

Avaliação da autolimpeza de argamassas de cal a partir de misturas com dióxido de titânio (TiO₂) e metacaulim.

C. M. Lasta^{1*} , A. S. Fonseca¹ , F. Tiecher² 

* Autor de Contato: charlesmichellasta@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v16i2.851>

Recebido: 04/07/2025 | Correções recebidas: 28/02/2026 | Aceito: 13/03/2026 | Publicado: 01/05/2026

RESUMO

Este estudo avaliou o desempenho de argamassas de cal modificadas com dióxido de titânio (TiO₂) e metacaulim (MK), com foco na resistência à compressão e capacidade de autolimpeza. Foram moldadas seis formulações distintas, testadas quanto à consistência, resistência mecânica e variação de cor após exposição ao intemperismo natural. Os resultados indicaram que o TiO₂ melhora tanto a autolimpeza quanto a resistência à compressão, com efeito estatisticamente significativo sobre a variação de cor (ΔE). A presença de MK não teve impacto imediato na resistência. A originalidade do estudo está na avaliação conjunta de TiO₂ e MK em argamassas de cal expostas a diferentes microclimas. Conclui-se que o TiO₂ contribui para o desempenho funcional das argamassas.

Palavras-chave: argamassa de cal; dióxido de titânio; fotocatalise; materiais de construção.

Citar como: Lasta, C. M., Fonseca, A. S., Tiecher, F. (2026), "Avaliação da autolimpeza de argamassas de cal a partir de misturas com dióxido de titânio (TiO₂) e metacaulim", Revista ALCONPAT, 16 (2), pp. 186 – 201, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v16i2.851>

¹ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Atitus Educação, Passo Fundo, Brasil.

² Professora Doutora, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Atitus Educação, Passo Fundo, Brasil.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho, os autores Lasta e Fonseca contribuíram com a realização dos ensaios, exposição das amostras, relatório fotográfico, confecção dos gráficos, e a redação do texto, configurando 50% cada autor nestas atividades. O programa experimental foi elaborado e orientado por Tiecher, que também foi responsável pelo uso dos equipamentos de medição e testes. A discussão dos resultados, conclusões e revisão do manuscrito foram feitas pelos três autores, com contribuição de aproximadamente 33% cada um dos três autores.

Licença Creative Commons

Copyright (2026) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no terceiro número do ano 2026, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2027.

Evaluation of self-cleaning lime mortars containing titanium dioxide (TiO₂) and metakaolin

ABSTRACT

This study evaluated the performance of lime mortars modified with titanium dioxide (TiO₂) and metakaolin (MK), with emphasis on compressive strength and self-cleaning capacity. Six different formulations were prepared and tested for consistency, mechanical strength, and color variation after exposure to natural weathering. The results indicated that TiO₂ improved both self-cleaning performance and compressive strength, with a statistically significant effect on color variation (ΔE). The presence of MK had no immediate effect on strength within the evaluation period. The originality of the study lies in the combined assessment of TiO₂ and MK in lime mortars exposed to different microclimatic conditions. It was concluded that TiO₂ contributes to the functional performance of mortars.

Keywords: lime mortar; titanium dioxide; photocatalysis; building materials.

Evaluación de la autolimpieza de morteros de cal a partir de mezclas con dióxido de titanio (TiO₂) y metacaolín

RESUMEN

Este estudio evaluó el desempeño de morteros de cal modificados con dióxido de titanio (TiO₂) y metacaolín (MK), con énfasis en la resistencia a la compresión y la capacidad autolimpiante. Se moldearon seis formulaciones distintas, que fueron ensayadas en términos de consistencia, resistencia mecánica y variación de color después de la exposición a la intemperie natural. Los resultados indicaron que el TiO₂ mejora tanto la autolimpieza como la resistencia a la compresión, con un efecto estadísticamente significativo sobre la variación de color (ΔE). La presencia de MK no tuvo un efecto inmediato sobre la resistencia. La originalidad del estudio radica en la evaluación conjunta de TiO₂ y MK en morteros de cal expuestos a diferentes microclimas. Se concluye que el TiO₂ contribuye al desempeño funcional de los morteros.

Palabras clave: mortero de cal; dióxido de titanio; fotocatalisis; materiales de construcción.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. +52 1 983 419 8241, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

A argamassa de cal é um dos materiais de construção mais antigos, amplamente utilizada em edificações e restaurações por sua compatibilidade com materiais históricos e sua simplicidade de aplicação, com poucas alterações ao longo dos séculos. Além disso, o uso de cimento em restauros é desencorajado, em muitos casos, devido aos danos irreversíveis que pode causar à matriz pétreia (Saeli et al., 2017). No entanto, o uso exclusivo de cal aérea apresenta desafios, como o longo tempo de cura e a baixa resistência à umidade e aos agentes atmosféricos, motivando pesquisas para novas formulações, mais adequadas às restaurações (Mattos e Gonçalves, 2019).

Uma alternativa é a adição de pozolanas, pois esses materiais melhoram as propriedades dos compósitos aglomerantes, aumentando a sua durabilidade e resistência mecânica, como demonstrado em construções históricas e tradicionais, incluindo aquedutos e pontes (Aggelakopoulou et al., 2011).

Com o aumento da poluição, especialmente em áreas urbanas, os materiais de construção sofrem e apresentam sinais mais precocemente de deterioração, como manchas escuras, causadas por fuligem de motores de veículos, resultando na perda do valor estético das edificações (Pozo-Antonio e Dionísio, 2017). Agentes ambientais, como umidade e radiação UV, também podem comprometer a durabilidade e aparência das argamassas, aumentando a necessidade de manutenção. Além disso, a qualidade do ar afeta diretamente a saúde das pessoas, sendo essencial o desenvolvimento de materiais autolimpantes e redutores de poluentes, que auxiliam na redução de emissões nocivas (Bhagyamma et al., 2023). Em paralelo, a utilização de materiais antimicrobianos e autolimpantes surge como uma solução promissora para mitigar o crescimento de microrganismos em superfícies, desestimulando a propagação de doenças em ambientes críticos (Ramadan et al., 2023).

