

Avaliação de Propriedades Mecânicas de Argamassas Produzidas com Agregados de Rejeito de Mineração

Giovanni Luigi Corrêa Filho (1); Antônio de Paulo Peruzzi (2).

(1) Graduando, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil

(2) Professor Doutor, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil

Resumo

A produção de minério de ferro é associada ao grande volume de rejeitos gerados durante o seu tratamento, conseqüentemente, o impacto ambiental sucedido da exploração dos recursos minerais é causa de atenção para solucionar o gerenciamento destes resíduos sólidos que são depositados em barragens de aterro hidráulico. Por meio do desenvolvimento tecnológico a reutilização deste material, como agregado, para produção de argamassas mostra-se uma solução promissora. Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência da adição de diferentes teores de rejeito de minério na composição de uma argamassa utilizada para revestimento. Para isso, foram produzidos seis traços de argamassa, sendo um com areia natural para efeito de comparação e os teores de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, em todos foram medidos a resistência a compressão, a resistência potencial de aderência, a resistência à tração na flexão, o módulo de elasticidade e densidade. Dentre os teores analisados, foi possível concluir que o teor ótimo é de 50% de devido o maior desempenho mecânico na aderência potencial em relação ao traço com areia natural.

Palavras-Chave: argamassa, minério de ferro, rejeito, desempenho mecânico

1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas estima que cerca de 40 a 50 bilhões de toneladas de areia são consumidas por ano no mundo. Depois da água, este é o recurso que mais sofre com a extração ilegal e predatória. O estudo revela que sua extração dos rios tem causado o aumento da poluição e das inundações, além da diminuição de aquíferos e do agravamento da seca (ONU, 2019).

A Vale, empresa brasileira que atua no ramo de mineração, investiu cerca de R\$ 50 milhões no desenvolvimento de um tipo de areia produzida a partir de adequações na operação de minério de ferro da sua unidade localizada no estado de Minas Gerais. Esse material de características semelhante às das areias, anteriormente descartado em barragens de rejeito, passou a ser processado e transformado em produto com potencial para ser usado na construção civil por conter um alto teor de sílica e baixo teor de ferro (VALE, 2021). Assim, se diminuirá a criação de barragens para armazenamento de rejeito e implanta um novo material no mercado como uma opção de agregado.

A escória é um material gerado na fundição, cuja composição é variável conforme as impurezas presentes no minério. Trata-se de um material de grande importância para a indústria siderúrgica, tendo em vista que ela pode ser reutilizada na fundição, como material de partida para a fabricação de novos produtos e é comumente utilizada no processo de fabricação do cimento (COUTO, 2010). Além da indústria siderúrgica, a escória também pode ser utilizada na construção civil, como adições no processo de fabricação do cimento (formando o CP II e CP III) ou como agregado miúdo.

A caracterização do rejeito de mina é importante para determinar a potencialidade deste material para utilização como agregado. Por tratar-se de um processamento essencialmente físico, a areia não apresenta toxidade, visto que não sofre alteração na composição dos materiais. Outro ponto positivo para a construção civil é que o produto apresenta alta uniformidade química e granulométrica (VALE, 2021).

Este artigo diz respeito à pesquisa que objetivou a avaliação de desempenho da substituição parcial do agregado de argamassas compostas por cimento Portland, areia fina e água por uma areia de minério provinda de beneficiamento de rejeito.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O agregado convencional utilizado - aqui chamado de “referência” - é uma areia proveniente de britagem seguido de lavagem e peneiramento de material retirado em uma jazida localizada nas redondezas da cidade de Brasília (DF), que foi escolhido devido à utilização na produção de argamassas no Distrito Federal. Já a areia de minério que foi utilizada foi produzida em uma indústria siderúrgica pelo reprocessamento do rejeito gerado na mineração. O material foi transportado do estado de Minas gerais, onde é produzido, até Brasília através de trens e carretas. As características físicas e curvas granulométricas das duas areias são apresentadas, respectivamente, na Tabela 1 e na Figura 1.

O aglomerante utilizado foi o cimento CII F 40, produzido pela Votorantim, que é comumente encontrado na cidade de Brasília, tem a sua produção feita em na cidade de Sobradinho (DF), o aditivo incorporador de ar e os agregados (convencional de origem quartzosa e a de minério) têm suas características físicas são apresentadas na Tabela 1.

