,4794																		
	5	85,5939	0,8196	3,2695	86,8358	0,568	3,4233	88,5805	0,4807	3,1014																		
1	1	43,6465	0,1871	0,3182	63,6075	0,1169	-0,0346	44,1431	0,1889	0,5271	45,65	0,18	0,40	43,59	43,14	43,58	41,46	2,81	39,30	41,57	43,52	3,68	1,51	0,81	9,37	3,64	1,86	
	2	52,0693	0,3816	1,3268	44,4254	0,2291	0,458	47,056	0,0167	-0,0844				33,71	41,92	42,43												
	3	46,4468	0,0216	-0,296	46,9444	0,021	-0,1658	44,8016	0,1821	0,3714																		

		POLUIÇÃO - ARG A35																																					
dias	ponto	PLACA E10			PLACA E12			PLACA E21			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)														
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	E10	E12	E21			E10	E12	E21	E10	E12	E21	E10	E12	E21												
0	1	84,078	0,9054	3,845	86,3321	0,6654	3,577	87,0509	0,5819	4,3875																													
	2	84,1466	1,0403	4,3015	87,9	0,6054	3,4532	87,0075	0,6424	3,2929																													
	3	83,7392	1,1149	4,7733	86,2807	0,6936	3,4837	87,8359	0,6351	3,4468																													
	4	86,8931	0,8033	3,8424	86,822	0,6751	3,4884	88,6289	0,5919	3,0533	86,37	0,77	3,80																										
	5	85,7318	0,853	3,9315	84,8278	1,0345	4,4928	88,2875	0,7337	3,6764																													
1	1	44,3637	0,2732	0,5404	48,6862	0,0132	-0,5823	46,7037	0,3945	0,9831																													
	2	45,594	0,2612	0,4898	45,3054	0,3484	0,7577	45,841	0,144	-0,1028																													
	3	45,1224	0,1271	-0,18	49,2035	-0,0255	-0,5884	47,8036	0,0467	-0,5																													
	4	47,6596	0,1011	-0,0957	45,3701	0,1429	-0,0925	43,5783	0,2765	0,5758	45,91	0,18	0,10																										
	5	43,7846	0,2674	0,3308	45,7022	0,0225	-0,3995	43,9713	0,2533	0,4108																													
7	1	54,7257	0,6747	2,0589	45,9667	0,4015	1,1606	60,0867	0,743	2,997																													
	2	49,0164	0,5369	1,61	57,9979	0,6415	2,9709	47,596	0,4606	1,5668																													
	3	48,2712	0,5179	1,3413	48,2009	0,6154	1,852	46,5729	0,2236	0,5917	49,08	0,42	1,35																										
	4	46,8078	0,3558	1,1349	45,5208	0,1036	0,1739	44,8334	0,1967	0,5785																													
	5	45,4353	0,3068	0,9097	51,2445	0,2845	0,587	43,8576	0,2238	0,7104																													
14	1	58,9634	0,8496	3,0726	51,1088	0,5338	2,0369	66,7842	0,6956	3,0947																													
	2	55,8732	0,8873	3,1449	63,0283	0,6851	3,1059	55,0665	0,7749	2,7287																													
	3	50,9195	0,571	1,998	49,7934	0,5335	1,9215	56,2779	0,8063	3,2279	55,46	0,67	2,58																										
	4	52,3977	0,595	2,0891	49,6737	0,5401	1,8339	53,3661	0,6271	2,2699																													
	5	53,9351	0,6707	2,5731	65,2045	0,9204	3,6398	49,5716	0,4322	1,8969																													
21	1	60,8538	0,9342	3,5838	52,6451	0,6033	2,1828	64,9222	0,7638	2,9694																													
	2	58,9229	1,0083	3,5913	59,3295	0,7164	3,3581	58,6731	0,872	3,0162																													
	3	52,8196	0,7325	2,3228	50,7256	0,6498	2,0447	58,7796	0,9644	3,3202	57,64	0,78	2,74																										
	4	55,6873	0,69	2,339	51,1379	0,6548	1,7266	55,5607	0,7089	2,3836																													
	5	54,9964	0,7902	2,5815	66,2646	0,9843	3,4313	53,2278	0,6	2,2497																													
28	1	62,3423	0,9604	3,5475	53,2532	0,6295	2,3481	68,0843	0,6852	3,3294																													
	2	58,1744	0,9731	3,4424	66,5958	0,7602	3,6214	58,9962	0,8946	3,3492																													
	3	54,7651	0,6996	2,2201	53,2408	0,71	2,38	61,0248	0,8838	3,6893	58,63	0,77	2,95																										
	4	54,6315	0,6889	2,3192	51,9236	0,6679	2,0048	57,3796	0,6713	2,6477																													
	5	58,987	0,7791	3,1787	67,918	0,9534	4,279	52,1601	0,5517	1,9546																													
56	1	67,0346	1,0238	4,7026	59,4888	0,7564	3,2686	71,3663	0,7787	4,2998																													
	2	64,5457	1,161	4,956	72,6221	0,814	4,8128	62,3622	0,9774	4,3391	62,45	0,87	3,78																										
