XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Comparação da eficiência da escovação na rápida mudança de cor em parede externa pela aplicação de dispersão de nano-TiO_2 e de solução de NaClO

Comparison of color change efficiency in external wall by application of nano-TiO_2 dispersion and NaClO solution

Roberta Picanço Casarin
NORIE/UFRGS | Porto Alegre | Brasil | robertapcasarin@gmail.com
Fernanda Pujol Boessio
NORIE/UFRGS | Porto Alegre | Brasil | fe.pboessio@gmail.com
Giovanna Caroline Aschebrock
NORIE/UFRGS | Porto Alegre | Brasil | giovannacaroline21@gmail.com
Angela Borges Masuero
NORIE/UFRGS | Porto Alegre | Brasil | angela.masuero@ufrgs.br
Denise Carpena Coitinho Dal Molin
NORIE/UFRGS | Porto Alegre | Brasil | dmolin@ufrgs.br

Resumo

A degradação através de manchamentos dos revestimentos das edificações é recorrente nos centros urbanos, devido à poluição do ar. Visando tal problemática, este trabalho busca a comparação da eficiência da limpeza rápida por escovação pelas aspersões de nano-TiO_2 e de solução de NaClO em revestimento argamassado com pintura acrílica branca em prédio localizado em Porto Alegre. As aplicações foram realizadas em locais com e sem limpeza prévia do revestimento. A metodologia de análise baseou-se em espectrofotometria e análise de imagem por software. Os resultados indicam a maior mudança de cor no tratamento com TiO_2, seguido de NaClO, ambos com limpeza prévia.

Palavras-chave: TiO_2. Hipoclorito de sódio. Autolimpeza. Manchamento. Mudança de cor.

CASARIN, R. P.; BOESSIO, F. P.; ASCHEBROCK, G. C.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C. Comparação da eficiência da escovação na rápida mudança de cor em parede externa pela aplicação de dispersão de nano-TiO_2 e de solução de NaClO. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-16.

Abstract

The degradation of building coatings through stains is common in urban centers, mainly due to air pollution. Aiming at such problem, this work seeks to compare the efficiency of cleaning by brushing through the spraying of nano-TiO_2 and a solution of NaClO in mortar coating with white acrylic paint in a building located in Porto Alegre. The applications were carried out in places with and without previous cleaning by brushing. The analysis methods used were spectrophotometry and software image analysis. The results indicate the greatest color change in the treatment with TiO_2, followed by NaClO, both with previous cleaning.

Keywords: TiO_2. Sodium hypochlorite. Self-cleaning. Staining. Color change.

INTRODUÇÃO

A poluição ambiental proveniente da urbanização encontra-se em crescimento exponencial e, consequentemente, acelera problemas relacionados à durabilidade e à estética das edificações. Concomitantemente às estratégias de redução de poluentes, a utilização de materiais com capacidade autolimpante pela fotocatálise é uma solução promissora para a redução de sujidades nos edifícios [1] e para a manutenção da vida útil. A atividade fotocatalítica do dióxido de titânio (TiO_2), ativada pela absorção da radiação ultravioleta (UV), tem viabilizado a autolimpeza de superfícies cimentícias e amenizado efeitos da poluição urbana [2].

A utilização de TiO_2 em materiais cimentícios possibilita a degradação de diversos compostos orgânicos e inorgânicos, agressivos às propriedades destes materiais e ao meio ambiente. Uma vez que o TiO_2 promove a reação de redução das partículas inerentes à superfície ou em torno dela (quando a mesma está sob ação da radiação solar), e apresenta propriedade hidrofílica, esse fotocatalisador pode ser utilizado para diversas funções, tais como: purificação do ar, autolimpeza de superfícies e como agente antiembaçante, antimicrobiano e anti-bioincrustante [3].

Os manchamentos em revestimentos de argamassa podem ser decorrentes de sujidades, umidade ou colonizações biológicas, sendo complexa, muitas vezes, a diferenciação entre os diferentes responsáveis [4]. Essa manifestação patológica é consequência da interação entre contaminantes como poeiras, fuligem e outras partículas poluentes, com as condições ambientais, volumetria e textura das fachadas [5]. Considerando os manchamentos como problemas corriqueiros nas grandes cidades, uma fachada com característica autolimpante viabiliza não apenas a redução dos custos de manutenção, como aumenta a durabilidade das edificações [6].

Atualmente, pesquisas analisaram o desempenho de argamassas de cimento branco ou de cal com TiO_2 e obtiveram significativos resultados da ação autolimpante pela influência de diversos fatores. Referente a diferentes acabamentos superficiais, nota-se que quanto maior a rugosidade das superfícies de argamassa, a autolimpeza torna-se mais difícil [6]. Já a respeito da capacidade autolimpante em diferentes inclinações, a de 45º mostrou-se mais eficaz, podendo ser atribuído ao recebimento direto da radiação solar e à facilidade de escorregamento da água da chuva [6].

Além disso, há trabalhos que avaliaram a ação do TiO_2 em argamassas pigmentadas, considerando a atribuição de cor esteticamente desejável. No entanto, há uma

lacuna de pesquisa acerca da durabilidade relacionada à estabilidade da cor em argamassas desse tipo, visto que os próprios pigmentos podem sofrer fotodegradação [7]. Ainda assim, é verificado que o TiO_2 é eficiente quanto à autolimpeza em argamassas coloridas [7].

