ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM AGREGADOS RECICLADOS MISTOS DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO

Performance analysis of mortars with mixed recycled aggregates from demolition waste

Yelli Katerine Oliveira Silva
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | yelli.silva@ctec.ufal.br

Marília Suelen de Barros Couto
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | marilia.couto@ctec.ufal.br

Karoline Alves de Melo Moraes
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | kamm@ctec.ufal.br

Cássia Vanessa Albuquerque de Melo
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | cassiamelo@ctec.ufal.br

Resumo

Diante da geração de resíduos sólidos na construção civil e de seus efeitos causados no meio ambiente, especialmente os resíduos de construção e demolição (RCD), é necessário buscar alternativas sustentáveis para o setor. A argamassa, uma mistura bastante utilizada em obras, e a viabilidade de substituir a sua composição de agregado miúdo natural por agregados reciclados mistos provenientes de resíduos de demolição é o objetivo deste estudo. Foram desenvolvidas 10 composições de argamassas: 5 com cal, na proporção 1:2:9 (cimento: cal: areia), e 5 com aditivo plastificante (ADP), na proporção 1:3 (cimento: areia). Os ensaios de índice de consistência, massa específica, absorção de água, resistência à tração e compressão foram os principais realizados como base de comparação. Os resultados mostraram que as argamassas com agregados reciclados, especialmente quando combinadas com ADP, apresentaram melhor desempenho mecânico em comparação às demais composições.

Palavras-chave: RCD; Aditivo plastificante; Construção Civil; Sustentabilidade.

Abstract

Given the generation of solid waste in the construction industry and its environmental impact, especially construction and demolition waste (C&DW), it is necessary to seek sustainable alternatives for the sector. The mortar, a mixture widely used in construction, and the viability of replacing its composition of natural fine aggregate with mixed recycled aggregates from demolition waste is the objective of this study. Ten mortar compositions were developed: 5 with lime, in the proportion 1:2:9 (cement: lime: sand), and 5 with plasticizing additive (ADP), in the proportion 1:3 (cement: sand). The tests of consistency index, specific mass, water absorption, tensile and compressive strength were the main tests performed as a basis for comparison. The results showed that mortars with recycled aggregates, especially when combined with ADP, presented better mechanical performance compared to the other compositions.

Keywords: C&DW; Plasticizing additive; Civil Construction; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) classifica os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como Classe A, permitindo sua reutilização como agregados reciclados na produção de argamassas e concretos. Assim, a utilização de agregados reciclados em argamassas surge como uma alternativa para atender à enorme demanda do setor da construção, uma vez que esse material apresenta desempenho adequado (Silva *et. al.*, 1997).

Para aplicação em argamassas não estruturais, os agregados reciclados devem atender aos requisitos da NBR 15116 (ABNT, 2021), sendo o agregado reciclado misto um dos tipos que pode substituir até 100% do agregado natural. A análise da influência do teor de finos dos agregados reciclados mistos nas propriedades das argamassas de revestimento concluiu que a substituição parcial do agregado natural por reciclado pode ser viável (Oliveira, 2015).

Considerando que nas construções convencionais as argamassas de assentamento e revestimento são utilizadas em grande escala para a execução da alvenaria, tem-se como objetivo, no presente trabalho, analisar o desempenho destas argamassas quando produzidas com agregados reciclados mistos provenientes de resíduos de demolição de residências localizadas em um bairro da cidade de Maceió-AL afetado por um processo de subsidência do solo.

2 METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS COMPONENTES

Os materiais utilizados para as produções foram: Cimento CP II Z-32, areia natural fina (ANF), areia natural grossa (ANG), areia reciclada mista (ARM) derivada do processamento de resíduos sólidos oriundos de obras de demolição, cal, aditivo plastificante (ADP) e água proveniente da rede de abastecimento. O uso de cal e aditivo plastificante são alternativas buscadas para melhorar a plasticidade da argamassa, tornando-as mais adequadas para aplicação no assentamento de blocos cerâmicos e em revestimentos do tipo reboco. Nesse estudo, fez-se a comparação de argamassas compostas por cal e argamassas compostas por ADP.

