

## **Análise comparativa entre aderência à tração e resistência à compressão em argamassas produzidas com vermiculita expandida**

### **Stella Bruna Ananias Affonso**

Mestra, UNESP, Brasil.  
stella.affonso@unesp.br  
ORCID iD 0000-0002-3276-6380

### **Edson Alves**

Professor Mestre, UEM, Brasil.  
ealves@uem.br  
ORCID iD 0009-0005-1265-8162

### **Maximiliano dos Anjos Azambuja**

Professor Doutor, UNESP, Brasil.  
m.azambuja@unesp.br  
ORCID iD 0000-0001-9799-7342

Submissão: 06/12/2024

Aceite: 01/01/2025

AFFONSO, Stella Bruna Ananias; ALVES, Edson; AZAMBUJA, Maximiliano dos Anjos. Análise comparativa entre aderência à tração e resistência à compressão em argamassas produzidas com vermiculita expandida. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S. l.], v. 13, n. 88, 2025. DOI: [10.17271/23188472138820255482](https://doi.org/10.17271/23188472138820255482). Disponível

em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento\\_de\\_cidades/article/view/5482](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/5482).

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## **Análise comparativa entre aderência à tração e resistência à compressão em argamassas produzidas com vermiculita expandida**

### **RESUMO**

Na indústria da Construção Civil, o desempenho dos elementos construtivos constitui uma temática pertinente para a pesquisa científica. A sustentabilidade e a preocupação com os recursos naturais não renováveis têm estimulado a busca por materiais alternativos que apresentem potencial para beneficiar as propriedades das argamassas cimentícias. Apesar de ser um material ainda pouco empregado como agregado em argamassas, a vermiculita expandida possui propriedades interessantes, com possibilidades de substituir a areia natural, diminuindo o impacto ambiental causado pela sua extração. O objetivo do presente trabalho consistiu em analisar, com base nas características físicas e mecânicas, a redução do impacto ambiental ocasionado com a substituição de areia natural pela vermiculita expandida como agregado em argamassas de revestimento. Neste estudo, analisamos a resistência à compressão e resistência de aderência à tração, de argamassas de revestimento produzidas a partir do traço 1:1:6 em volume e com 10, 20, 30, 40 e 50% de substituição do agregado natural por vermiculita expandida, comparando-as com uma mistura de referência. A etapa experimental consistiu na caracterização dos agregados, confecção das argamassas, ensaios no estado fresco e endurecido. Conforme a NBR 13281-1 (ABNT, 2023), as misturas podem ser classificadas quanto à resistência à compressão como P3 (AN100, VE10, VE40 e VE50, com resistência entre 2,5 e 4,5 MPa) e P4 (VE20 e VE30, com resistência entre 4,0 e 6,5 MPa). Com base na mesma norma as misturas podem ser classificadas quanto à resistência de aderência à tração como RA1 (AN100, VE40 e VE50, pela resistência maior ou igual a 0,2 MPa) e RA2 (VE10, VE20 e VE30, pela resistência maior ou igual a 0,3 MPa). Destaca-se que os resultados para os traços intermediários VE20 e VE30, com resistência à compressão entre 4,0 e 6,5 MPa e resistência de aderência à tração maior ou igual a 0,3 MPa, podem ser classificados como P4 e RA2 respectivamente. Todos os traços atenderam à NBR 13749 (ABNT, 2013), que estipula os valores mínimos de 0,20 MPa para paredes internas e 0,30 MPa para paredes externas. Os traços VE10, VE20 e VE30 mostraram-se adequados para revestimentos externos, enquanto VE40 e VE50, para revestimentos internos. Nestes dois últimos casos, a mistura se distingue por satisfazer a norma e causar menor impacto ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Propriedades mecânicas. Vermiculita expandida. Sustentabilidade.

## **Comparative analysis between tensile adhesion and compressive strength in mortars produced with expanded vermiculite**

### **ABSTRACT**

In the construction industry, the performance of building elements is a pertinent topic for scientific research. Sustainability and concern for non-renewable natural resources have stimulated the search for alternative materials that have the potential to improve the properties of cement mortars. Although it is a material that is still rarely used as an aggregate in mortars, expanded vermiculite has interesting properties, with the potential to replace natural sand, reducing the environmental impact caused by its extraction. The aim of this study was to analyze, based on physical and mechanical characteristics, the reduction in environmental impact caused by replacing natural sand with expanded vermiculite as an aggregate in coating mortars. In this study, we analyzed the compressive strength and tensile bond strength of coating mortars produced from a 1:1:6 mix by volume and with 10, 20, 30, 40 and 50% replacement of natural aggregate with expanded vermiculite, comparing them with a reference mix. The experimental stage consisted of characterizing the aggregates, making the mortars and testing them in the fresh and hardened state. According to NBR 13281-1 (ABNT, 2023), the mixtures can be classified in terms of compressive strength as P3 (AN100, VE10, VE40 and VE50, with strengths between 2.5 and 4.5 MPa) and P4 (VE20 and VE30, with strengths between 4.0 and 6.5 MPa). Based on the same standard, the mixtures can be classified in terms of tensile bond strength as RA1 (AN100, VE40 and VE50, for strength greater than or equal to 0.2 MPa) and RA2 (VE10, VE20 and VE30, for strength greater than or equal to 0.3 MPa). It should be noted that the results for the intermediate traits VE20 and VE30, with compressive strengths between 4.0 and 6.5 MPa and tensile bond strengths greater than or equal to 0.3 MPa, can be classified as P4 and RA2 respectively. All the mixes complied with NBR 13749 (ABNT, 2013), which stipulates minimum values of 0.20 MPa for internal walls and 0.30 MPa for external walls. VE10, VE20 and VE30 were suitable for external cladding, while VE40 and VE50 were suitable for internal cladding. In these last two cases, the mixture stands out for meeting the standard and causing less environmental impact.