Outro ramo, também avalia a eficiência da ação autolimpante em construções históricas e pintadas após um determinado período de aplicação. Neste sentido, verificou-se que a utilização do método de aplicação de 5% de TiO_2 por aspersão sobre a superfície do revestimento, mostrou-se positiva em um período de 935 dias, mesmo que o depósito superficial do fotocatalisador tenha sido lixiviado após 30 dias da aplicação [8].

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As fachadas das edificações são degradadas devido à diversos fatores como os agentes biológicos, a poluição atmosférica e, principalmente, os agentes climáticos como a chuva, a radiação solar e o vento, sendo a intensidade de degradação relacionada com as características do meio ambiente no qual a edificação se insere. Esses agentes afetam o desempenho e a vida útil das construções, além de influenciarem na frequência de manutenções necessárias [9]. Segundo Oliveira [10] que inspecionou 135 edificações na cidade de Porto Alegre (Brasil) e Pires *et al.* [11] que avaliou 105 fachadas em Lisboa (Portugal), a principal manifestação patológica encontrada em revestimentos de argamassa é o manchamento devido a deposição de sujidades, com origem tanto nos particulados presentes na atmosfera quanto na presença de umidade. Esses manchamentos prejudicam a aparência das edificações, mas também influenciam na sua durabilidade e nas condições de habitabilidade, como desempenho térmico, acústico, lumínico, estanqueidade, saúde e qualidade do ar [12].

Com vista a evitar o aparecimento desta manifestação patológica, pode-se utilizar materiais fotocatalíticos como o TiO_2. Este fotocatalisador, na sua fase cristalina anatase, é ativado pela radiação ultravioleta, acelerando as reações de oxirredução que degradam as partículas adsorvidas e, adicionalmente com uma característica hidrofílica que proporciona a completa molhagem da superfície, apresenta a propriedade de autolimpeza no plano em contato com a radiação solar com a posterior remoção das impurezas pela água da chuva [13, 14]. Paralelamente a ação autolimpante ocorre a degradação de poluentes tóxicos como os óxidos de nitrogênio (NOx) e os óxidos de enxofre (SOx), ambos provenientes da exaustão de veículos e indústrias, e compostos orgânicos voláteis (VOCs), pois durante as reações químicas são formados radicais altamente reativos que interagem com essas substâncias [15, 16, 17, 18]. Além disso, o uso do TiO_2 apresenta-se bastante efetivo nas funções antimicrobiana e anti-incrustante, restringindo e prevenindo o crescimento de microorganismos [15, 16, 19]

Ainda que existam diversos materiais que atuam como fotocatalisadores, tais como o óxido de zinco (ZnO) e o sulfeto de cádmio (CdS) [20], o TiO_2 apresenta elevada fotoatividade e é o semicondutor mais utilizado para a fotocatálise heterogênea (processo onde um catalisador semicondutor é ativado pela radiação UV, conduzindo

a uma reação química) [21], visto que apresenta menor toxicidade, alta estabilidade química e custo acessível [22], sendo apontado como um material que está próximo de ser um fotocatalisador ideal [23].

Os materiais construtivos também são naturalmente degradados por microorganismos, como bactérias, fungos e algas, que se proliferam formando biofilmes que causam problemas estéticos e danificam os materiais [19]. Conforme Guerra [19], as argamassas de revestimento são locais propícios para o desenvolvimento de microorganismos que, durante as suas atividades metabólicas, produzem e liberam oxidantes e ácidos orgânicos e/ou inorgânicos e causam pressões mecânicas devido ao crescimento de suas estruturas, resultando em danos físicos, químicos e estéticos.

A biodegradação é tratada utilizando diferentes métodos como por lavagem de alta pressão e biocidas ou, ainda, pode ser prevenida utilizando revestimentos com propriedades hidrofugantes ou fotocatalíticas, como o TiO_2 mencionado anteriormente [24]. O hipoclorito de sódio (NaClO), também conhecido como água sanitária, é um biocida oxidante comumente utilizado para a limpeza de materiais construtivos. De acordo com Romani *et al.* [24], o hipoclorito de sódio é um material barato e com rápida eficiência na remoção de vários tipos de microorganismos, como algas verdes filamentosas e cianobactérias, mas pode apresentar efeitos deletérios para metais ou pedras e pode ser prejudicial para a saúde humana, causando irritações na pele, e para o meio ambiente, sendo tóxico para organismos aquáticos devido a formação de compostos clorados.

Diante disso, pode-se verificar a consolidada eficiência da aplicação do dióxido de titânio e do hipoclorito de sódio contra o surgimento e a expansão da biodeterioração. Sendo assim, objetivou-se avaliar o emprego destes materiais com relação à rápida limpeza de manchamento de fachadas, pela eficiência na alteração de cor de uma fachada pintada de construção recente exposta ao microclima urbano da cidade de Porto Alegre/RS. A partir disso, a comparação de tratamentos foi realizada pela aplicação superficial por aspersão do TiO_2, com propriedades autolimpantes, e pela aspersão de hipoclorito de sódio, utilizado como biocida para a remoção de microorganismos – ambos os casos com e sem limpeza prévia do revestimento por escovação.