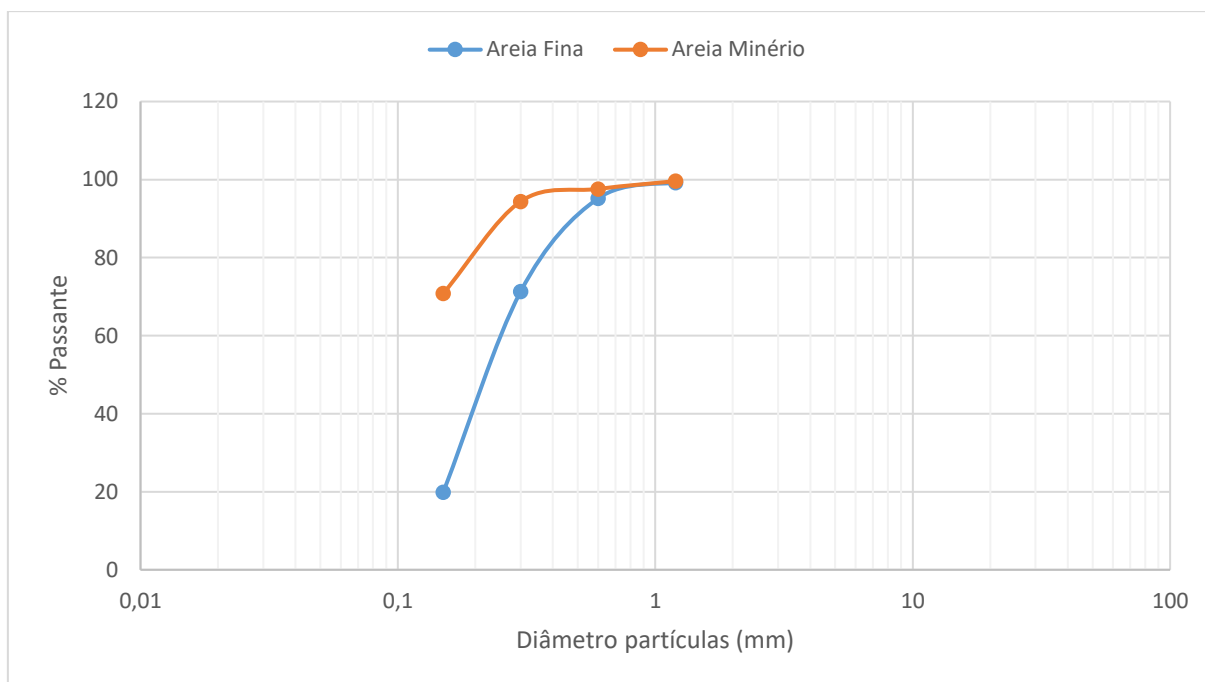
Tabela 1 - Propriedades dos materiais

| Material | Propriedade | | Resultado | |
|------------------|---|--|-----------|-------|
| Cimento CII F-40 | Tempo de pega (h) | Início | 1h40 | |
| | | Fim | 2h30 | |
| | Área específica - Blaine (cm ² /g) | | 5938 | |
| | Massa específica (g/cm ³) | | 3,165 | |
| | Resistência a compressão (MPa) | | 3 dias | 39,93 |
| | | | 7 dias | 44,9 |
| 28 dias | | | 51,7 | |
| Areias | Areia de minério | Massa específica (g/cm ³) | 2,7 | |
| | | Módulo de finura | 0,397 | |
| | | Teor de material pulverulento (%) | 20 | |
| | Areia de cava fina | Massa específica (g/cm ³) | 2,67 | |
| | | Módulo de finura | 1,13 | |
| | | Teor de material pulverulento (%) | 17,5 | |
| Aditivo | Incorporador de ar | Massa específica (kg/dm ³) | 1,035 | |

Fonte: Autor (2022)

Os agregados usados, areia convencional (de cava) e a areia de minério têm suas granulometrias apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Curva granulométrica dos agregados



Fonte: Autor (2022)

2.2 Métodos

Inicialmente foi definido empiricamente o traço da argamassa de “referência”, aqui representada como **T0**, que possui 100% do agregado composto pela areia natural e conta com um teor de incorporador de ar de 0,15%. Optou-se por fazer uso de aditivos incorporadores de ar para argamassas em substituição à cal por se tratar de um insumo mais barato e que garante boa trabalhabilidade e consistência a argamassa, podendo reduzir o fator água cimento da mistura. Ressalta-se que o teor de aditivo incorporador de ar foi baseado em práticas laboratoriais e está dentro da faixa ideal apresentada pelo fabricante de 0,05% a 0,3%.

No total foram avaliados seis diferentes tipos de argamassas, sendo uma composta somente por areia natural (referência, T0), e cinco argamassas com substituições parciais da areia natural pela areia de minério conforme apresentado na Tabela 2, variando em 10% até atingir 50% de mescla.

Tabela 2 – Teores de substituição de areia natural pela areia de minério nas argamassas

| Argamassa | Teor areia natural (%) | Teor areia de minério (%) |
|-----------|------------------------|---------------------------|
| T0 | 100 | 0 |
| T10 | 90 | 10 |
| T20 | 80 | 20 |
| T30 | 70 | 30 |
| T40 | 60 | 40 |
| T50 | 50 | 50 |

Fonte: Autor (2022)

Na ocasião do preparo das argamassas, garantiu-se os materiais estivessem isentos de umidade para que não houvesse interferência nos resultados. A mistura foi realizada por meio de uma de betoneira convencional (por gravidade) e seguiu-se a seguinte ordem de colocação dos materiais: 1º) todo os materiais secos; 2º) água de amassamento e o aditivo incorporador de ar. O tempo total de mistura foi de sete minutos e mantido para todas as argamassas para que toda a incorporação de ar em decorrência da presença do aditivo incorporador fosse atingida. A metodologia empregada de produção da argamassa tem como objetivo simular o ambiente e controle de um canteiro de obras.

Não foram realizados ajustes na água de amassamento, uma vez que não houve grandes perdas na consistência das diferentes argamassas, com a intenção de avaliar estritamente a influência da adição do material mais fino nas características da argamassa no seu estado fresco e endurecido.

As avaliações das argamassas tiveram como referência os requisitos apresentados pela ABNT NBR 13281:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.

Além disso, foram realizados os seguintes ensaios para a avaliação das propriedades das argamassas no estado fresco:

- Determinação da massa e ter de ar incorporado – ABNT NBR 13278:2005;
- Determinação do índice de consistência – ABNT NBR 13276:2016;
- Determinação da retenção de água – ABNT NBR 13277:2005.

As Figuras 2A e 2B ilustram os equipamentos utilizados para aferição da consistência através da *Flow Table* e o Funil de Buchner adaptado conforme a ABNT NBR 9290:1996 para medição da retenção de água.

Figura 2 – a) Equipamento para ensaio de retenção de água; b) *Flow Table*



Fonte: Autor (2022)

Embora a maioria das normas brasileiras para concreto e argamassas proponham a realização dos ensaios que as análises no estado endurecido aos 28 dias de idade, neste trabalho, os ensaios no estado endurecido foram realizados aos 56 dias de idade com a intenção de se aproximar à realidade do controle tecnológico das obras que consomem grandes quantidades de argamassa. Isso se deve pelo fato de, normalmente, as construtoras aguardarem até o término de uma etapa ou fase do cronograma planejado que pode ser dividido por pavimentos executados, por exemplo, para que assim realizarem os ensaios normativos com amostragens estratégicas a fim de aprovarem o serviço executado. Assim, as normas utilizadas para a caracterização das argamassas estudadas no estado endurecido foram:

- Determinação da resistência potencial de aderência à tração – ABNT NBR 15258:2005;

Para determinação da resistência potencial de aderência as argamassas foram moldadas no substrato padrão e posteriormente submetidas à um esforço de tração e medido a força necessária para o rompimento. A Figura 3 ilustra as argamassas moldadas em substrato padrão. Para cada argamassa foi moldada 1 amostra contendo 10 corpos de prova para ensaio.

Figura 3 – Moldagens em substrato padrão das argamassas



Fonte: Autor (2022)

- Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica – ABNT NBR 15630:2009.