	3	57,9105	0,8873	3,271	66,1567	0,9053	3,1687	64,5983	0,989	4,6267																													
	4	60,2506	0,7427	2,9687	54,1664	0,5839	2,2674	60,3575	0,8291	3,3599																													
	5	59,3069	0,8493	3,3651	66,4362	0,956	4,3926	60,1431	0,7354	2,9078																													
84	1	71,0829	0,8348	5,2068	60,7073	0,6987	3,7041	69,414	0,7792	4,7343																													
	2	67,563	1,0725	5,2726	74,4312	0,7261	5,2747	66,3153	0,9284	4,629																													
	3	59,8422	0,9165	3,7444	56,5357	0,8288	3,2232	64,4503	0,8586	4,5611	64,74	0,81	4,23																										
	4	66,6517	0,5891	3,819	55,9979	0,5546	2,4705	62,0079	0,8922	3,8262																													
	5	61,6592	0,774	3,8181	72,2294	0,8762	5,5064	62,252	0,7468	3,6237																													

		POLUIÇÃO - ARG A310																																					
dias	ponto	PLACA F6			PLACA F27			PLACA F34			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)														
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	F6	F27	F34			F6	F27	F34	F6	F27	F34	F6	F27	F34												
0	1	86,358	0,8156	3,4369	87,9172	0,7404	3,3198	85,6783	0,8112	3,598																													
	2	87,4007	0,6471	2,5373	88,411	0,6311	3,774	84,5086	1,1567	4,7843																													
	3	85,7751	0,8612	3,8731	88,3063	0,6973	3,2466	87,3297	0,7637	3,543	87,14	0,76	3,48																										
	4	83,8893	1,2079	5,0543	88,9721	0,5856																																	

		PICHACÃO - ARG A210																										
dias	ponto	PLACA C9			PLACA C18			PLACA C26			Médias			delta E		média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)				
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	C9	C18			C26	C9	C18	C26	C9	C18	C26				
0	1	89,2308	0,4325	2,6922	89,7167	0,1983	2,2209	89,2349	0,3791	2,1172																		
0	2	87,8376	0,6663	3,6603	90,592	0,3023	2,3434	89,978	0,39	2,5965																		
0	3	90,2348	0,2294	2,2238	90,9197	0,0552	2,3238	89,5191	0,4368	2,6723																		
0	4	89,768	0,2294	2,2972	88,8237	1,5334	4,0071	89,4047	0,447	2,3887																		
0	5	89,2756	0,3234	2,6555	89,0056	1,4974	3,637	88,7878	0,5101	2,8787																		
1	1	50,7508	47,3801	24,938	55,0552	45,0673	21,9091	52,5272	46,5404	23,7926				64,64	60,02	62,83												
1	2	52,7456	45,5121	23,478	52,3535	47,3708	24,6916	50,9784	46,2579	24,3085				60,34	64,63	64,00												
1	3	43,5228	43,937	25,2519	47,5569	47,0855	26,4493	45,4539	45,6138	25,9447				67,99	68,37	67,26												
1	4	53,2407	46,6583	23,6309	50,5587	47,0583	25,3941	51,1387	45,3171	23,3921				62,81	63,20	62,60												
1	5	62,1152	37,2069	16,1006	53,0463	45,4207	22,8704	53,7149	46,0681	23,2062				47,74	59,94	60,98												
7	1	53,3143	46,0447	22,0432	55,9925	45,187	20,6729	53,7236	46,774	22,5371				4,08	1,56	1,75												
7	2	55,9769	45,0393	21,1212	53,7903	46,0047	22,0608	51,8625	46,5499	23,2311				4,03	3,29	1,42												
7	3	44,8222	44,331	24,4373	48,187	47,342	25,7598	46,6778	46,0464	25,1264				1,58	0,97	1,53												
7	4	53,9666	46,4956	22,2524	52,0395	46,7616	23,6686	52,0997	46,3269	23,0592				1,57	2,29	1,43												
7	5	64,9895	36,1582	14,2208	54,8638	45,5732	21,4191	56,3317	45,1245	20,8689				3,59	2,33	1,63												
14	1	50,3031	45,6044	23,3627	57,4423	41,4398	18,1776	52,2043	46,1634	23,0479				2,42	5,73	0,89												
14	2	55,8375	43,0177	19,957	51,8139	45,9115	23,0008	50,8796	45,6567	23,2145				5,31	2,30	1,25												
14	3	43,9367	43,537	24,7543	47,6056	45,4542	24,4609	45,8059	45,2264	25,2515				0,76	2,57	0,87												
14	4	53,3371	45,6287	22,1608	50,8198	45,8362	23,3567	51,6992	44,7807	21,988				1,80	2,39	1,60												
14	5	64,5407	34,7018	13,6748	53,6407	44,9045	21,5403	56,7267	41,9029	19,1079				4,25	1,55	6,57												
21	1	51,2665	45,416	22,1589	54,8189	44,0209	20,2663	52,4023	45,5358	22,1235				3,44	1,96	1,95												
21	2	56,948	41,5167	18,5858	52,6748	44,8628	21,6877	50,456	45,5987	23,1725				7,59	3,93	1,41												
21	3	43,5745	43,4619	24,4975	46,5126	46,172	25,6171	45,3231	44,8004	24,7719				0,89	1,62	1,43												
