



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO ECOEFICIENTE: O USO DE
AREIA RECICLADA PARA CONSTRUÇÃO**

**Breno da Silva Brito
Thayane Gabriela da Silva e Silva**

**Belém - PA
Fevereiro/2026**

**BRENO DA SILVA BRITO
THAYANE GABRIELA DA SILVA E SILVA**

**ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO ECOEFICIENTE: O USO DE
AREIA RECICLADA PARA CONSTRUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Luciana de Nazaré Pinheiro
Cordeiro

**Belém-PA
Fevereiro/2026**

**BRENO DA SILVA BRITO
THAYANE GABRIELA DA SILVA E SILVA**

**ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO ECOEFICIENTE: O USO DE
AREIA RECICLADA PARA CONSTRUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Examinadores:

Professora Dr(a). Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro
Universidade Federal do Pará | UFPA
Orientador(a)

Professora Dr(a). Mariana Domingues Von Paumgarten
Universidade Federal do Pará | UFPA
Membro da banca

Engenheira Civil Lerika do Amaral Poll
Universidade Federal do Pará | UFPA
Membro da banca

Belém, 12/02/2026

AGRADECIMENTOS

De Breno Brito,

A caminhada até aqui foi marcada por inúmeros desafios, aprendizados e momentos de superação, que só puderam ser enfrentados e vencidos graças ao apoio, incentivo e presença constante de pessoas especiais que estiveram ao meu lado em cada etapa dessa trajetória.

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me concedido força, saúde, sabedoria e perseverança ao longo de toda essa jornada.

Agradeço à minha família, que de diferentes formas contribuiu para que este momento fosse possível. À minha mãe, Nelma, expresso minha mais profunda gratidão por todo o amor, apoio incondicional, incentivo e dedicação ao longo dessa longa trajetória acadêmica. A conquista deste sonho só foi possível graças à senhora. Aos meus avós, Maria e Raimundo, agradeço por sempre acreditarem em meu potencial, oferecendo apoio, carinho e palavras de encorajamento; esta conquista também é de vocês.

Aos meus amigos de graduação, Nathália, Fernanda e Aguida, agradeço pela parceria constante, pela ajuda, incentivo, conversas, conselhos e pelas inúmeras risadas, que tornaram essa caminhada mais leve, acolhedora e divertida.

Agradeço à minha dupla de TCC, Thayane, por todo o apoio, paciência, companheirismo, confiança e dedicação. A parceria e o esforço conjunto foram fundamentais para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível. Aos bolsistas do LEC, agradeço pela disponibilidade, colaboração e paciência durante toda a etapa experimental desta pesquisa — não foi fácil nos aturar por quase um ano no laboratório.

À nossa orientadora, Luciana Cordeiro, agradeço pela orientação atenciosa, paciência, profissionalismo e pelos ensinamentos valiosos compartilhados durante todas as etapas da elaboração deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os amigos, colegas e professores da graduação que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta conquista se tornasse realidade.

AGRADECIMENTOS

De Thayane Silva,

Hoje um ciclo se encerra, um ciclo que não se prende apenas à graduação, e sim de crescimento pessoal e profissional, conquistas, aprendizados, experiências boas e ruins, que fizeram parte dessa longa caminhada, mas que me moldaram para me tornar o que sou hoje e nada disso teria sido possível sozinha, pois tive uma rede de apoio à qual sou eternamente grata.

Agradeço à Deus, por seu amor e misericórdia, por segurar minhas mãos nos momentos difíceis, em que achei que ninguém entenderia, mas Ele estava lá por mim, por mais que eu não seja digna. Agradeço à Nossa Sra. de Nazaré, nossa mãe, que com sua graça intercedeu pelas minhas preces.

Dedico essa conquista à minha mãe Tatiana, que é meu porto seguro, que acolhe e cuida tão bem de suas filhas e netos, que é meu exemplo de bondade e resiliência. Ao meu pai Arnaldo, que sempre me incentivou, que é meu exemplo de força e determinação, e que não mede esforços para que meus sonhos se realizem. Agradeço também à Lina, que tanto se preocupa comigo e que junto ao meu pai, trava essa batalha para que eu possa conquistar meus objetivos.

Às minhas irmãs Thamyris e Amanda, as quais eu me inspiro todos os dias e me ajudaram a me tornar a mulher que sou hoje, que me ensinaram sobre união e fraternidade. Agradeço também aos meus avós Miguel (in memoriam) e Marizeth, pelo cuidado, carinho e ensinamentos que irei levar para o resto da vida. Assim como toda a minha família, que me apoia e me dão forças para continuar a caminhada.

Agradeço ao Joel, meu companheiro, que está comigo desde antes desse sonho se tornar possível, aquele que me incentiva e me apoia de todas as formas, obrigada por acreditar em mim e por se fazer presente em minha vida. À sua família, em especial Ana Jaquix e Marcos, que me acolheram como filha, minha eterna gratidão.

Agradeço também aos amigos que a UFPA me deu, que contribuíram para que essa jornada fosse mais leve. E ao meu amigo Breno, pela lealdade, parceria e ensinamentos que compartilhamos desde o retorno ao presencial em 2022, e assim permaneceu até hoje, sendo minha dupla nesta etapa tão importante.

Sou grata a todos os professores que contribuíram para o meu aprendizado, me ensinando o quanto a engenharia civil é essencial em nossa vida. Em especial à Luciana Cordeiro, que nos orientou com paciência e clareza, nesta etapa final. Por fim, a todos aqueles que fizeram parte dessa trajetória, sou eternamente grata.

RESUMO

No setor da construção civil, se observa um grande consumo de recursos naturais, acompanhado da geração em ampla escala de resíduos, como os resíduos de construção civil. Diante desse quadro, é essencial adotar alternativas sustentáveis que definam a destinação desses materiais, dentre elas está a produção de agregados reciclados, usados na incorporação em materiais cimentícios (concretos e argamassas) promovendo um cenário mais sustentável na construção civil. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e a ecoeficiência de argamassas de assentamento com areia reciclada de base cimentícia com base nos requisitos de consistência e densidade no estado fresco, além de densidade, absorção por capilaridade e resistência à compressão e tração no estado endurecido, analisando assim o efeito da substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado em proporções de 10%, 20% e 30%, para isso serão testados traços na proporção 1:6, 1:7 e 1:8 em volume. Os resultados mostraram que a viabilidade técnica do uso da areia reciclada é dependente da dosagem utilizada, pois houve limitações de resistência à compressão que inviabilizam o uso da argamassa no traço 1:8 para todos os teores de substituição, para o traço 1:7 os teores acima de 10% não atenderam aos requisitos, diferentemente do traço 1:6 que obteve aprovação em todos os níveis de substituição, assim conciliando sustentabilidade e atendimento aos requisitos normativos.

Palavras-chave: Argamassa; Assentamento; Areia Reciclada; Resíduo de Construção Civil.

ABSTRACT

In the civil construction sector, there is a high consumption of natural resources, accompanied by the large-scale generation of waste, such as construction and demolition waste. Given this scenario, it is essential to adopt sustainable alternatives that define the destination of these materials, among which is the production of recycled aggregates, used in the incorporation of cementitious materials (concrete and mortars), promoting a more sustainable scenario in civil construction. In this sense, the present work aims to evaluate the technical feasibility and eco-efficiency of cement-based mortar mixes with recycled sand, based on the requirements of consistency and density in the fresh state, as well as density, capillary absorption, and compressive and tensile strength in the hardened state, thus analyzing the effect of the partial substitution of natural fine aggregate with recycled fine aggregate in proportions of 10%, 20%, and 30%. For this purpose, mixes in the proportions 1:6, 1:7, and 1:8 by volume will be tested. The results showed that the technical feasibility of using recycled sand depends on the dosage used, as there were limitations in compressive strength that make the use of the mortar in a 1:8 ratio unfeasible for all substitution levels. For the 1:7 ratio, levels above 10% did not meet the requirements, unlike the 1:6 ratio, which obtained approval at all substitution levels, thus reconciling sustainability and compliance with regulatory requirements.