Para determinar as propriedades das areias foram executados os ensaios de análise granulométrica pela NBR 17054 (ABNT, 2022), de massa específica e absorção de água pela NBR 16916 (ABNT, 2021), massa unitária e índice de vazios pela NBR 16972 (ABNT, 2021), teor de argila pela NBR 7218 (ABNT, 2010) e de material fino pela NBR 16973 (ABNT, 2021).

2.2 DOSAGEM E PRODUÇÃO

O traço adotado neste estudo foi de 1:2:9 (cimento: cal: areia) para as argamassas com cal, e 1:3 (cimento: areia) para as argamassas com aditivo, ambos em volume. O consumo de aditivo seguiu a indicação do fabricante, sendo 100 mL para cada 50 kg de cimento utilizado.

Silva (2024) realizou estudos de composição granulométrica entre os agregados miúdos naturais (ANF e ANG) e o agregado reciclado misto (ARM) utilizados no presente trabalho e concluiu que, para a produção de argamassas, a proporção de 60% de agregado natural + 40% de agregado reciclado apresentou distribuição granulométrica compatível com a zona ótima da NBR 7211 (ABNT, 2022). Essa proporção foi a adotada no presente trabalho para desenvolver 10 misturas de argamassa, 5 contendo cal e 5 contendo aditivo, sendo estas: 100% ANF, 100% ANG, 100% ARM, 60% ANF + 40% ARM e 60% ANG + 40% ARM.

Para minimizar o efeito elevado de absorção de água causado pela porosidade do RCD, utilizou-se o processo de pré-molhagem dos agregados reciclados. Lima (2024) constatou que a compensação ideal de água para se utilizar na pré-molhagem é de 80% da sua absorção de água, em relação à massa do material a ser utilizado. Sendo assim, cada amostra foi imergida e revolvida na água durante um tempo de 15 minutos antes de ser incorporada à mistura de argamassa. A água total da mistura foi ajustada para uma consistência fixa em função das aplicações pretendidas para as argamassas.

Na Tabela 1 apresentam-se os consumos dos materiais, bem como a relação água/ligante (a/lig) e relação água/cimento efetiva (a/ce), segundo a NBR 15116 (ABNT, 2021). As massas dos materiais foram calculadas convertendo-se os traços de volume para massa, a partir das massas unitárias de cada componente.

Tabela 1: Consumo dos materiais (kg) por m³ de argamassa

Composição de agregados	Cimento (kg)	Cal/ ADP (kg)	Areia Fina (kg)	Areia grossa (kg)	Areia reciclada mista (kg)	Água (kg)	Água de Pré-molhagem (kg)	Relação a/lig	Relação a/ce
Argamassa com cal									
100% ANF	134,16	110,57	1702,84	0,00	0,00	320,63	0,00	1,31	2,39
100% ANG	145,95	120,29	0,00	1798,33	0,00	331,87	0,00	1,25	2,27
100% ARM	162,04	133,55	0,00	0,00	1479,76	320,63	91,15	1,08	1,84
60% ANF + 40% AR	128,67	106,05	979,90	0,00	653,26	320,68	40,24	1,37	2,41
60% ANG + 40% AR	137,79	113,56	0,00	1018,65	679,10	313,30	41,83	1,25	2,20
Argamassa com aditivo									
100% ANF	345,13	0,79	1460,15	0,00	0,00	262,36	0,00	0,76	0,76
100% ANG	378,02	0,87	0,00	1552,57	0,00	259,90	0,00	0,69	0,69
100% ARM	398,55	0,92	0,00	0,00	1213,17	288,59	74,73	0,72	0,68
60% ANF + 40% AR	338,87	0,78	860,22	0,00	573,48	246,14	35,33	0,73	0,70
60% ANG + 40% AR	349,27	0,80	0,00	860,71	573,81	268,91	35,35	0,77	0,74

Nota-se que os valores encontrados nas relações a/lig e a/ce das produções com ADP indicam menos água na mistura quando comparados às argamassas com cal, o que implica que o uso do aditivo plastificante melhorou a plasticidade e a trabalhabilidade, o que pode contribuir para o bom desempenho da argamassa no estado endurecido, sem aumentar o seu consumo de água.