21	4	52,9718	44,9663	21,5316	51,079	45,3514	22,7623	50,9646	44,7229	22,084				2,69	3,18	1,45												
21	5	63,3655	35,4818	14,106	53,1988	44,8334	21,3382	54,5134	44,5884	20,7972				2,92	1,65	2,94												
28	1	51,3947	45,8934	22,5762	55,7498	43,6223	19,6562	52,692	45,4584	22,0082				2,86	2,77	2,09												
28	2	55,4244	43,4873	20,2543	52,2987	45,8869	22,6361	51,0025	45,3462	22,6043				4,65	2,54	1,93												
28	3	43,3634	43,1578	24,3393	47,5019	45,7247	24,4768	45,4913	44,9335	24,8862				1,21	2,40	1,26												
28	4	53,1284	45,7472	22,1809	50,5632	45,4364	22,9159	50,6501	44,8915	22,6049				1,72	2,96	1,02												
28	5	63,2259	36,0391	14,5474	53,365	44,6123	21,3701	55,6721	42,6231	19,2441				2,24	1,73	5,60												
56	1	51,0201	43,8674	21,7065	56,9	42,6902	19,2781	52,8963	45,2594	22,1395				4,78	4,00	2,12												
56	2	57,2021	40,6519	18,7018	55,7057	42,8516	20,1613	52,7159	44,0391	21,4605				8,14	7,22	4,01												
56	3	43,6651	43,3054	24,9998	46,0579	45,8691	25,9341	45,3207	44,4065	24,8155				0,92	2,00	1,66												
56	4	53,229	45,0182	21,9839	50,9754	44,381	22,3349	51,583	43,6119	21,2433				2,32	4,09	2,78												
56	5	64,5796	33,9649	14,031	55,7709	42,4422	19,5879	57,258	39,6807	18,2652				4,57	5,20	8,82												
84	1	52,1996	45,3342	22,5721	57,963	41,71	18,6044	54,6353	43,8615	20,8457				3,44	5,54	4,51												
84	2	57,2856	41,1264	19,0523	54,2817	44,668	21,6689	50,5423	45,1278	23,3322				7,71	4,49	1,56												
84	3	43,8007	43,5349	24,6554	47,6473	45,4725	24,6667	45,7448	44,6155	24,6434				0,77	2,41	1,67												
84	4	54,9902	44,0778	20,8017	51,5633	44,8346	22,9675	50,9141	44,0464	22,5235				4,21	3,44	1,56												
84	5	64,569	33,8274	14,4689	54,2858	43,3969	20,8694	53,6943	43,9252	21,2993				4,48	3,10	2,87												

		PICHACÃO - ARG A30																										
dias	ponto	PLACA D5			PLACA D31			PLACA D32			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)			
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	D5	D31	D32			D5	D31	D32	D5	D31	D32	D5	D31	D32	
0	1	84,8058	0,9215	4,4373	84,2341	1,0651	5,4063	87,5022	0,628	3,5635																		
0	2	85,1861	1,0209	4,6496	87,0364	0,7586	4,0398	85,7574	0,8159	4,5549																		
0	3	83,1451	1,1108	5,2728	85,3682	0,9013	4,2686	85,7477	0,6924	3,9255																		
0	4	83,8578	1,0917	4,9	87,3364	0,6315	4,3344	88,0837	0,6381	3,532																		
0	5	83,4055	1,3601	5,6519	86,3105	0,7874	4,6279	86,1502	0,8525	4,1869																		
1	1	58,678	32,5788	15,5806	56,5391	33,3315	16,3395	50,0864	36,4719	18,8812				42,53	43,91	54,03												
1	2	51,4579	36,5181	18,2469	59,8248	32,5816	15,3509	54,8519	34,7077	17,1438				50,82	43,37	47,56												
1	3	54,5595	33,1625	18,8867	47,233	38,3663	20,8953	51,5944	36,0335	17,545				44,23	55,99	51,00												
1	4	58,5208	29,8529	14,4123	64,9183	25,5369	12,182	57,5124	39,164	18,6132				39,49	34,42	51,44												
1	5	58,2023	32,5489	15,0937	52,7646	36,5326	18,5728	58,8168	33,7872	15,572				41,31	50,97	44,29												
7	1	59,4314	34,4543	14,2297	67,0176	33,266	14,503	52,5385	36,5988	15,5177				2,43	1,90	4,16												
7	2	53,7572	35,6207	14,8543	61,7672	31,9281	11,6949	54,9304	34,4727	14,6404				4,20	4,19	2,52												
7	3	59,1608	30,6367	11,739	49,1699	38,1252	18,2311	54,3301	35,8796	14,6798				6,68	3,30	3,96												
7	4	60,283	28,9608	11,3229	65,7976	25,9983	9,0328	57,777	39,6098	16,7159				3,67	3,30	1,97												
7	5	59,8085	32,2721	12,5343	58,6203	32,2169	12,1164	60,7082	32,4015	12,2661				3,13	9,73	4,05												
14	1	62,7578	30,3352	11,6069	60,6702	31,7912	11,3988	53,8108																				

REFERÊNCIA - ARG A20																														
dias	ponto	PLACA A5			PLACA A7			PLACA A28			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)					
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	A5	A7	A28			A5	A7	A28	A5	A7	A28	A5	A7	A28			
0	1	86,2578	0,6564	3,0435	86,2231	1,1111	3,0275	87,4763	0,6865	3,0861	86,73	0,75	3,07	0,16	0,11	0,58	0,37	0,22	0,23	0,31	0,56	0,10	0,16	0,24	43,67	51,86	43,23			
