

Received:
March 27, 2024

Accepted:
April 17, 2024

Published:
October 31, 2024

Application of colored pigments in the study of the compressive strength of self-leveling mortars

Mariane Cássia Brandão Silva¹ , Thais Rocha Lemos¹ , Gisele Monteiro de Sousa¹ , Antônio Jorge de Lima Gomes¹ .

¹ Federal University of Jequitinhonha and Mucuri Valleys, Teófilo Otoni, Brazil.

Email address

mariane.cassia@ufvjm.edu.br (Mariane C.B. Silva) – Corresponding author.

eng.thaislemos@gmail.com (Thais R. Lemos)

monteiro.gisele@outlook.com (Gisele M. Sousa)

antonio.gomes@ufvjm.edu.br (Antônio J.L. Gomes)

Abstract

The study addresses the impact of adding colored pigments on the compressive strength of self-leveling mortar. This simplified application solution is carried out using a concrete mixer truck and hose, reducing the need for labor and accelerating the construction process. Through resistance tests and color analysis, five mortar mixes with different types and proportions of pigments were investigated. The results indicate that the amount and type of pigment can influence the strength and stability of the mortar, with inorganic pigments contributing to the formation of voids and, consequently, to the reduction of strength. Furthermore, the color analysis revealed that the pigments provided uniform and stable shades, essential for aesthetic floor and wall covering applications. Additional investigations should be carried out to deepen the understanding of the influence of pigments on the durability and performance of mortar in different environmental conditions.

Keywords: Colored self-leveling mortar, Pigment, Self-compacting, Colored mortar.

1. Introdução

Com sua notável fluidez e facilidade de aplicação, a argamassa autonivelante, também conhecida como auto adensável, vem se destacando no âmbito da construção civil. Essa tendência se justifica pela capacidade do material em oferecer pisos e contrapisos mais homogêneos e com menor espessura.

De acordo com Martins (2009), a argamassa autonivelante possui aplicação simplificada, realizada por meio de caminhão-betoneira e mangote, reduz a necessidade de mão de obra e agiliza o processo construtivo.

A norma NBR 13281 (ABNT, 2023) define argamassas como misturas homogêneas de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, podendo conter aditivos. A argamassa autonivelante, em particular, se destaca por sua capacidade de preenchimento sem a necessidade de compactação externa, devido sua consistência fluida e capacidade de adensamento pelo próprio

peso que garantem uma distribuição uniforme e homogênea e conforme discutido por Martins (2009), a utilização deste método contribui para a redução de potenciais imperfeições em pisos, enquanto também facilita uma execução mais rápida e segundo Martins (2012) resulta em superfícies resistentes e de fácil limpeza.

Diante desse contexto, torna-se fundamental investigar como a adição de pigmento colorido pode afetar as propriedades e a resistência da argamassa autonivelante. Com isso tem-se a possibilidade de criar pisos coloridos, mantendo a praticidade na aplicação, facilitando a limpeza e abrindo novas perspectivas para o setor.

1.1. Contexto histórico

As pesquisas pioneiras sobre argamassa autonivelante datam da década de 1970, mas somente em 1999 empresas espanholas iniciaram os testes de materiais e métodos para sua produção.

A introdução desta tecnologia inovadora estimulou estudos laboratoriais visando avaliar seu custo-benefício e aceitação no mercado, incluindo visitas a obras para identificar os Métodos Tradicionais mais empregados, como destacado por Martins (2009).

Embora ainda pouco difundida no Brasil, a argamassa autonivelante foi introduzida na Europa durante os anos 80, impulsionando pesquisas para compreender seu comportamento, propriedades, materiais e conceitos (Martins, 2009). Como destacado por Mendes, Effting e Schackow (2020) e Nakakura e Bucher (1997), o interesse pela pesquisa e desenvolvimento de argamassas tem aumentado significativamente.

As primeiras normas de desempenho para revestimentos de pisos, que incluem argamassas autonivelantes, foram promulgadas no Reino Unido em 2002, embasadas no padrão europeu. Estas normas delineiam as características esperadas dos produtos autonivelantes, assim como os métodos para sua determinação e especificações para os testes de ensaio dos produtos (Rubin, 2015).

Posteriormente, em 2011, foram lançadas as normas americanas que também estabelecem padrões para argamassas autonivelantes. Pesquisas realizadas nos Estados Unidos antes da promulgação destas normas se concentravam principalmente nas características e propriedades reológicas da argamassa autonivelante no estado fresco, seguindo os padrões europeus (Rubin, 2015).

1.2. Aplicação\Utilização da argamassa

No contexto da aplicação da argamassa autonivelante no Brasil, apesar da ausência de normatização e da falta de especificações detalhadas para cada tipo de uso, segundo Rubin (2015) existem dois tipos distintos de aplicação para esse produto encontrado no mercado, cada um adaptado para atender a diferentes necessidades e contextos de uso.

1.2.1. Argamassas autonivelantes industriais

Recomendadas para aplicações industriais, garagens, estacionamentos, pátios e pisos industriais sujeitos a tráfego moderado, essas argamassas autonivelantes podem ou não, a critério do fabricante, receber pinturas e/ou revestimentos de diversas naturezas, ou ainda, servir como a

própria superfície final do piso. Geralmente empregadas para o acabamento do piso, elas possuem um tempo de secagem mais rápido devido à sua espessura mais fina, variando, conforme necessário, de 5 a 20 mm (Lessa e Coutinho, 2013).