Nesse contexto, o dióxido de titânio (TiO_2) destaca-se como um dos principais agentes fotocatalíticos utilizados para melhorar o desempenho de argamassas e concretos. A fotocatalise, processo ativado pela radiação solar ou UV, permite que o TiO_2 degrade poluentes e microrganismos, contribuindo, tanto para a autolimpeza, quanto para a melhoria da qualidade do ar (Bhagyamma et al., 2023). Além disso, o TiO_2 é valorizado por sua estabilidade química, biocompatibilidade e baixo custo, tornando-se um material promissor para aplicações que visam reduzir a poluição ambiental e os custos de manutenção (Saeli et al., 2017; Gutiérrez et al., 2020). Quando adicionado às argamassas, o TiO_2 também melhora a resistência mecânica e a durabilidade, especialmente em ambientes agressivos, como águas salinas e ácidas (Danial et al., 2019). Esses avanços indicam que o TiO_2 pode ser um componente importante na formulação de materiais de construção mais sustentáveis e eficientes.

Outra adição de destaque é o metacaulim (MK), uma pozolana conhecida por sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio, formando compostos que aumentam a resistência mecânica e a durabilidade de concretos e argamassas, além de contribuir para práticas construtivas mais sustentáveis devido à menor emissão de CO_2 durante sua produção, se comparado ao cimento Portland, por exemplo (Mattos e Gonçalves, 2019). Além disso, estudos mostram que a incorporação de MK em misturas contendo TiO_2 pode melhorar o desempenho fotocatalítico a longo prazo (Lara et al., 2023). O metacaulim, portanto, não só melhora a estrutura física da argamassa, como também potencializa os efeitos autolimpantes e de purificação do ar proporcionados pelo TiO_2 , sendo um componente promissor para o desenvolvimento de materiais mais eficientes e sustentáveis.

Este artigo visa avaliar a autolimpeza de argamassas de cal modificadas com Dióxido de Titânio (TiO_2) e Metacaulim (MK), analisando os impactos de cada aditivo nas propriedades funcionais e estéticas das argamassas. A pesquisa fornece dados comparativos sobre a eficácia dessas misturas,

destacando seu potencial para melhorar a durabilidade e reduzir a necessidade de manutenção em aplicações expostas a agentes poluentes.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O presente estudo objetiva avaliar o desempenho de argamassas de cal constituídas com metacaulim (MK) e dióxido de titânio (TiO₂) quanto à sua capacidade de autolimpeza e resistência à compressão. Para atingir o objetivo proposto foram preparadas seis composições distintas de argamassas, variando o teor de TiO₂ e MK, que serão apresentadas nos itens a seguir.

2.1 Materiais

Para o desenvolvimento do programa experimental desta pesquisa foram moldadas argamassas de areia e cal sem adição de TiO₂ e com adição de 5% e 10% de TiO₂, sobre a massa de cal. Também foi avaliada a adição de metacaulim nas misturas, nos teores de 5% e 10%. Na Tabela 1 estão descritas as composições avaliadas.

Tabela 1. Composições das argamassas.

Identificação da argamassa	Traço utilizado				Relação A/C
	Cal	MK	Areia	TiO ₂	
A01	1	-	4	-	0,9
A02	1	-	4	0,05	0,9
A03	1	-	4	0,10	0,9
A04	0,85	0,15	4	-	0,9
A05	0,85	0,15	4	0,05	0,9
A06	0,85	0,15	4	0,10	0,9

A Figura 1 apresenta o aspecto de cada uma das misturas testadas no estado fresco, onde observou-se que as argamassas adquiriram uma tonalidade mais branca quanto maior a adição de TiO₂.

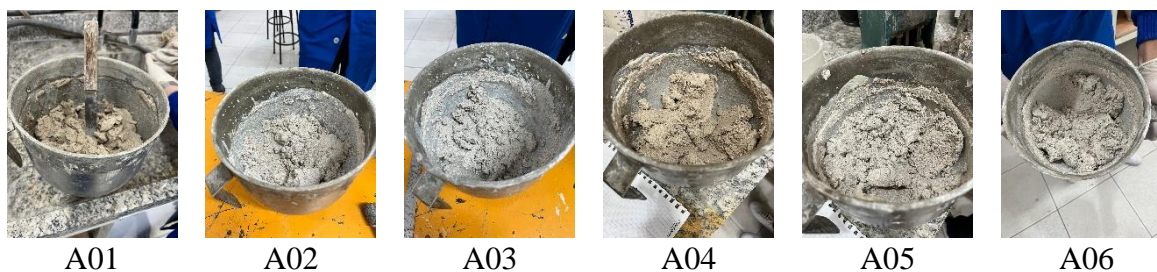


Figura 1. Misturas no estado fresco.

2.2 Preparo das argamassas e moldagem dos corpos de prova.

O processo de mistura foi realizado com argamassadeira de bancada, respeitando sempre a mesma ordem de mistura, de acordo com o indicado na NBR 7215 (ABNT, 1996).

Após a mistura foi realizado o teste de consistência, de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016), visando avaliar a trabalhabilidade e a fluidez das argamassas a partir da medida do seu espalhamento.

Na sequência foram moldados os corpos de prova (CPs) de dimensão 4 x 4 x 4 cm para avaliação da resistência à compressão. Foram preparados 06 corpos de prova (CPs) para cada tipo de argamassa para esta avaliação.

A avaliação da autolimpeza foi feita a partir de placas de argamassa de dimensão 10 x 10 x 2,5 cm, tendo sido moldada 01 placa por traço, totalizando 06 placas. Reconhece-se que esta abordagem, embora forneça dados quantitativos sobre a variação de cor, apresenta limitações quanto à representatividade estatística por utilizar uma única amostra por formulação. Os resultados devem ser interpretados considerando esta limitação metodológica. O processo de mistura seguiu as seguintes etapas:

1. Os CPs foram moldados em 02 camadas, cada camada foi compactada com 20 golpes, com auxílio do soquete manual, garantindo uma boa distribuição da massa;
2. Após a moldagem, os CPs foram curados por 28 dias em ambiente com temperatura e umidade controladas.

2.3 Métodos de avaliação.

2.3.1 Ensaio de resistência à compressão.

O ensaio para avaliar a resistência à compressão foi realizado a partir dos procedimentos descritos na NBR 13279 (ABNT, 2005), utilizando uma prensa hidráulica da marca *Emic*, com capacidade de carga de 220 kN.