Keywords: Mortar; Laying; Recycled Sand; Construction Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) Britador de mandíbula; (b) Máquina de abrasão Los Angeles.	15
Figura 2 – (a) Agregado reciclado antes do peneiramento; (b) Agregado reciclado após o ensaio de granulometria.	16
Figura 3 – Curva granulométrica areia reciclada e areia natural.	16
Figura 4 – Fluxograma da pesquisa.	17
Figura 5 – Ensaio de determinação da consistência – traço 1:6.	20
Figura 6 – (a) Ensaio de densidade no estado fresco; (b) Moldagem dos corpos de prova.	20
Figura 7 - (a) Ensaio de absorção de água por capilaridade; (b) Ensaio de Resistência à Tração na flexão; (c) Ensaio de Resistência à Compressão.	21
Figura 8 – Relação a/c – (a) Traço 1:6; (b) Traço 1:7; (c) Traço 1:8.	22
Figura 9 – Ensaio de consistência das argamassas.	22
Figura 10 - Densidade de massa e Teor de ar incorporado – (a) Traço 1:6; (b) Traço 1:7 e (c) Traço 1:8.	23
Figura 11 – (a) Ensaio de Permeabilidade pelo método de cachimbo nas Alvenarias; (b) Aparecimento de Microfissuras nas juntas nos painéis de alvenaria executados.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados de caracterização dos materiais.....	17
Tabela 2 – Consumo de materiais em Kg/m ³	18
Tabela 3 - Resultados de densidade de massa aparente no estado endurecido.....	26
Tabela 4 – Absorção de água por capilaridade dos traços.	26
Tabela 5 - Resultados das resistências a tração e compressão.	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

RCC – Resíduo de Construção Civil

NBR – Norma Brasileira

AN – Areia Natural

AR – Areia Reciclada

AA6-0 – Argamassa de Assentamento de Referência – Traço 1:6

AA6-10 – Argamassa de Assentamento – Traço 1:6 com 10% de areia reciclada

AA6-20 – Argamassa de Assentamento – Traço 1:6 com 20% de areia reciclada

AA6-30 – Argamassa de Assentamento – Traço 1:6 com 30% de areia reciclada

AA7-0 – Argamassa de Assentamento de Referência – Traço 1:7

AA7-10 – Argamassa de Assentamento – Traço 1:7 com 10% de areia reciclada

AA7-20 – Argamassa de Assentamento – Traço 1:7 com 20% de areia reciclada

AA7-30 – Argamassa de Assentamento – Traço 1:7 com 30% de areia reciclada

AA8-0 – Argamassa de Assentamento de Referência – Traço 1:8

AA8-10 – Argamassa de Assentamento – Traço 1:8 com 10% de areia reciclada

AA8-20 – Argamassa de Assentamento – Traço 1:8 com 20% de areia reciclada

AA8-30 – Argamassa de Assentamento – Traço 1:8 com 30% de areia reciclada

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
2.1.	MATERIAIS.....	15
2.2.	MÉTODOS.....	17
3.	RESULTADOS	21
3.1.	ANÁLISE DO EFEITO DO AGREGADO RECICLADO NAS PROPRIEDADES PLÁSTICAS DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	21
3.2.	ANÁLISE DO EFEITO DO AGREGADO RECICLADO NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	26
4.	CONCLUSÃO.....	29
	REFERÊNCIAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento da urbanização das cidades brasileiras, o volume de entulhos gerados é o reflexo do desperdício de materiais. Segundo Mesquita (2012), o descarte de resíduos da construção civil, corresponde a uma parcela entre 41% e 70% de todo o resíduo sólido urbano. A geração de resíduos de construção é globalmente reconhecida como um dos maiores desafios para o poder público, destacando-se as altas taxas de descarte e a composição heterogênea (Rosado, 2020). No Brasil esses números chegam a mais de 70 milhões de toneladas por ano (Contreras et al., 2016). Além disso, este setor é um grande consumidor de matérias-primas, sendo a indústria da construção e infraestrutura responsável por cerca de 50% dos recursos extraídos globalmente (ONU, 2020).

Os resíduos da construção civil (RCC) são gerados em atividades de construção, reforma, demolição e preparação de terrenos (CONAMA, 2002) e apresentam volumes elevados, especialmente na demolição de edificações, variando entre 1,0 e 2,0 t/m², com valores de 1,3 a 1,6 t/m² para edifícios residenciais e de 1,5 a 2,0 t/m² para estruturas industriais (Devi et al., 2021). Esse expressivo volume contribui para o descarte irregular e para o uso dos resíduos como material de enchimento, resultando na escassez de áreas para aterros e no aumento dos custos de disposição final (Bravo et al., 2015). Nesse contexto, os resíduos Classe A destacam-se por seu potencial de reciclagem, sendo considerados adequados para uso como agregados reciclados conforme a NBR 15116 (ABNT, 2021), com aplicações em edificações, infraestrutura e aterros sanitários (CONAMA, 2002). Sendo assim, o uso de areia reciclada em argamassas de assentamento e argamassas de reboco é uma alternativa técnica e ambientalmente viável para minimizar os impactos da indústria da construção (PNUMA, 2025).

A facilidade de aquisição de tijolo cerâmico e bloco de concreto, aliada à difusão do conhecimento sobre sistemas construtivos em alvenaria assentados com argamassa, contribuiu para a predominância desse método construtivo nas edificações brasileiras (Vinolas, et al., 2025). Nesse contexto, a argamassa de assentamento atua como elemento de união entre blocos ou tijolos, garantindo coesão, distribuição de cargas e absorção de deformações (Azevedo; Brito, 2014). Sua resistência à compressão não

precisa ser elevada, pois argamassas muito fortes podem ser prejudiciais (Kato, 2009), visto que resistências elevadas podem gerar fissuras (Silva, 2016).

Para que a argamassa seja viável, o teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado se limita à 50% (Santana, 2020). Porém, segundo Mora-Ortiz et al. (2020), argamassas produzidas com o processo de pré-molhagem, estabeleceram 40% como a porcentagem ótima de substituição. De acordo com Carasek et al. (2018), o agregado reciclado possui elevado teor de material pulverulento, podendo ser de 3 a 4 vezes maior em relação ao agregado natural, o que dificulta ampliar a sua utilização na produção de argamassas devido às suas características físicas como, formato dos grãos, textura, heterogeneidade e grau de finura (Oliveira, 2015) resultantes do processo de britagem do material (Solyman, 2005).

Em decorrência disso, argamassas com agregados reciclados apresentam maior porosidade e maior capacidade de absorção de água em comparação às produzidas com agregados naturais, devido à interconexão dos poros (Martínez, 2013). Entretanto, suas propriedades físicas podem ser melhoradas por meio do preenchimento dos poros dos agregados durante a hidratação, reduzindo a permeabilidade do material, além da aplicação de tratamentos como fortalecimento químico da pasta, trituração mecânica e carbonização (Ma et al., 2024). Além disso, a trabalhabilidade tende a diminuir com o aumento do teor de substituição do agregado natural, contudo, para substituições superiores a 20%, o uso de aditivos plastificantes ou incorporadores de ar pode melhorar essa característica (Jiménez, 2012).