	2	86,8869	0,5815	2,9168	86,1414	0,8128	2,9149	87,2675	0,6637	3,009																				
	3	86,6102	0,7246	3,3954	86,0027	0,6617	2,9706	87,6976	0,5721	2,9795																				
	4	86,3541	0,558	3,5454	85,6243	1,4194	3,4429	86,8922	0,8756	3,0846																				
	5	87,1633	0,5957	3,2056	86,5233	0,8128	2,7799	87,794	0,5225	2,6445																				
1	1	86,1457	0,7751	3,0254	86,2	1,1818	3,1049	86,952	0,9023	3,2025	86,46	0,90	3,17	0,17	0,50	0,16	0,34	0,23	0,81	0,35	0,27	0,57	0,27	0,57	0,27	0,57	0,27	0,57	0,27	0,57
	2	86,9319	0,6382	2,7634	85,7629	1,041	3,1515	87,2706	0,8258	2,9904																				
	3	86,3025	0,8655	3,4252	85,8029	0,7588	3,0173	86,9489	0,8028	3,1655																				
	4	86,1786	0,7303	3,7972	85,4498	1,4872	3,6359	86,3909	1,0049	3,314																				
	5	87,1182	0,6662	3,0861	86,153	1,0371	2,7913	87,3629	0,7756	3,122																				
7	1	85,7579	0,4867	2,3845	87,2503	0,6175	2,458	88,1475	0,5162	2,9967	87,59	0,49	2,42	0,80	1,36	1,27	1,48	0,49	1,42	1,56	1,46	0,40	0,41	0,71	27,94	26,10	48,65			
	2	88,0385	0,3584	2,0811	86,9159	0,5794	2,3917	87,5957	0,6316	2,4938																				
	3	87,4159	0,4503	2,5518	86,7462	0,5036	2,3732	88,9962	0,5498	2,0506																				
	4	87,4784	0,3152	2,5479	87,2423	0,5335	2,7015	88,2311	0,5424	2,5822																				
	5	88,3724	0,2805	2,0803	87,5142	0,5433	2,1951	88,1227	0,484	2,4806																				
14	1	87,3205	0,5786	2,3795	86,8163	0,6822	2,5982	88,3837	0,5994	2,5134	87,69	0,60	2,46	1,35	0,94	1,63	1,47	0,28	1,51	1,45	1,44	0,22	0,44	0,20	14,39	30,10	14,18			
	2	88,0971	0,4804	2,3877	86,8418	0,6593	2,4713	88,2627	0,6617	2,5487																				
	3	87,6534	0,5288	2,3644	86,8366	0,6605	2,4412	88,1861	0,6926	2,3089																				
	4	87,384	0,4981	2,641	87,073	0,6576	2,7652	87,5804	0,703	2,6106																				
	5	88,4591	0,4511	2,3683	87,7197	0,6219	2,124	88,7055	0,5387	2,4106																				
21	1	85,0907	0,6568	2,1926	87,2013	0,665	2,3685	88,6988	0,532	2,344	87,83	0,56	2,25	1,35	1,35	1,98	1,81	0,41	1,81	1,69	1,95	0,39	0,31	0,55	21,66	18,58	28,02			
	2	88,238	0,4738	2,2578	87,1694	0,6256	2,3569	88,3601	0,5754	2,2764																				
	3	88,0868	0,4931	2,2913	87,0331	0,5715	2,2056	89,3442	0,5745	1,8398																				
	4	87,7979	0,4478	2,5095	87,1321	0,6567	2,5575	88,1456	0,565	2,2262																				
	5	88,8301	0,3541	2,0377	87,7103	0,6074	2,0312	88,6519	0,5567	2,2451																				
28	1	87,8694	0,5478	2,0482	87,4609	0,616	2,1341	89,12	0,4845	1,8415	88,03	0,52	2,05	1,99	1,69	2,57	1,98	0,37	2,08	1,92	1,93	0,36	0,22	0,53	17,04	11,52	27,33			
	2	88,2737	0,4368	2,0979	87,2836	0,5956	2,2078	88,0721	0,5969	2,1286																				
	3	88,1864	0,4638	2,0354	87,1531	0,509	1,8104	88,4333	0,5841	1,8413																				
	4	87,9151	0,4002	2,2408	87,2591	0,5729	2,6019	88,07	0,6018	2,0021																				
	5	88,8914	0,307	1,8617	87,7047	0,5589	1,7091	88,6926	0,504	2,1589																				
56	1	88,5518	0,5432	2,1059	88,0623	0,6129	2,2063	88,0623	0,6129	2,2063	88,37	0,54	2,13	2,59	2,14	1,52	2,23	0,56	2,55	2,54	1,60	0,28	0,39	0,36	10,78	15,36	22,66			
	2	88,9328	0,4528	2,1214	87,9243	0,5722	2,1492	87,9243	0,5722	2,1492																				
	3	88,6253	0,4949	2,3086	87,8328	0,5472	1,9604	87,8328	0,5472	1,9604																				
	4	88,6337	0,3867	2,3504	88,1871	0,6153	2,3717	88,1871	0,6153	2,3717																				
	5	89,438	0,3752	1,9596	88,6407	0,5839	1,8681	88,6407	0,5839	1,8681																				
84	1	88,5887	0,5109	2,1583	88,3029	0,606	2,224	89,8902	0,4595	2,0367	88,93	0,51	2,19	2,61	2,35	3,19	2,70	0,34	2,70	2,65	2,74	0,26	0,39	0,42	9,76	14,85	15,32			
	2	89,1444	0,4719	2,2186	88,0208	0,5927	2,2094	89,4509	0,5123	2,6208																				
	3	88,8443	0,5019	2,2693	88,0586	0,4998	1,9537	89,5622	0,5481	2,0121																				
	4	88,7706	0,4404	2,3907	88,4016	0,5929	2,3615	89,1622	0,5275	2,125																				
	5	89,6931	0,3964	1,984	88,5716	0,5531	2,1374	89,4997	0,4753	2,1256																				