MATERIAIS E MÉTODOS

A aplicação dos agentes de limpeza foi feita em uma parte da fachada externa do último andar do prédio Salas de Aula do Campus Centro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na cidade de Porto Alegre/RS, que apresenta trechos de deterioração causada por depósitos de sujidade e particulados biológicos. O revestimento sobre o qual foram feitas as intervenções é composto de argamassa de camada única com pintura em tinta branca acrílica para textura, com agravados manchamentos oriundos de umidade e sujidades (Figura 1). Essa parede é externa e está localizada na posição geográfica 30°01'58.5"S 51°13'18.2"W, com orientação solar de 163° S, e recebeu insolação pelas manhãs durante o período do estudo.

Figura 1: Prédio em estudo com revestimento em argamassa e pintura acrílica texturizada



Nota: fachada sul (à esquerda); parede externa de intervenção que é prolongamento da fachada sul (à direita). Fonte: as autoras.

As intervenções realizadas foram feitas sobre quatro áreas posteriormente delimitadas na Figura 1 (à direita), de dimensões 29,7 cm x 21 cm. Cada uma dessas áreas recebeu um tipo de tratamento, sendo eles: aspersão de dióxido de titânio; aspersão de dióxido de titânio após limpeza por escovação à seco; aspersão de solução de hipoclorito de sódio; aspersão de solução de hipoclorito de sódio após limpeza por escovação à seco.

Para as superfícies que receberam escovações prévias à seco, o procedimento foi realizado utilizando escova simples de limpeza, em movimentos horizontais contínuos em faixa, de mesma intensidade, por 90 s (Figura 2). Para as aspersões de dióxido de titânio, foi utilizado o fotocatalisador em tamanho de nanopartícula, comercializado pela empresa Evonik com arranjo químico majoritariamente na fase anatase. A caracterização química e física desse fotocatalisador está apresentada no Quadro 1. As aspersões com TiO_2 foram feitas sobre a proporção de 10% do fotocatalisador sobre a massa de água deionizada, com mistura mecânica dos produtos por 30 s. Já para as aspersões da solução de hipoclorito de sódio, o produto comercial foi utilizado em sua forma comum, com as características do fabricante apresentadas no Quadro 2.

Figura 2: Escovação prévia em dois dos tratamentos e molde para medição com espectrofotômetro



Nota: escovação em movimentos horizontais (à esquerda); molde com 35 pontos posicionados no local de cada medição por espectrofotômetro portátil (à direita).
Fonte: as autoras.

Quadro 1: Características físico-químicas do TiO_2 utilizado

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

Fonte: informações do fabricante.

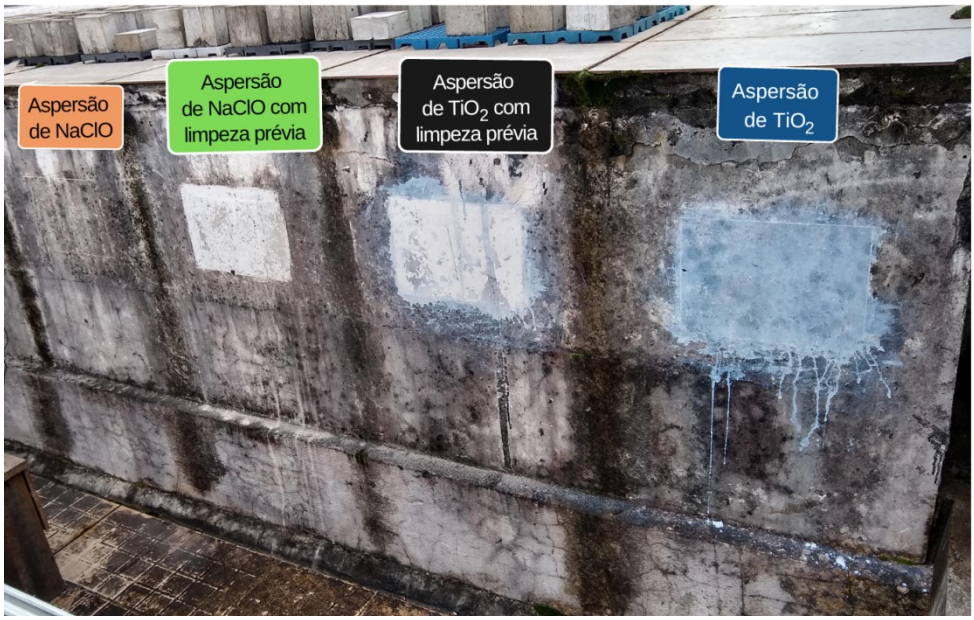
Quadro 2: Características do produto comercial de solução de hipoclorito de sódio

Composição	Teor de cloro ativo
Hipoclorito de sódio (princípio ativo)	2,0 – 2,5% p/p
Estabilizante	-
Água	-

Fonte: informações do fabricante.

Ambas as aspersões foram realizadas por meio de pistola elétrica para pintura, de maneira a se manter a homogeneidade das aplicações - com distância fixa de 30 cm das áreas e movimentos horizontais contínuos em faixas. As áreas em análise estão apresentadas na Figura 3 (foto após a aplicação).