**KEYWORDS:** Mechanical properties. Expanded vermiculite. Sustainability.

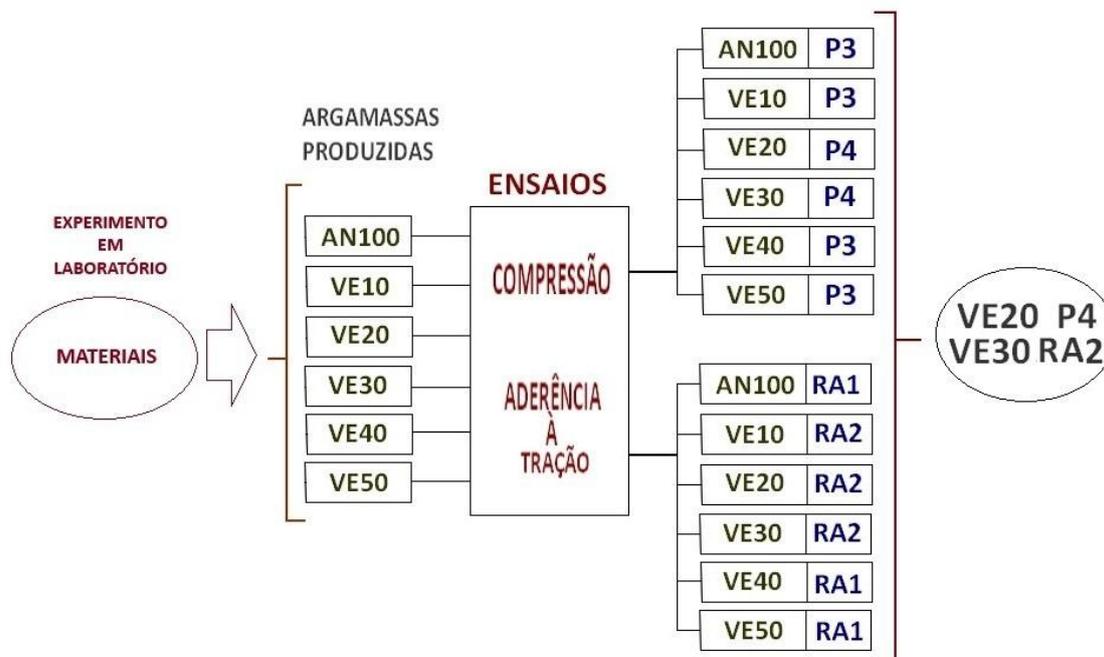
**Análisis comparativo entre adherencia a tracción y resistencia a compresión en morteros elaborados con vermiculita expandida.**

**RESUMEN**

En la industria de la Construcción Civil, el desempeño de los elementos constructivos constituye un tema relevante para la investigación científica. La sostenibilidad y la preocupación por los recursos naturales no renovables han estimulado la búsqueda de materiales alternativos que tengan el potencial de beneficiar las propiedades de los morteros de cemento. A pesar de ser un material todavía poco utilizado como árido en morteros, la vermiculita expandida presenta interesantes propiedades, teniendo la posibilidad de sustituir a la arena natural, reduciendo el impacto ambiental provocado por su extracción. El objetivo del presente trabajo fue analizar, en base a características físicas y mecánicas, la reducción del impacto ambiental que provoca la sustitución de arena natural por vermiculita expandida como árido en morteros de revestimiento. En este estudio se analizó la resistencia a la compresión y la adherencia a la tracción de morteros de revestimiento producidos a partir de una mezcla 1:1:6 en volumen y con 10, 20, 30, 40 y 50% de sustitución de árido natural por vermiculita expandida, comparándolos con una mezcla de referencia. La etapa experimental consistió en la caracterización de los áridos, preparación de los morteros, ensayos en estado fresco y endurecido. Según la NBR 13281-1 (ABNT, 2023), las mezclas pueden clasificarse según su resistencia a la compresión en P3 (AN100, VE10, VE40 y VE50, con resistencia entre 2,5 y 4,5 MPa) y P4 (VE20 y VE30, con resistencia entre 4,0 y 6,5 MPa). Basándose en la misma norma, las mezclas se pueden clasificar según su fuerza de adhesión a la tracción en RA1 (AN100, VE40 y VE50, para resistencias mayores o iguales a 0,2 MPa) y RA2 (VE10, VE20 y VE30, para resistencias mayores o iguales a 0,3 MPa). Es de destacar que los resultados para las mezclas intermedias VE20 y VE30, con resistencia a la compresión entre 4,0 y 6,5 MPa y resistencia a la adhesión a la tracción mayor o igual a 0,3 MPa, se pueden clasificar como P4 y RA2 respectivamente. Todas las características cumplieron con la NBR 13749 (ABNT, 2013), que estipula valores mínimos de 0,20 MPa para paredes internas y 0,30 MPa para paredes externas. Los Tracce VE10, VE20 y VE30 demostraron ser adecuados para revestimientos externos, mientras que VE40 y VE50 para revestimientos internos. En estos dos últimos casos, la mezcla destaca por cumplir la norma y provocar un menor impacto ambiental.

**PALABRAS CLAVE:** Propiedades mecánicas. Vermiculita expandida. Sostenibilidad.

**RESUMO GRÁFICO**



## 1 INTRODUÇÃO

Os agregados leves, com menor massa específica em relação à da areia, reduzem o peso próprio dos elementos construtivos, aliviando, dessa forma, as cargas suportadas pelas fundações (Silva, 2023). Agregados porosos, como a vermiculita expandida, apesar dos significativos efeitos sobre o isolamento térmico, podem, por outro lado, reduzir a resistência mecânica das misturas (Araújo, 2024).