REFERÊNCIA - ARG A25																												
dias	ponto	PLACA B16			PLACA B20			PLACA B26			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)			
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	B16	B20	B26			B16	B20	B26	B16	B20	B26	B16	B20	B26	
0	1	87,164	0,6425	3,4568	86,0069	1,1279	3,664	87,722	0,4954	2,9179	86,73	0,59	3,11	0,55	2,56	2,15	2,43	0,82	2,25	2,66	2,39	0,33	1,01	1,06	14,64	37,87	44,39	
	2	86,7767	0,5163	3,0312	84,0688	0,7283	3,5347	88,0099	0,4696	3,0759																		
	3	86,8789	0,4475	2,7884	83,8369	0,4107	2,8005	88,2833	0,543	3,0761																		
	4	86,8689	0,5546	3,2522	85,4196	0,6152	3,0411	88,3231	0,5371	3,1572																		
	5	85,5482	0,5186	3,0719	87,8984	0,3659	2,7982	88,2177	0,8998	2,9887																		
1	1	87,1911	0,4726	2,9317	83,5205	0,6606	3,2942	85,5749	0,6232	3,0173	87,07	0,50	2,94	0,62	2,46	0,39	1,11	0,98	0,77	1,94	0,62	0,51	1,02	0,86	66,22	52,84	139,61	
	2	87,0912	0,2736	2,5506	86,5197	0,5809	3,5183	87,6865	0,4585	2,8506																		
	3	87,5185	0,3319	2,5334	86,5526	0,4433	2,9553	88,4153	0,5765	3,1156																		
	4	87,1671	0,5051	3,1023	87,1335	0,4342	3,018	88,3837	0,4891	2,8987																		
	5	87,1953	0,4035	2,9097	87,8708	0,301	2,5709	88,274	0,9894	2,9034																		
7	1	88,4019	0,4896	2,5119	86,5048	0,6153	2,7214	89,3477	0,4375	2,2301	88,74	0,42	2,20	1,28	3,04	3,86	1,87	0,73	1,80	1,89	1,93	0,43	0,65	1,10	23,96	34,60	57,29	
	2	89,4346	0,3425	1,8573	87,5121	0,4893	2,4529	89,2632	0,3874	2,3302																		
	3	89,2533	0,4101	1,9834	88,0655	0,3466	2,0484	89,4711	0,4846	2,2427																		
	4	88,3601	0,4677	2,0813	88,3176	0,29	2,1306	89,3914	0,4417	2,428																		
	5	88,8158	0,4007	1,9772	89,4337	0,2535	1,8709	89,5901	0,4197	2,1534																		
14	1	88,909	0,4773	2,5799	87,8976	0,485	2,5679	89,6306	0,4214	2,0636	89,31	0,37	2,08	1,75	4,44	4,17	2,43	0,82	2,25	2,66	2,39	0,33	1,01	1,06	14,64	37,87	44,39	
	2	89,6521	0,3673	1,8057	88,3746	0,3505	2,2485	90,0134	0,3272	2,1243																		
	3	89,7275	0,3409	1,892	88,7598	0,3548	1,8821	89,5731	0,4537	2,1689																		
	4	89,0308	0,4005	1,937	88,9947	0,2549	2,0313	89,8985	0,3729	2,1483																		
	5	89,3006	0,3943	1,8866	89,7968	0,2328	1,9203	90,0869	0,367	1,931																		
21	1	89,1308	0,4282	2,4813	88,3058	0,4431	2,692	89,8223	0,3548	2,0857	89,44	0,34	2,07	1,99	4,83	4,36	2,56	0,86	2,33	2,81	2,55	0,27	1,14	1,04	11,40	40,66	40,79	
	2	89,7118	0,3277	1,8068	88,8113	0,3578	2,2567	89,9484	0,2996	2,2188																		
	3	89,7878	0,2942	1,8774	88,7163	0,3106	2,0074	89,8872	0,4452	2,2271																		
	4	89,1564	0,4214	1,9116	88,8824	0,2277	1,932	90,2121	0,3415	1,9892																		
	5	89,1397	0,3136	1,8198	89,9072	0,2051	1,7806	90,2155	0,3278	1,9592																		
28	1	89,3822	0,4791	2,5407	88,0668	0,5585	2,8755	90,1331	0,4229	2,3168	89,52	0,42	2,30	2,23	4,57	4,62	2,56	0,89	2,46	2,71	2,49	0,27	1,04	1,24	10,99	38,46	49,88	
	2	89,9751</																										

REFERÊNCIA - ARG A210																											
dias	ponto	PLACA C1			PLACA C4			PLACA C21			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	C1	C4	C21			C1	C4	C21	C1	C4	C21	C1	C4	C21
0	1	90,2039	0,1977	2,5047	89,8406	0,459	3,3187	90,8417	0,452	2,7369	89,90	0,36	2,69	0,47	0,40	0,72	0,68	0,33	0,71	0,55	0,79	0,40	0,31	0,28	55,96	56,94	35,21
	2	90,423	0,1267	2,4149	90,52	0,2208	2,2655	89,6347	0,5004	2,9748																	
	3	87,5578	0,3468	2,3879	89,41	0,3006	2,0487	89,8078	0,3417	2,6609																	
	4	89,6157	0,3689	2,687	90,6945	0,1921	2,188	90,4979	0,3857	2,877																	
	5	88,7376	0,5188	3,5942	90,1591	0,4594	2,8188	90,6298	0,5055	2,9074																	
1	1	89,7533	0,3185	2,5464	89,4831	0,5413	3,1656	90,1653	0,6306	2,588	89,37	0,46	2,71	0,44	0,56	0,67	0,55	0,21	1,25	0,69	1,06	0,81	1,40	0,53	0,51		
	2	90,0093	0,2792	2,4395	89,9641	0,2627	2,214	89,239	0,5416	2,4303																	
	3	88,0998	0,4271	2,3058	89,6081	0,3759	2,0553	88,6558	0,5749	3,0874																	