1.2.2. Argamassas Autonivelantes Residenciais/ Comerciais

Destinadas a aplicações em áreas internas, residenciais e comerciais, essas argamassas autonivelantes são comumente empregadas para nivelamento, mas não podem servir como a própria superfície final do piso, uma vez que não são adequadas para suportar tráfego intenso, necessitando de um acabamento final. No entanto, podem ser aplicadas sobre pisos flutuantes, incorporando instalações, sobre mantas acústicas e/ou térmicas, conforme necessário. Apresentam espessuras ligeiramente maiores do que as argamassas industriais, variando geralmente de 20 a 60 mm de acordo com Lessa e Coutinho, (2013).

1.3. Área de estudo

1.3.1. Localização

A localidade onde este estudo foi conduzido compreendeu a cidade de Teófilo Otoni, situada no Vale do Mucuri, no Nordeste do Estado de Minas Gerais (MG), conforme evidenciado na Figura (1) que apresenta a localização do município em relação ao Estado de Minas Gerais e ao Brasil onde o contorno em vermelho destaca a região em questão. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), Teófilo Otoni possui uma área territorial de 3.242,270 km² e contabilizou uma população de 137.418 habitantes no último censo (2022).

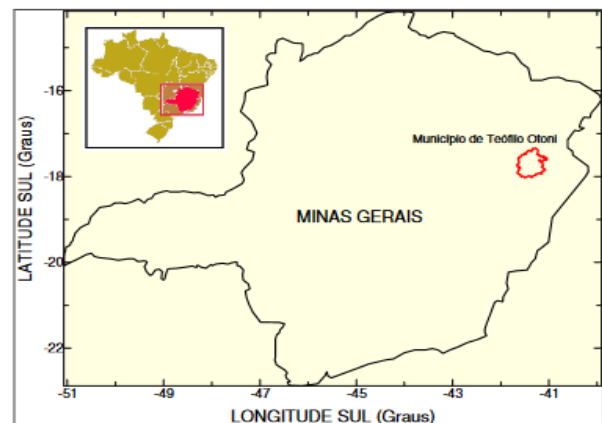


Figura 1 – Mapa com a localização do Município de Teófilo Otoni (Gomes et al., 2012).

1.3.2. Geologia Regional

O relevo de Teófilo Otoni é majoritariamente montanhoso, com aproximadamente 60% de seu território composto por mares de morros e montanhas, 30% por terrenos ondulados e 10% por áreas planas (Garcia et al., 2017).

A região possui uma geologia predominantemente pré-cambriana, sendo a principal formação geológica pertencente ao complexo Juiz de Fora. Dentro deste complexo, encontram-se as formações Tumiritinga e Tonalito São Vitor, sendo esta última formação predominante na região (Gomes et al., 2014), conforme ilustrado na Figura (2). As vertentes dessas feições frequentemente apresentam afloramentos rochosos ou cicatrizes de escorregamentos.

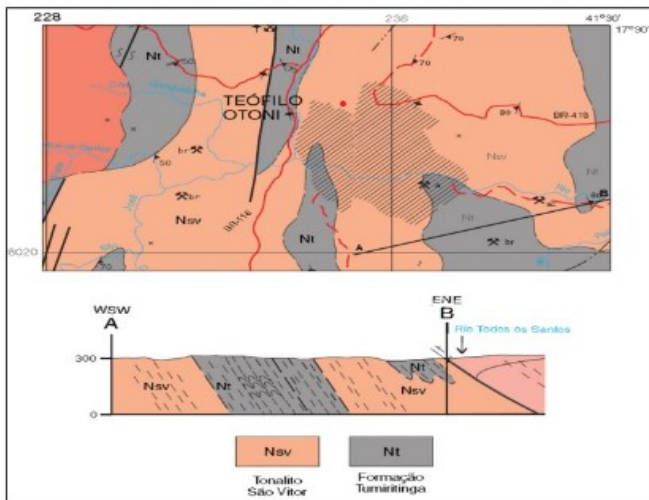


Figura 2 – Principais formações geológicas em Teófilo Otoni (Adaptado de CPRM, 1996; Ramos e Gomes, 2016)

Quanto à estrutura litológica da região, esta é composta principalmente por rochas arqueano-proterozóicas com variados graus metamórficos, incluindo tonalitos, xistos e gnaisses, que são afetados por falhas e lineamentos de direção principal NE-SW (Ferraz, Valadão e Henrique, 2016).

As formações geológicas da região de Teófilo Otoni são predominantemente compostas por rochas gnáissicas, que apresentam a presença de minerais micáceos, como a biotita (Gomes et al., 2012). A presença de altos teores de micas, especialmente a biotita (potássio, óxido de ferro), em rochas utilizadas para a produção de agregados pode resultar na redução da resistência e trabalhabilidade de concretos e argamassas (Parreira, 2016).

As partículas de biotita possuem um formato lamelar e, quando agrupadas, formam uma estrutura espacial rígida. Isso requer quantidades significativas de água para preencher os vazios entre os aglomerados formados, revestir a superfície das partículas e separá-las, garantindo a correta fluidez e mantendo a viscosidade adequada (Hawlitshchek et al., 2014; Parreira, 2016).

2. Materiais e métodos

No decorrer deste estudo, foram utilizadas abordagens metodológicas que incluíram análises qualitativas e quantitativas, e interpretação com métodos estatísticos com ênfase na revisão atualizada da literatura relacionada ao tema em questão. Esta estratégia permitiu uma compreensão detalhada e abrangente do assunto investigado, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento do presente artigo.