Figura 3: Áreas de análise imediatamente após os tratamentos



Nota: tratamentos identificados na figura.
Fonte: as autoras

Os métodos de análise da mudança de cor foram realizados por espectrofotometria e por análise de imagem com auxílio do *software* gratuito ImageJ, e os registros foram realizados nos seguintes períodos: (i) antes dos tratamentos; (ii) 1 dia após os tratamentos; (iii) 2 dias após os tratamentos; (iv) 5 dias após os tratamentos. O primeiro método foi realizado com uso de espectrofotômetro portátil, modelo Konica Minolta CM 2500d, em 35 pontos previamente delimitados em gabarito e posicionados de forma idêntica em todas as medições (Figura 2, à direita). As medições por espectrofotometria dão resultados numéricos relativos às coordenadas cromáticas de cor. Essas características são medidas de acordo com as definições feitas pela Comissão Internacional da Iluminação (CIE), o sistema/espaço de cor CIELab. Nesse sistema a cor é representada por três valores [25]:

a) L*: luminosidade (ou brilho), que varia de 0 (preto) a 100 (branco);

b) a* e b*: coordenadas cromáticas que indicam a intensidade da cor em um plano bidimensional, sendo que a* varia de verde (-a) a vermelho (a+) e b* varia de azul (-b) a amarelo (+b).

A variação da cor no tempo, simbolizada por ΔE, é a medida da distância entre dois pontos: a cor no tempo t (tempo final) e a cor no tempo t_0 (tempo inicial). Essa distância fornece uma avaliação global da mudança de cor percebida pelo olho humano e é expressa pela Equação 1. Também foram realizadas análises somente sobre a variação de L, já que os pontos observados estão bastante situados dentro do intervalo de variação das cores branco e preto (Equação 2). As variações de a e b estão apresentadas nas Equações 3 e 4.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$ (Equação 1)

$$\Delta L = L_f - L_0$$ (Equação 2)

$\Delta a = a_f - a_0$ (Equação 3)

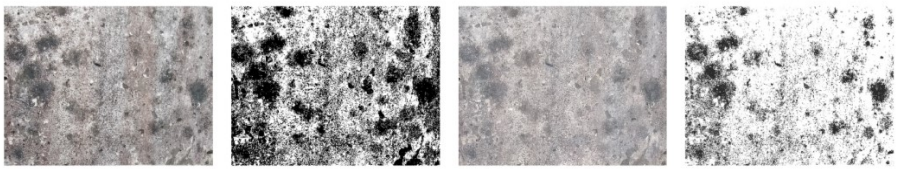
$\Delta b = b_f - b_0$(Equação 4)

O tempo inicial apresentado com índice “0” se refere à primeira medição (antes das intervenções) e os tempos finais, apresentados com índice “f”, variaram entre os períodos de medição (após 1, 2 e 5 dias da intervenção).

A análise de imagens através do uso do *software* ImageJ foi realizada a partir de registros fotográficos com câmera de 12 megapixels, resolução de 4000 x 3000 *pixels*, *flash* do tipo LED HDR e estabilização digital, e seguiu a metodologia apresentada por CASARIN [6]. Nessa metodologia os registros fotográficos são transformados para o formato 8 *bit* (cores preta e branca), e é feita uma compilação numérica sobre a área de pixels brancos e pretos em cada período de medição – fornecendo uma análise quantitativa sobre o clareamento das amostras. O programa seleciona automaticamente as áreas manchadas após a transformação da figura para tons de cinza (formato 8-bit), e a intensidade dessa seleção (*threshold*), que pode ser controlada, foi definida para cada uma das imagens, em uma faixa que varia do 0 ao 255, de acordo com recomendações do *software*. A Equação 5 apresenta o cálculo para obtenção da taxa de autolimpeza com os parâmetros descritos e a Figura 4 mostra o detalhamento da análise de imagem em um trecho desse estudo.

$$Taxa\ de\ autolimpeza = \left(1 - \frac{n°\ de\ pixels\ pretos\ no\ último\ dia\ de\ medição}{n°\ de\ pixels\ pretos\ na\ condição\ inicial}\right) \times 100\% \text{ (Equação 5)}$$

Figura 4: Exemplo de análise em imagens com o software ImageJ em seção da parede com aplicação de dispersão de TiO_2



(a) (b) (c) (d)

Nota: (a) foto da área na sua condição inicial, sem tratamento; (b) imagem de (a) tratada no software para quantificação de pixels pretos; (c) foto da mesma área após 5 dias da aplicação de aspersão de TiO_2; (d) imagem de (c) tratada no software para quantificação de pixels pretos
Fonte: as autoras.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISES POR ESPECTROFOTOMETRIA

As amostras foram analisadas inicialmente pela variação na coordenada de luminosidade L, obtida pelas medições com espectrofotômetro portátil. Essa variável apresenta-se como relevante a ser analisada por si só visto que a maioria das mudanças de cores observadas encontra-se no espectro de cor entre branco e preto. A Tabela 1 apresenta as médias dos 35 pontos analisados para cada tratamento e para cada período de dias, sendo o Dia 0 a condição original, prévia às intervenções. A escala do espectro de cores L varia de 0 (cor preta) à 100 (cor branca).