	4	88,9413	0,4727	2,7505	89,6443	0,3083	2,155	89,6963	0,4989	2,8834																	
	5	87,5151	0,5994	4,2711	89,6689	0,5922	2,9802	90,139	0,4766	2,7791																	
7	1	92,0823	0,1535	1,8563	91,6388	0,1819	1,8473	92,2225	0,1678	2,1191	91,63	0,17	1,98	2,43	2,55	2,16	2,41	0,49	2,63	2,19	2,42	0,60	0,51	0,31	22,77	23,43	12,69
	2	92,4087	0,1729	1,8166	91,8148	0,1679	1,684	91,4316	0,1245	1,8696																	
	3	90,1237	0,2279	1,8192	90,9282	0,1623	1,5759	91,327	0,2635	2,4689																	
	4	91,3067	0,3528	2,0401	92,251	0,101	1,6786	92,2867	0,0121	2,129																	
	5	90,5532	0,213	2,2709	91,9127	0,1832	2,2368	92,1952	0,051	2,3554																	
14	1	90,7271	0,243	1,7896	90,8963	0,1903	1,6106	90,8552	0,2666	1,8671	90,27	0,24	1,92	1,24	1,13	1,06	1,25	0,68	0,85	1,25	0,94	0,64	0,42	64,04	64,04	33,20	
	2	90,9547	0,2474	1,63	90,577	0,2081	1,9339	89,5882	0,2224	1,7231																	
	3	88,3594	0,3846	2,0585	89,8031	0,1784	1,461	90,236	0,2402	2,2045																	
	4	90,1334	0,4052	1,7924	90,4439	0,1459	1,7985	91,0747	0,1223	2,147																	
	5	89,5419	0,2427	2,1647	89,9298	0,3338	2,45	90,9098	0,1679	2,1799																	
21	1	88,8936	0,2702	1,8279	90,7163	0,1757	1,5996	91,366	0,2642	1,9048	89,98	0,21	1,92	1,12	2,03	1,43	1,40	0,77	1,81	1,03	1,37	1,10	0,58	0,40	60,60	56,34	29,05
	2	87,6225	0,3826	1,7017	90,7356	0,2266	2,0444	89,6762	0,1502	1,8983																	
	3	88,1816	0,25	1,7333	89,5519	0,2123	1,5545	90,2631	0,1937	2,2979																	
	4	90,1054	0,2802	1,8168	90,4022	0,163	1,8957	91,0673	0,0775	2,1805																	
	5	89,9014	0,172	1,9753	90,2007	0,2463	2,2178	91,0909	0,1359	2,1431																	
28	1	89,8223	0,2569	2,1206	91,072	0,237	1,8481	89,7014	0,3321	2,0372	90,42	0,25	2,13	0,44	2,09	1,78	1,32	0,70	1,48	1,25	1,23	1,14	0,48	0,38	76,96	38,71	31,12
	2	91,3461	0,1957	1,7464	90,8039	0,2457	2,293	90,0049	0,224	1,8649																	
	3	88,4469	0,2864	2,0055	90,5317	0,171	1,5627	90,2536	0,3461	2,6196																	
	4	90,5582	0,345	2,1017	90,8574	0,2153	2,1296	91,1456	0,1425	2,3759																	
	5	90,047	0,2261	2,3276	90,5204	0,2926	2,4473	91,1709	0,2283	2,4127																	
56	1	89,4528	0,238	2,6542	91,1547	0,1729	2,1345	91,5272	0,1764	2,4524	90,54	0,19	2,50	0,33	2,00	1,44	1,33	0,75	1,39	1,18	1,42	1,21	0,52	0,46	86,95	43,84	32,27
	2	91,2815	0,1744	2,0623	90,9263	0,1977	2,6153	90,1492	0,1652	2,2445																	
	3	87,9938	0,2758	2,3381	90,284	0,1618	1,8884	90,5041	0,2859	3,0302																	
	4	90,9209	0,1935	2,7088	90,9814	0,1381	2,0566	91,5096	0,0975	2,673																	
	5	90,0901	0,145	2,6399	90,3855	0,2705	3,0494	90,9695	0,1447	2,9545																	
84	1	91,3965	0,1225	2,9755	91,5316	0,1101	2,4102	91,8855	0,1329	2,9035	91,07	0,15	2,96	1,71	2,23	1,82	1,87	0,66	2,12	1,52	1,96	0,80	0,51	0,64	37,64	33,37	32,65
	2	91,7184	0,1089	2,5943	91,055	0,1741	2,8946	90,65	0,1233	2,6768																	
	3	89,5213	0,2225	2,7273	90,5301	0,1512	2,0937	90,7111	0,186	5,2824																	
	4	91,0988	0,1812	3,045	91,3053	0,1616	2,9587	91,633	0,0795	3,0531																	
	5	90,6502	0,1104	2,8616	90,9116	0,2162	2,8934	91,5212	0,0947	3,0685																	

REFERÊNCIA - ARG A30																											
dias	ponto	PLACA D1			PLACA D3			PLACA D20			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	D1	D3	D20			D1	D3	D20	D1	D3	D20	D1	D3	D20
0	1	85,4431	0,7036	4,1259	84,0048	0,9158	3,8179	83,9237	1,1666	5,5567	84,46	0,92	4,46	0,45	2,11	0,19	0,47	0,48	0,28	0,69	0,43	0,14	0,81	0,15	49,90	116,13	34,14
	2	85,3416	0,7872	4,2368	85,1901	0,904	4,2825	84,1674	0,9823	4,5203																	
	3	85,9096	0,6342	4,2595	84,7342	1,1018	5,0936	84,0019	1,0731	4,66																	
	4	86,6113	0,5958	3,9335	83,9664	1,1889	5,0426	81,148	1,1243	4,7																	
	5	86,1048	0,736	4,0035	85,4286	0,9442	4,8393	80,9593	0,9492	3,8848																	
1	1	85,8522	0,6289	3,9456	86,1114	0,801	3,723	84,058	1,2811	5,637	84,58	0,92	4,47	0,20	0,33	0,39	0,47	0,48	0,28	0,69	0,43	0,14	0,81	0,15	49,90	116,13	34,14