Para conduzir a pesquisa experimental, foram adotados os procedimentos padrão estabelecidos pela ABNT NBR 16868-2, Anexo A. Esses procedimentos englobam orientações específicas para a moldagem e cura de corpos de prova de argamassa, bem como para a execução e expressão dos resultados dos ensaios. Tal abordagem visa assegurar a padronização e a confiabilidade dos resultados obtidos durante os ensaios realizados.

A parte experimental deste trabalho foi realizada na empresa, Grupo Pedreira Mix Mattar, que ofereceu suporte e assistência para o desenvolvimento das pesquisas, incluindo o fornecimento de equipamentos e materiais, com exceção do pigmento e das formas para moldagem dos corpos de prova da argamassa.

2.1. Materiais Utilizados

Para a preparação das misturas de argamassa, foram empregados os seguintes materiais: Cimento Portland de alto forno com escória, do tipo CPIII 40 RS, da marca Cauê; água proveniente da rede de poço artesiano local, agregados miúdos, pigmentos coloridos e aditivos.

Na preparação das misturas de argamassa, empregou-se pó de pedra de rochas gnáissicas, um material resultante do processo de britagem de rochas, no qual as rochas são fragmentadas em pequenas partículas. Comumente utilizado como agregado miúdo em argamassas e concretos, sua granulometria e composição mineralógica podem

variar de acordo com a fonte da rocha e o processo de britagem utilizado, sendo, portanto, considerado um material artificial.

A adição de cor foi realizada utilizando pigmentos inorgânicos em pó da marca Xadrez, nas cores amarelo e vermelho, fabricados pela Lanxess. O pigmento amarelo é composto principalmente por hidróxido de ferro e o pigmento vermelho é baseado em óxido de ferro. Estes pigmentos, classificados como inorgânicos, são altamente recomendados para uso em materiais como o concreto que se estende para a argamassa, conforme mencionado por Conceição (2015). A inclusão desses pigmentos na composição da argamassa não só proporciona a obtenção do tom desejado nas superfícies, semelhante ao efeito observado no concreto convencional, mas também aumenta a durabilidade dos revestimentos em comparação com tintas, além de adicionar valor estético aos ambientes, como ressaltado por Piovesan (2009).

No processo de preparação das misturas de argamassa, foram empregados os aditivos incorporadores de ar *Centripor* 411, aditivo controlador de hidratação *Centripor Retard* 225 e aditivo superplastificante - redutor de água *TechniFlow* 571, todos da MC-Bauchemie.

2.2. Realização dos traços

Foi estabelecido um traço específico, já utilizado em uma obra previamente executada pela empresa Mix Mattar, que consiste em 8,13 kg de cimento para cada 37,51 kg de pó de pedra, com a adição de 8,13 L de água, 40,67 g de *Centripor* 411, 16,27 g de *Centripor retard* 225 e 8,13 g de *TechniFlow* 571.

Foram moldados 60 corpos de prova em formas da marca INOVE, fornecidas pela empresa para realização deste trabalho, conforme especificado na norma ABNT 16868-2, anexo A, para serem rompidos aos 14 e 28 dias. Destes, 12 corpos de prova variaram o teor de pigmento inserido, incluindo: traço referência sem adição de pigmento (REF), traço 3% de pigmento amarelo (TA3), traço 5% de pigmento amarelo (TA5), traço 3% de pigmento vermelho (TV3), e traço 5% de pigmento vermelho (TV5). A determinação dessas porcentagens foi baseada em estudos de outros pesquisadores, como Rojas (2003), que recomenda que a adição máxima de pigmentação não ultrapasse 5% do consumo de cimento. É importante ressaltar

que essas porcentagens são adicionadas em relação ao consumo de cimento e não para substituí-lo.

2.3. Processo de fabricação

O processo de fabricação dos corpos de prova iniciou-se com a pesagem dos materiais mencionados no item anterior, em seguida os materiais foram misturados em uma betoneira, começando com água e o aditivo *Centripor* 411, permitindo uma mistura por 5 minutos para garantir uma incorporação adequada do ar, conforme ilustrado na Figura (3). Em seguida, todos os outros materiais foram adicionados, seguidos pelo pigmento. Esse processo foi repetido para todos os 5 traços.



Figura 3 – Mistura do aditivo incorporador de ar e água.

O primeiro traço de argamassa autonivelante preparado foi o REF, resultando em um *flow-test* de 71, como demonstrado na Figura (4), com a temperatura ambiente de 28,3°C e umidade de 52%, onde o processo como um todo levou cerca de 18 minutos.

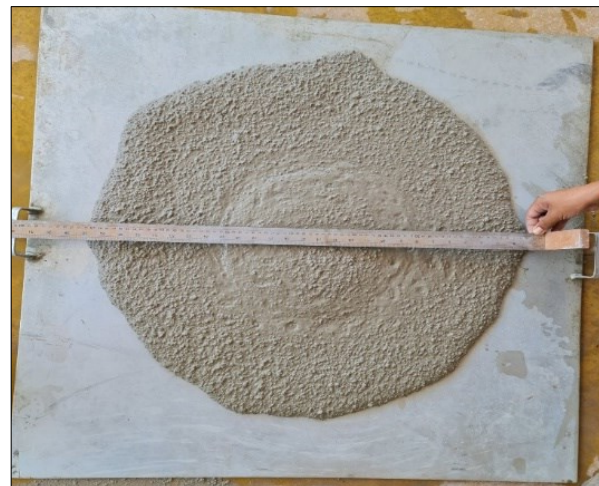


Figura 4 – *Flow-test* 71 obtido no traço de referência.

Em seguida, foi preparado o traço TA3, resultando em um *flow-test* de 70, como demonstrado na Figura (5), com a temperatura ambiente de 32,3°C e umidade de 41%, onde o processo como um todo levou cerca de 17 minutos.