2.3.2 Avaliação da autolimpeza.

Para avaliação da autolimpeza as argamassas foram expostas ao intemperismo natural, voltadas para o leste, nas cidades de Canoas (amostras com MK + TiO₂) e Montauri (amostras apenas com TiO₂), ambas no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, mas com microclimas diferentes em relação à poluição ambiental. A distribuição das amostras entre dois locais foi definida priorizando a avaliação de diferentes formulações em ambientes climáticos distintos, para maximizar a diversidade de condições de exposição com o número disponível de amostras. Canoas é um município com 347.657 habitantes (IBGE, 2022 (01)), pertencente à região metropolitana do estado, logo, as condições de poluição atmosférica são superiores. Montauri é um município com 1.499 habitantes (IBGE, 2022 (02)), localizada a aproximadamente 200 km de Porto Alegre e seu microclima assemelha-se ao de uma zona rural (Figura 2).

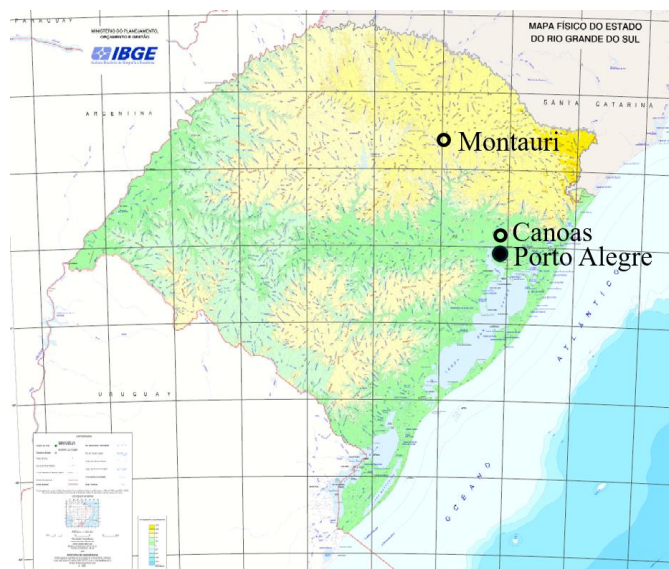


Figura 2. Cidades com exposição das amostras

Fonte: IBGE, 2010

Antes da exposição aos respectivos microclimas, as amostras receberam agentes manchantes, conforme Figura 3:

- Vinho tinto (1);
- Azeite de oliva (2);
- Cinza de carvão (3);
- Ferrugem (esponja de aço molhada) (4).

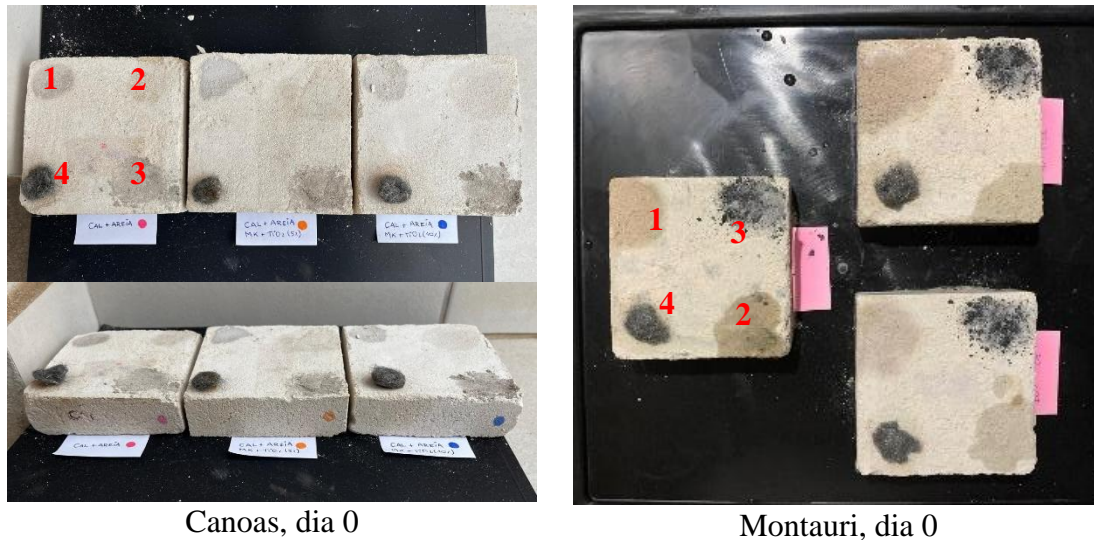


Figura 3. Manchamento das amostras.

A exposição climática perdurou por 50 dias, e as amostras foram monitoradas semanalmente através de registro fotográfico. Após esse período foi realizada a avaliação de cor através de um espectrofotômetro portátil, modelo CM-500d, da marca *Minolta*. O espectrofotômetro é aplicado para a caracterização colorimétrica, através da leitura das amostras e auxílio do software *Cyberchrome OnColor* (Austria, 2015), que detecta e compila os dados gerados de forma quantitativa para posterior análise e considerações.

A leitura da variação de cor (sujidade) das amostras deste estudo foi aplicada seguindo o Sistema L^*a^*b , que trata de uma escala que considera que as cores são combinações de três tipos de cores receptoras: vermelho, amarelo e azul. Nesta escala, os resultados obtidos no espectrofotômetro indicam:

- L^* : luminosidade
- a^* : coordenada vermelho/verde
- b^* : coordenada amarelo/azul

3. RESULTADOS

3.1 Avaliação das consistências das misturas

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados médios do espalhamento medido para as argamassas no ensaio de consistência, também podem ser observados os aspectos antes e após o teste.