	2	85,1554	0,7241	4,2176	84,8831	0,9201	4,3932	84,5383	1,005	4,6528																	
	3	86,1323	0,5515	3,9496	84,1656	1,1239	5,0614	83,8442	1,2005	5,1355																	
	4	86,4288	0,5592	3,749	84,1858	1,1542	5,0911	81,4235	1,2173	5,0882																	
	5	86,0626	0,6742	3,927	85,4769	0,9131	4,6159	80,3986	0,9827	3,792																	
7	1	88,1902	0,5759	2,8408	86,6986	0,8844	3,6003	86,3917	0,9779	4,2351	86,19	0,83	3,57	2,59	0,61	2,74	1,88	0,71	1,66	1,58	2,40	0,84	0,62	0,43	50,60	39,07	17,79
	2	87,2931	0,6789	3,1767	86,5598	0,8665	3,2253	85,8213	0,8331	3,4488																	
	3	86,6528	0,7026	4,0209	85,3619	1,1372	4,4569	86,2946	0,9654	4,0398																	
	4	87,8245	0,551	3,064	85,9554	0,9568	4,0487	82,8986	0,9349	3,56																	
	5	87,0488	0,7138	3,204	86,9286	0,7666	3,5096	82,9651	0,9004	3,1541																	
14	1	87,658	0,6034	3,0689	87,6158	0,7643	2,7891	85,9296	1,063	4,5773	86,47	0,83	3,41	2,01	1,77	2,16	2,19	0,55	1,89	2,19	0,87	0,22	9,88	39,91	8,80		
	2	86,9032	0,7105	3,3403	88,1317	0,7106	2,6525	86,4023	0,8018	3,1585																	
	3	87,7544	0,6061	3,2862	86,2476	1,0885	4,4334	86,1539	0,9747	3,7812																	
	4	88,3446	0,5406	2,9242	85,8692	1,031	4,439	83,4563	0,9391	3,3638																	
	5	87,4291	0,7148	3,0262	86,3821	0,893	3,4223	82,7372	0,9523	2,9535																	
21	1	88,3268	0,5832	2,503	87,5735	0,7496	2,6805	85,587	1,071	4,3399	86,32	0,78	3,11	2,86	1,80	2,02	2,23	0,45	2,20	2,02	2,47	0,53	0,44	0,33	23,95	21,85	13,47
	2	87,3685	0,6731	2,7333	86,3857	0,8054	3,3203	86,4867	0,774	2,8577																	
	3	87,6546	0,5528	3,0293	85,6143	1,0482	4,4271	85,8389	0,9511	3,61																	
	4	87,9896	0,4711	2,59	85,8661	0,921	3,8163	83,3669	0,847	3,0158																	
	5	87,0734	0,543	2,5146	87,3998	0,7475	2,6355	82,2836	0,8918	2,5329																	
28	1	87,479	0,5875	2,6002	87,099	0,7286	2,7303	85,4817	1,0697	4,7141	85,37	0,79	3,18	2,11	1,40	1,71	1,87	0,65	1,72	1,61	2,29	0,56	0,51	0,75	32,62	31,91	32,67
	2	86,7028	0,6759	2,883	86,2265	0,7914	2,9611	86,1543	0,7827	2,9079																	
	3	87,6235	0,4317	2,4179</																							

REFERÊNCIA - ARG A35																												
dias	ponto	PLACA E2			PLACA E4			PLACA E34			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)			
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	E2	E4	E34			E2	E4	E34	E2	E4	E34	E2	E4	E34	
0	1	88,4048	0,6382	3,3765	86,3223	0,6569	3,7483	88,9564	0,576	3,2768	87,05	0,65	3,49															
	2	88,5475	0,541	2,8078	86,0567	0,6059	3,5657	84,477	0,8654	4,2282																		
	3	88,1837	0,565	2,9246	83,7506	0,7785	4,0862	87,1034	0,6532	3,6334																		
	4	87,8421	0,6006	3,0516	87,2876	0,6151	3,654	86,3534	0,8579	4,0743																		
	5	88,1988	0,5117	2,827	86,2338	0,6957	3,8702	88,0287	0,6256	3,2863																		
1	1	89,007	0,5558	3,0431	87,3012	0,6239	3,5084	86,7331	0,7775	3,8716	88,09	0,60	3,37	0,69	1,01	2,31												
	2	89,4227	0,511	2,9366	87,2496	0,5768	3,4209	89,0023	0,6084	3,3991							0,89	1,20	4,61									
	3	88,5984	0,5709	3,0077	86,3044	0,5488	3,8618	88,1806	0,6208	3,2757							0,42	2,60	1,14									
	4	88,9322	0,5469	3,1288	87,8527	0,5697	3,6047	87,8284	0,7379	3,7966							1,09	0,57	1,51					0,79	1,64	41,55	54,82	83,24
	5	88,5864	0,5304	2,9992	88,0526	0,6251	3,54	88,3254	0,6539	3,318							0,42	1,85	0,30									
7	1	90,9292	0,3984	1,7608	88,6988	0,496	2,581	89,7449	0,6182	2,6819	90,04	0,47	2,17	2,32	1,68	3,24												
	2	91,0627	0,3715	1,7192	89,166	0,499	2,2585	90,766	0,4702	2,1736							2,05	2,24	2,15									
	3	90,3019	0,4433	1,8535	89,4051	0,4614	2,2983	90,4644	0,4692	2,1168							2,06	3,39	2,57									
	4	89,979	0,4424	1,2161	89,7996	0,4402	2,2572	89,9273	0,5795	2,4367							1,45	2,37	2,51									
	5	90,0356	0,4517	1,8765	90,0901	0,4963	2,3726	90,168	0,4464	2,0192							1,83	2,35	2,26									
14	1	91,1299	0,3678	1,6834	89,5365	0,4199	2,2752	89,9587	0,6217	2,6746	90,33	0,44	2,10	2,53	2,55	3,44												