Figura 5 – *Flow-test* 70 obtido no TA3.

O traço TA5 foi produzido posteriormente, resultando em um *flow-test* de 69, como demonstrado na Figura (6), com a temperatura ambiente de 36,5°C e umidade de 26%, onde o processo como um todo levou cerca de 21 minutos.



Figura 6 – *Flow-test* 69 obtido no TA5.

Na sequência, o traço TV3 foi preparado, resultando em um *flow-test* de 70, como demonstrado na Figura (7), com a temperatura ambiente de 35,4°C e umidade de 24% onde o processo como um todo levou cerca de 19 minutos.



Figura 7 – *Flow-test* 70 obtido no TV3.

Por fim, o traço TV5 foi preparado, com um *flow-test* de 70, como demonstrado na Figura (8), com a temperatura ambiente de 34,7°C e umidade de 26%, onde o processo como um todo levou cerca de 17 minutos.



Figura 8 – *Flow-test* 70 obtido no TV5.

Após a preparação, porções das misturas foram colocadas em moldes cúbicos para a confecção de 12 corpos de prova para cada traço (REF, TA3, TA5, TV3, TV5), além de moldes cilíndricos e retangulares apenas para comparação de cor.

Após a moldagem, os moldes, juntamente com a mistura, foram envolvidos por papel filme, seguindo todo o processo conforme recomendado pela NBR 16868-2, Anexo A, Figura (9)



Figura 9 – Corpos de prova moldados.

Após 3 dias da produção dos corpos de prova, estes foram retirados dos moldes, armazenados e etiquetados, conforme a Figura (10), até que completassem o tempo de cura necessário para a realização do ensaio de compressão.



Figura 10 – Armazenamento dos corpos de prova.

2.4. Realização do ensaio

Os corpos de prova foram submetidos ao teste de compressão em uma prensa elétrica digital da marca Solocap, que possui uma carga máxima de 1000 kN com precisão de $\pm 1\%$, como ilustrado na Figura (11), realizando o ensaio no estado endurecido, o ensaio de compressão.



Figura 11 – Rompimento dos corpos de prova.

Os resultados obtidos foram expressos em resistências medidas em kN, as quais foram

convertidas em MPa utilizando a fórmula (1). Em seguida, esses valores foram comparados com as resistências do traço de referência, permitindo assim a avaliação do impacto dos pigmentos na argamassa autonivelante.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (1)$$

onde:

R_c é a resistência à compressão, expressa em (MPa);
 F_c é a carga máxima aplicada, expressa (N);
 1600 é a área do corpo de prova, expressa em mm^2

3. Resultados e Discussões

Foram realizados os ensaios de resistência à compressão nos corpos de prova de argamassa autonivelante como são apresentados na Tabela (1).

Tabela 1 – Resultado dos rompimentos dos corpos de prova.

Composição	14 dias		28 dias	
	kN	MPa	kN	MPa
REF	29,65	18,53	28,46	17,78
REF	28,70	17,93	33,94	21,22
REF	28,28	17,68	30,28	18,93
REF	29,97	18,73	33,65	21,03
REF	28,99	18,12	30,39	18,99
REF	26,80	16,75	29,34	18,33
TA3	19,94	12,46	22,01	13,76
TA3	19,40	12,13	16,26	10,16
TA3	22,07	13,79	24,22	15,14
TA3	19,74	12,33	26,05	16,28
TA3	21,13	13,20	19,31	12,07
TA3	20,77	12,98	19,18	11,99
TA5	17,45	10,90	22,73	14,21
TA5	20,30	12,69	24,74	15,17
TA5	14,29	8,93	17,48	10,93
TA5	9,01	5,63	22,06	13,79
TA5	10,81	6,76	15,06	9,42
TA5	19,29	12,05	20,71	12,94
TV3	20,36	12,73	21,35	13,34
TV3	19,67	12,29	23,49	14,68
TV3	11,54	7,22	21,07	13,17
TV3	16,88	10,55	20,99	13,12
TV3	10,40	6,50	14,53	9,08
TV3	11,54	6,88	15,02	9,39
TV5	22,09	13,80	23,79	14,86
TV5	19,24	12,02	26,36	16,47
TV5	20,33	12,70	22,11	13,81
TV5	21,41	13,38	25,05	15,65
TV5	20,20	12,62	24,68	15,43
TV5	17,89	11,48	22,01	13,76

Posteriormente foi feita uma média desses resultados obtidos anteriormente como mostra a Tabela (2) e representam as resistências médias obtidas pelos corpos de prova da argamassa aos 14 e 28 dias. Esses valores são expressos em kN e foram convertidos para MPa utilizando a fórmula (1) mencionada anteriormente.

Tabela 2 – Média dos resultados das resistências.

Composição	Resistência Média- 14 dias		Resistência Média- 28 dias	
	kN	MPa	kN	MPa
REF	24,22	15,17	31,01	19,38
TA3	30,11	12,82	21,18	13,24
TA5	15,2	9,50	20,38	12,74
TV3	14,97	9,36	19,41	12,13
TV5	20,38	12,74	23,98	14,99

Com base nos resultados obtidos, foram realizadas comparações para avaliar se houve perda ou ganho de resistência, tanto em relação aos traços com pigmentos em comparação com o traço utilizado como referência, quanto em relação aos traços com a mesma cor de pigmento em diferentes proporções percentuais. Além disso, foram realizadas as porcentagens referentes aos ganhos de resistência de cada conjunto de amostras do período de 14 dias para o de 28 dias.