O módulo de elasticidade é obtido pela velocidade de propagação captada pelo aparelho de ultrassom utilizado no ensaio, ilustrado na Figura 4. Para a aferição foram utilizados corpos de prova prismáticos de 4x4x16cm. Foram moldados três corpos de prova para cada traço. No ensaio são feitas três leituras da velocidade para cada corpo de prova. O ensaio não é destrutível, fazendo com que o corpo de prova possa ser utilizado em outros ensaios.

Figura 4 – Equipamento utilizado para medição de velocidade de propagação de onda



Fonte: Autor (2022)

- Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão – ABNR NBR 13279:2005.

Para realização destes ensaios foi necessária a utilização de um suporte para adaptar a distribuição da carga sobre o corpo de prova a fim de medir a resistência da tração na flexão. A Figura 5 ilustra os equipamentos utilizados.

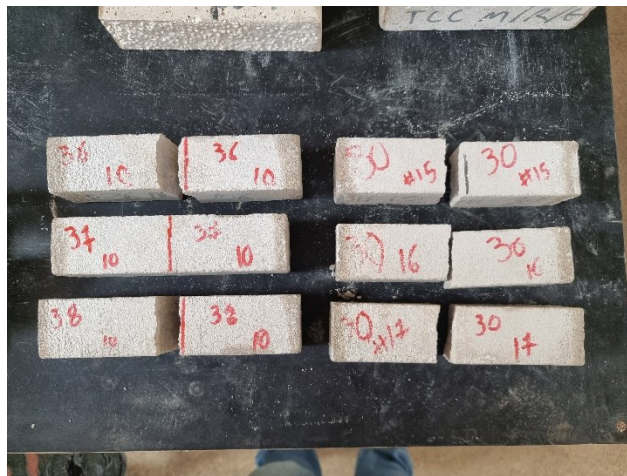
Figura 5 – Prensa e suporte utilizado para rompimento na flexão



Fonte: Autor (2022)

Após a determinação do módulo de elasticidade os corpos de prova, três de cada traço, foram submetidos à flexão para aferir a resistência à tração. Trata-se de um ensaio destrutivo, fazendo com que os corpos de provas prismáticos se dividam em duas partes, formando dois corpos de prova para utilização no ensaio à compressão. Na Figura 6 estão ilustrados os corpos de prova rompidos. Posteriormente os mesmos corpos de provas, agora seis de cada traço, são submetidos à compressão para determinação da resistência à compressão.

Figura 6 – Corpos de prova prismáticos após a realização do ensaio de tração na flexão

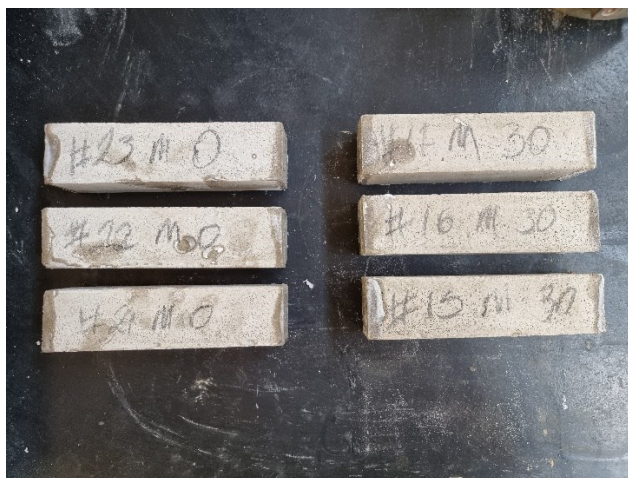


Fonte: Autor (2022)

- Determinação da densidade de massa no estado endurecido – ABNT NBR 13280:2005.

Os corpos de provas prismáticos, ilustrados na Figura 7, foram utilizados para a determinação da densidade. Foram aferidas suas características geométricas e o peso.

Figura 7 – Corpos de provas prismáticos



Fonte: Autor (2022)

3 RESULTADOS

3.1 Avaliação das Argamassas no estado fresco

No estado fresco da argamassa foram realizados os ensaios de índice de consistência, teor de ar incorporado, densidade de massa e retenção de água.

3.1.1 Índice de consistência

Para o índice de consistência foi adotado um mínimo de 240 ± 10 mm visando alcançar uma trabalhabilidade mínima para a argamassa. Os resultados estão apresentados na Tabela 3 e a Figura 8 ilustra um dos processos da realização do ensaio.

Tabela 3 – Índice de consistência

| Argamassa | Índices de consistência (mm) | | | Índice de consistência (mm) |
|-----------|------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|
| | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura 3 | |
| T50 | 252 | 257 | 258 | 256 |
| T40 | 266 | 261 | 263 | 263 |
| T30 | 265 | 263 | 268 | 265 |
| T20 | 248 | 251 | 249 | 249 |
| T10 | 244 | 247 | 249 | 247 |
| T0 | 247 | 250 | 252 | 250 |

Fonte: Autor (2022)

Figura 8 – Tronco de cone preenchido e arrasado para ensaio de consistência na *Flow Table*