No Brasil, os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) são, geralmente, compostos por elementos de argamassa cimentícia e blocos cerâmicos e/ou de concreto e, além da vedação e da função estética, possuem influência sobre o desempenho térmico da construção. Além da aderência, fatores como resistência mecânica e capacidade de absorver deformações estão entre as propriedades de maior relevância para as argamassas de revestimento (Carasek, 2010).

Para as argamassas destinadas ao revestimento de paredes e tetos, a NBR 13281-1 (ABNT, 2023) especifica os requisitos e os métodos de ensaio. Empregada, sobretudo, em busca de ampliar o isolamento térmico (Passos e Carasek, 2018), a vermiculita expandida tem apresentado bons resultados quando incorporada em argamassas.

Apesar de relevantes ganhos mostrados pelas pesquisas, como a melhoria da trabalhabilidade, a redução do peso e da condutividade térmica, trabalhos apontam a falta de análises comparativas entre misturas convencionais e argamassas com substituição da areia por vermiculita expandida. Como resistência à compressão, flexão e aderência são indispensáveis na análise do comportamento de argamassas de revestimento, a presente pesquisa justifica-se por investigar o desempenho mecânico de misturas com variados teores de substituição da areia por vermiculita, visando desenvolver traços que atendam às recomendações normativas e, empregando um agregado tradicionalmente conhecido pelo isolamento térmico, colaborem com outros estudos focados no desempenho mecânico.

### 1.1 Resistência à compressão em argamassas com substituição de agregados

A respeito do desempenho mecânico em argamassas de revestimento de paredes e tetos, a NBR 13279 (ABNT, 2005) especifica os ensaios para a determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão.

Kaya e Koksall (2022) obtiveram uma resistência à compressão variando entre 0,59 MPa e 3,81 MPa em amostras de argamassas geopoliméricas leves à base de cinza volante (FA) classe C, produzidas com agregado de vermiculita expandida (EV).

O estudo realizado por Cintra; Paiva e Baldo (2014) comparou argamassas produzidas com vermiculita expandida e argamassas com vermiculita e adição de resíduo de borracha de pneus. Os autores puderam concluir que as argamassas contendo vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus, apresentaram propriedades similares no estado fresco, enquanto no estado endurecido apresentaram melhores resultados de resistência à compressão e aderência, do que aqueles apresentados pelas argamassas que não foram aditivadas com borracha (só com vermiculita). Mostrando-se assim que a combinação dos resíduos é uma alternativa viável.

Mo *et al.* (2018) encontraram uma redução da resistência à compressão de 50% e 63% quando a vermiculita expandida foi incorporada em substituições de volume de 30% e 60%, respectivamente. Os autores atribuem essa diminuição ao fato da vermiculita expandida possuir uma estrutura mole e porosa, além de afirmar que a pequena quantidade de finos pode dificultar o empacotamento das partículas e afetar negativamente na resistência. As pesquisas

desenvolvidas por Cintra (2013), Xu *et al.* (2015) e Barros (2018) também relataram redução na resistência à compressão. Mo *et al.* (2018) também analisaram a consistência, absorção de água, densidade e resistência mecânica à temperatura ambiente e elevadas. Os resultados mostraram eficiência na resistência a altas temperaturas.

Guilherme (2019) realizou estudos com a substituição de 25, 30, 35, 40, 45 e 50% do agregado natural por vermiculita. O valor da resistência à compressão aos 28 dias diminui conforme o aumento do teor de substituição do agregado natural pela vermiculita, o que já era esperado, pois a microestrutura da vermiculita é porosa e sua densidade é menor em relação à areia. Há uma redução de 21% da resistência à compressão no traço com 25% de substituição do agregado quando comparada à argamassa de referência. As demais composições de argamassas apresentam resultados praticamente constantes, todos dentro do desvio padrão, mostrando, assim, que a vermiculita não tem grande influência na resistência à compressão nos traços com até 50% de substituição.

Brandão, Lima & Alexandre (2024) estudaram a utilização do Polietileno Tereftalato Pós-Consumo Reciclado (PET-PCR) como agregado alternativo em argamassas para construção civil. Além dos benefícios ambientais e contribuição para a redução da demanda por recursos naturais e minimização da geração de resíduos, o estudo mostrou que é possível manter as propriedades essenciais das argamassas ao incorporar o PET-PCR, mantendo as resistências à compressão e à tração na flexão dentro dos padrões normativos estabelecidos.

## 1.2 Resistência de aderência à tração em argamassas com substituição de agregados

As normas para a realização de ensaios para a determinação da resistência de aderência à tração são especificadas na NBR 13528 (ABNT, 2019).

Segundo os estudos realizados por Guilherme (2019), os resultados dos ensaios de resistência de aderência das argamassas, apontam que todos os valores nos traços com substituição são superiores ao de referência, o que é contrário às demais pesquisas e aos resultados dos ensaios mecânicos de compressão e tração. A argamassa com 25% de teor de substituição apresentou um aumento de 46% na resistência de aderência, quando comparada à argamassa de referência, porém o traço com 30% reduziu 33% deste valor. O teor de 35% aumenta 37% e as argamassas seguintes (40, 45 e 50%) apresentam redução de 6,0; 5,0 e 25%, respectivamente.

Záleská *et al.* (2021) utilizaram perlita expandida, vidro expandido e zeólita nas misturas e notaram, em todas as misturas investigadas, um aumento significativo na resistência mecânica conforme o avanço da idade de cura.