É importante ressaltar que o uso da água é um dos fatores destacados nas pesquisas, pois o uso do agregado reciclado exige mais água na mistura, variando a relação água-cimento para cada porcentagem de substituição. Por isso, se a relação água-cimento for fixada, a argamassa resultante com agregado reciclado pode ficar extremamente seca, comprometendo sua consistência e outras propriedades físicas (Leite, 2001).

Portanto, o objetivo principal deste estudo é avaliar a substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado no comportamento em argamassas de assentamento. Deste modo é esperado verificar a possibilidade de tal uso na construção civil e possíveis vantagens para a indústria de forma sustentável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Para a realização desta pesquisa, foi utilizado o cimento CP II F-32, caracterizado conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017), para a determinação da massa específica, e a NBR 16972 (ABNT, 2021), para a massa unitária. Como agregado miúdo, foi empregada areia natural quartzosa, cuja caracterização seguirá as normas NBR 16916 (ABNT, 2021), NBR 16972 (ABNT, 2021) e NBR 17054 (ABNT, 2022), referentes, respectivamente, à massa específica, massa unitária e análise granulométrica. Para a melhoria da trabalhabilidade da mistura, foi incorporado aditivo plastificante, que tem como base química resinas naturais modificadas.

O agregado miúdo reciclado foi obtido por meio da britagem de corpos de prova de concreto – com resistência de 20 a 40 MPa, descartados no Laboratório de Engenharia Civil, utilizando-se um britador de mandíbulas demonstrado na Figura 1(a), disponibilizado pelo Laboratório de Engenharia Química. Posteriormente o material foi submetido a máquina de ensaio de abrasão Los Angeles por 30 minutos, como pode ser visto na Figura 1(b), para diminuição da granulometria que não foi possível obter no britador de mandíbulas.

Figura 1 – (a) Britador de mandíbula; (b) Máquina de abrasão Los Angeles.

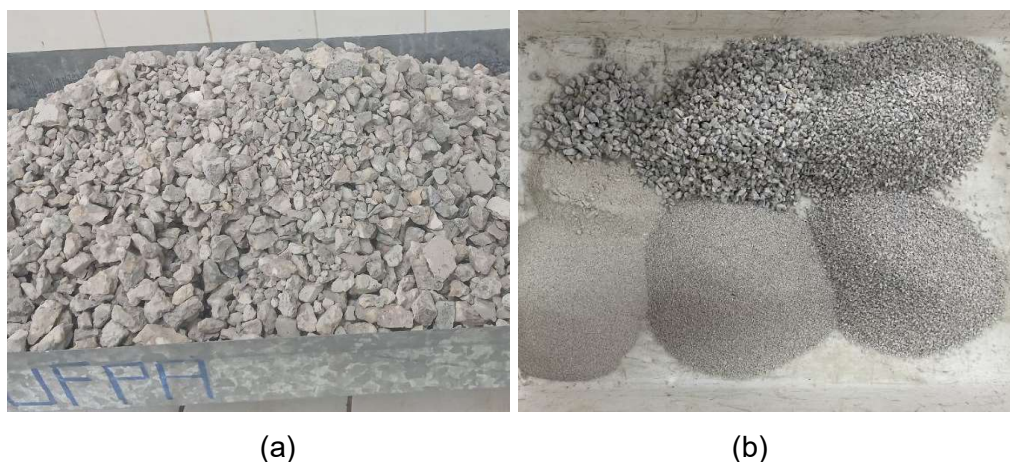


Fonte: Autores

O material foi previamente peneirado, de modo a garantir a fração passante na peneira de 4,8 mm, procedimento esse demonstrado na Figura 2, e caracterizado segundo os

mesmos procedimentos normativos aplicados ao agregado miúdo natural. Por fim, será utilizada água potável fornecida pelo laboratório para a preparação das misturas.

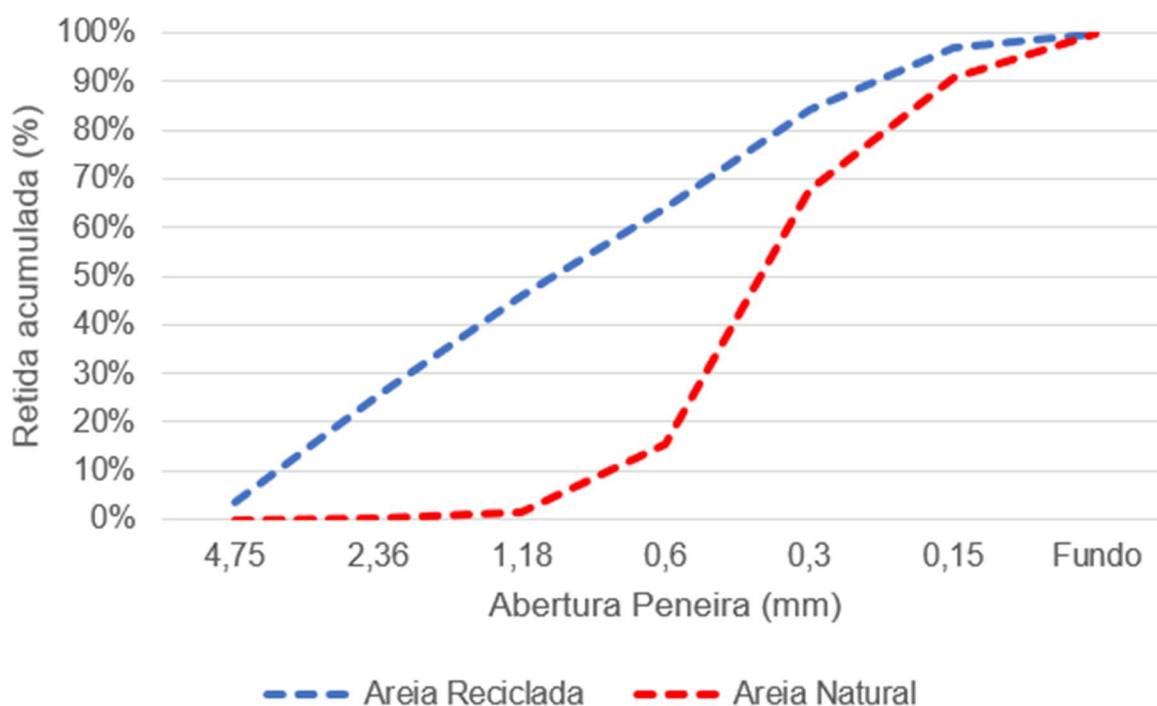
Figura 2 – (a) Agregado reciclado antes do peneiramento; (b) Agregado reciclado após o ensaio de granulometria.



Fonte: Autores

Os ensaios realizados para a caracterização dos agregados empregados nesta pesquisa foram: determinação da granulometria (Figura 3), massa específica (ME), massa unitária (MU), módulo de finura (MF), diâmetro máximo (D máx), índice de vazios (IV) e absorção de água (Abs), onde os resultados estão representados na Tabela 1.

Figura 3 – Curva granulométrica areia reciclada e areia natural.



Fonte: Autores

Tabela 1 – Resultados de caracterização dos materiais.