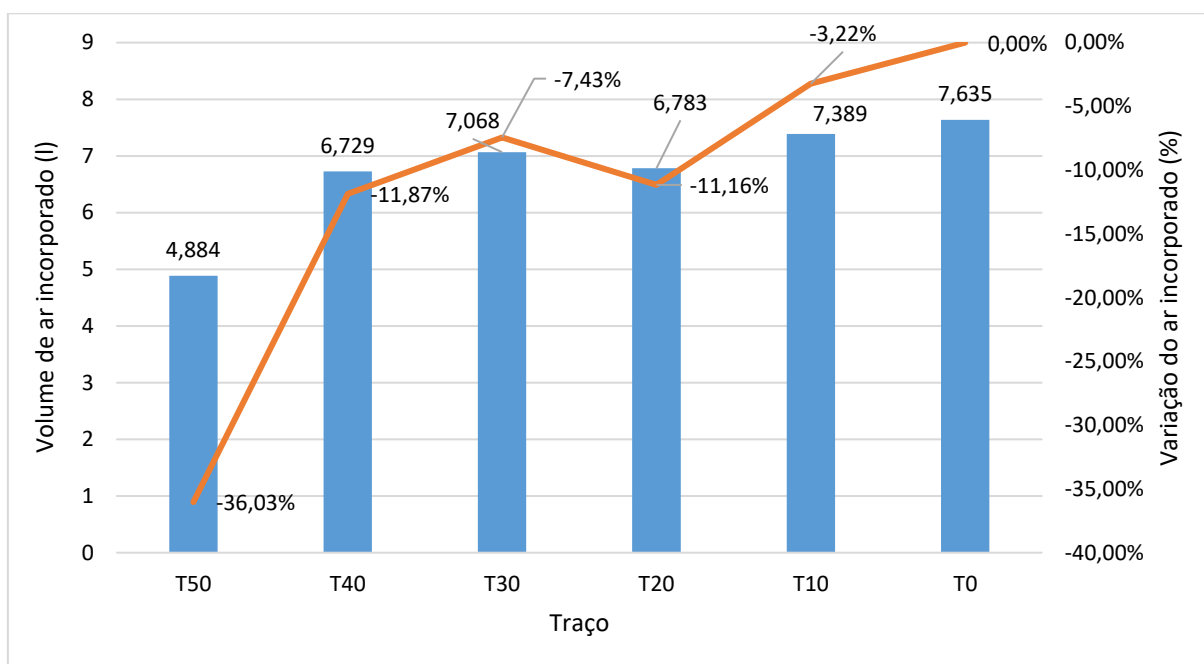


Fonte: Autor (2022)

3.1.2 Teor de ar incorporado

Os resultados de incorporação de ar das argamassas avaliadas estão na Figura 9, a seguir.

Figura 9 – Incorporação de ar das argamassas



Fonte: Autor (2022)

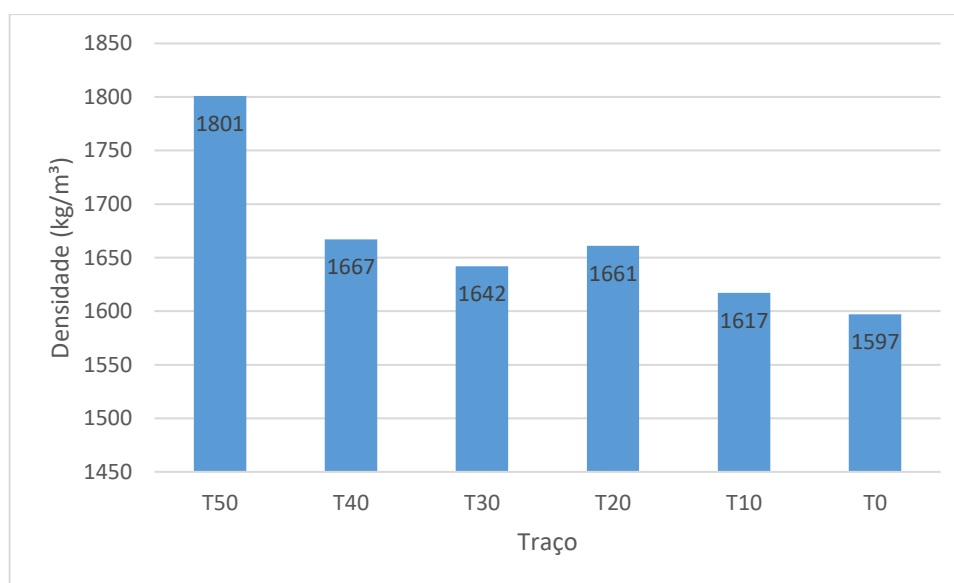
Com base nos resultados da incorporação de ar obtidos na preparação das argamassas obteve-se um decréscimo da incorporação de ar conforme a concentração de material fino aumenta na proporção utilizada.

Resende (2010) analisou a variação do teor de ar incorporado em argamassas, mantendo condições fixas de substrato, e chegou à conclusão que o teor de 22% é o que consegue os melhores resultados nos estados fresco e endurecido. Os resultados obtidos mostram que a baixa incorporação de ar na argamassa **T50** resultou em resistências superiores, mas em consequência um alto valor para densidade. Já no traço de referência **T0** a alta incorporação ocasionou uma queda no desempenho mecânico da argamassa. Analogamente pode-se associar um alto teor de ar incorporado com uma queda no desempenho mecânico e na densidade de massa.

3.1.3 Densidade de massa

Os resultados da densidade de massa, medidas no estado fresco, estão dispostas a Figura 10.

Figura 10 – Valor da massa específica no estado fresco das argamassas



Fonte: Autor (2022)

A ABNT NBR 13281:2013 estabelece uma classificação para as argamassas de acordo com o valor de sua densidade de massa no estado fresco (Tabela 4).

Tabela 4 – Classificação da argamassa no estado fresco

| Classe | Densidade de massa no estado fresco (kg/m³) |
|--------|---|
| D1 | ≤ 1400 |
| D2 | 1200 a 1600 |
| D3 | 1400 a 1800 |
| D4 | 1600 a 2000 |
| D5 | 1800 a 2200 |
| D6 | > 2000 |

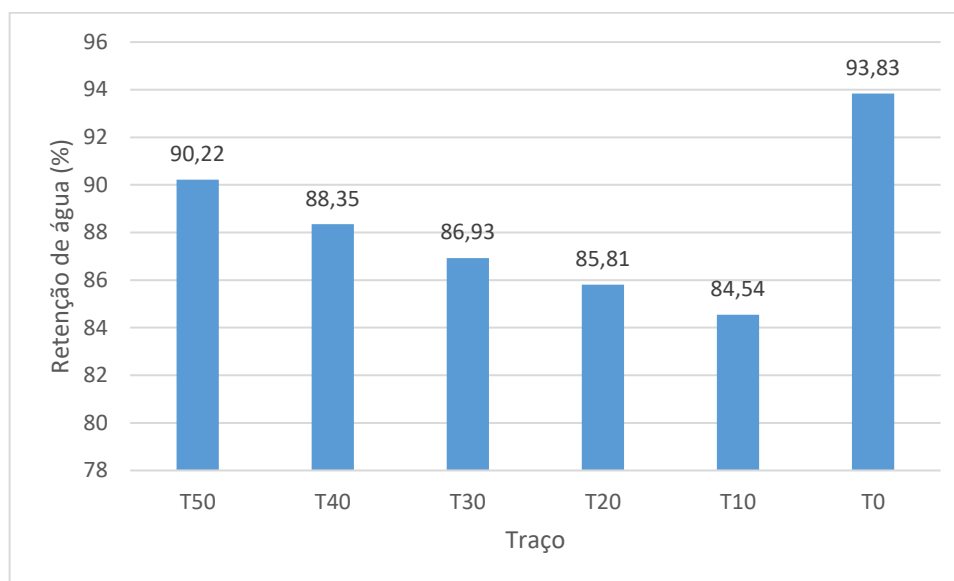
Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013)

De acordo com os valores obtidos se pode classificar a argamassa T50 como D5 e as demais classificadas como D4.