Por fim, a norma NBR 16541 (ABNT, 2016) foi adotada como referência para a preparação da mistura das argamassas no estado fresco.

2.3 ENSAIOS NAS ARGAMASSAS

Na etapa pós-produção da argamassa, realizou-se o ensaio de índice de consistência, seguindo a NBR 13276 (ABNT, 2016), em que os resultados de espalhamento foram valores médios de diâmetro dentro da margem 26 cm ± 0,5 cm. Logo em seguida, foi realizado o ensaio de densidade de massa e teor de ar no estado fresco, seguindo a NBR 13278 (ABNT, 2005).

Foram moldados 6 corpos de prova prismáticos, com dimensões de 4 x 4 x 16 cm, sendo 3 para realizar ensaios de absorção de água por capilaridade, conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005), e 3 para realizar ensaios de resistência à tração e compressão, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), ambos na idade de 28 dias. Por fim, todos os resultados desses ensaios foram utilizados como critério para classificação das argamassas, baseando-se na NBR 13281-2 (ABNT, 2023).

3 RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

No ensaio granulométrico avaliou-se a distribuição das dimensões das partículas, de modo que a ANG e a ARM estiveram dentro da zona ótima, enquanto a ANF permaneceu na zona utilizável. Os resultados dos demais ensaios realizados podem ser visualizados na Tabela 2.

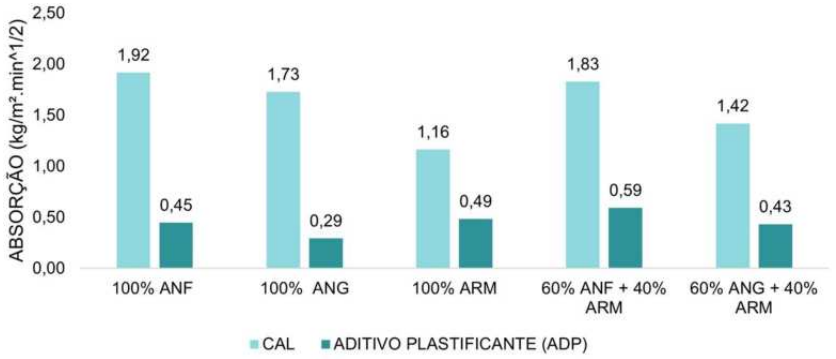
Tabela 2: Caracterização dos agregados (continua)

Propriedade	ANF	ANG	ARM
Dimensão máxima (mm)	4,75	6,30	4,75
Módulo de finura	2,05	2,44	2,30
Massa unitária no estado solto (kg/m³)	1456	1495	1103
Massa unitária no estado compacto (kg/m³)	1540	1607	1355
Massa específica (kg/m³)	2360	2520	2240
Absorção de água (%)	1,20	0,60	7,70
Pulverulento (%)	0,71	2,68	16,18
Teor de argila (%)	1,08	2,20	4,38

3.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Na Figura 1, um resultado inesperado ocorreu com as argamassas 100% ARM, apresentando menor absorção de água em relação às demais composições. Por se tratar de um material que possui uma maior absorção em relação aos agregados naturais, esperava-se que o mesmo ocorresse nas argamassas 100% ARM.

Figura 1: Média dos resultados de absorção de água por capilaridade após 90 minutos