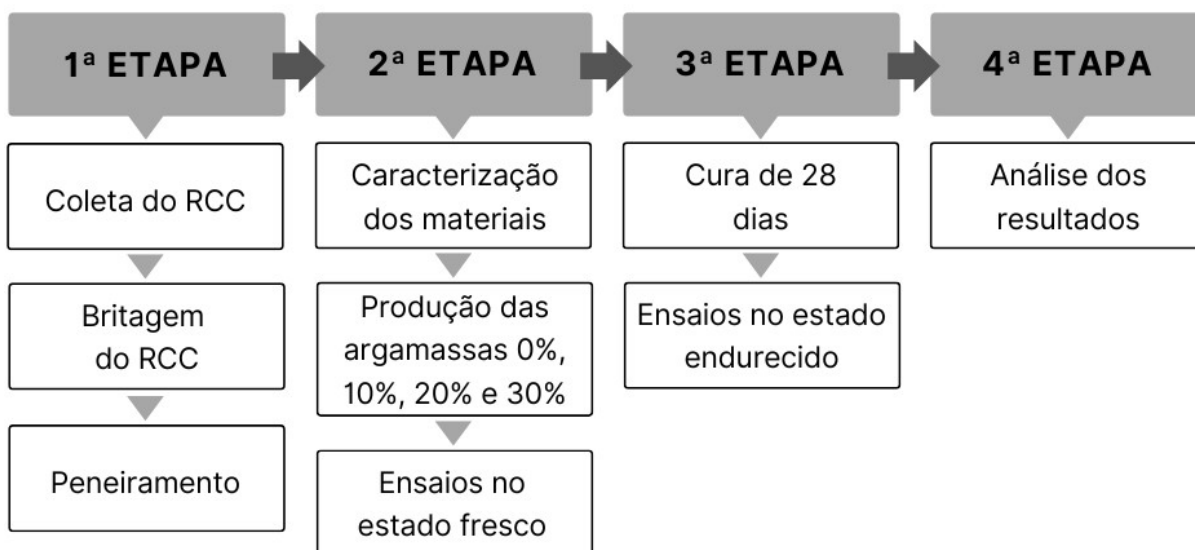
Características determinadas	Método do ensaio	Material	Resultados
Massa específica (ME)	NBR 16605 (ABNT, 2017)	Cimento Portland II F -32	3070 kg/m ³
	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	Areia Natural	2620 kg/m ³
		Areia Reciclada	2500 kg/m ³
Massa unitária (MU)	NBR 16972 (ABNT, 2021)	Cimento Portland II F -32	1015,03 kg/m ³
	NBR 16972 (ABNT, 2021)	Areia Natural	1610 kg/m ³
		Areia Reciclada	1382,02 kg/m ³
Modulo de finura (MF)	NBR 1754 (ABNT, 2022)	Areia Natural	1,75
		Areia Reciclada	3,20
Diâmetro máximo (D máx)	NBR 1754 (ABNT, 2022)	Areia Natural	1,18 mm
		Areia Reciclada	4,75 mm
Índice de vazios (IV)	NBR 16972 (ABNT, 2021)	Areia Natural	39,23%
		Areia Reciclada	44,72%
Absorção de água (Abs)	NBR 16916 (ABNT, 2021)	Areia Natural	0,50%
		Areia Reciclada	5,20%

Fonte: Autores

2.2. MÉTODOS

Na Figura 4 apresenta-se o fluxograma com as etapas metodológicas da pesquisa.

Figura 4 – Fluxograma da pesquisa.



Fonte: Autores

Com os materiais previamente caracterizados, a metodologia iniciou-se com a dosagem de cimento, areia natural, areia reciclada e aditivo para cada traço. A fim de garantir a consistência de $240 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$, a dosagem da água é ajustada individualmente em cada argamassa, permitindo a avaliação da relação água/cimento. Para todas as misturas foi adicionado 0,4% de aditivo plastificante em relação à massa de cimento, conforme especificado pelo fabricante do produto, a fim de contribuir para a manutenção da consistência desejada sem comprometer o desempenho reológico das argamassas.

Para uma análise mais abrangente, serão produzidas argamassas com teores de substituição de 10%, 20% e 30% de agregado natural por reciclado, e estas serão comparadas à argamassa referencial com 0% de substituição de agregado, repetindo o procedimento para os traços 1:6, 1:7 e 1:8 em volume. Desta forma, possibilitando ser analisado os efeitos no estado fresco e endurecido conforme aumenta o teor de agregado reciclado. Na Tabela 2 é possível observar o consumo de materiais necessários para cada traço e teor de substituição. Vale ressaltar que houve a necessidade de realizar a compensação do volume em massa, relacionando a dosagem com a massa específica de cada material, uma vez que a massa específica da areia reciclada é menor que a da areia natural, sendo assim, ao aumentar o teor de resíduos, o consumo de cimento diminui.

Tabela 2 – Consumo de materiais em Kg/m^3 .

Argamassa	Cimento (Kg/m^3)	AN (Kg/m^3)	AR (Kg/m^3)	Água (Kg/m^3)	Aditivo (%)
AA6-0	233,06	1398,34	0,00	390,37	0,40
AA6-10	230,05	1242,29	138,03	395,69	0,40
AA6-20	227,04	1089,80	272,45	401,11	0,40
AA6-30	226,48	951,20	407,66	400,11	0,40
AA7-0	203,15	1422,04	0,00	391,06	0,40
AA7-10	201,19	1086,45	120,72	402,39	0,40
AA7-20	201,19	965,73	241,43	402,39	0,40
AA7-30	191,56	804,55	344,81	431,01	0,40
AA8-0	193,08	1544,65	0,00	347,55	0,40
AA8-10	176,56	953,42	105,94	414,91	0,40
AA8-20	180,71	867,39	216,85	401,17	0,40
AA8-30	175,01	735,06	315,03	420,03	0,40

Fonte: Autores

O consumo de cimento não foi mantido fixo nas dosagens das amostras, uma vez que a pesquisa priorizou a análise da ecoeficiência proporcionada pelo uso do agregado miúdo reciclado. Devido ao fato de a areia reciclada apresentar uma massa específica inferior à da areia natural, procedeu-se à compensação do volume em massa para garantir a manutenção das proporções volumétricas estabelecidas para os traços 1:6, 1:7 e 1:8. Dessa forma, à medida que o teor de substituição do agregado natural pelo reciclado era elevado, ocorria uma redução gradativa no consumo de cimento por metro cúbico de argamassa.

Na primeira etapa da produção dos traços de referência, segue-se a norma NBR 16541 (ABNT, 2016), que recomenda a utilização de misturador mecânico para assegurar maior precisão nos resultados. A produção das argamassas com RCC distingue-se pela adição do agregado miúdo reciclado, conforme o teor de substituição estabelecido. A fração correspondente de RCC é separada em recipiente adequado e submetida ao processo de pré-molhagem, que consiste em utilizar uma taxa de compensação de 20% da absorção de água do AR, multiplicado pela quantidade de AR em Kg/m³ de argamassa. Esta etapa visa a saturação prévia dos poros interconectados do material, compensando sua elevada capacidade de absorção em decorrência de sua estrutura porosa. Somente após cinco minutos de mistura dos demais componentes a areia reciclada é incorporada, seguida da adição de água, caso necessária, para alcançar a consistência desejada.

O ensaio de consistência, realizado conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016), estabelece a trabalhabilidade requerida, definida nesta pesquisa em 240 mm ± 10 mm (Figura 5). Para que a argamassa seja considerada trabalhável, é necessário que apresente fluidez e plasticidade por tempo suficiente para sua aplicação, além de adequada capacidade de retenção de água, assegurando a continuidade das reações de hidratação (Kato, 2009). Dessa forma, a adoção de uma única relação água/cimento para todos os teores de substituição pode resultar em trabalhabilidade inferior à esperada, uma vez que os agregados reciclados apresentam maior absorção de água em comparação aos agregados naturais. Assim, a opção por fixar a consistência, em vez da relação água/cimento, torna-se necessária, permitindo o ajuste do consumo de água de acordo com a demanda da mistura.