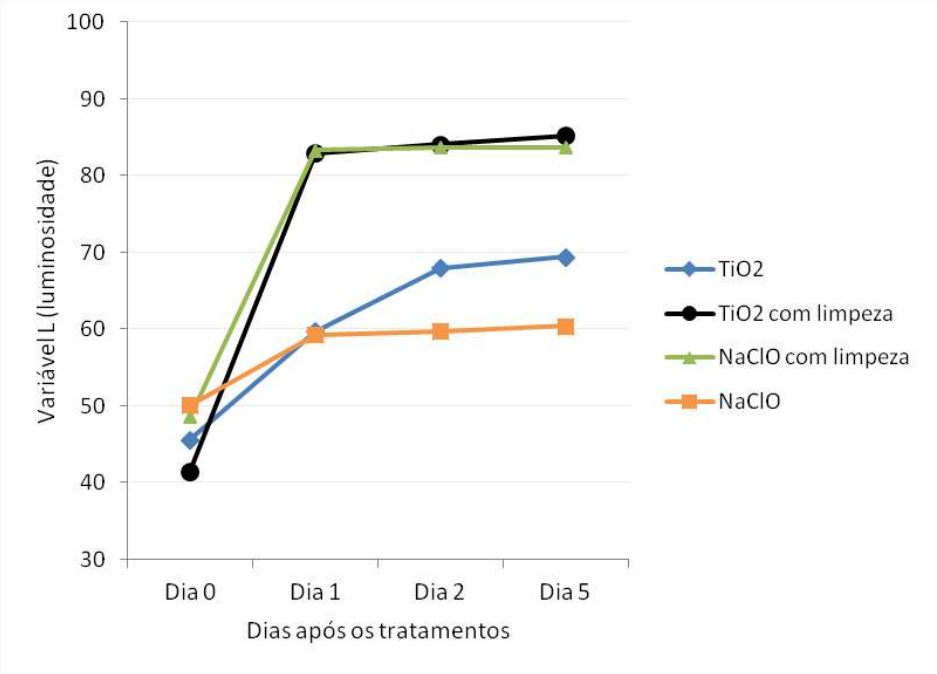
Tabela 1: Médias da variável L (luminosidade), por espectrofotometria

Estilo	Dia 0	Dia 1	Dia 2	Dia 5
TiO_2	45,58	59,71	68,00	69,38
TiO_2 com limpeza	41,46	82,91	84,06	85,24
NaClO com limpeza	48,53	83,27	83,62	83,70
NaClO	50,05	59,28	59,69	60,39

Fonte: as autoras.

Observou-se uma maior variação de luminosidade nas amostras que tiveram limpeza prévia aos tratamentos, tanto para a aplicação de TiO_2 quanto para a aplicação de NaClO. Os resultados mostram, também, um comportamento quase linear e crescente de aumento de luminosidade nos primeiros 3 dias para a amostra que recebeu somente a aplicação de TiO_2 - enquanto que para os outros três tipos de tratamento essa luminosidade permanece praticamente constante após o Dia 1 (Figura 5).

Figura 5: Comportamento da variável L ao longo do período considerado



Fonte: as autoras.

Quando se analisa a variação de cor global, através do cálculo de ΔE com o tempo inicial considerado o Dia 0 (condição normal, prévia às intervenções), é possível perceber valores de ΔE superiores para o tratamento que recebeu aspersão de TiO_2 com prévia limpeza (Tabela 2). Em segundo lugar, se observa maiores variações de cor para o tratamento de NaClO com limpeza prévia (Figura 6).

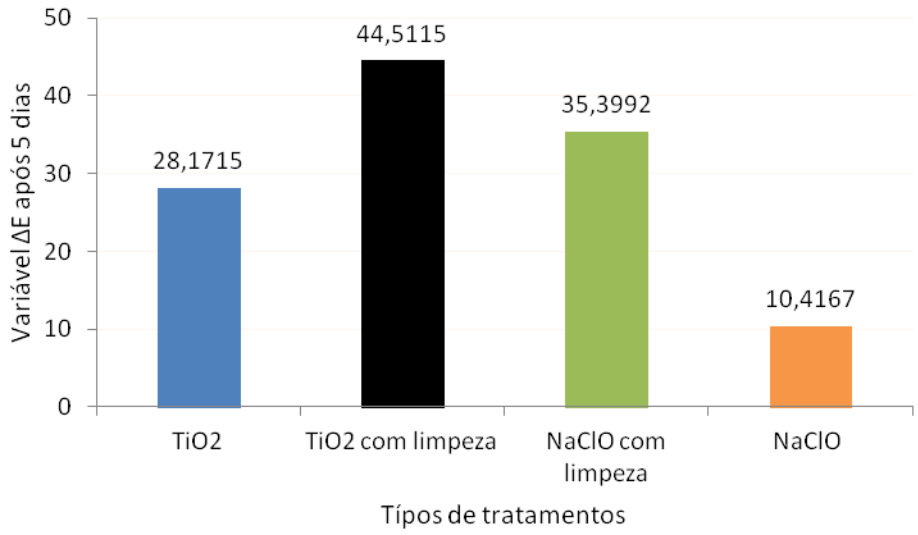
Tabela 2: Médias da variável ΔE (mudança de cor global), por espectrofotometria

Estilo	Dia 1	Dia 2	Dia 5
TiO_2	23,66	27,44	28,17
TiO_2 com limpeza	42,51	43,30	44,51
NaClO com limpeza	34,95	35,31	35,39
NaClO	9,56	9,79	10,41

Fonte: as autoras.