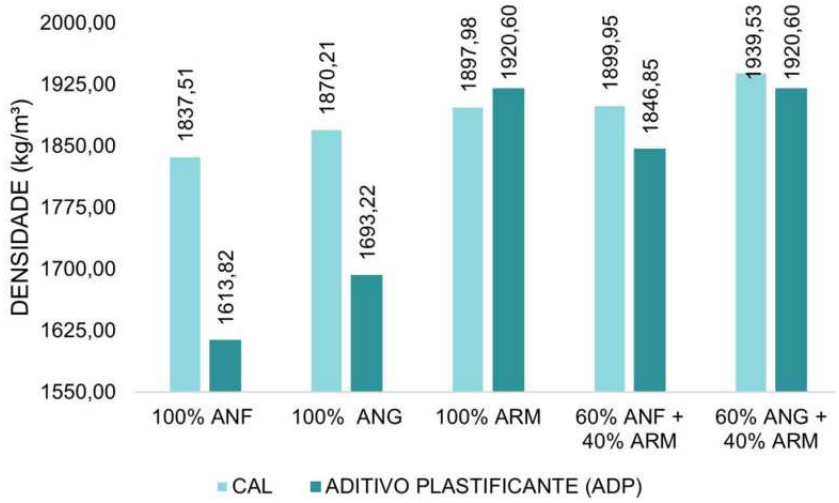


Embora o aditivo plastificante tenha sido incorporado para melhorar a plasticidade, ele também proporcionou benefícios quanto à absorção de água, uma vez que todas as argamassas apresentaram valores de absorção menores em relação às produzidas com cal. Evidencia-se que o aditivo pode ter promovido um efeito de fechamento dos poros, reduzindo a absorção de água. Esse efeito é coerente com os requisitos estabelecidos pela NBR 13281-2 (ABNT, 2023) que estipula que as argamassas devem apresentar características de trabalhabilidade, aderência e retenção de água adequadas, bem como absorção de água controlada, a fim de evitar patologias como destacamento do revestimento ou eflorescências.

3.2 MASSA ESPECÍFICA E TEOR DE AR

A Figura 2 apresenta os resultados do ensaio de massa específica. Ao analisar os resultados das argamassas 100% ANF e 100% ANG, observa-se que as formulações com ADP apresentam uma densidade consideravelmente menor do que aquelas que utilizam cal. Contudo, no caso das argamassas compostas por ARM, o cenário é diferente: o uso do aditivo plastificante resulta em uma densidade similar em comparação à mistura com cal. Esse comportamento pode indicar que o aditivo tem um papel no aprimoramento da densidade quando o agregado reciclado é utilizado.

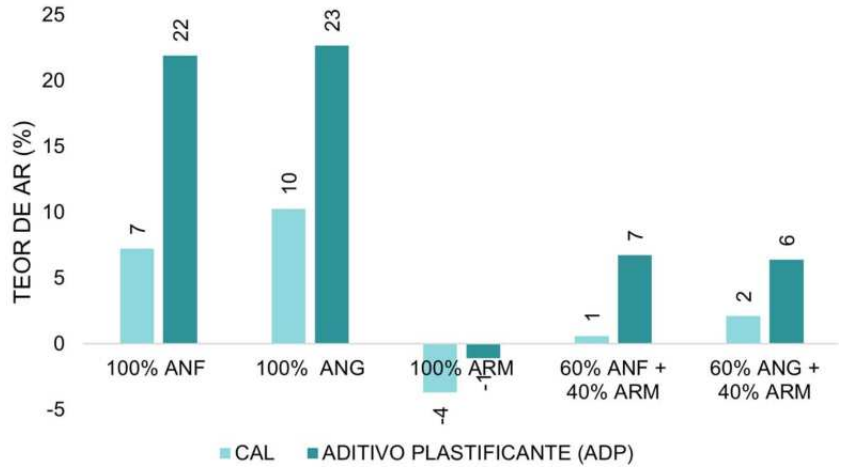
Figura 2: Comparação entre a média dos resultados de massa específica



A Figura 3 apresenta os resultados do ensaio de teor de ar. Durante a análise, foram identificados resultados negativos para as argamassas com 100% de ARM, indicando a possibilidade de um erro experimental, provavelmente relacionado à etapa de pesagem, uma vez que o teor de ar, por sua natureza, não pode apresentar valores negativos. Porém sugere que o teor de ar seja muito baixo, o que estaria em concordância com a maior massa específica observada.

As argamassas compostas exclusivamente por agregados naturais apresentaram valores superiores se comparadas às demais. Tal fato também é coerente com os resultados de massa específica, pois quanto mais vazios presentes, a argamassa se torna mais leve.