Erba & Azambuja (2022) avaliaram a influência da substituição da areia natural pela areia de britagem em argamassas. Os resultados obtidos na resistência de aderência à tração mostraram que a substituição é viável, melhorando o desempenho dos revestimentos até a proporção de 20% de areia de britagem e 80% de areia natural para revestimentos externos. E, para revestimentos internos, a substituição pode chegar até a 30% de areia de britagem sem comprometer a qualidade do revestimento executado.

Diante da importância das argamassas de revestimento para o funcionamento geral das construções e do alto consumo deste material nas construções tradicionalmente encontradas no Brasil, é importante avaliar tecnologicamente o desempenho das misturas confeccionadas a partir da substituição dos agregados. Assim, neste estudo, derivado de uma

dissertação de mestrado, a resistência à compressão e resistência de aderência à tração foram adotadas como ensaios principais para a discussão do comportamento mecânico das misturas.

## **2 OBJETIVO**

O objetivo deste estudo é reduzir o impacto ambiental causado pela extração da areia natural, um recurso não renovável muito utilizado na indústria da Construção Civil. Para isso, será feita uma análise comparativa entre a resistência à compressão e a aderência à tração em argamassas de revestimento preparadas com o traço 1:1:6 em volume, substituindo o agregado natural por vermiculita expandida em diferentes proporções (10, 20, 30, 40 e 50%).

## **3 METODOLOGIA**

A primeira parte do estudo compreendeu a formação do referencial teórico, enquanto a segunda parte consistiu na análise experimental. A etapa experimental envolveu a caracterização dos agregados (areia e vermiculita), a confecção das argamassas e a avaliação das misturas através dos ensaios no estado fresco e endurecido.

A caracterização dos agregados, a confecção das misturas e os ensaios das argamassas foram realizados no Laboratório de Construção Civil da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP).

Os aglomerantes utilizados foram o cimento Portland tipo CP II E-32 e cal hidratada tipo CH-III. Os agregados utilizados - areia natural lavada quartzosa de rio e vermiculita expandida - foram previamente secos em estufa por 24 horas e a norma NBR 7211 (ABNT, 2022), voltada aos agregados de concreto, foi adotada para avaliar os agregados miúdos.

Antes de serem utilizados nas misturas, todos os agregados foram avaliados com base nos ensaios: composição granulométrica, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2001); massa específica, segundo o método do Frasco de Chapman; massa unitária de agregado em estado solto e em estado seco, ambos a partir da NBR NM 45 (ABNT, 2006); teor de material pulverulento, conforme a NBR NM 46 (ABNT, 2003) e determinação de impurezas orgânicas, conforme a NBR NM 49 (ABNT, 2001).

Em função do acabamento almejado e em busca de uma padronização das misturas, os agregados passaram por peneiras com abertura de 2,8 mm para a padronização do diâmetro máximo e retirada de impurezas. Fisicamente diferentes, a Figura 1 mostra a areia natural comparada à vermiculita após peneiramento.

Figura 1 – Areia natural à esquerda e vermiculita à direita



Fonte: autores (2024).

As argamassas foram produzidas a partir do traço 1:1:6 (cimento:cal:agregado) em volume com base no referencial teórico (Carasek, 1996 e Barros, 2018). A areia foi substituída por vermiculita expandida nas porcentagens de 10% (VE10), 20% (VE20), 30% (VE30), 40% (VE40) e 50% (VE50) para comparação com uma argamassa de referência, sem substituição (AN100).

No estado fresco, as misturas passaram pelo ensaio de densidade de massa conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005).

Para a avaliação das argamassas no estado endurecido, foram moldadas quantidades maiores de corpos de prova de cada traço do que o estabelecido pela norma para ampliar o banco de dados. Os modelos prismáticos de 40 x 40 x 160 mm foram desmoldados após 24 horas e então armazenados sob condições ambientes de temperatura e umidade no laboratório (Figura 2).

Conforme recomenda a NBR 13279 (ABNT, 2005), o ensaio foi realizado em corpos de prova com 28 dias de idade. Para o ensaio, os corpos de prova foram posicionados nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio de modo que a face rasada não entrasse em contato com os dispositivos de apoio nem com o de carga. A Figura 2 ilustra parte dos corpos de prova produzidos na pesquisa.

Figura 2– Corpos de prova de 40 x 40 x 160 mm



Fonte: autores (2024).

#### 4 RESULTADOS

As propriedades físicas dos agregados (areia natural e vermiculita expandida) são apresentadas na Tabela 1.

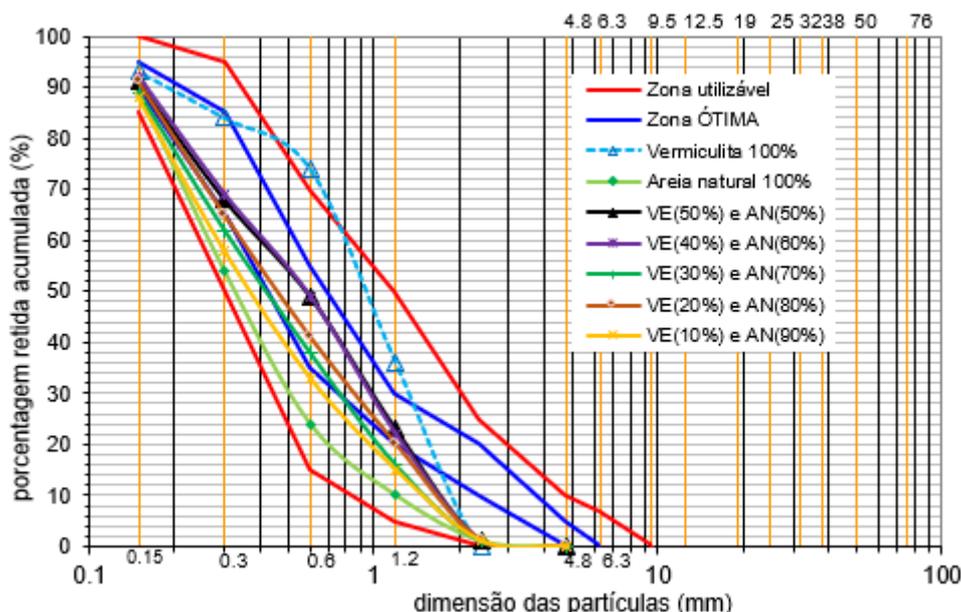
Tabela 1 –Propriedades físicas dos agregados