3.1.4 Retenção de água

Os valores obtidos nos ensaios de retenção de água estão expostos na Figura 11.

Figura 11 – Valores de retenção de água



Fonte: Autor (2022)

Segundo Alves (2002), as bolhas de ar apresentam uma superfície hidrófila que contribui para retenção de água. Rixon e Malvaganan apud Alves (2002) explicam que a presença de bolhas no material cimentício diminui a exsudação, devido a sua capacidade de reter água.

Por ser um material muito fino a areia de minério acaba ocupando os espaços aonde as moléculas de águas ficaram alojadas na pasta. Percebe-se que, ao aumentar a concentração da areia de minério, aumenta-se a retenção de água na argamassa.

Os valores de retenção de água também são utilizados como forma classificação das argamassas, de acordo com a Tabela 5, presente na NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 5 - NBR 13281 Classificação quanto a retenção de água

| Classe | Retenção de água (%) |
|--------|----------------------|
| U1 | ≤ 78 |
| U2 | 72 a 85 |
| U3 | 80 a 90 |
| U4 | 86 a 94 |
| U5 | 81 a 97 |
| U6 | 95 a 100 |

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013)

De acordo com os valores obtidos nos ensaios as argamassas podem ser classificadas como U5.

Diante dos resultados expostos as argamassas foram assim classificadas no estado fresco conforme a NBR 13281 (ABNT, 2013) conforme a Tabela 6 a seguir

Tabelas 6 – Classificação geral das argamassas

| Argamassa | Densidade da massa no estado fresco | Retenção de água |
|-----------|-------------------------------------|------------------|
| T50 | D4 | U5 |
| T40 | D3 | U3 |
| T30 | D3 | U3 |
| T20 | D3 | U3 |
| T10 | D3 | U3 |
| T0 | D3 | U3 |

Fonte: Autor (2022)

3.2 Avaliação das Argamassas no estado endurecido

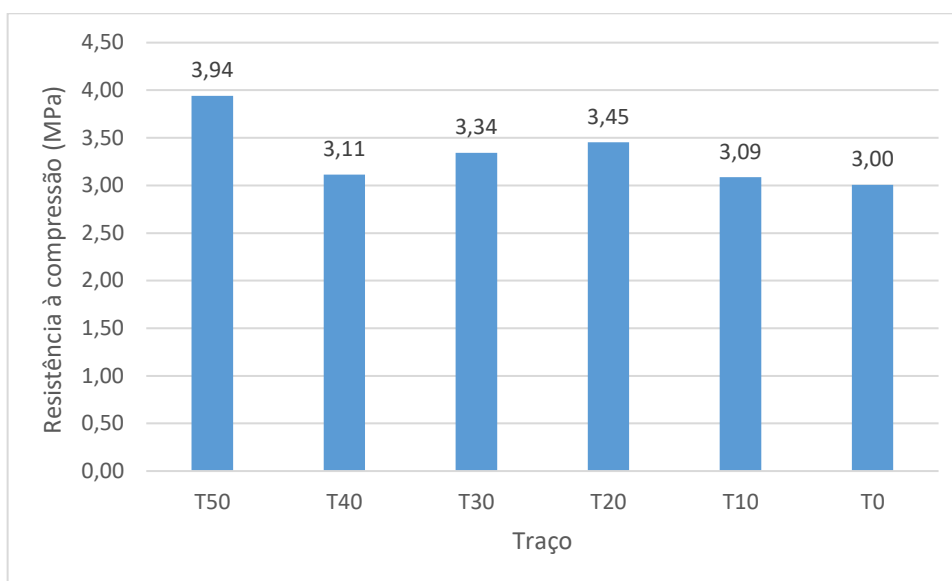
Para avaliar o estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão, densidade de massa aparente e resistência potencial de aderência a tração.

Os ensaios no estado endurecido foram realizados aos 56 dias de idade para se aproximar à realidade do acompanhamento tecnológico executado nas obras de Brasília-DF.

3.2.1 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão

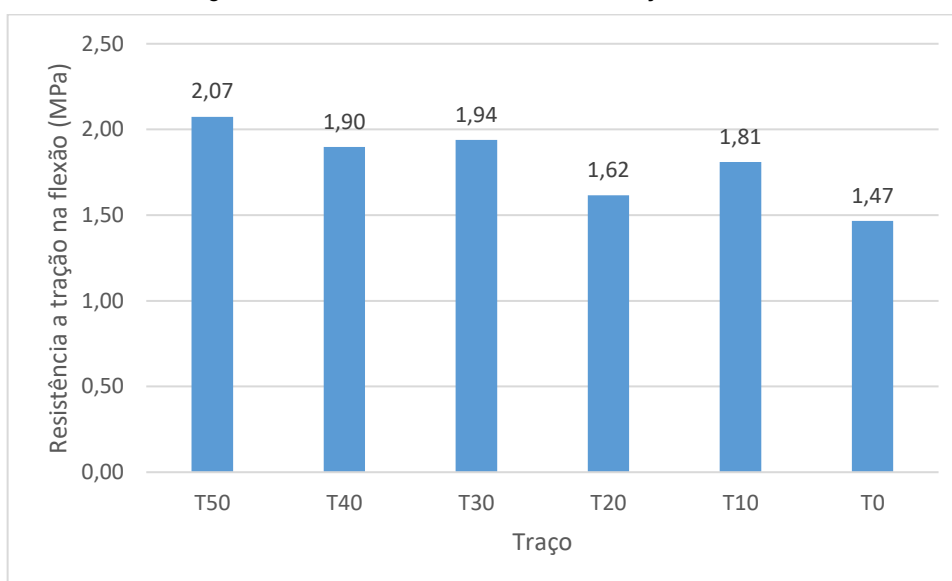
A seguir estão dispostos nas Figuras 12 e 13 os resultados de resistência à compressão e resistência à tração na flexão respectivamente.