	2	91,2446	0,3654	1,6937	89,3749	0,446	2,3032	91,1706	0,449	2,0199							2,21	2,40	2,57									
	3	90,4998	0,4442	1,8241	89,5173	0,373	2,1924	90,508	0,4836	2,1759							2,24	3,54	2,58									
	4	90,7532	0,3747	1,845	90,0578	0,432	2,2891	90,0665	0,5343	2,3498							2,23	2,57	2,67									
	5	90,478	0,4147	1,8358	90,2117	0,4961	2,3864	90,4336	0,4278	1,9674							2,22	2,45	2,51									
21	1	91,0606	0,4315	1,9297	89,3848	0,5101	2,4875	89,9205	0,689	2,8752	90,28	0,50	2,28	2,34	2,32	3,34												
	2	91,2189	0,4064	1,854	89,5352	0,4803	2,3556	90,9129	0,5007	2,3775							2,10	2,52	2,17									
	3	90,392	0,4789	1,9894	89,5434	0,4375	2,3684	90,3486	0,5589	2,3565							2,06	3,49	2,86									
	4	90,6615	0,4334	1,9971	90,0597	0,4875	2,3269	90,2959	0,561	2,4635							2,07	2,55	2,31									
	5	90,3135	0,4822	2,0682	90,178	0,552	2,5673	90,2997	0,4914	2,1447							1,96	2,34	2,30									
28	1	91,0693	0,4153	2,1124	89,6025	0,4667	2,493	90,1468	0,6625	2,8689	90,38	0,48	2,33	2,27	2,52	3,56												
	2	91,1912	0,4257	1,9352	89,569	0,4604	2,4816	91,0137	0,4653	2,3497							2,03	2,51	2,27									
	3	90,5754	0,4391	2,0518	89,5172	0,4371	2,3691	90,4399	0,5455	2,4491							2,20	3,46	2,41									
	4	90,49	0,4317	2,0675	90,428	0,4474	2,265	90,1574	0,5722	2,5686							1,89	2,91	2,64									
	5	90,9396	0,4276	2,0382	90,3602	0,5256	2,6043	90,2093	0,5342	2,2272							2,54	2,49	2,18									
56	1	90,2483	0,4595	2,4649	88,8361	0,5262	2,885	90,2344	0,674	3,2729	90,23	0,51	2,73	1,37	1,66	3,55												
	2	91,2401	0,3895	2,4109	89,3267	0,4965	2,9131	91,0029	0,4993	2,8631							1,90	2,14	2,07									
	3	90,3842	0,495	2,5457	89,8041	0,4616	2,7201	90,4616	0,5706	2,8203							1,85	3,63	2,33									
	4	90,4023	0,4324	2,3902	90,217	0,45	2,7009	90,4145	0,5891	2,8647							1,65	2,53	2,75									
	5	90,8689	0,4056	2,4439	90,1533	0,5914	2,9583	89,92	0,5548	2,7099							2,35	2,18	1,71									
84	1	91,0219	0,3569	2,7336	89,781	0,4009	3,0361	90,3951	0,5791	3,4741	90,27	0,39	2,86	2,05	2,53	3,69												
	2	91,2957	0,2812	2,6559	89,3987	0,4431	3,0882	90,5899	0,4588	3,2774							1,91	1,18	1,60									
	3	90,6731	0,3423	2,6964	89,7681	0,3211	2,7826	90,5799	0,4583	2,8777							2,11	3,58	2,44									
	4	90,2378	0,3373	2,607	90,236	0,3107	2,4085	89,7701	0,4603	3,0819							1,42	2,68	2,09									
	5	90,2186	0,2616	2,4213	90,0661	0,4226	2,9373	90,0339	0,3846	2,7966							1,75	2,11	1,81									

REFERÊNCIA - ARG A310																												
dias	ponto	PLACA F8			PLACA F15			PLACA F33			Médias			delta E			média delta E	desvio	média delta E			desvio delta E			coef. Variação (%)			
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	F8	F15	F33			F8	F15	F33	F8	F15	F33	F8	F15	F33	
0	1	88,8151	0,3182	2,6558	87,8228	0,6947	3,1945	86,5281	0,7308	3,4216	88,22	0,50	2,72															
	2	89,9823	0,2868	1,9499	89,7706	0,3556	1,883	86,6925	0,7498	3,6629																		
	3	89,2502	0,3289	2,3048	87,174	0,5593	2,8605	87,2811	0,5875	3,1211																		
	4	88,8782	0,4172	2,0788	88,2993	0,5638	2,805	86,722	0,5268	3,2083																		
	5	89,1956	0,3381	2,0718	89,6703	0,3851	2,1872	87,2648	0,6033	3,4097																		
1	1	88,5749	0,5473	2,7685	87,7301	0,857	3,0051	86,361	0,9015	3,3362	88,10	0,64	2,71	0,35	0,27	0,25												
	2	89,7252	0,4649	2,0064	90,2429	0,4932	1,6559	86,0423	0,7701	3,8517							0,32	0,38	0,68									
	3	89,0423	0,5658	2,2145	89,0795	0,6559	2,5513	86,9705	0,7151	3,1763							0,33	0,35	0,34									
	4	89,0437	0,5545	2,1295	88,1635	0,6784	3,0364	86,3729	0,7859	3,3399							0,22	0,29	0,45									
	5	89,2054	0,49	2,0724	89,7188	0,5088	2,2131	87,1644	0,6561	3,3646							0,15	0,14	0,12									
7	1	89,7964	0,4517	1,8039	88,4647	0,7639	2,5041	88,3618	0,6928	2,3742	89,25	0,51	2,07	1,56	0,89	2,23												
	2	91,1578	0,3362	1,1644	90,5994	0,473	1,4087	88,0557	0,6766	2,9667							1,67	0,57	2,20									
	3	89,8908	0,4742	1,7102	88,0644	0,5819	2,3141	88,1056	0,5977	2,5716							0,99	0,81	1,29									
	4	89,5444	0,4096	1,6157	89,6549	0,5321	2,0673	87,1471	0																			