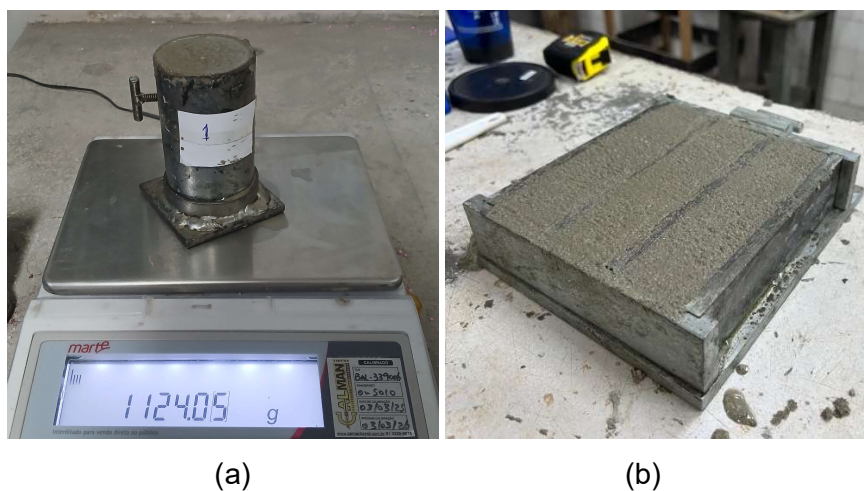
Figura 5 – Ensaio de determinação da consistência – traço 1:6.



Fonte: Autores

Em seguida, procede-se ao ensaio de densidade no estado fresco, de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005) e ilustrado na Figura 6(a), utilizando três moldes cilíndricos de 50 × 100 mm. Concluídos os ensaios no estado fresco, realizam-se as moldagens de três corpos de prova prismáticos com dimensões de 40 × 40 × 160 mm, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), representado pela Figura 6(b).

Figura 6 – (a) Ensaio de densidade no estado fresco; (b) Moldagem dos corpos de prova.



(a)

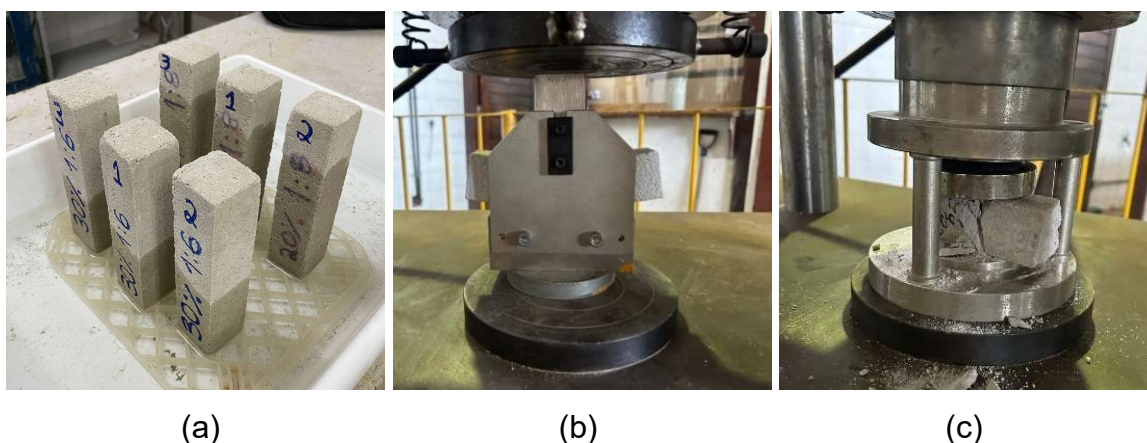
(b)

Fonte: Autores

Após 28 dias de cura, executam-se os ensaios no estado endurecido (Figura 7), incluindo o ensaio de absorção por capilaridade, em conformidade com a NBR 15259

(ABNT, 2005), além dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão axial, segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005). Tais ensaios visam comparar o desempenho das argamassas produzidas com agregado natural e daquelas contendo substituição parcial por agregado reciclado, tanto no estado fresco quanto no endurecido, possibilitando avaliar a viabilidade técnica do uso de RCC na construção civil.

Figura 7 - (a) Ensaio de absorção de água por capilaridade; (b) Ensaio de Resistência à Tração na flexão; (c) Ensaio de Resistência à Compressão.



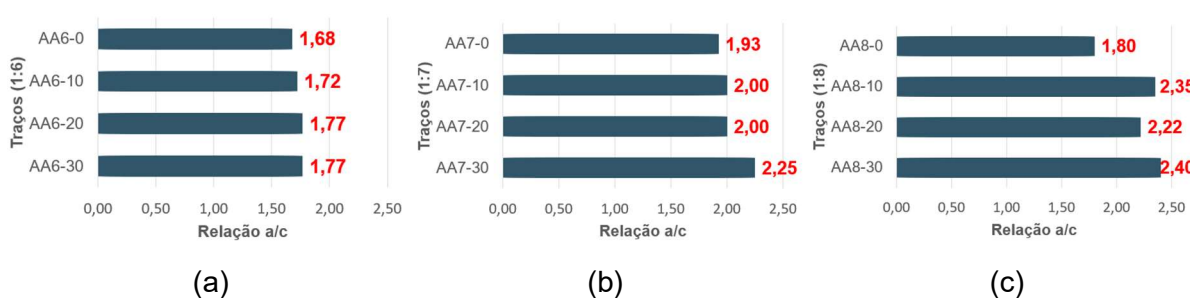
Fonte: Autores

3. RESULTADOS

3.1. ANÁLISE DO EFEITO DO AGREGADO RECICLADO NAS PROPRIEDADES PLÁSTICAS DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

A Figura 8 apresenta a relação água/cimento dos diferentes traços. Observa-se que a relação a/c aumentou proporcionalmente ao teor de resíduos, quanto maior a substituição, maior a quantidade de água necessária. Verifica-se ainda que, em traços mais pobres em cimento, a diferença entre as argamassas de referência e aquelas com maior teor de substituição também se amplia, atingindo variações de 5%, 17% e 33% para os traços 1:6, 1:7 e 1:8, respectivamente.

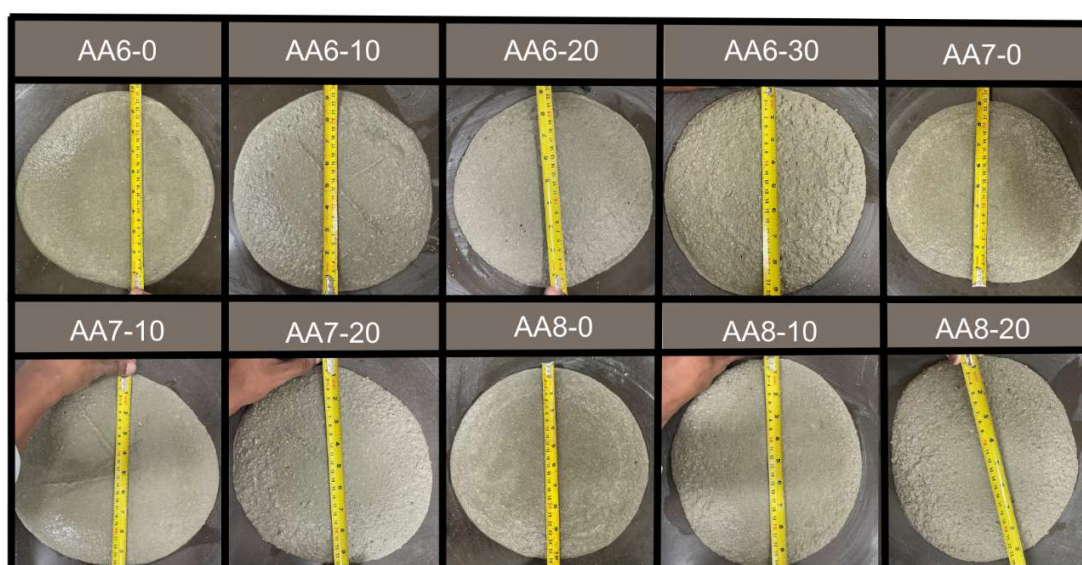
Figura 8 – Relação a/c – (a) Traço 1:6; (b) Traço 1:7; (c) Traço 1:8.