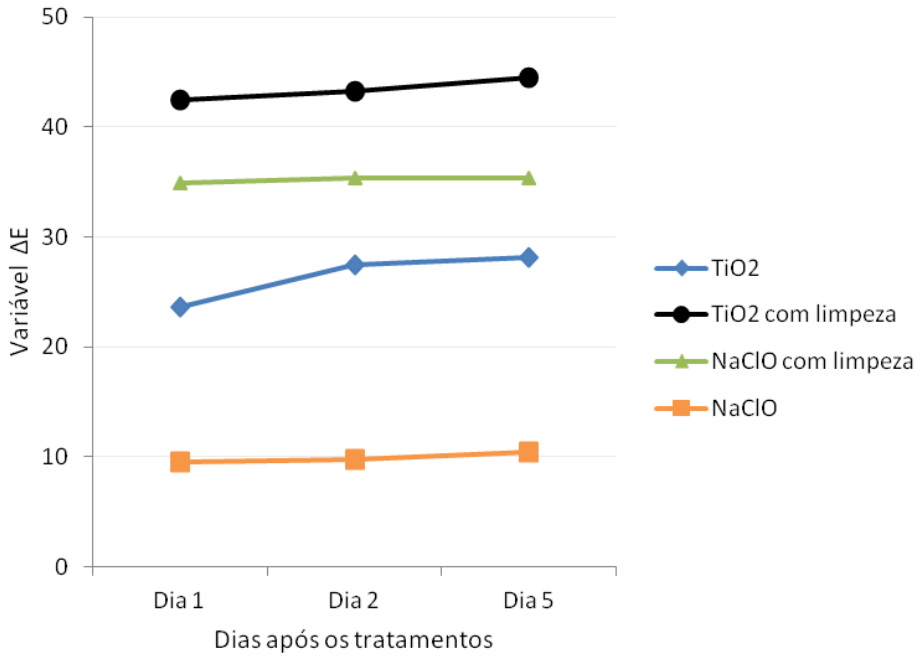
Na Figura 7 é possível perceber também a tendência de aumento na mudança de cor para a área que recebeu apenas TiO_2 como tratamento - evidenciando o possível efeito de autolimpeza ocorrendo através das reações que necessitam da luz UV constante.

Figura 6: Comportamento médio da variável ΔE após 5 dias, em relação à condição original (prévia às intervenções)



Fonte: as autoras.

Figura 7: Comportamento médio da variável ΔE ao longo do período considerado



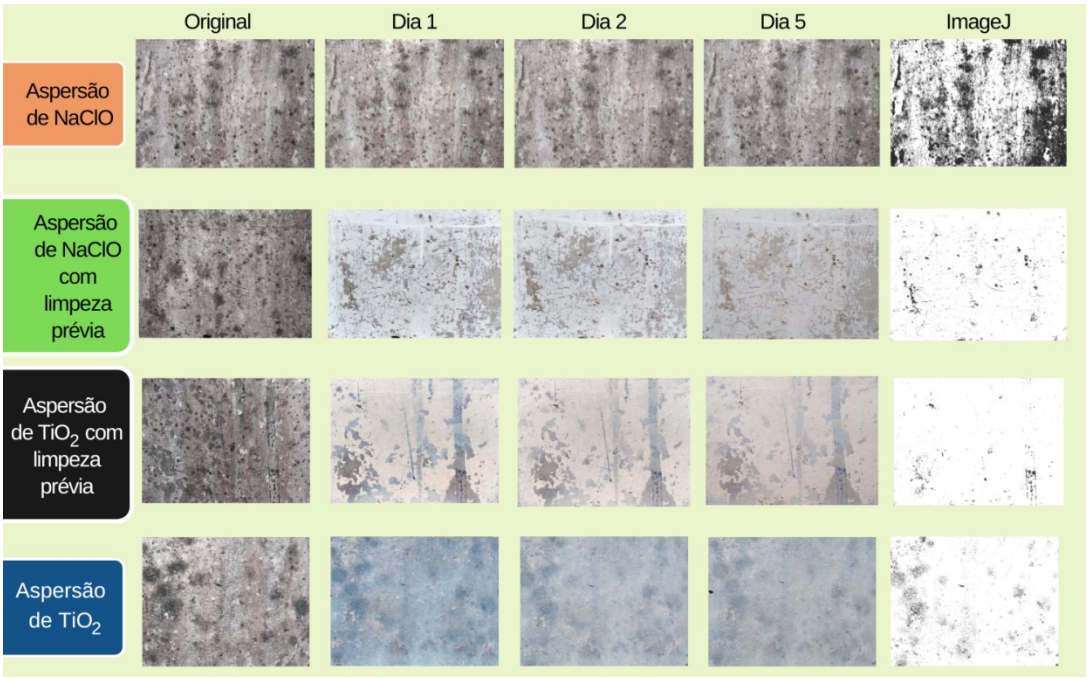
Fonte: as autoras.

É importante também ressaltar que, segundo Mokrzycki e Tatol [26], para valores de ΔE superiores a 5, um observador comum já observa a olho nu uma significativa diferença de cor. Assim, de acordo com as médias apresentadas, para todos os tratamentos essa condição de mudança de cor se verifica, sendo bem mais significativa para as áreas que receberam limpeza seguida da aspersão do fotocatalisador.