Propriedade	Areia natural	Vermiculita expandida
Dimensão máxima (mm)	1,20	2,40
Módulo de finura (mm)	1,78	2,87
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	1,68	0,63
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,59	0,18

Fonte: autores (2024).

Para a confecção das argamassas, a quantidade de componentes em cada traço foi determinada através da análise das curvas granulométricas. Na caracterização granulométrica da areia e da vermiculita expandida, executada conforme a NBR 7211 (ABNT, 2022), a maioria dos agregados ficou concentrada na zona utilizável. A Figura 3 apresenta as curvas granulométricas dos agregados.

Figura 3 - Curvas granulométricas dos agregados



Fonte: autores (2024).

Segundo a NBR 13276 (ABNT, 2016), em caso de falta de dados, a quantidade de água da mistura deve garantir um índice de consistência de  $260 \pm 10$  mm. Desse modo, o teor de água de cada traço foi definido conforme o ensaio do índice de consistência.

Para a argamassa de referência (AN100), foi encontrada uma relação água/cimento de 1,44. A quantidade de água foi ajustada nos traços com vermiculita para atingirem o índice de consistência de  $260 \pm 10$  mm recomendado pela norma. Também foi utilizado um aditivo plastificante para a melhoria da trabalhabilidade das argamassas, conforme a recomendação do fabricante de 2ml de aditivo para cada 1,0 kg de cimento. A Tabela 2 apresenta o consumo final de cada componente nas misturas.

Tabela 2 – Consumo final de componentes das misturas

Traço	Cimento (kg)	Cal (kg)	Areia (kg)	Vermiculita (kg)	Água (kg)	Aditivo plastificante (ml)
AN100	5,00	3,08	39,92	0	7,24	10
VE10	5,00	3,08	35,93	0,45	7,24	11
VE20	6,25	3,08	31,94	0,90	9,05	12
VE30	7,75	3,08	27,94	1,36	11,22	13
VE40	5,87	3,08	23,95	1,81	8,50	14
VE50	6,75	3,08	19,96	2,26	9,77	15

Fonte: autores, 2024.

Em relação aos aglomerantes, os valores fornecidos pelos fabricantes para as massas específicas (real e unitária) do cimento e da cal, foram utilizados para a transformação dos traços em proporção de massa (Guilherme, 2019 e Guilherme, Cabral e Souza, 2020). Os traços em volume e em massa são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Traços em volume e em massa

Traço	Teor de substituição	Traço em volume	Traço em massa	Relação água/cimento
AN100	0%	1:1:6:0	5:3,08:39,92:0	1,44
VE10	10%	1:1:5,4:0,6	5:3,08:35,93:0,45	1,44
VE20	20%	1:1:4,8:1,2	6,25:3,08:31,94:0,90	1,44
VE30	30%	1:1:4,2:1,8	7,75:3,08:27,94:1,36	1,44
VE40	40%	1:1:3,6:2,4	5,87:3,08:23,95:1,81	1,44
VE50	50%	1:1:3:3	6,75:3,08:19,96:2,26	1,44

Fonte: autores, 2024.

Após a confecção dos traços, ocorreu a caracterização das argamassas no estado fresco através dos ensaios de densidade de massa e índice de consistência realizados conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016), que recomenda um índice de consistência de  $260 \pm 10$  mm.

A Tabela 4 reúne os resultados obtidos nos ensaios das argamassas no estado fresco.

Tabela 4 – Propriedades das argamassas no estado fresco

Traço	Relação água/cimento	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	Índice de consistência(mm)
AN100	1,44	1840	257,85
VE10	1,44	1990	250,64
VE20	1,44	1980	252,02
VE30	1,44	1940	250,50
VE40	1,44	1860	256,00
VE50	1,44	1810	251,00

Fonte: autores, 2024.

A observação dos resultados obtidos nos ensaios no estado fresco demonstra que, em comparação ao traço de referência, as misturas com vermiculita apresentaram maiores valores de densidade de massa para os traços intermediários e um decréscimo para os traços com maior taxa de substituição. O traço VE10 foi o que apresentou maior índice para a densidade de massa (1990 kg/m<sup>3</sup>), seguido por uma leve redução em VE20 (1980 kg/m<sup>3</sup>); sendo que o traço VE50 foi o único abaixo do valor encontrado para AN100 (1840 kg/m<sup>3</sup>). Resultados semelhantes foram observados por Affonso e Azambuja (2024) para os traços AN100, VE10 e VE20.