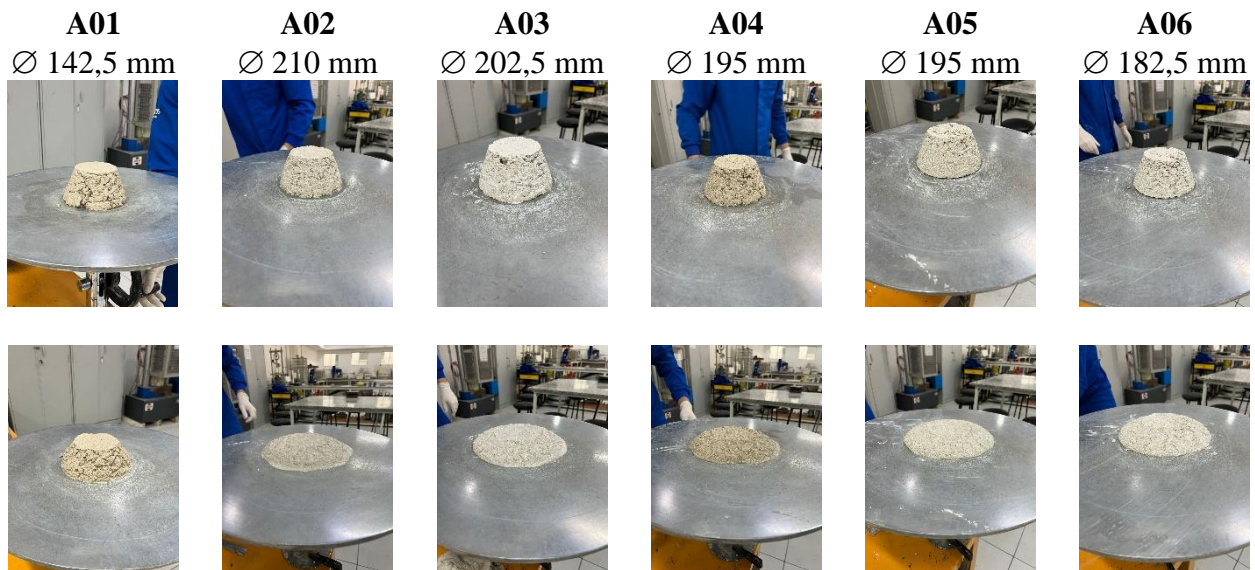


Figura 4. Teste de consistência

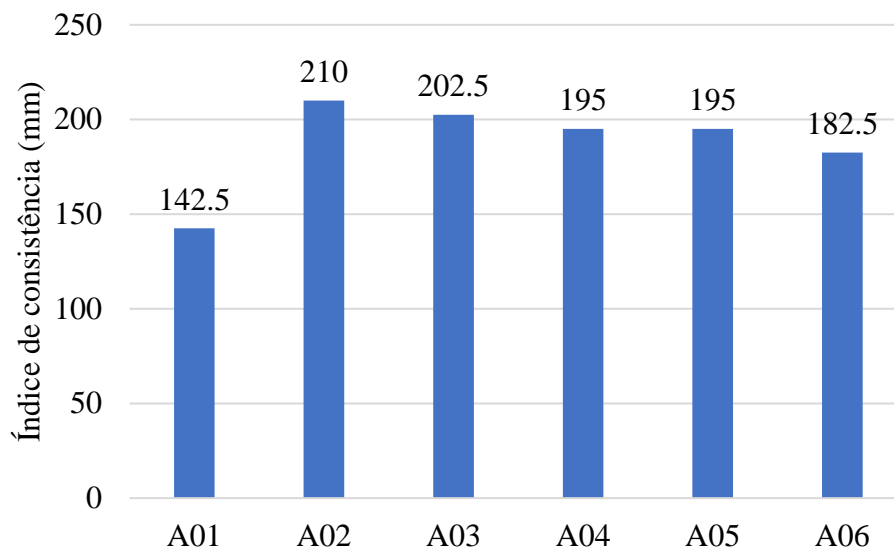


Figura 5. Resultados do teste de consistência.

Nota-se que, de modo geral, houve pouca variabilidade no índice de consistência entre as diferentes argamassas, mas, ainda assim, como a relação água/cimento (a/c) foi mantida fixa, houve redução com o acréscimo de MK e TiO_2 .

3.2 Resistência à compressão.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado aos 28 dias e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2 e na Figura 6. Observa-se que as resistências à compressão foram, em média, maiores nas argamassas 01, 02 e 03 em relação às argamassas 04, 05 e 06. Nas misturas 01, 02 e 03 foi utilizada uma quantidade maior de cal do que nas outras amostras. Apesar do metacaulim melhorar as propriedades mecânicas, o efeito da sua pozolanicidade evidencia-se principalmente em idades mais avançadas, ou seja, após os 28 dias (Cruz et al., 2019), e estudos futuros devem incluir avaliações em idades superiores para melhor compreender a contribuição conjunto do metacaulim e do TiO_2 nas propriedades das argamassas. Mattos e Gonçalves (2019),

por exemplo, mostram que o MK contribuiu para a melhora da resistência à compressão de argamassas de cal apenas aos 180 dias.

Tabela 2. Resistência à compressão.

Mistura	Tensão média (MPa)	Desvio padrão
A01	0,31	0,023
A02	0,32	0,039
A03	0,30	0,013
A04	0,26	0,025
A05	0,24	0,031
A06	0,29	0,021