O traço de referência sem adição de pigmento, REF, apresentou uma resistência média à compressão de 15,17 MPa aos 14 dias e 19,38 MPa aos 28 dias, como mostrado na Figura (12), representando um ganho de resistência de aproximadamente 27,84% em relação ao período de 14 dias. Esses resultados serviram como base de comparação para os traços com adição de pigmento.

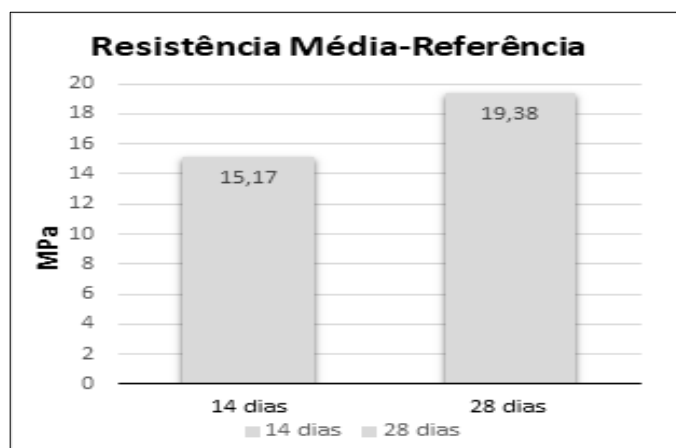


Figura 12 –Gráfico media resistência REF.

Ao comparar os resultados do TV3 com o REF, como apresentado na figura (13), observa-se uma diminuição na resistência média aos 14 dias, de 15,17 MPa para 12,82 MPa, o que representa uma redução percentual de aproximadamente 15,49%.

No entanto, é importante notar que houve um aumento na resistência no TV3 aos 28 dias, atingindo 13,24 MPa, o que faz com que a perda de resistência quando comparada à referência com 19,38 MPa resulte em um percentual de cerca de 31,68%.

Esses dados indicam que, apesar da redução inicial na resistência, o traço com 3% de pigmento amarelo demonstrou uma recuperação parcial aos 28 dias, mas ainda sim houve uma perda significativa de resistência quando comparado com o traço referência.

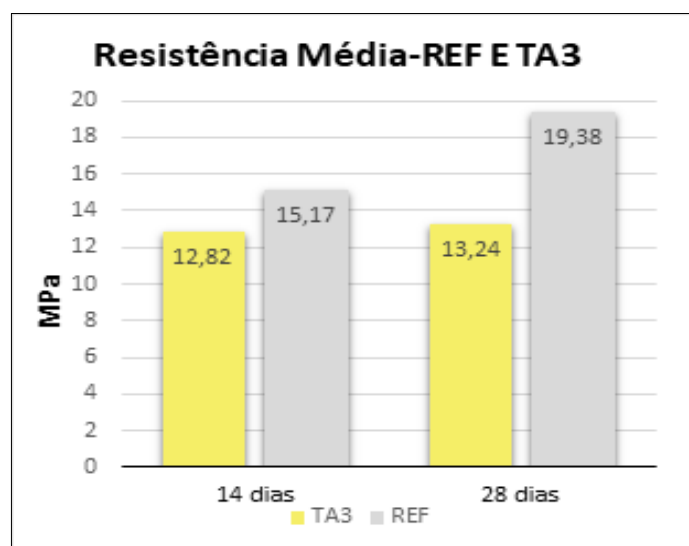


Figura 12 – Gráfico media resistência REF e TA3.

Por outro lado, como mostrado na Figura (13), o traço TA5 apresentou a menor resistência, com valores de 9,50 Mpa aos 14 dias e 12,74 Mpa aos 28 dias. Isso indica que houve um ganho de resistência de aproximadamente 34,11% dos 14 para os 28 dias, mas quando comparado ao REF, percebe-se que houve uma perda de aproximadamente 37,38% aos 14 dias e de 34,26% aos 28 dias.

Embora o TA5 tenha registrado um aumento de resistência aos 28 dias, ainda assim houve uma perda de resistência significativa em comparação com o REF.

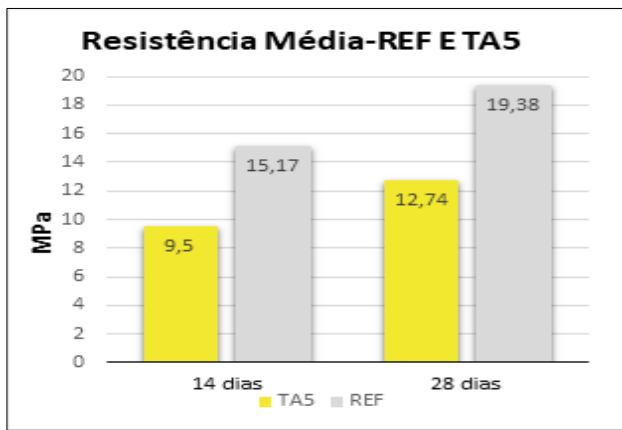


Figura 13 – Gráfico media resistência REF e TA5.

Ao comparar o TA3 com o TA5, como mostrado na Figura (14), observa-se diferenças significativas em relação à resistência da argamassa autonivelante. O TA3 apresentou uma resistência média de 12,82 MPa aos 14 dias e 13,24 MPa aos 28 dias, enquanto o TA5 registrou valores mais baixos, com 9,50 MPa e 12,74 MPa, respectivamente, para os mesmos períodos de cura. Isso representa uma perda de resistência de aproximadamente 25,90% aos 14 dias e 3,78% aos 28 dias do TA3 para o TA5. Esses resultados indicam que a adição de uma quantidade maior de pigmento amarelo pode exercer um impacto mais significativo na resistência da argamassa autonivelante.