Figura 12 – Resultados da resistência à compressão



Fonte: Autor (2022)

Figura 13 – Resultados da resistência à tração na flexão



Fonte: Autor (2022)

Evidencia-se que a argamassa contendo 50% de sua composição da areia de minério apresentou desempenho superior em relação às outras em ambos os ensaios. Possivelmente, isto se deve à compactação dos grãos na mistura garantido um empacotamento dos vazios de forma mais eficiente.

De acordo com os valores encontrados para a resistência à compressão e para a resistência à tração na flexão, as argamassas podem ser classificadas seguindo as Tabelas 7 e 8, presentes na NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 7 – NBR 13281 Classificação quanto à resistência à compressão

| Classe | Resistência à compressão (MPa) |
|--------|--------------------------------|
| P1 | ≤ 2,0 |
| P2 | 1,5 a 3,0 |
| P3 | 2,5 a 4,5 |
| P4 | 4,0 a 6,5 |
| P5 | 5,5 a 9,0 |
| P6 | > 8,0 |

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013)

Tabela 8 – NBR 13281 Classificação quanto à resistência à tração na flexão

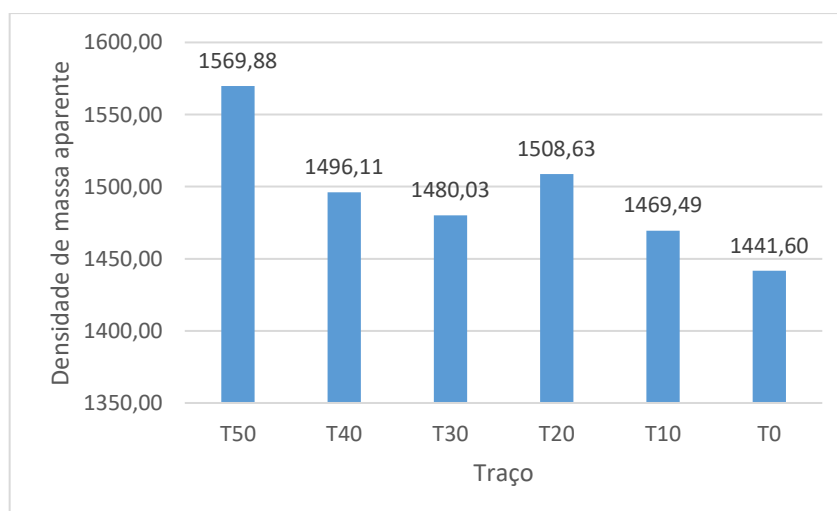
| Classe | Resistência à tração na flexão (MPa) |
|--------|--------------------------------------|
| R1 | ≤ 1,5 |
| R2 | 1,0 a 2,0 |
| R3 | 1,5 a 2,7 |
| R4 | 2,0 a 3,5 |
| R5 | 2,7 a 4,5 |
| R6 | > 3,5 |

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013)

3.2.2 Densidade de massa aparente]

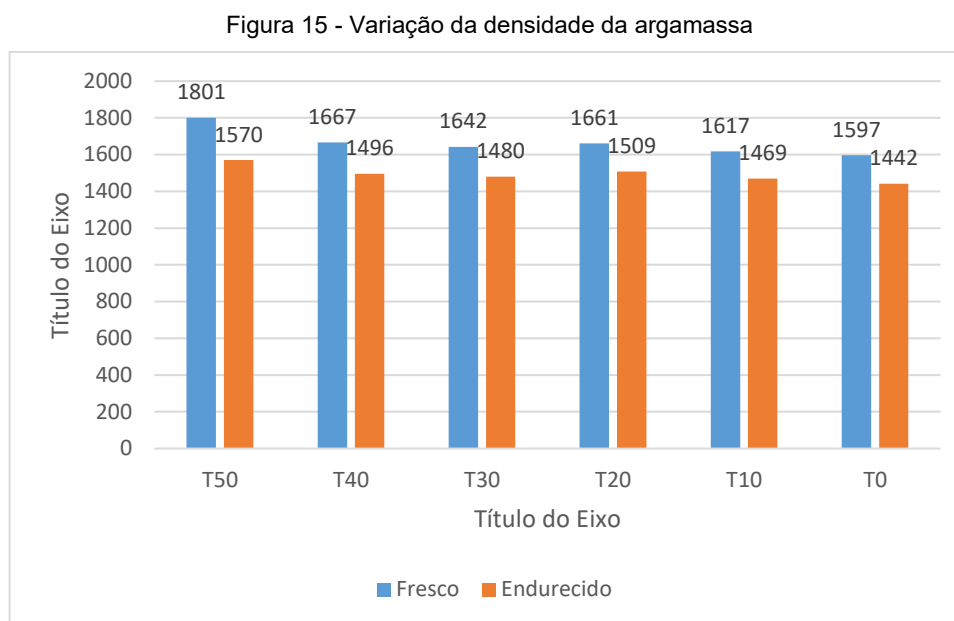
Os valores encontrados de densidade de massa aparente estão dispostos na Figura 14.

Figura 14 – Valores de densidade aparente



Fonte: Autor (2022)

Os valores obtidos demonstram que a presença de mais material fino na argamassa ocasionou um acréscimo na densidade em comparação com o traço sem adição da areia fina de minério. As variações dos valores da densidade de massa para os quatro traços estão expostas na Figura15.



Fonte: Autor (2022)

As variações entre a densidade de massa aparente e a densidade de massa real entre o estado fresco e o endurecido se encontra na Tabela 9.

Tabela 9 – Variação de densidade

| Argamassa | T50 | T40 | T30 | T20 | T10 | T0 |
|---------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Variação de densidade (%) | -12,83% | -10,25% | -9,86% | -9,17% | -9,12% | -9,73% |

Fonte: Autor (2022)

Segundo Da Costa (2016), as argamassas secas ao ar livre perdem em torno de 3% a 11% de sua densidade de massa do estado fresco para o endurecido. Em concordância com o que Da Costa apresentou, as argamassas tiveram variação na densidade entre o estado fresco e endurecido de aproximadamente 10%.

A argamassa com a maior concentração de areia de minério em sua composição apresentou a maior variação de densidade entre o estado fresco e endurecido.

Com base na densidade de massa aparente no estado endurecido é possível classificar as argamassas conforme a Tabela 10, extraída da ABNT NBR 13281:2013.