Figura 3: Comparação entre a média dos resultados de teores de ar



3.3 COMPORTAMENTO MECÂNICO

Diante dos resultados apresentados nas Figuras 4 e 5, é perceptível que, em comparação com a argamassa à base de cal, a incorporação do aditivo plastificante aumentou consideravelmente as resistências mecânicas, tanto à tração quanto à compressão, em todas as formulações testadas.

Figura 4: Comparação entre a média dos resultados de resistência à tração

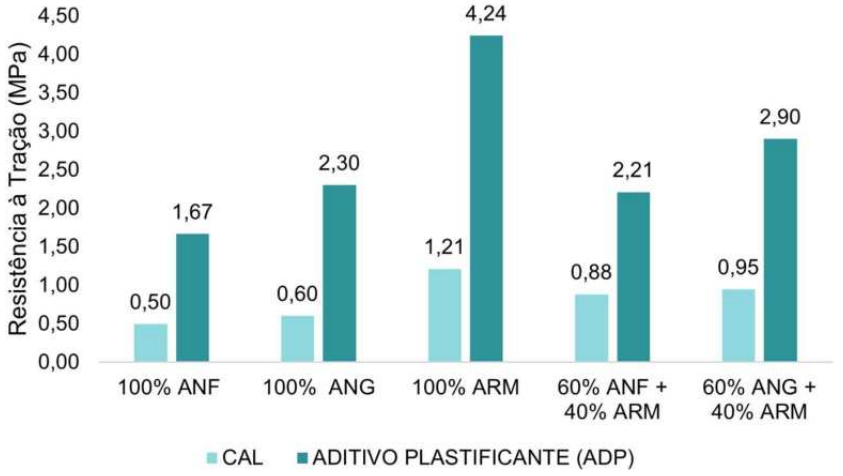
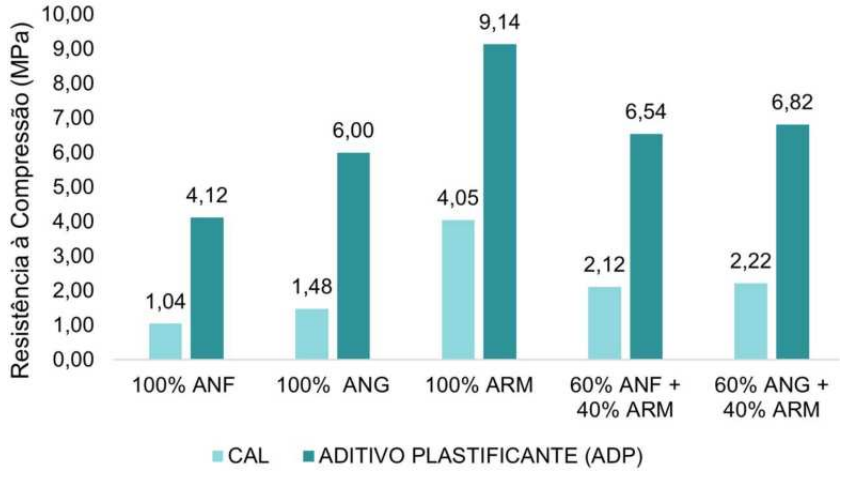


Figura 5: Comparação entre a média dos resultados de resistência à compressão



Além disso, de modo geral, as argamassas que utilizaram agregados reciclados apresentaram um desempenho mecânico satisfatório, com destaque para a formulação composta por 100% de agregado reciclado, que obteve resultados notáveis para os dois ensaios. O desempenho superior dessas argamassas tem relação com a sua maior massa específica e menor teor de vazios.

3.4 CLASSIFICAÇÃO

No Quadro 1, o critério 1 corresponde aos resultados de massa específica, o critério 2 ao teor de ar incorporado, e os critérios 3 e 4 à resistência à compressão e à tração, respectivamente. Para as argamassas produzidas com cal, todas as suas misturas foram classificadas como DF3, AAE (uso em alvenaria estrutural), AAV (uso em alvenaria de vedação) ou AAF (uso em encunhamento) e R2, com exceção à argamassa 100% ANF, que foi classificada como R1 (menor classe de resistência à tração para argamassas de revestimento).