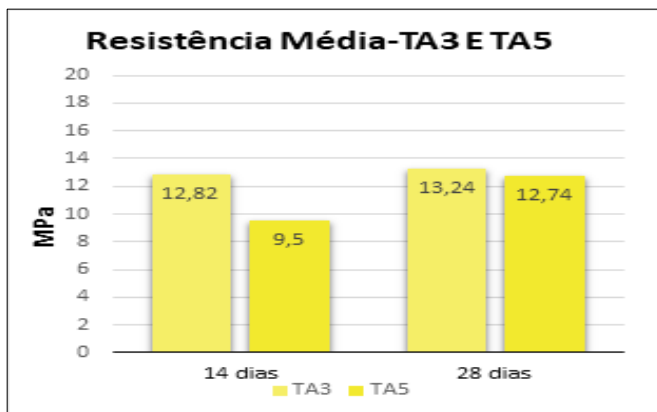


Figura 14 – Gráfico media resistência TA3 e TA5.

De acordo com a Figura (15), ao comparar os resultados entre o traço TV3, que alcançou uma resistência média de 9,36 MPa, e o traço REF, observa-se uma queda na resistência média aos 14 dias, representando uma redução percentual de aproximadamente 38,30%. No entanto, é crucial notar que ocorreu um aumento na resistência do traço TV3 aos 28 dias, atingindo 12,13 MPa, o que representa um ganho de 29,64% em resistência.

Entretanto, em comparação com o traço REF, o traço TV3 apresenta uma perda de resistência de cerca de 37,41% aos 28 dias. Esses dados sugerem que, apesar da queda inicial na resistência, o traço TV3 exibiu uma recuperação parcial aos 28 dias. No entanto, ainda persiste uma perda significativa de resistência em comparação com o traço REF.

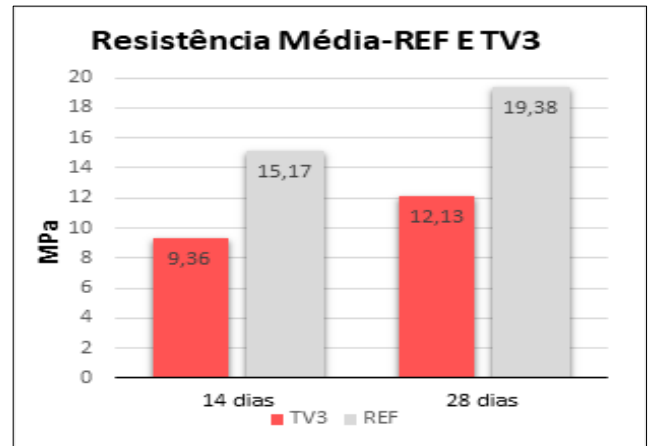


Figura 15 – Gráfico media resistência REF e TV3.

Ao analisar os resultados entre o traço TV5 e o traço REF, conforme demonstrado na Figura (16), observa-se uma variação na resistência média em ambos os períodos de cura avaliados. Para os 14 dias de cura, o traço TV5 apresentou uma resistência média de 12,74 MPa, representando uma redução percentual de resistência de aproximadamente 16,02% em relação ao traço REF. No entanto, ao considera o período de 28 dias de cura, a resistência média do traço TV5 aumentou para 14,99 MPa, o que representa um incremento percentual de resistência de cerca de 17,65%. Entretanto, quando comparado ao traço REF, essa diferença resulta em uma redução de 22,65% na resistência. Esses dados indicam uma diminuição na resistência do traço TV5 em relação ao traço REF.

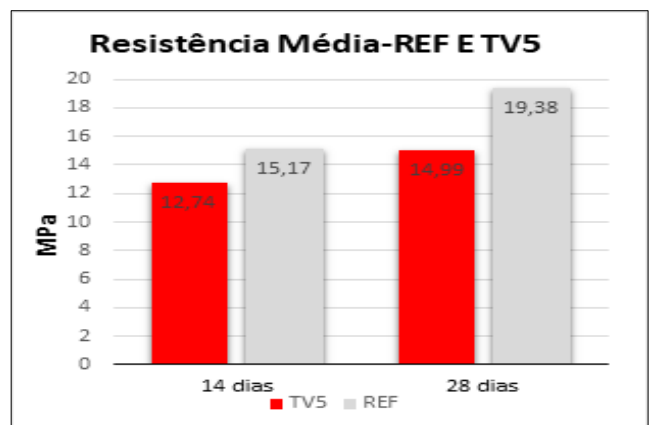


Figura 16 – Gráfico media resistência REF e TV5.

Comparando os resultados entre os traços TV3 e TV5, gráfico (7) pode-se observar diferenças significativas em relação à resistência média em diferentes períodos de cura. Para os 14 dias de cura, o traço TV3 apresentou uma resistência média de 9,36 MPa, enquanto o traço TV5 obteve uma resistência média de 12,74 MPa, isso indica um ganho de resistência de 36,13%. No entanto, ao analisar o período de 28 dias de cura, o traço TV3 registrou uma resistência média de 12,13 MPa, enquanto o traço TV5 aumentou para 14,99 MPa. Isso sugere uma recuperação mais significativa da resistência no traço TV3 ao longo do tempo, resultando em uma resistência final próxima à do traço TV5, mas ainda sim representa uma perda de 19,09% de resistência. Notavelmente, nesse caso, o aumento da quantidade de pigmento vermelho parece ter contribuído para um aumento geral na resistência, conforme evidenciado pelo desempenho superior do traço TV5 em comparação com o traço TV3.