Fonte: Autores

A quantidade de água para obter a consistência necessária das argamassas nos três traços aumentou conforme a elevação do teor de substituição da areia natural por areia reciclada. Esta correlação pode ser explicada pela diferença de massa unitária dos agregados. Resultados parecidos foram obtidos por Carasek et al. (2018), onde explica que tal comportamento é devido a areia natural possuir um melhor empacotamento, ocasionando maior densidade e necessitando de menos água na mistura, diferente da areia reciclada que por ser um material com maior número de poros interconectados necessita de mais água até chegar na trabalhabilidade escolhida (Figura 9). O que também implica em uma melhora na coesão e consistência das misturas com maior teor de AR, causada pelo aumento na relação a/c. Vale ressaltar que, nos traços mais pobres essa relação também aumentou em função da finura da areia natural. Cabe salientar, em decorrência do furto do dispositivo utilizado para o registro das etapas experimentais, houve a perda das fotografias referentes as misturas AA7-30 e AA8-30 da figura 9, sem prejuízo aos dados coletados.

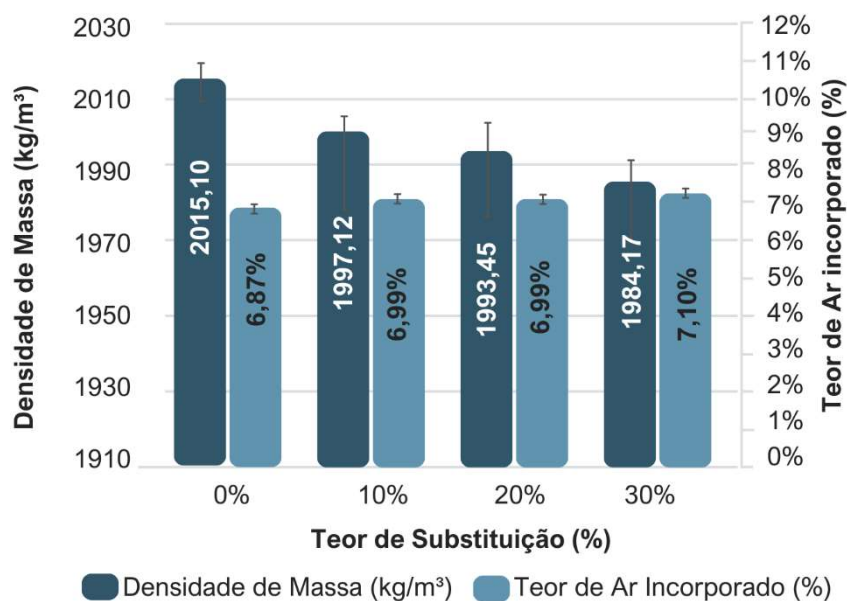
Figura 9 – Ensaio de consistência das argamassas.



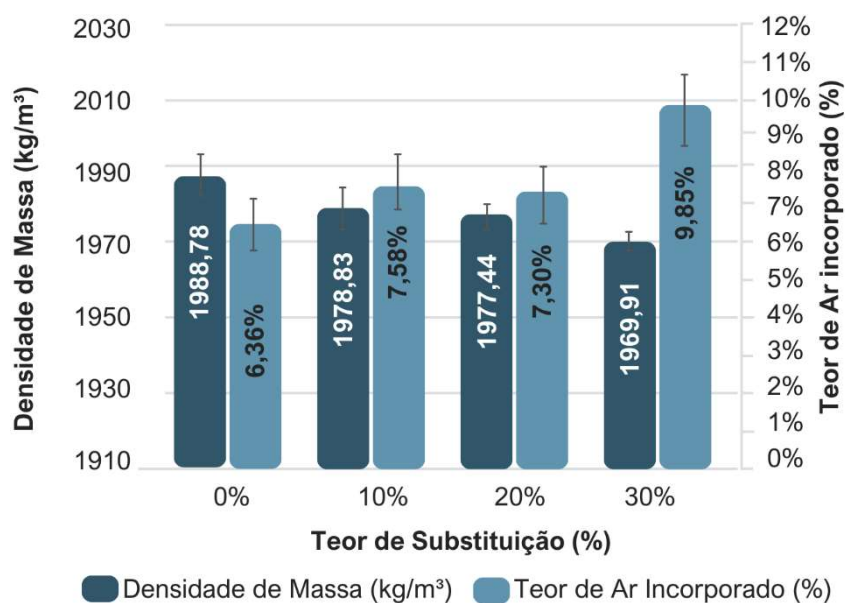
Fonte: Autores

Na Figura 10 (a, b e c), são apresentados os resultados da correlação existente entre densidade e ar incorporado. Percebe-se que quanto maior o teor de areia reciclada maior o teor de ar incorporado, indicando que essa substituição corrobora para a leveza do material.

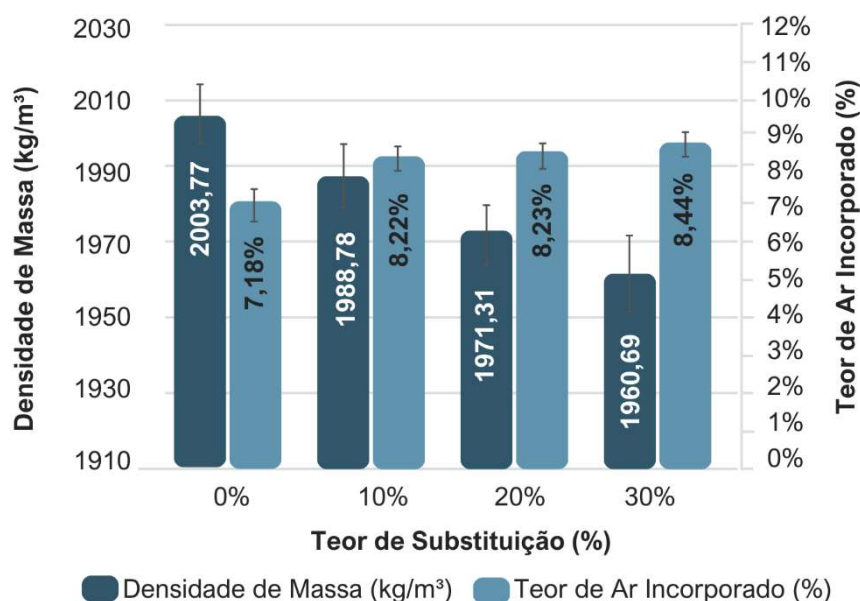
Figura 10 - Densidade de massa e Teor de ar incorporado – (a) Traço 1:6; (b) Traço 1:7 e (c) Traço 1:8.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autores