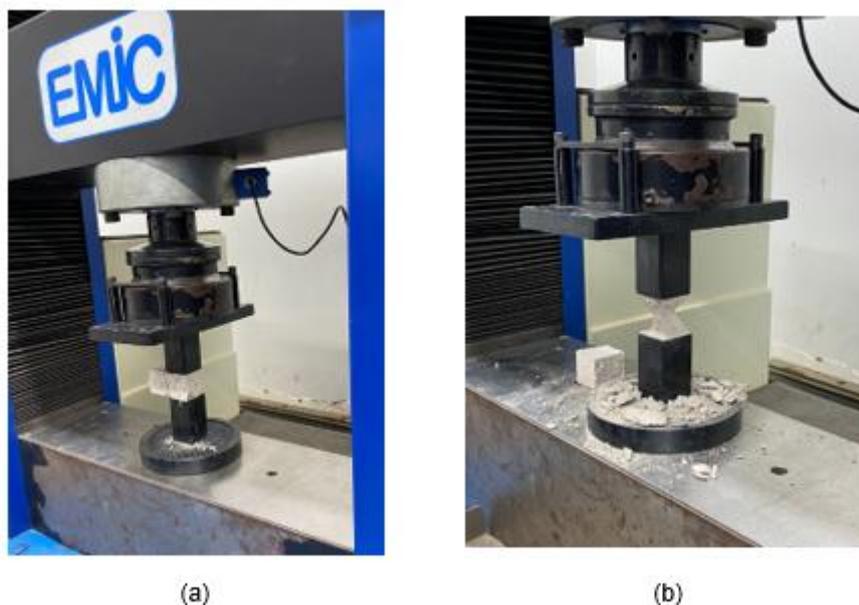
No caso do índice de consistência, todos os valores foram menores nos traços com vermiculita. Considerando o traço sem substituição, o índice de consistência reduziu em VE10 (250,64 mm) e, mesmo aumentando um pouco em VE20 (252,02 mm), ambos não atingiram o valor de AN100 (257,85 mm). A análise destes resultados permite inferir que, neste estudo, quanto maior o teor de substituição, menor o valor de densidade de massa e índice de consistência.

Todas as argamassas deste estudo podem ser utilizadas em revestimento e classificadas como normais, pois apresentam densidade de massa no estado fresco na faixa entre 1400 kg/m<sup>3</sup> e 2300 kg/m<sup>3</sup>, de acordo com Carasek (2010).

#### 4.1 Resistência à compressão

Conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), o ensaio de resistência à compressão deve ser executado na idade de 28 dias e utilizar as metades dos três corpos de prova do ensaio de flexão, totalizando 6 corpos de prova. A Figura 4 ilustra o corpo de prova posicionado no equipamento do ensaio (à esquerda) e após o ensaio de resistência à compressão (à direita).

Figura 4 - Ensaio de resistência à compressão



Fonte: autores (2024).

Em especial, nesta pesquisa, a maioria dos ensaios foi executada com, no mínimo, doze corpos de prova para cada traço, o que permitiu, sobretudo, a observação do coeficiente de variação. Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão para os seis traços investigados neste trabalho são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resistência à compressão (MPa) aos 28 dias

Corpo de prova	AN100	VE10	VE20	VE30	VE40	VE50
1	3,69	2,49	5,60	6,17	3,88	4,12
2	3,41	3,47	5,62	6,59	3,49	3,39
3	3,04	3,46	5,90	6,06	4,93	3,07
4	2,78	3,23	5,49	5,54	4,06	3,26
5	3,42	3,83	3,65	6,21	3,29	3,12
6	3,47	4,12	5,78	5,60	2,23	3,88
7	4,46	3,28	5,93	6,03	2,86	3,83
8	4,96	3,25	4,74	4,90	4,74	4,04
9	4,10	3,07	6,00	6,50	3,33	3,38
10	3,96	5,03	7,01	5,26	3,18	4,40
11	3,20	3,80	4,24	4,60	4,22	3,44
12	3,51	4,63	5,97	3,63	4,01	3,41
<b>Média (MPa)</b>	3,56	3,63	5,47	5,26	3,74	3,66
<b>Desvio padrão</b>	0,56	0,69	0,80	1,01	0,67	0,55
<b>Coeficiente de variação</b>	15,95	19,19	14,69	19,27	17,99	15,18

Fonte: autores, 2024.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão apontaram que, de modo geral, o acréscimo da vermiculita elevou a resistência à compressão. Todos os traços com o agregado leve demonstraram valor de resistência à compressão acima do encontrado para AN100.

Conforme a NBR 13281-1 (ABNT, 2023), as misturas podem ser classificadas quanto à resistência à compressão como P3 (AN100, VE10, VE40 e VE50, com resistência entre 2,5 e 4,5 MPa) e P4 (VE20 e VE30, com resistência entre 4,0 e 6,5 MPa).

A inserção da vermiculita elevou a resistência à compressão nas argamassas avaliadas em Dias (2018). Para a autora, o aumento pode ser atribuído às próprias características da vermiculita que, semelhante à argila e pertencente ao grupo das micáceas, aumentam a coesão entre moléculas de água e partículas de resíduo e cimento, o que contribui para o aumento da resistência.

O traço VE20, com 5,47 MPa aos 28 dias, obteve a maior resistência à compressão, indicando um aumento da resistência mecânica nos traços com substituição da areia por vermiculita expandida.

#### 4.2 Resistência de aderência à tração

Conforme a NBR 13528 (ABNT, 2019), a resistência de aderência à tração foi avaliada aos 28 dias por meio do ensaio de arrancamento (*pull-off test*) utilizando 12 corpos de prova.

A Figura 5 mostra o ensaio de resistência de aderência à tração.

Figura 5 - Ensaio de resistência de aderência à tração



Fonte: autores (2024).