Tabela 10 – NBR 13281 Classificação quanto a densidade de massa aparente no estado endurecido

| Classe | Dens. de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³) |
|--------|---|
| M1 | ≤ 1200 |
| M2 | 1000 a 1400 |
| M3 | 1200 a 1600 |
| M4 | 1400 a 1800 |
| M5 | 1600 a 2000 |
| M6 | > 1800 |

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013)

As argamassas ficam então classificadas como M4.

3.2.3 Resistência Potencial de Aderência à Tração

Os valores mínimos de resistência a aderência para argamassas de revestimento são determinados pela NBR 13749 (ABNT, 2013) na Tabela 11.

Tabela 11 – Limites de resistência de aderência à tração

| Local | Acabamento | Ra (MPa) | |
|--------|------------|-----------------------------|--------|
| Parede | Interna | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,20 |
| | | Cerâmica ou laminado | ≥ 0,30 |
| | Externa | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,30 |
| | | Cerâmica | ≥ 0,30 |
| Teto | - | ≥ 0,30 | |

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013)

Como a aplicação da argamassa possui diferentes limites conforme as características da aplicação, foi definido para este estudo que o valor mínimo de resistência a aderência seja compatível ao pior cenário, ou seja, 0,30 MPa. Os valores obtidos para a resistência potencial a aderência, o desvio padrão e coeficiente de variação de cada ensaio estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados de aderência potencial

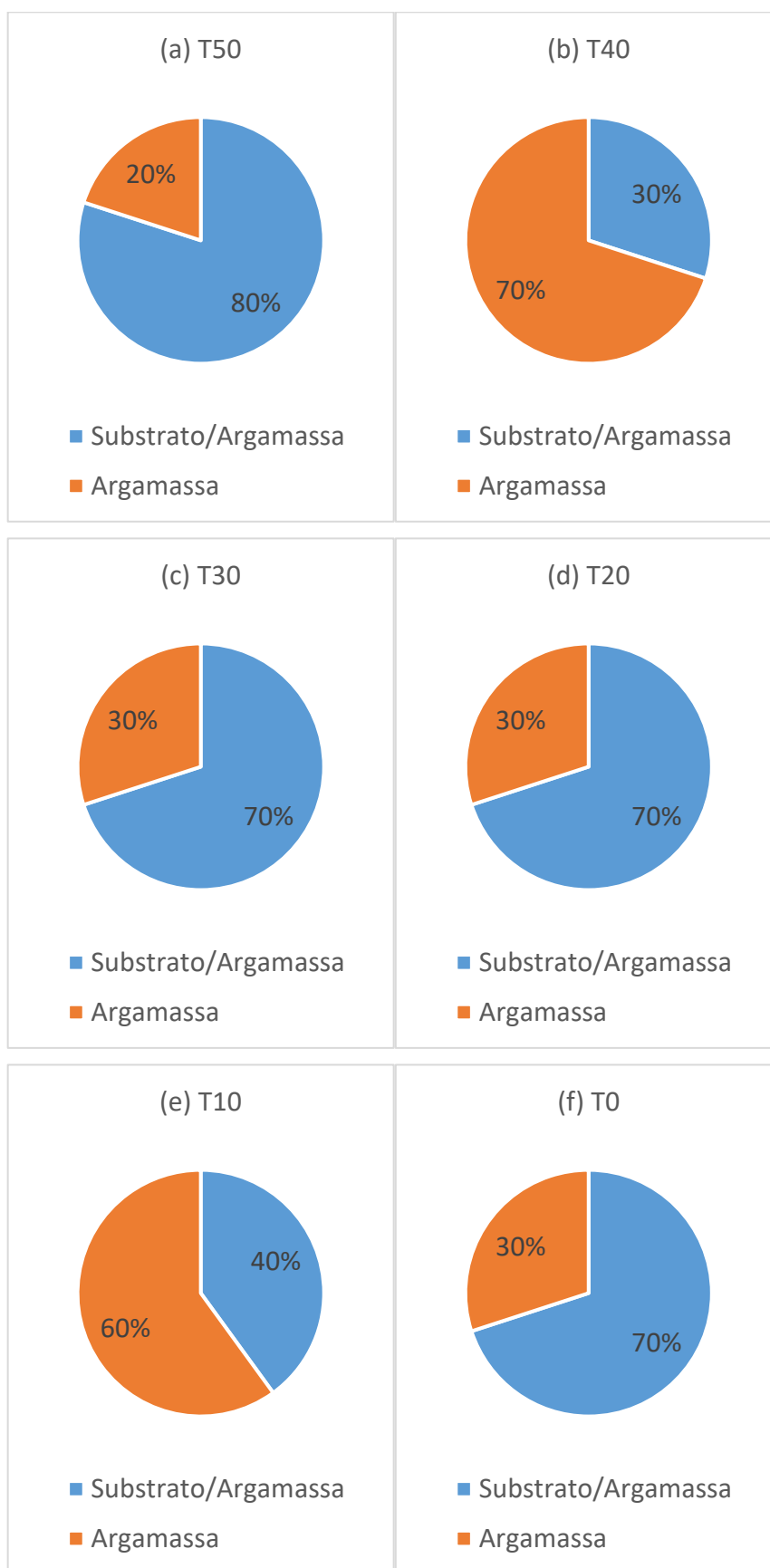
| Argamassa | Resistência de aderência média (MPa) | Desvio Padrão | Coefficiente de variação |
|-----------|--------------------------------------|---------------|--------------------------|
| T50 | 0,62 | 0,098496 | 16% |
| T40 | 0,60 | 0,044287 | 7% |
| T30 | 0,61 | 0,072525 | 12% |
| T20 | 0,49 | 0,072133 | 15% |
| T10 | 0,44 | 0,068642 | 16% |
| T0 | 0,43 | 0,068557 | 16% |

Fonte: Autor (2022)

Os resultados de resistência de aderência obtidos atendem as exigências mínimas da norma regulamentadora NBR 13749 (ABNT, 2013) e a variação dos resultados no ensaio estão dentro dos parâmetros aceitáveis.

A norma ainda determina que se deve analisar a região onde ocorreu o rompimento afim de examinar o desempenho do revestimento por completo. Na Figura 16 estão ilustradas a forma de ruptura para cada argamassa.