ANÁLISE DE IMAGENS COM AUXÍLIO DE SOFTWARE

Os resultados das análises de imagens podem ser observados na Figura 8, e os cálculos de limpeza com base nas áreas e com auxílio do *software* ImageJ estão apresentados na Tabela 3 e na Figura 9. A característica *threshold* mostrada na Tabela 3 se refere à área de pixels pretos que deve ser delimitada manualmente pelo operador no uso do *software*.

Figura 8: Registro fotográfico e análise de imagens por software



Nota: a primeira coluna mostra as fotos originais das áreas, prévias ao tratamento; as colunas com "Dia" identificam o número de dias após os tratamentos; a última coluna mostra a transformação das imagens para os formatos 8 bit e faixas do espectro de cores 0 e 255 (preto e branco).

Fonte: as autoras.

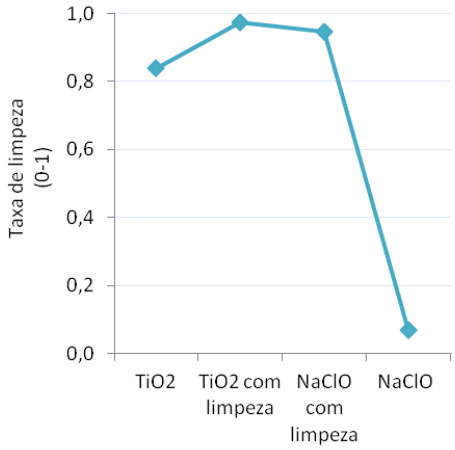
Tabela 3: Taxas de autolimpeza pela análise de imagem com *software*

	Antes dos tratamentos			Após os tratamentos			
Tratamento	Área de pixels	*Threshold*	Área de pixels pretos (A)	*Threshold*	Área de pixels pretos (B)	1-(B/A)	Taxa de limpeza
TiO_2	2756051	120	605473	150	29549	0,8390	83,90%
TiO_2_limp	2849427	120	1109083	130	97470	0,9734	97,34%
NaClO	2649294	120	1035198	140	96578	0,0671	6,71%
NaClO_limp	2721750	120	1079264	135	58580	0,9457	94.57%

Nota: os tratamentos identificados com "_limp" se referem às áreas que tiveram limpeza por escovação prévia.

Fonte: as autoras.

Figura 9: Comportamento da taxa de limpeza por *software* ImageJ de análise de imagens, após 5 dias



Fonte: as autoras.

Pelos resultados dessa análise pode-se perceber um comportamento de maior limpeza na área que recebeu o tratamento com escovação prévia e aplicação de TiO_2, com uma taxa muito próxima ao do tratamento com escovação e aspersão de NaClO. A aspersão de somente TiO_2 também apresentou uma taxa de autolimpeza elevada nessa análise, sendo que a aplicação de NaClO sem escovação prévia foi a única que teve taxa de diminuição de pixels pretos reduzida (comportamento que se verifica também visualmente na Figura 8). Esses resultados apontam para uma diferença significativa nos tratamentos de fachadas que recebem limpeza por escovação prévia.

Os resultados oriundos dessa metodologia de análise são consolidados na literatura internacional, e apresentaram resultados similares aos obtidos para revestimentos de cal com adição de TiO_2 [27] e em concretos com manchamento por Rodamina B [28]. Além disso, os dados apresentam tendência similar à observada pelas análises com espectrofotômetro.

CONCLUSÃO

A partir da análise de resultados, se observou um comportamento de maior limpeza nas áreas que receberam o tratamento com nano-TiO_2 após escovação. Esses resultados estão de acordo com outros estudos já realizados sobre aspersões de TiO_2 em prédios históricos [8] e biodegradação [19], e certificam a ação autolimpante pela aspersão do fotocatalisador.

A segunda maior mudança de cor foi observada no tratamento com NaClO após escovação prévia – evidenciando que o uso dessa solução, comum para limpezas gerais, é eficiente para uma limpeza rápida. Cabe-se ressaltar, no entanto, que a mudança de cor é muito reduzida quando se aplica a solução de NaClO sem a escovação prévia do revestimento.

Quanto ao comportamento da aspersão de TiO_2 isoladamente, é possível verificar mudanças de cores também significativas, e a possível eficiência das reações

fotocatalíticas. Isto porque a variável ΔL (luminosidade) apresentou aumento expressivo em cada medição feita ao longo do período considerado.

Assim, conclui-se que para uma rápida limpeza de parede externa revestida com pintura acrílica – uma lacuna de pesquisa nessa área, os tratamentos com escovação à seco seguidos da aplicação de aspersão de nano-TiO_2 ou de solução de NaClO são os mais eficientes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos pelo apoio e financiamento pelo CNPq e FAPERGS; também à infraestrutura do laboratório LAMTAC/NORIE; e ao programa de pós-graduação PPGCI/UFRGS.

REFERÊNCIAS

[1] SASSONI, E.; D'AMEN, E.; ROVERI, N.; SCHERER, G. W.; FRANZONI, E. Durable Self-Cleaning Coatings for Architectural Surfaces by Incorporation of TiO_2 Nano-Particles into Hydroxyapatite Films. **Materials**, v. 11, n. 2, 177, 2018.