Os resultados observados após o ensaio de todos os corpos de prova são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resistência de aderência à tração (MPa) aos 28 dias

Corpo de prova	AN100	VE10	VE20	VE30	VE40	VE50
1	0,32	0,34	0,28	0,32	0,18	0,42
2	0,30	0,34	0,33	0,28	0,19	0,28
3	0,30	0,41	0,21	0,38	0,19	0,28
4	0,32	0,42	0,28	0,41	0,22	0,22
5	0,24	0,30	0,34	0,48	0,19	0,20
6	0,25	0,30	0,37	0,29	0,17	0,21
7	0,23	0,25	0,41	0,40	0,14	0,27
8	0,39	0,37	0,40	0,41	0,11	0,19
9	0,20	0,37	0,43	0,52	0,27	0,30
10	0,15	0,36	0,46	0,51	0,24	0,34
11	0,19	0,28	0,28	0,39	0,37	0,27
12	0,12	0,32	0,44	0,38	0,31	0,24
<b>Média (MPa)</b>	0,25	0,33	0,36	0,38	0,21	0,26
<b>Desvio padrão</b>	0,07	0,05	0,07	0,07	0,07	0,06
<b>Coefficiente de variação</b>	31,32	15,46	19,54	20,41	34,11	24,29

Fonte: autores, 2024.

A análise dos dados demonstra que, com a adição da vermiculita, houve um aumento na resistência de aderência à tração. Com exceção de VE40, todos os outros resultados foram superiores aos encontrados para AN100, as rupturas ocorreram na própria argamassa e VE30 apresentou o maior valor.

A resistência de aderência à tração é uma das propriedades mais importantes para as argamassas de revestimento, pois refere-se ao desempenho da argamassa quando submetida a uma de suas principais solicitações (Sinhorelli, 2019).

Todos os traços atenderam à NBR 13749 (ABNT, 2013), que estipula os valores mínimos de 0,20 MPa para paredes internas e 0,30 MPa para paredes externas. Os traços VE10, VE20 e VE30, com resistência de aderência à tração maior que 0,30 MPa, mostraram-se adequados para revestimentos externos, enquanto VE40 e VE50, com valores entre 0,20 e 0,30 MPa, para revestimentos internos.

Com base na NBR 13281-1 (ABNT, 2023), as misturas podem ser classificadas quanto à resistência de aderência à tração como RA1 (AN100, VE40 e VE50, pela resistência maior ou igual a 0,2 MPa) e RA2 (VE10, VE20 e VE30, pela resistência maior ou igual a 0,3 MPa).

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados experimentais realizados neste estudo, podem ser apresentadas as seguintes conclusões:

- Houve um aumento na densidade de massa no estado fresco em VE10 seguido por uma leve redução no traço VE20, sendo ambos maiores que a densidade de AN100. A mistura com 50% de vermiculita apresentou a menor densidade de massa no estado fresco, com resultado muito semelhante ao da argamassa de referência.
- Os resultados do ensaio de resistência à compressão apontaram que, de modo geral, o acréscimo da vermiculita elevou a resistência à compressão. Todos os traços com o agregado leve demonstraram valor de resistência à compressão

acima do encontrado para AN100. Em todas as idades, o traço com o valor mais alto de resistência à compressão corresponde ao VE20.

- A análise dos dados mostra que, com a adição da vermiculita, houve um aumento na resistência de aderência à tração. Com exceção de VE40, todos os outros resultados foram superiores aos encontrados para AN100, as rupturas ocorreram na própria argamassa e VE30 apresentou o maior valor.
- Destaca-se que os resultados para os traços intermediários VE20 e VE30, com resistência à compressão entre 4,0 e 6,5 MPa e resistência de aderência à tração maior ou igual a 0,3 MPa, podem ser classificados como P4 e RA2 respectivamente.
- Os traços VE10, VE20 e VE30 mostraram-se adequados para revestimentos externos, enquanto VE40 e VE50, para revestimentos internos. Nestes dois últimos casos, a mistura se distingue por satisfazer a norma e causar menor impacto ambiental.
- O processo de produção da vermiculita na granulometria de agregado graúdo gera resíduo que pode ser aproveitado como agregado miúdo (areia) na Construção Civil. O estudo mostrou que argamassas de revestimento com o uso de até 50% de vermiculita na mistura estão dentro das normas.

Portanto, o estudo mostra a viabilidade do uso da vermiculita expandida em argamassas de revestimento, nas condições de granulometria e teores investigados em relação às propriedades mecânicas analisadas, além de reduzir o impacto ambiental relacionado às atividades da construção civil.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ARAÚJO, Andressa Galvão de. **Efeito sinérgico de misturas vermiculita-lignosulfonato nas propriedades termomecânicas de argamassa**. 2024. 81 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1998.

ABNT. **ABNT NBR NM 45**: agregados - determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, ABNT, 2006.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 46**: agregados - determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 49**: agregado miúdo - determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 248**: agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto Especificação. Rio de Janeiro, 2022.

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

\_\_\_\_\_. **ABNT 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, ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 13279:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281-1:** Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios. Parte I: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

AFFONSO, Stella Bruna Ananias; AZAMBUJA, Maximiliano dos Anjo. Avaliação tecnológica de argamassa de revestimento produzida com vermiculita expandida. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades [S. l.]**, v. 12, n. 87, 2024. DOI: 10.17271/23188472128720244841

BARROS, Ilana Maria da Silva. **Análise térmica e mecânica de argamassas de revestimento com adição de vermiculita expandida em substituição ao agregado**. 2018. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande de Norte, Natal, RN, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/25165>. Acesso em: 10 jul. 2024.