Quadro 1: Classificação das argamassas

Mistura	Com cal				Com aditivo			
	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4
100% ANF	DF3	AAE	AAV	R1	DF2	AAV	AAV/AAF	R3
100% ANG	DF3	AAE	AAV	R2	DF2	FALSO	AAE5	R3
100% AR	DF3	AAE	AAV/AAF	R2	DF3	AAV/AAE	AAE8	R4
60% ANF + 40% AR	DF3	AAE	AAV/AAF	R2	DF3	AAV/AAE	AAE5	R3
60% ANG + 40% AR	DF3	AAE	AAV/AAF	R2	DF3	AAV/AAE	AAE5	R3

Para as argamassas produzidas com aditivo, em relação ao critério 2, a argamassa 100% ANG não houve classificação, uma vez que o seu resultado de teor de ar não esteve dentro dos intervalos previstos em norma. Quanto aos critérios 3 e 4, é necessário um destaque à argamassa 100% AR, classificada como AAE8 (argamassa para alvenaria estrutural com blocos de fbk entre 8 e 10 MPa) e R4 (maior classe de resistência à tração para argamassas de revestimento), resultados superiores se comparado às demais composições.

4 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que o aditivo plastificante, que foi adicionado para aprimorar a plasticidade, também trouxe benefícios em relação à redução da absorção de água nas argamassas. Além disso, ao comparar o desempenho de tração e compressão das argamassas, tanto com cal quanto com aditivo plastificante, verifica-se que a adição de areia reciclada melhora a resistência mecânica. Quando combinada com o aditivo plastificante, essa melhoria é ainda maior, elevando consideravelmente sua resistência. Além disso, o uso de agregados reciclados propiciou menores valores de absorção de água por capilaridade, em relação às argamassas com agregados naturais, o que é importante para a durabilidade de alvenarias executadas com estes materiais.

Portanto, sugere-se que a combinação dos agregados reciclados mistos aqui utilizados, provenientes de resíduos de demolição, com aditivos plastificantes apresentou-se como uma abordagem eficaz para produzir argamassas mais sustentáveis e com melhor desempenho. Entretanto, para alcançar uma conclusão mais precisa sobre o comportamento dessas argamassas, seria essencial a realização de estudos mais detalhados, com análises aprofundadas da sua microestrutura.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos estudantes de graduação e pós-graduação, técnicos, engenheiros, servidores e colaboradores que estiveram no apoio e à frente da produção em laboratório. Agradecemos a toda orientação dos professores envolvidos nesse processo. Agradecemos ao Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA), integrante do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas pela infraestrutura disponibilizada. Agradecemos à empresa financiadora da pesquisa e à FUNDEPES pela gestão dos recursos financeiros.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7218**: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **ABNT NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 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.

_____. **ABNT NBR 13281-2**: Argamassas inorgânicas - Requisitos e métodos de ensaios Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

_____. **ABNT NBR 15116**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **ABNT 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.

_____. **ABNT NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **ABNT NBR 16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **ABNT NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **ABNT NBR 16973**: Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 μm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **ABNT NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: CONAMA, 2002. Disponível em: conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305. Acesso em: 05 fev. 2025.

LIMA, N. K. S. **Análise da viabilidade do uso de agregado reciclado graúdo misto em concretos estruturais**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2024.

OLIVEIRA, R. P. **Estudo da influência do teor de finos dos agregados reciclados mistos nas propriedades das argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7894?show=full. Acesso em: 14 abr. 2025.

SILVA, A. S. R. *et al.* **Argamassa inorgânica com o emprego de entulho reciclado**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1997. Salvador: UFBA/ANTAC, 1997. p. 203-206. Disponível em: https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/59. Acesso em: 10 fev. 2025.

SILVA, J. V. L. M. **Análise granulométrica de agregados naturais e reciclados para a produção de argamassas**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2024.