[2] DIAMANTI, M. V.; DEL CURTO, B.; ORMELLESE, M.; PEDEFERRI, M. P. Photocatalytic and self-cleaning activity of colored mortars containing TiO_2. **Construction and Building Materials**, v. 46, p. 167-174, 2013.

[3] FRANZONI, E.; FREGNI, A.; GABRIELLI, R.; GRAZIANI, G.; SASSONI, E. Compatibility of photocatalytic TiO_2-based finishing for renders in architectural restoration: A preliminary study. **Building Environment**, v. 80, p. 125-135, 2014.

[4] MEZENES, A.; GOMES, M. G.; FLORES-COLEN, I. In-situ assessment of physical performance and degradation analysis of rendering walls. **Construction and Building Materials**, v. 75, p. 283-292, 2015.

[5] PEREIRA, C.; SILVA, A.; DE BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factores in façade renders. **Construction and Building Materials**, v. 249, 118743, 2020.

[6] CASARIN, R. P. **Análise da eficiência da ação autolimpante em diferentes tipos de acabamentos superficiais de argamassas com adição de TiO_2**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

[7] BERSCH, J. D. **Photocatalytic activity, self-cleaning and durability from the aging perspective of pigmented mortars containing titanium dioxide (TiO_2)**. 2021. Dissertation (Master of Science in Civil Engineering) - Postgraduate Program in Civil Engineering: Construction and Infrastructure, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

[8] PIETROSKI, N. P.; GIORDANI, C.; GUERRA, F. L.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação da eficiência autolimpante de fachadas de edificações históricas após dois anos de aplicação da dispersão de dióxido de titânio (TiO_2). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS XIII, 2019, Goiânia. **Anais** [...], 2019, p. 665-673, ISSN 1984-8757.

[9] PIAZZAROLLO, C. B. **Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada.** 2019. Dissertação (Mestrado em Estruturas e

Construção Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019.

[10] OLIVEIRA, C. S. P. **Análise crítica de experiências e discussão de estratégias para implantação de leis de inspeção de elementos de fachadas**. 2013. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

[11] PIRES, R.; DE BRITO, J.; AMARO, B. Statistical survey of the inspection, diagnosis and repair of painted rendered façades. **Structure and Infrastructure Engineering**: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, v. 11, n. 5, p. 1-14, 2014.

[12] DA SILVA, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada - Aplicação ao caso de Brasília/DF**. 2014. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.

[13] POZO-ANTONIO, J. S.; DIONÍSIO, A. Physical-mechanical properties of mortars with addition of TiO2 nanoparticles. **Construction and Building Materials**, v. 148, p. 261-272, 2017.

[14] HAMIDI, F.; ASLANI, F. TiO2-based Photocatalytic Cementitious Composites: Materials, Properties, Influential Parameters and Assessment Techniques. **Nanomaterials**, v. 9, 1444, 2019.

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

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

[17] GUO, Z. M.; CHEN, J.; XIA, M.; WANG, T.; POON, C. S. Pathways of conversion of nitrogen oxides by nano TiO2 incorporated in cement-based materials. **Building and Environment**, v. 144, p. 412-418, 2018.

[18] MORO C.; FRANCIOSO, V.; SCHRAGER, M. VELAY-LIZANCOS, M. TiO2 nanoparticles influence on the environmental performance of natural and recycled mortars: A lyfe cycle assessment. **Enviornmental Impact Assessment Review**, v. 84, 106430, 2020

[19] GUERRA, F. L. **valiação da eficiência de nanopartículas de TiO2 no controle do crescimento de fungos filamentosos deteriogênicos em argamassas históricas.**Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

[20] NATH, R. K.; ZAIN, M. F. M.; JAMIL, M. An environment-friendly solution for indoor air purification by using renewable photocatalysts in concrete: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 1184-1194, 2016.

[21] MOZIA, S. On photocatalytic membrane reactors in water and wastewater treatment and organic synthesis. **Copernican Letters**, v. 6, p. 17-23, 2015.

[22] RIAZ, S.; PARK, S. An overview of TiO2-based photocatalytic membrane reactors for water and wastewater treatments. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 84, p. 23-41, 2020.

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

[24] ROMANI, M.; WARSCHEID, T.; NICOLE, L.; MARCON, L.; DI MARTINO, P.; SUZUKI, M. T.; LEBARON, P.; LAMI, R. Current and future chemical treatments to fight biodeterioration of outdoor building materials and associated biofilms: Moving away from ecotoxic and towards efficient, sustainable solutions. **Science of the Total Environment**, v. 802, 149846, 2022.

[25] KONICA MINOLTA. **What Is CIE 1976 Lab Color Space?** Konica Minolta Sensing Singapore Pte Ltda, 2018. Disponível em: https://sensing.konicaminolta.asia/what-is-cie-1976-lab-color-space/. Acesso em: 10 junho de 2022.

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

[27] GOFFREDO, G.; TERLIZZI, V.; MUNAFO; P. Multifunctional TiO_2-based hybrid coatings on limestone: Initial performances and durability over time. **Journal of Building Engineering**, v. 14, p. 134-149, 2017.

[28] ELIA, H.; GHOSH, A.; AKHNOUKH, A.; NIMA, Z. Using Nano- and Micro-Titanium Dioxide (TiO_2) in Concrete to Reduce Air Pollution. **Journal of Nanomedicine & Nanotechnology**, v. 9, p. 505, 2018.