BRANDÃO, Raul de Souza; LIMA, José Augusto Pedro; ALEXANDRE, Jonas. Characterization and Classification of Mortars for Underlayment with PCR-PET Artificial Aggregate in Partial Replacement of Natural Sand Aggregate in the Mix. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, [S. l.]**, v. 12, n. 85, 2024. DOI: 10.17271/23188472128520245312.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo Cechella. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. 2. ed. São Paulo: **IBRACON**, p. 893-941, 2010.

CINTRA, Cynthia Leonis Dias. **Argamassa para revestimento com propriedades termoacústicas, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus**. 2013. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

CINTRA, C.L.D.; PAIVA, A.E.M.; BALDO, J.B. Masonry mortars containing expanded vermiculite and rubber aggregates from recycled tires - Relevant properties. **Cerâmica**, Volume 60, 2014

DIAS, Renata Tomaz Vieira. **Desempenho termomecânico de argamassas com adição de resíduos de vermiculita para construções rurais**. 2018. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

ERBA, Leandro Augusto; AZAMBUJA, Maximiliano dos Anjos. Evaluation of tensile adhesion strength in mortar for coating with incorporation of crushing sand. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, [S. l.]**, v. 10, n. 80, 2022. DOI: 10.17271/23188472108020223176.

GUILHERME, Deize Daiane Pinto. **Estudo do desempenho térmico e mecânico em argamassas de revestimento com substituição do agregado natural pela vermiculita expandida**. 2019. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande de Norte, Natal, RN, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/28547>. Acesso em: 7 jul. 2024.

GUILHERME, D.D.P; CABRAL, K.C.; SOUZA, W.R.M. Estudo do uso de vermiculita expandida nas propriedades mecânicas de argamassas leves. **Revista Matéria**, v.25, n.4, 2020

KAYA, Mehmet; KÖKSAL, Fuat. Physical and mechanical properties of C class fly ash based lightweight geopolymer mortar produced with expanded vermiculite aggregate. **Revista de la Construcción**, v. 21, n. 1, p. 21-35, 2022. Pontificia Universidad Catolica de Chile. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7764/rdlc.21.1.21>. Acesso em: 7 ago. 2024.

MO, K.H.; LEE, H.J.; LIU, M.Y.J.; LING, T. Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar. **Construction and Building Materials**, Volume 179, 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.219>

PASSOS, Paulo Martins dos; CARASEK, Helena. Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto. **Cerâmica**, v. 64, n. 372, p. 577-588, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132018643722391>. Acesso em: 5 ago. 2024.

SILVA, Marília Reis Nunes da. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de argamassas com argila expandida e borracha de pneus**. 2023. 69 f. Dissertação (Mestrado em tecnologia). Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2023.

SINHORELLI, Kássia dos Santos. **Estudo das propriedades reológicas e térmicas das argamassas de revestimento contendo adições minerais e vermiculita**. 2019. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/19802?locale=pt\\_BR](https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/19802?locale=pt_BR). Acesso em: 16 jun. 2024.

XU, B., MA, H., LU, Z., LI, Z. Paraffin/expanded vermiculite composite phase change material as aggregate for develop lightweight thermal energy storage cement-based composites. **Appl. Energy**, 2015

ZÁLESKÁ, Martina; PAVLÍKOVÁ, Milena; VYĚVAŘIL, Martin; PAVLÍK, Zbyšek. Effect of Aggregate and Binder Type on the Functional and Durability Parameters of Lightweight Repair Mortars. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11780, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su132111780>. Acesso em: 6 ago. 2024.

---

## DECLARAÇÕES

---

### CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Informe quem teve a ideia central do estudo e ajudou a definir os objetivos e a metodologia: **Stella Bruna Ananias Affonso e Maximiliano dos Anjos Azambuja**.
- **Curadoria de Dados:** Especifique quem organizou e verificou os dados para garantir sua qualidade: **Stella Bruna Ananias Affonso e Maximiliano dos Anjos Azambuja**.

- **Análise Formal:** Indique quem realizou as análises dos dados, aplicando métodos específicos: **Stella Bruna Ananias Affonso, Edson Alves e Maximiliano dos Anjos Azambuja.**
- **Aquisição de Financiamento:** Identifique quem conseguiu os recursos financeiros necessários para o estudo: **Stella Bruna Ananias Affonso e Maximiliano dos Anjos Azambuja.**
- **Investigação:** Mencione quem conduziu a coleta de dados ou experimentos práticos: **Stella Bruna Ananias Affonso e Maximiliano dos Anjos Azambuja.**
- **Metodologia:** Aponte quem desenvolveu e ajustou as metodologias aplicadas no estudo: **Stella Bruna Ananias Affonso, Edson Alves e Maximiliano dos Anjos Azambuja.**
- **Redação - Rascunho Inicial:** Indique quem escreveu a primeira versão do manuscrito: **Stella Bruna Ananias Affonso, Edson Alves e Maximiliano dos Anjos Azambuja.**
- **Redação - Revisão Crítica:** Informe quem revisou o texto, melhorando a clareza e a coerência: **Stella Bruna Ananias Affonso, Edson Alves e Maximiliano dos Anjos Azambuja.**
- **Revisão e Edição Final:** Especifique quem revisou e ajustou o manuscrito para garantir que atende às normas da revista: **Stella Bruna Ananias Affonso, Edson Alves e Maximiliano dos Anjos Azambuja.**
- **Supervisão:** Indique quem coordenou o trabalho e garantiu a qualidade geral do estudo: **Maximiliano dos Anjos Azambuja.**

---

#### DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, **Stella Bruna Ananias Affonso, Edson Alves e Maximiliano dos Anjos Azambuja**, declaramos que o manuscrito intitulado "**Análise comparativa entre aderência à tração e resistência à compressão em argamassas produzidas com vermiculita expandida**"

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros.
  2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
  3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.
-