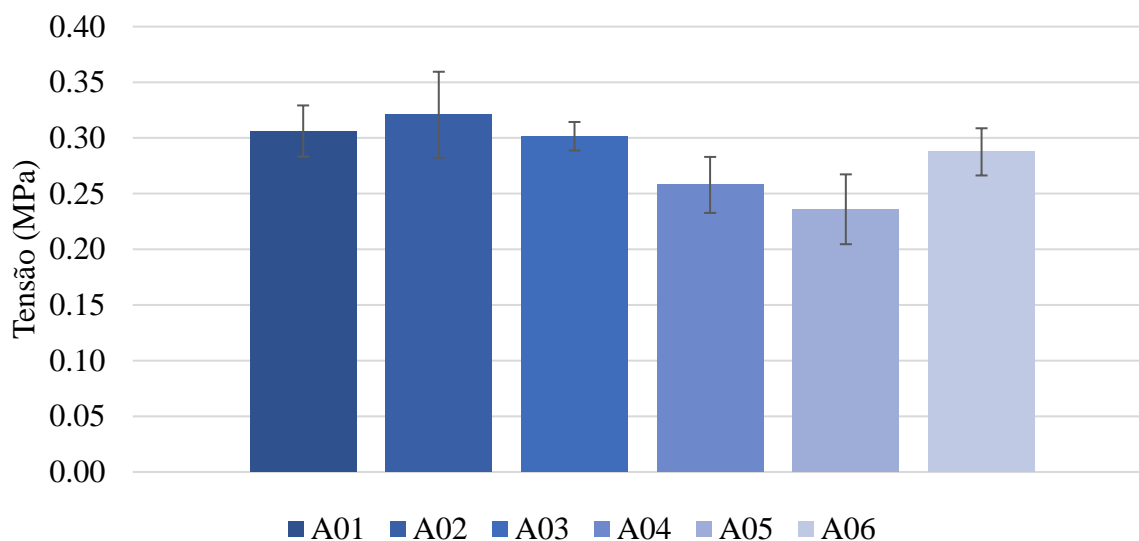


Figura 6. Resistência à compressão das amostras

Observando-se os resultados nota-se que as resistências obtidas foram baixas, o que era esperado tendo em vista os aglomerantes empregados. A cal é um aglomerante com menor potencial de desenvolvimento da resistência, no estudo de Mattos e Gonçalves (2019), os autores obtiveram resistências semelhantes para argamassas de cal e MK aos 28 dias, sendo estas da ordem de 0,4 MPa.

Segundo Hatori et al. (2023), o TiO_2 também melhora a resistência mecânica das argamassas ao ser incorporado. No presente estudo a resistência à compressão da argamassa 02 foi maior do que a da argamassa 01, apenas com a inclusão de 5% de TiO_2 , porém não foi observado aumento de resistência para as argamassas com 10% de TiO_2 (argamassa 03). Segundo Bersch (2021), esse comportamento pode ser explicado devido à elevada coesão do material, proveniente da presença de finos, que possivelmente aprisionam vazios. Um resultado semelhante ocorreu com as amostras com adição de MK.

3.3 Avaliação da autolimpeza

Durante o período de exposição das argamassas houve um acompanhamento fotográfico de maneira semanal, que está apresentado na Figura 7.



Canoas, dia 01



Montauri, dia 01



Canoas, dia 08



Montauri, dia 08



Canoas, dia 15



Montauri, dia 15



Canoas, dia 22



Montauri, dia 22



Canoas, dia 29



Montauri, dia 29



Canoas, dia 36



Montauri, dia 36



Canoas, dia 43



Montauri, dia 43



Canoas, dia 50



Montauri, dia 50

Figura 7. Acompanhamento fotográfico das amostras manchadas.

Observando-se a Figura 7 nota-se que todas as amostras apresentaram algum grau de autolimpeza ao longo do período de exposição. Embora a análise visual possa sugerir que as amostras de referência (A01 e A04) apresentem menor alteração de cor, é importante considerar os dados de variação de cor (ΔE) apresentados na Figura 9. A análise colorimétrica detecta diferenças que não são perceptíveis visualmente, e os resultados indicam que as argamassas com TiO_2 demonstraram retornar a uma cor mais próxima à original. Este efeito fotocatalítico tende a se intensificar com o tempo de exposição, sugerindo que o benefício da autolimpeza se tornará mais evidente a longo

prazo. A análise estatística (ANOVA), apresentada na Figura 10, confirma a influência do TiO₂ na variação de cor. Quanto aos agentes manchantes utilizados, nota-se, de modo geral, que houve uma redução maior da sujidade proveniente do vinho tinto e do azeite de oliva, e uma presença mais acentuada de vestígios de cinza de carvão e ferrugem. A mancha de ferrugem foi a que apresentou maior dificuldade de autolimpeza, deixando sua marca mais evidente que os demais produtos aplicados.

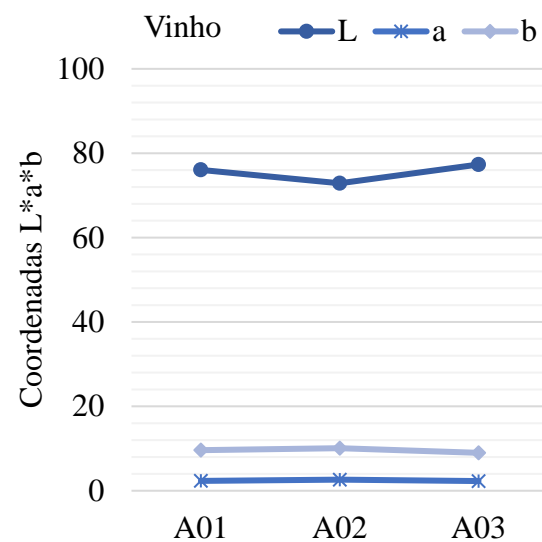
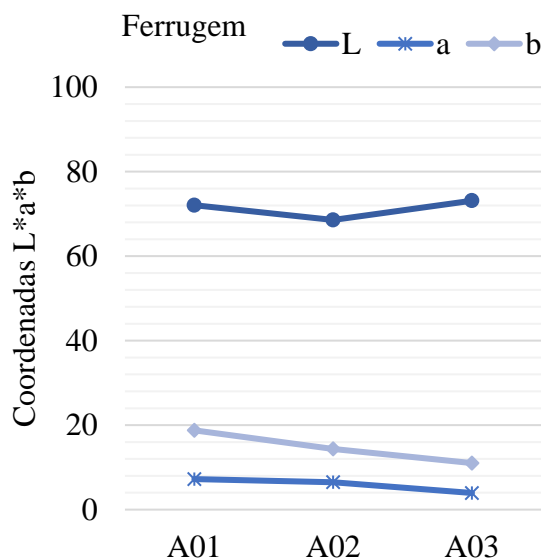
Após o período de exposição, foram realizadas as medições da variação de cor com uso do espectrofotômetro nos 4 pontos onde ocorreu o manchamento nos CPs. O equipamento faz 3 medidas por ponto, sendo que os resultados aqui apresentados representam a média dessas 3 medidas (Tabelas 3 e 4), realizadas nos locais identificados como mais representativos de cada mancha. A Figura 8 apresenta a média dos resultados do sistema L*a*b separados entre as amostras A01 até A03, e A04 até A06, para que seja possível acompanhar a evolução da autolimpeza de cada traço ao se adicionar as diferentes quantidades de TiO₂. A apresentação desses resultados na forma gráfica oferece uma visualização mais clara das tendências e comparações entre os agentes manchantes.