Este comportamento também foi observado em trabalhos de Santana et al. (2019), Carasek et al. (2018) e Jiménez et al. (2013). A redução da densidade de massa está ligada a massa específica da areia reciclada (2500 kg/cm^3) ser menor que da areia natural (2620 kg/cm^3), dessa forma, aumentando a porosidade e o teor ar incorporado nas argamassas conforme o aumento do teor de substituição. Apesar do agregado reciclado corroborar com a leveza, a produtividade muitas vezes é afetada por se tratar de um material com poros grandes. O que sugere uma absorção e perda de água maior do que com agregados naturais. Clementino (2025), em estudo vinculado ao mesmo projeto desta pesquisa, avaliou a permeabilidade de painéis de alvenaria por meio do método do cachimbo – Figura 11(a) – e constatou dificuldades na aplicação de argamassas de assentamento com agregado reciclado, associadas à perda de água para o substrato. Verificou-se que a permeabilidade aumentou proporcionalmente ao teor de resíduos incorporados, comportamento relacionado à granulometria irregular e à elevada porosidade do agregado reciclado, que favorecem a absorção de água e resultam em uma matriz mais permeável (Fernandez, 2025; Melo, 2024). Além disso, a retração durante a cura, intensificada pelo alto teor de partículas finas, contribui para a formação de fissuras no estado endurecido (Nascimento, 2023) – Figura 11(b), as quais facilitam a percolação de fluidos, ampliando a permeabilidade do material. Carasek et al. (2018) explica que essa perda

de água está associada aos índices físicos do resíduo. Bernardon et al. (2020) constatou que argamassas com agregados reciclados apresentam uma menor retenção de água que as com agregados naturais.

Figura 11 – (a) Ensaio de Permeabilidade pelo método de cachimbo nas Alvenarias; (b) Aparecimento de Microfissuras nas juntas nos painéis de alvenaria executados.



(a)



(b)

Fonte: (Clementino, 2025)

De acordo com a NBR 13281-2 (ABNT, 2023), a argamassa inorgânica para assentamento de unidades de alvenaria sem função estrutural (vedação) (AAV), necessita ter teor de ar incorporado menor ou igual a 22%, logo as argamassas com agregado reciclado dos três traços estudados estão dentro dos padrões normativos. Além disso, todas as argamassas com areia reciclada se encaixaram na classificação DF3 ($1\ 800 \leq DF < 2\ 000$) desta NBR.

3.2. ANÁLISE DO EFEITO DO AGREGADO RECICLADO NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de densidade de massa no estado endurecido, esses resultados indicam uma redução da densidade à medida que aumenta o teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado. Esse comportamento está relacionado ao fato de o agregado reciclado apresentar menor densidade em comparação ao agregado natural, além de possuir maior capacidade de absorção de água. Tal tendência também foi observada por outros autores, como Martínez et al. (2013) e Vegas (2009).

Tabela 3 - Resultados de densidade de massa aparente no estado endurecido.

Densidade de massa (kg/m ³)					
AA6-0	1849,25	AA7-0	1817,69	AA8-0	1778,80
AA6-10	1756,60	AA7-10	1777,28	AA8-10	1739,56
AA6-20	1756,18	AA7-20	1756,18	AA8-20	1686,97
AA6-30	1737,28	AA7-30	1746,89	AA8-30	1678,72

Fonte: Autores

Na Tabela 4 são apresentados os dados de absorção de água e o coeficiente de capilaridade, é possível observar que para os três traços analisados, a absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade aumenta de acordo com o teor de substituição além de que todos são superiores aos traços de referência.

Tabela 4 – Absorção de água por capilaridade dos traços.

Argamassa	At 10min (g/cm ²)	At 90min (g/cm ²)	C (g/dcm ² .min ^{1/2})
AA6-0	0,12	0,37	4,02
AA6-10	0,40	1,02	10,01
AA6-20	0,40	1,05	10,37
AA6-30	0,45	1,26	13,05
AA7-0	0,13	0,34	3,44
AA7-10	0,40	1,13	11,58
AA7-20	0,52	1,52	16,00
AA7-30	0,71	1,90	19,00
AA8-0	0,08	0,34	4,18
AA8-10	0,39	1,21	13,17
AA8-20	0,69	2,13	23,00
AA8-30	0,75	2,20	23,13

Fonte: Autores

Este aumento da absorção de água por capilaridade, observado com o acréscimo de areia reciclada, está diretamente ligado à maior porosidade da argamassa. Resultados semelhantes foram observados por Grigorjev (2024) e Antunes (2024), onde isso ocorre porque o agregado reciclado é mais poroso do que o agregado natural, facilitando o transporte de água através da rede de poros. Santana (2019) relaciona o aumento do coeficiente de capilaridade justamente ao crescimento da porosidade, consequência direta da maior quantidade de água e ar incorporado nas misturas com agregado reciclado.

Assim, a capilaridade pode ser vista como um reflexo da interconexão de poros, portanto, quanto mais conectada e permeável for essa interconexão (geralmente em argamassas com menor desempenho mecânico e maior teor de areia reciclada), maior será a absorção de água por capilaridade.

Na tabela 5 são apresentados os resultados, relativos às propriedades mecânicas das argamassas. Os ensaios foram realizados seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005), para os traços de referência, 10%, 20% e 30% de teor de substituição.

Tabela 5 - Resultados das resistências a tração e compressão.

Argamassa	Tração (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação	Compressão (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação	NBR 13281-2 (ABNT, 2023)
AA6-0	2,27	0,49	22%	3,56	0,55	16%	Atende
AA6-10	2,19	0,07	3%	3,45	0,37	11%	Atende
AA6-20	0,63	0,24	39%	3,08	0,35	11%	Atende
AA6-30	0,70	0,14	19%	2,71	0,24	9%	Atende
AA7-0	1,72	0,07	4%	2,95	0,97	33%	Atende
AA7-10	0,83	0,12	14%	2,03	0,31	15%	Atende
AA7-20	0,82	0,12	14%	1,93	0,04	2%	Não atende
AA7-30	0,55	0,07	12%	1,60	1,01	63%	Não atende
AA8-0	1,56	0,58	37%	2,92	0,50	17%	Atende
AA8-10	0,78	0,18	23%	1,59	0,53	33%	Não atende
AA8-20	0,74	0,14	18%	1,01	0,13	13%	Não atende
AA8-30	0,59	0,20	35%	0,78	0,16	21%	Não atende

Fonte: Autores

O traço 1:6 apresentou o melhor desempenho mecânico entre as misturas avaliadas, atendendo os requisitos de compressão da NBR 13281-2 (ABNT, 2023) em todos os

teores de substituição. Observou-se redução progressiva das resistências à tração na flexão e à compressão com o aumento do teor de agregado reciclado. Destaca-se, entretanto, que apesar da queda de resistência, os coeficientes de variação na compressão permaneceram abaixo de 16%, indicando boa repetibilidade dos resultados.

Para o traço 1:7, verificou-se maior sensibilidade à substituição do agregado natural, com reduções significativas de resistência já a partir de 10% de substituição. Os teores de 20% e 30% não atenderam aos requisitos normativos de resistência à compressão, evidenciando a limitação do uso do agregado reciclado nesse traço.

O traço 1:8 apresentou o comportamento mais crítico entre as misturas estudadas, com quedas acentuadas de resistência tanto à tração quanto à compressão à medida que o teor de substituição aumentou. As argamassas com inserção de AR em todos os teores, não atenderam aos limites normativos, indicando que, para traços mais pobres, a incorporação de agregado reciclado compromete significativamente o desempenho mecânico. Embora os coeficientes de variação tenham se mantido em níveis aceitáveis, os baixos valores de resistência obtidos limitam a aplicação prática dessas argamassas.