Figura 16 – Forma de ruptura das argamassas: (a) T50; (b) T40; (c) T30; (d) T20; (e) T10; (f) T0



Fonte: Autor (2022)

Conforme Da Costa (2016), as rupturas podem ser classificadas como coesivas quando ocorrem no interior do substrato ou da argamassa, e adesivas quando a ruptura ocorre na interface entre os materiais. Analisando as formas de rupturas e suas respectivas proporções ao todo nota-se que, em sua maioria, na região de interface entre o substrato da placa padrão e a argamassa, mas havendo ruptura também na argamassa nos traços avaliados.

A resistência de aderência da argamassa também é considerada como uma forma de classificação da argamassa pela NBR 13281 (ABNT, 2005), como pode ser verificado na Tabela 13.

Tabela 13 – Resistência de aderência à tração

| Classe | Resistência potencial de aderência à tração (MPa) |
|--------|---|
| A1 | < 0,20 |
| A2 | ≥ 0,20 |
| A3 | ≥ 0,30 |

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2013)

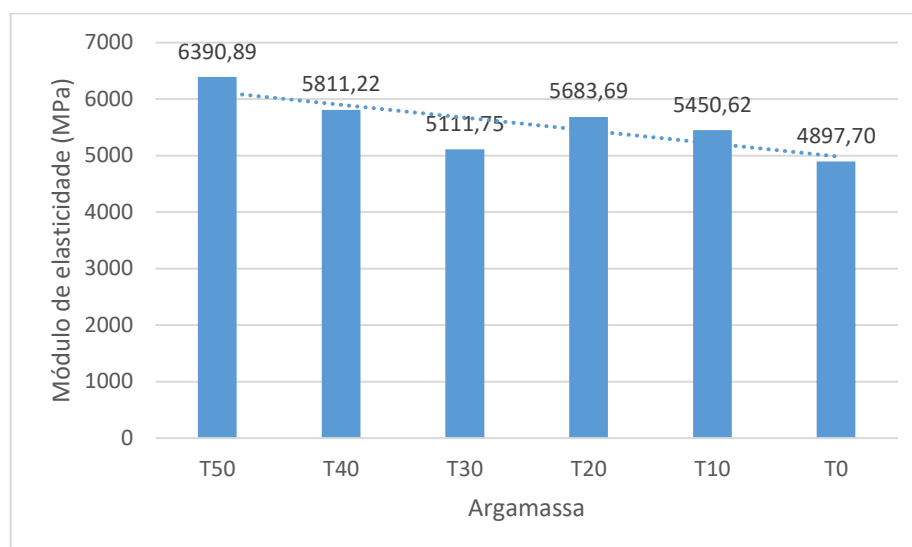
De acordo com os resultados obtidos nos ensaios, todas as argamassas se enquadram na classe A3

3.2.4 Módulo de elasticidade dinâmico

Este ensaio visa identificar alterações no módulo de elasticidade das argamassas conforme substitui-se o agregado pela areia de minério. O ensaio consiste na leitura do tempo necessários para que um pulso mecânico atravesse o corpo de prova e seja captado na outra extremidade.

A seguir, na Figura 17, estão os valores obtidos para o módulo de elasticidade de cada argamassa testada. Foram utilizados três corpos de prova de cada argamassa. Para cada corpo de prova foram realizadas três leituras.

Figura 17 – Valores de Módulo de elasticidade por argamassa



Fonte: Autor (2022)

Percebe-se que, com o aumento da concentração de material fino, o módulo de elasticidade também aumenta. Segundo Sabbatini (2008), quanto menor for o módulo, analogamente menor teor de finos, maior será a capacidade da argamassa em absorver deformações.

4 CONCLUSÃO

As argamassas contendo adição da areia de minério obtiveram resultados e desempenho superiores à argamassa de referência T0. Percebe-se que as argamassa que tiveram em sua composição a adição deste material muito fino obtiveram um aumento no módulo de elasticidade o que pode ser correlacionado com uma maior compactidade e grau de empacotamento do agregado fazendo assim que a densidade da argamassa aumente.

Houve grandes ganhos no desempenho no estado endurecido, atingindo valores até 30% superiores no ensaio de aderência potencial com relação à argamassa de referência. A resistência a tração na flexão e resistência à compressão obtiveram ganhos significativos.

Apesar de muito fino a areia de minério não ocasionou perda de consistência nas argamassas nas proporções propostas. Contudo, notou-se que a incorporação de ar caiu conforme o percentual da areia de minério foi aumentado. Os valores obtidos

para retenção de água retratam uma grande diferença quando comparado com a argamassa de referência.

Pode-se concluir que o material fino ocupa parte do espaço na pasta onde ficariam alojadas as microbolhas de ar e água, e que em maiores proporções comporta-se como uma micro adição proporcionando desempenho superiores no estado endurecido e não prejudicando a plasticidade.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida e sabedoria e por ter me dado saúde e garra para enfrentar todas dificuldades;

Aos meus pais e irmãos, que me apoiaram e incentivaram durante toda minha vida e me fortaleceram nos momentos difíceis;

A esta Universidade, seu corpo docente, direção e administração;

A Faculdade de Engenharia Civil e todos professores que fizeram parte de minha formação pessoal e profissional;

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Peruzzi pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho;

A todos colegas de turma que compartilharam comigo esta jornada;

A todos colegas de trabalho com quem pude aperfeiçoar os ensinados a mim passados.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR NM 65:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2009.

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

____. **NBR 9776:** Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

____. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

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

____. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

____. **NBR 15258:** Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa.** 4a Ed. São Paulo: Nome da Rosa, (Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras). 2008.

DA COSTA, Ivandro. **Estudo Comparativo entre as Argamassas de Revestimento Externo: Preparada em Obra, Industrializada Fornecida em Sacos, e Estabilizada Dosada em Central.** 2016. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Taquari. Lajeado, RS, 2016. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10737/1412>>. Acesso em: 07 nov. 2022.

DA COSTA, Marienne. **Notas de aulas UFPR. Materiais de Construção. Engenharia Civil.** Departamento de Construção Civil. Universidade Federal Do Paraná. Disponível em: <<http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/index.php/Disciplinas>> Acesso em 10 nov. 2022.

SANTANA, Thiago da Silva. **Avaliação da influência da utilização de agregado miúdo reciclado em argamassas estabilizadas.** 2018. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.