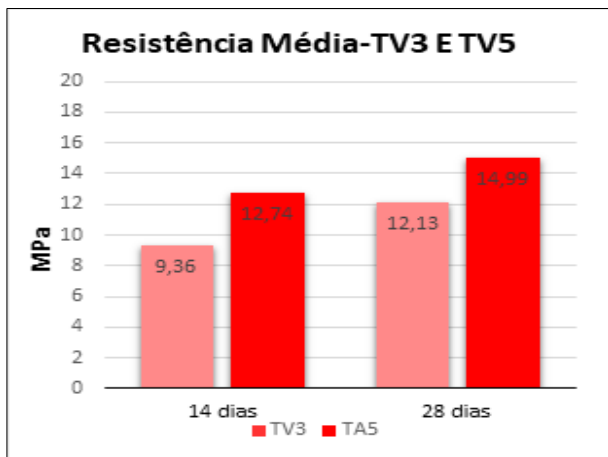


Figura 15 – Gráfico media resistência TV3 e TV5.

Em geral, nota-se uma queda na resistência dos traços da argamassa autonivelante em comparação com o padrão de referência. Um fator significativo para essa redução pode estar ligado ao tipo de pigmento utilizado, já que os pigmentos inorgânicos possuem propriedades inertes e uma

forma acicular e irregular. De acordo com Gomes (2018), isso pode resultar em um aumento do volume de vazios, uma vez que os componentes do pigmento com formas irregulares não se encaixam de maneira adequada na argamassa, resultando na diminuição da resistência à compressão.

Outro aspecto que pode contribuir para essa redução na resistência está relacionado à geologia da região onde está situada a pedreira responsável pela produção do Pó de Pedra utilizado na elaboração da argamassa autonivelante. As rochas utilizadas nessa produção são do tipo Gnaisse, e a presença de biotita em sua composição, que contém potássio, óxido de ferro e outros elementos, pode ser um fator que contribui para a diminuição da resistência da argamassa.

Também é possível observar alguns pontos da argamassa em seu estado fresco, como mencionado anteriormente na seção 2.2 sobre *flow-test* e ar incorporado, organizados na Tabela (3).

Tabela 3 – *Flow-test* e ar incorporado da argamassa.

Composição	Flow-test (cm)	Ar incorporado (%)
REF	71	7
TA3	70	13
TA5	69	14
TV3	70	15
TV5	70	12

Nota-se que a adição do pigmento não resultou em grandes diferenças de fluidez entre o traço de referência e as colorações e porcentagens de adição de pigmento. No entanto, ao comparar a quantidade de ar incorporado, percebe-se um aumento nos traços com pigmento. Isso pode ser atribuído aos finos do pigmento, o que pode causar uma maior incorporação de ar na mistura.

Após um período de cura de 28 dias, realizou-se uma análise da coloração obtida nos corpos de prova moldados especificamente para este propósito, conforme ilustrado na Figura (16).



Figura 16 – Demonstração das cores obtidas aos 28 dias, na sequência REF, TA3, TA5, TV3 e TV5.

Foi observado que o pigmento coloriu a argamassa autonivelante de forma satisfatória, proporcionando uma tonalidade uniforme e atraente. Além disso, notou-se que a coloração permaneceu estável ao longo do tempo de cura, indicando uma boa fixação do pigmento na matriz de argamassa. Essa consistência na coloração é fundamental para garantir a uniformidade estética do produto final, especialmente em aplicações onde a aparência visual é um requisito essencial, como em revestimentos de pisos e paredes. A qualidade da coloração obtida demonstra a eficácia do pigmento utilizado e reforça sua adequação para uso em argamassa autonivelante.

4. Conclusões

Durante o desenvolvimento da pesquisa, tornou-se evidente que a inclusão de pigmentos teve um impacto negativo na resistência à compressão em comparação com o traço de referência.

Ao analisar as argamassas com pigmento amarelo, percebemos que um aumento na quantidade de pigmento resultou em uma diminuição da resistência alcançada. No entanto, ao examinar as argamassas com pigmento vermelho, constatou-se que uma concentração maior levou a uma resistência superior. Isso ocorre em parte devido à presença de ar incorporado. Notou-se que o traço de referência (REF) apresentou uma menor quantidade de ar incorporado, resultando em uma resistência mais alta em comparação com os traços que continham pigmentos adicionados. Isso se deve ao fato de que os pigmentos são finos e contribuem para um aumento na quantidade de ar. A incorporação de ar forma bolhas que, durante o processo de endurecimento, se transformam em espaços vazios, o que contribui para a formação de áreas com maior fragilidade.

Ao observar as amostras com pigmento amarelo na Tabela (3), notamos que o traço TA5 apresentou uma maior incorporação de ar em comparação com o TA3, resultando em uma resistência menor para o TA5.

Por outro lado, nas amostras com pigmento vermelho, vimos na Tabela (3) que o traço TV3 incorporou mais ar do que o TV5, resultando em uma resistência maior para o traço TV5.

Além disso, a forma acicular e irregular do pigmento também desempenha um papel importante, pois aumenta o volume de vazios, resultando em uma menor resistência na argamassa autonivelante.

Todos os traços foram preparados com o mesmo lote de materiais, porém, não foi possível controlar a temperatura e a umidade durante o processo, o que resultou em influências do ambiente sobre as amostras.

Neste estudo, conforme mencionado anteriormente, observou-se que o pigmento aplicado à argamassa autonivelante proporcionou uma coloração satisfatória, resultando em uma tonalidade uniforme e atrativa. No entanto, é crucial realizar pesquisas adicionais sujeitando a argamassa autonivelante colorida a diferentes condições e intempéries.