Tabela 3. Coordenadas do sistema L*a*b dos CPs expostos em Montauri.

Amostra	Ferrugem			Vinho			Azeite			Carvão		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
A01	72,05	7,23	18,77	76,05	2,34	9,62	73,67	2,24	11,44	68,73	1,53	6,34
A02	68,57	6,49	14,37	72,87	2,63	10,08	75,27	3,07	11,64	61,40	1,21	4,46
A03	73,12	3,94	11,02	77,32	2,29	8,98	76,72	2,44	10,03	69,70	1,07	4,61

Tabela 4. Coordenadas do sistema L*a*b dos CPs expostos em Canoas.

Amostra	Ferrugem			Vinho			Azeite			Carvão		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
A04	73,18	2,88	12,24	75,74	2,72	10,95	76,64	2,82	10,80	73,07	2,44	10,62
A05	70,37	8,11	20,94	65,26	2,10	8,62	77,83	2,01	9,13	80,29	1,68	7,88
A06	74,14	5,29	14,80	77,16	1,49	7,74	74,60	1,51	7,28	79,03	1,75	7,89



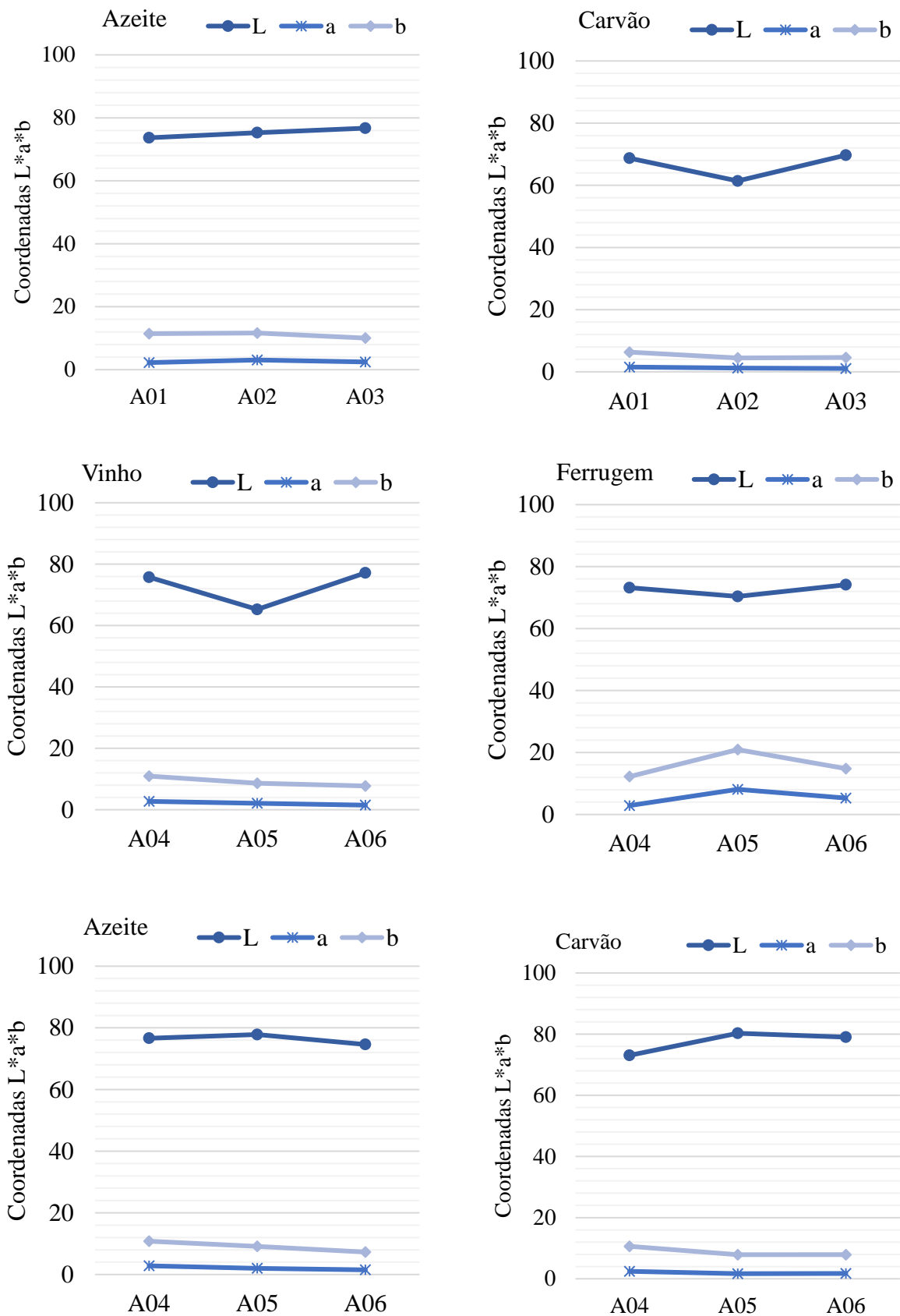


Figura 8. Resultados do sistema L*a*b.

A Figura 8 evidencia que, de modo geral, os resultados apresentaram valores semelhantes entre si. Em relação aos resultados obtidos para “L”, por exemplo, que mede a escala de luminosidade entre o branco e o preto, houve uma tendência ao branco na argamassa com de TiO₂.

Para que fosse possível analisar a diferença de cor entre as argamassas conforme a quantidade de TiO₂, foram avaliadas as médias de variação de cor (ΔE), comparando-se com a sua argamassa referência, sem TiO₂, ou seja, os valores de A02 e A03 foram avaliados em relação a A01, e o mesmo foi feito com A05 e A06, comparando-as com A04 (Figura 9).