Assim, foi observado que em todos os traços, houve queda da resistência de tração e compressão conforme o aumento do teor de substituição do agregado natural por agregado reciclado. Antunes (2024), Grigorjev (2024) e Santana (2019) explicam que esta redução está relacionada a porosidade do agregado reciclado, tendo em vista que este possui um índice de vazios 15,38% maior que o agregado natural, assim aumentando a relação a/c da mistura e o teor de ar incorporado nas argamassas, além da qualidade do agregado reciclado em relação ao agregado natural. Assim, podemos relacionar o enfraquecimento gradual das propriedades mecânicas das argamassas ao aumento da quantidade de areia reciclada na mistura devido as características próprias do agregado reciclado, como maior porosidade e menor massa específica quando comparado aos agregados naturais. Além disso, para esta pesquisa, essa diminuição da resistência também está associada à diminuição do consumo de cimento conforme o aumento do teor de substituição da areia natural por areia reciclada.

4. CONCLUSÃO

A avaliação da viabilidade técnica da substituição parcial de areia natural por areia reciclada em argamassas de assentamento revelou que a aplicação desse material é condicionada ao traço utilizado e ao teor de substituição adotado. Os dados obtidos nos ensaios demonstram limitações claras no desempenho mecânico à medida que a mistura se torna mais "pobre" em cimento e o teor de resíduo aumenta.

Em relação às propriedades no estado fresco, todas as argamassas produzidas, independentemente do traço ou teor de substituição, atenderam aos requisitos normativos de teor de ar incorporado ($\leq 22\%$) e se enquadraram na classificação DF3 para densidade de massa aparente. No entanto, a incorporação do RCC exigiu um ajuste crescente na relação água/cimento para manter a consistência de 240 ± 10 mm, devido à maior porosidade e capacidade de absorção do agregado reciclado em comparação ao natural.

Quanto ao comportamento mecânico, os resultados foram heterogêneos, o traço 1:6 atendeu aos requisitos normativos de resistência à compressão em todos os teores analisados (10%, 20% e 30%), sendo a alternativa mais viável tecnicamente. O traço 1:7 demonstrou maior sensibilidade à incorporação do resíduo, uma vez que apenas o teor de 10% de substituição atendeu aos critérios da NBR 13281-2. Para o traço 1:8, verificou-se que somente a argamassa de referência, sem adição de agregado reciclado, apresentou resistência à compressão compatível com os limites normativos. As argamassas AA7-20, AA7-30, AA8-10, AA8-20 e AA8-30 apresentaram valores de resistência inferiores aos mínimos exigidos, o que inviabiliza sua aplicação para fins normatizados de assentamento.

Além disso, observou-se que o aumento do RCC eleva significativamente a absorção de água por capilaridade, o que indica uma rede de poros mais conectada e maior permeabilidade. Isso sugere que, embora mecanicamente aceitáveis em certos traços, essas argamassas podem apresentar desafios de durabilidade em ambientes expostos à umidade excessiva.

Portanto, conclui-se que o uso de areia reciclada é uma alternativa ecoeficiente, visto que a utilização de RCC é benéfica ao meio ambiente possibilitando o menor uso de agregado natural, e tecnicamente viável para o traço 1:6 (até 30% de substituição) ou

para o traço 1:7 limitado a 10% de substituição. Para garantir a qualidade final, é indispensável o controle da pré-molhagem do agregado reciclado e a escolha cuidadosa da dosagem, para que as características das argamassas não sejam bruscamente afetadas durante sua produção, equilibrando os benefícios ambientais com as exigências de desempenho da construção civil. O uso adequado de teores de substituição e o controle da granulometria e absorção dos agregados reciclados são fundamentais para o desempenho e sustentabilidade nas argamassas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-2: Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios. Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria.** Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116 - Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 307**, de 5 de julho de 2002.

BRAVO, Miguel, *et al.* **Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants.** *Journal of Cleaner Production*, v. 99, p. 59–74, 2015.

BERNARDON, Luciano; WAECHTER, Jackson Luís; SILVA, Rodrigo de Almeida; LERMEN, Richard Thomas; NOVAES, Jéssica Flesch. **Avaliação da substituição total de areia natural por RCC em argamassa de assentamento.** Faculdade Meridional (IMED), 2020.

CARASEK, H. *et al.* **Study and evaluation of construction and demolition waste recycled aggregates for masonry and rendering mortars.** *Ceramica*, v. 64, n. 370, p. 288–300, 1 abr. 2018

CONTRERAS, M. *et al.* Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). **Construction and Building Materials**, v. 123, p. 594–600, 1 out. 2016.

CLEMENTINO, R.A.S. **Agregado reciclado: uma solução sustentável para o assentamento de blocos de vedação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Universidade Federal do Pará, Belém, 2025.

DEVI, S. *et al.* **Utilization of recycled aggregate of construction and demolition waste as a sustainable material.** *Materials Today: Proceedings*, v. 45, parte 7, p. 6649–6654, 2021.

FERNANDEZ, J. L. B. **Resíduos sólidos da construção civil: análise do gerenciamento em obras de reforma, de micro e de pequenos portes.** Dissertação de mestrado – Universidade Católica do Salvador. Salvador/BA, 2018.

Gonçalves P. H. **Planejamento e gerenciamento do resíduo sólido de construção e demolição – estudo de casos goianos.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, 2013

Grigorjev, V., Azenha, M., & De Belie, N. (2024). **Second Life for Recycled Concrete and Other Construction and Demolition Waste in Mortars for Masonry: Full Scope of Material Properties, Performance, and Environmental Aspects.** In *Materials* (Vol. 17, Issue 20).

JIMÉNEZ, J. R. *et al.* **Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing.** *Construction and Building Materials*, v. 40, p. 679–690, 2013.

KATO, Camila Seiço. **A produção de vedações verticais de alvenaria: comparação entre soluções empregadas no Brasil e em Portugal.** 2009. Trabalho de Conclusão de Curso

LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição** 270 f. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MARTÍNEZ, I. *et al.* **A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars.** *Construction and Building Materials*, v. 49, p. 384-392, 2013.

MESQUITA, A. S. G. **Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Construção Civil) - Instituto Federal do Piauí, Teresina, 2012.

Mora-Ortiz, R.S. *et al.* **Mechanical Behavior of Masonry Mortars Made with Recycled Mortar Aggregate.** *Materials* 2020, 13, 2373.

PNUMA - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Sand and sustainability: 10 strategic recommendations to avert a crisis.** Nairobi: United Nations Environment Programme, 2022. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-ereportagens/comunicado-de-imprensa/nosso-uso-da-areia-esta-nos-colocando-contra-parede>. Acesso em: 30 jan. 2026.

ROSADO, L. P.; PENTEADO, C. S. G. **Gestão municipal dos resíduos da construção civil: influência da taxa de disposição em aterros.** *Ambiente & Sociedade*, v. 23, e00321, 2020.

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. **Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes.** *Construction and Building Materials* Elsevier Ltd, , 15 fev. 2016.

SANTANA, T. da S.; PEREIRA, C. H. de A. F. **Avaliação da influência da utilização de agregado miúdo reciclado em argamassas estabilizadas.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 305-318, jul./set. 2020.

SOLYMAN, M. **Classification of recycled sands and their applications as fine aggregates for concrete and bituminous mixtures.** 2005. 150 f. Tese (Doutorado) - Fachbereich Bauingenieurwesen der Universität Kassel, Kassel, 2005.

VEGAS, I. *et al.* **Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates.** *Materiales de Construcción*, [S. l.], v. 59, n. 295, p. 5–18, 2009.

VINOLAS, Bernat. *et al.* **Sustainability of wall construction techniques for self-built rural housing: a case study from Brazil.** *Cleaner Environmental Systems*, v. 19, 2025.