Para garantir que o piso feito com argamassa autonivelante colorida tenha durabilidade e seja resistente, recomenda-se o uso de um selador ou verniz adequado como camada final. Esse material proporcionará uma finalização protetora, ajudando a preservar a cor e a resistência da argamassa ao longo do tempo. Além disso, o selador ou verniz também pode fornecer propriedades adicionais, como resistência à abrasão, à umidade e facilitar a limpeza do piso.

Portanto, a argamassa autonivelante colorida mostra-se promissora para uso em aplicações não estruturais em edificações, como revestimentos de pisos internos e áreas decorativas. No entanto, para garantir sua eficácia e adequação em diferentes contextos, é essencial realizar estudos mais aprofundados. Isso inclui investigações sobre sua resistência a longo prazo, durabilidade em ambientes específicos, comportamento sob variações climáticas e aprimoramento das formulações para atender às demandas específicas dos projetos. Essa pesquisa adicional ajudará a fornecer diretrizes mais precisas para o uso e aplicação da argamassa autonivelante colorida em diversas situações construtivas.

5. Agradecimentos

Expressamos nossa sincera gratidão ao Grupo Pedreira Mix Mattar por sua generosa colaboração ao fornecer o material necessário para os traços de

concreto e os equipamentos essenciais para a condução desta pesquisa. Além disso, gostaríamos de estender nossos sinceros agradecimentos à empresa INOVE por disponibilizar as formas para a moldagem dos corpos de prova, cuja contribuição foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Agradecemos imensamente a todos os envolvidos por sua valiosa contribuição, que foi crucial para a realização e conclusão deste estudo. Estamos verdadeiramente gratos pela parceria e apoio oferecidos.

Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020. *NBR 16868-2. Alvenaria estrutural - Parte 2: Execução e controle de obras*. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023. *NBR 13281-1: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios - Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos*. Rio de Janeiro.
- Conceição, L.B., 2015. *Estudo da Tecnologia e Aplicação do Concreto Colorido em Habitações de Interesse Social*. Projeto de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013668.pdf>> [Acessado 20 março 2024].
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1996. *Carta Geológica. Folha SE.24-V-C-IV - Teófilo Otoni*. Escala 1:100.000. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil.
- Ferraz, L.M.C., Valadão, C.R. e Henrique, J.R., 2016. Geomorfologia do espaço urbano de Teófilo Otoni (MG): contribuições ao ordenamento territorial. In: *XI Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO)*, 11.
- Garcia, E.M.B., Pereira, J.M., Lisboa, M.R.L., Moreira, G.F., Gomes, A.J.L. e Souza, I.P., 2017. *Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Teófilo Otoni. Programa Teófilo Otoni Sustentável*. Teófilo Otoni, Minas Gerais.
- Gomes, A.J.L., Silva, J.M.P., Gomes, J.L.S. e Gomes, P.S., 2012. *Gradiente Geotérmico do Município de Teófilo Otoni no Vale do Mucuri*. Revista de Ciência e Tecnologia do Vale do Mucuri, 1, pp. 1-13.
- Gomes, J.L.S., Gomes, A.J.L. e Gomes, P.S., 2014. Planejamento ambiental com base na geologia e sua aplicação no desenvolvimento urbano do município de Teófilo Otoni. In: *XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas*, 11.
- Gomes, J.R.F., 2018. Estudo da dosagem do concreto colorido de alto desempenho no estado do Ceará. In: *XIII Encontro de pesquisadores da Unichristus*, 13. Ceará.
- Hawlitschek, G., Ulsen, C., Kahn, H., Masini, E.A., e Tocchini, M., 2015. Análise de Imagens Dinâmica - Caracterização da Distribuição de Tamanho e Forma de Partículas. *HOLoS*, 3, pp. 22-29. <https://doi.org/10.15628/holos.2015.1781>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. *Cidades: Teófilo Otoni*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/teofilo-otoni.html>> [Acessado 13 fevereiro 2024].
- Lessa, F. e Coutinho, M., 2013. Weber Saint-Gobain. In: *X SBT - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa*, 10. Fortaleza.
- Martins, E.J., 2009. *Procedimento para dosagem de pastas para argamassa auto-nivelante*. Mestrado em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <<http://surl.li/nnees>> [Acessado 25 março 2024].
- Martins, A.J.G., 2012. *Estudo da durabilidade dos revestimentos de piso*. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10216/65336>> [Acessado 25 março 2024].
- Mendes, G.A.; Effting, C. e Schackow, A., 2020. *Argamassa autonivelante com adição de resíduos de mármore e granitos: propriedades físicas e mecânicas*. *Ambiente Construído*, 20(3), pp. 403-418. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300436>

Nakakura, E.H. and Bucher, H.R.E., 1997. Pisos Autonivelantes: Propriedades e Instalação. In: *Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, 2.

Parreira, H.M.T.B., 2016. *Remoção de Biotita em Areias de Brita Utilizando Separador Magnético de Alta Intensidade a Seco*. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Metalúrgica. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Piovesan, A., 2009. *Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ramos, J.O. e Gomes, A.J.L., 2016. Estratégias para prevenção de riscos ambientais e geológicos nos espaços urbanos da cidade de Teófilo Otoni. *Vozes dos Vales*, V(9), pp.1-17. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2016/06/Jomar.pdf>>. [Acessado 20 julho 2022].

Rojas, D.L., 2003. *O Fenômeno da Eflorescência, soluções construtivas*. São Paulo: Bayer do Brasil.

Rubin, A. P. 2015. *Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra*. Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.