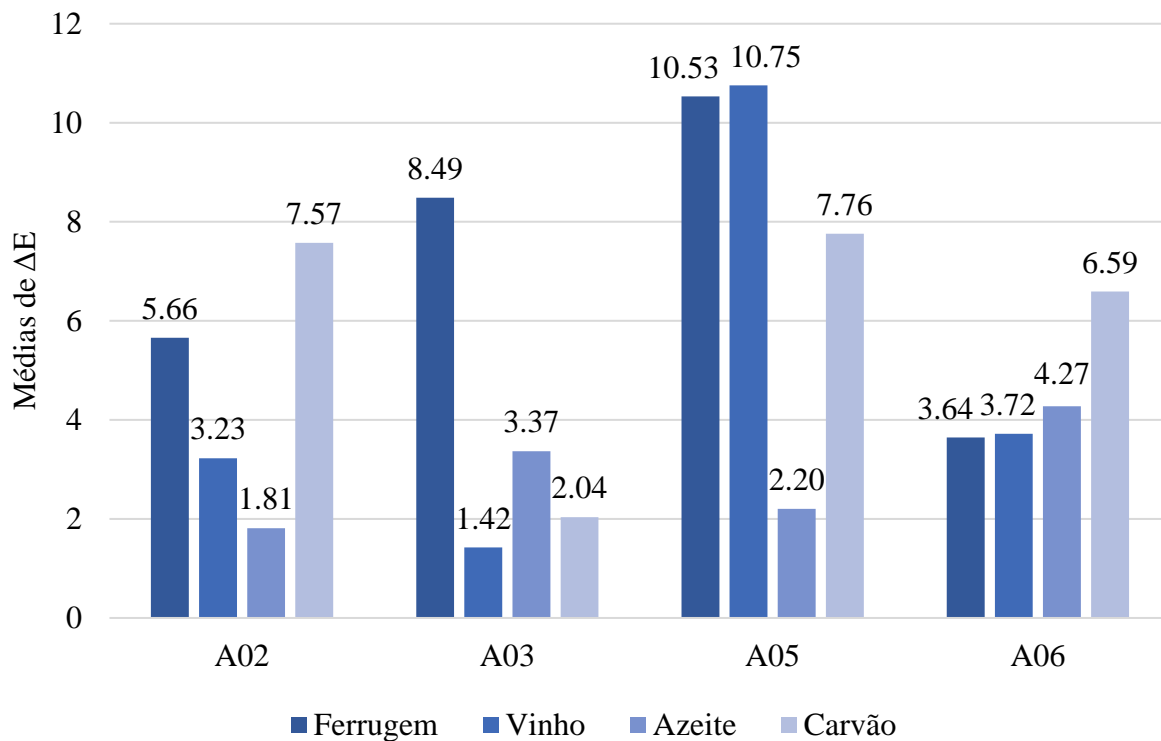


Figura 9. Variação de cor (ΔE).

Observando-se os oito cenários avaliados, é possível verificar que há uma tendência maior ao branco, quanto maior é a quantidade de TiO₂, ou seja, as argamassas ficaram mais parecidas com a amostra referência, sem adição de TiO₂.

A Tabela 5 e a Figura 10 apresentam a análise da variância (ANOVA) para influência do percentual de TiO₂ e do tipo de mancha sobre as amostras.

Tabela 5. Análise da variância (ANOVA).

Efeito	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
TiO ₂	102,2103	2	51,1052	6,24599	0,023229
Mancha	19,1208	3	6,3736	0,77897	0,538002
TiO ₂ *mancha	29,8537	6	4,9756	0,60811	0,719443
Erro	65,4566	8	8,1821	-	-

SS=Soma de quadrados; MS=Quadrados médios; F=Estatística F; p=Probabilidade.

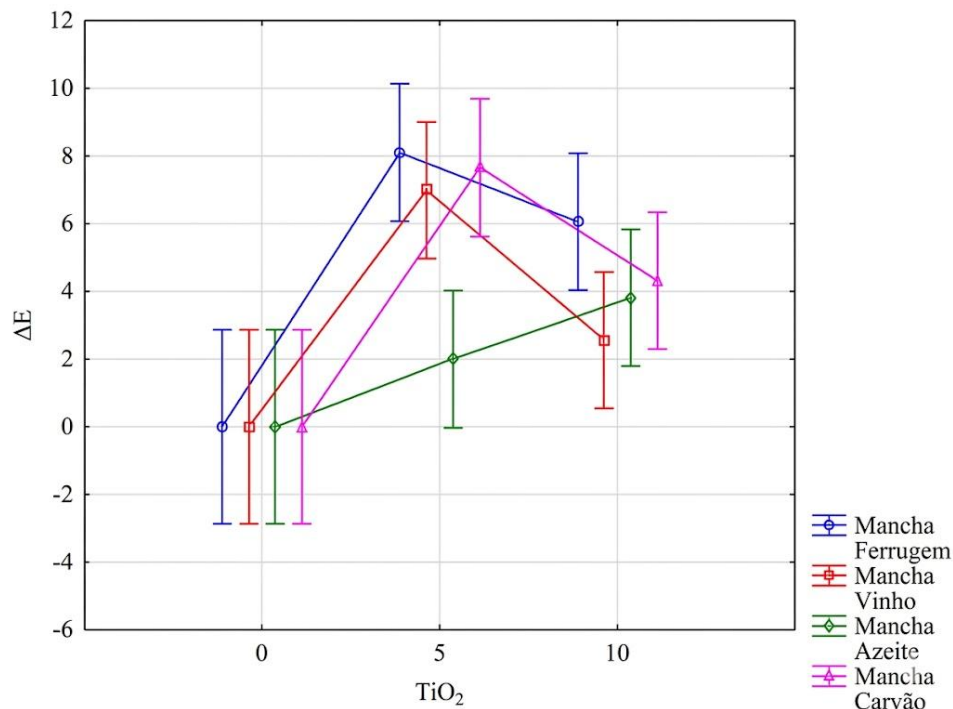


Figura 10. ANOVA para o efeito da interação entre percentual de TiO₂ e o tipo de manchamento.

A análise de variância fatorial (Two-Way ANOVA) foi aplicada para verificar os efeitos do TiO₂ e do tipo de mancha sobre a variação de cor (ΔE) após exposição ao intemperismo natural. Os resultados demonstraram que apenas a presença de **TiO₂** apresentou efeito estatisticamente significativo ($p = 0,0232$), enquanto o **tipo de mancha** ($p = 0,5380$) e a **interação entre TiO₂ e mancha** ($p = 0,7194$) não foram significativos. Isso indica que a variação de cor foi influenciada pela quantidade de TiO₂ presente nas misturas, independentemente do tipo de mancha aplicada. O gráfico de interação (Figura 10) reforça essa interpretação, mostrando um aumento expressivo de ΔE entre 0% e 5% de TiO₂, com comportamento semelhante entre os diferentes tipos de mancha, e sem cruzamento acentuado entre as curvas.

Quanto à interferência do microclima ao qual as amostras foram expostas, ambos subtropicais com variações sazonais marcantes, mas níveis distintos de poluição. Canoas, mais poluída por estar na região metropolitana, e Montauri, menos poluída por ser rural. Isso foi evidente na análise visual (Figura 7), que mostrou autolimpeza mais rápida e com menos resíduos em Montauri.

Este estudo iniciou a exposição das amostras aos 28 dias de idade, reconhecendo que o processo de cura continua durante a exposição aos ambientes de teste, por isso, recomenda-se que em estudos futuros idades mais avançadas sejam avaliadas a fim de verificar se há maior eficiência do efeito catalítico do TiO₂.

4. CONCLUSÕES

A avaliação da autolimpeza das argamassas de cal modificadas com Dióxido de Titânio (TiO₂) e metacaulim realizada neste estudo permitiu concluir que a resistência à compressão dos CPs foi maior nas argamassas com maior quantidade de cal, ou seja, os efeitos da presença de metacaulim não puderam ser observados no período de avaliação da resistência desta pesquisa (28 dias).

A adição de TiO₂ melhorou a resistência mecânica à compressão, principalmente nas amostras sem MK, e também a autolimpeza, o que foi confirmado pela análise de variância dos resultados de variação de cor (ΔE). O tipo de mancha, por outro lado, não interferiu de forma relevante nos

resultados, indicando que o desempenho autolimpante está mais relacionado à composição do material do que ao agente de sujidade.

Houve pouca variação entre do índice de consistência entre as misturas, ainda assim identificou-se uma diminuição quando foram adicionados metacaulim e TiO_2 .

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

Aggelakopoulou, E., Bakolas, A., Moropoulou, A. (2011), *Properties of lime–metakolin mortars for the restoration of historic masonries*. Applied Clay Science. v. 53, n. 1, p. 15-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2011.04.005>.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1996). *NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (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.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016). *NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro.

Austria, G. C. (2015), “*Argamassa autolimpante para revestimento de fachadas: o efeito das propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio (TiO_2)*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 173.

Bersch, J. D. (2021), “*Atividades fotocatalítica e autolimpeza de argamassas pigmentadas contendo dióxido de titânio (TiO_2)*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 325.

Bhagyamma, G., Panchangam, S. C., Rao H, S. (2023), *Development of self-cleaning cement mortar exposed to indoor and outdoor environment*. Materials Today: Proceedings. p. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.215>.

Cruz, J. S., Oliveira, F. M. C., Carneiro, A. M. P. (2019). “*A relação entre a resistência mecânica à compressão, o coeficiente de capilaridade, e a variação de massa das argamassas mistas de cal e metacaulim*” em: XIII Simpósio Brasileiro De Tecnologia Das Argamassas, Goiânia (Brasil), pp. 812-821.

Daniyal, M., Akhtar, S., Azam, A. (2019), *Effect of nano- TiO_2 on the properties of cementitious composites under different exposure environments*. Journal Of Materials Research and Technology. v. 8, n. 6, p. 6158-6172. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.010>.

Gutiérrez, R. M., Villaquirán-Caicedo, M. A., Guzmán-Aponte, L. A. (2020), *Alkali-activated metakaolin mortars using glass waste as fine aggregate: mechanical and photocatalytic properties*. Construction And Building Materials. v. 235, p. 117510. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117510>.

Hatori, A., Giordani, C., Casarin, R. P., Guerra, F. L., Masuero, A. B. (2023). “*Avaliação das propriedades mecânicas e de absorção de água de argamassas com adição de dióxido de titânio*” em: XIV Simpósio Brasileiro De Tecnologia Das Argamassas, João Pessoa (Brasil), pp. 1-9.

IBGE (1). Cidades e estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/canoas.html>. 2022. Acesso em: 02 dez. 2024.

IBGE (2). Cidades e estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/montauri.html>. 2022. Acesso em: 02 dez. 2024.

- IBGE. Mapas físicos dos estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-estaduais/15977-mapas-fisicos-dos-estados.html?edicao=16197&t=downloads>. 2010. Acesso em: 01 dez. 2024.
- Lara, R. C., Xavier, G. C.; Canela, M. C., Carvalho, J. A., Alexandre, J., Azevedo, A. R. G. (2023), *Characterization and photocatalytic performance of cement mortars with incorporation of TiO₂ and mineral admixtures*. Environmental Science and Pollution Research. v. 30, n. 42, p. 95537-95549. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29084-6>.
- Mattos, F. C., Gonçalves, M. R. F. (2019), *Argamassas de cal e metacaulim: influência das condições de cura*. Matéria (Rio de Janeiro). v. 24, n. 4, p. 1-10. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190004.0857>.
- Pozo-Antonio, J. S., Dionísio, A. (2017), *Self-cleaning property of mortars with TiO₂ addition using real diesel exhaust soot*. Journal Of Cleaner Production. v. 161, p. 850-859. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.202>.
- Ramadan, M., Kohail, M., Abadel, A. A., Alharbi, Y. R., Soliman, A. M., Mohsen, A. (2023), *Exploration of mechanical performance, porous structure, and self-cleaning behavior for hydrothermally cured sustainable cementitious composites containing de-aluminated metakaolin waste and TiO₂ nanoparticles*. Journal Of Materials Research and Technology. v. 25, p. 3998-4019. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.224>.
- Saeli, M., Tobaldi, D. M., Rozman, N.; Skapin, A. S., Labrincha, J. A., Pullar, R. C. (2017), *Photocatalytic nano-composite architectural lime mortar for degradation of urban pollutants under solar and visible (interior) light*. Construction And Building Materials. v. 152, p. 206-213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.167>.