

**Caracterização e Classificação de Argamassas para Contrapiso com
Agregado Artificial PET-PCR na Substituição Parcial de Agregado Natural
Areia da Mistura**

Raul de Souza Brandão

Professor Doutor, IFES, Brasil.
Doutorando, UENF, Brasil.
raul.brandao@ifes.edu.br

José Augusto Pedro Lima

Professor Doutor, UENF, Brasil.
japlima@uenf.br

Jonas Alexandre

Professor Doutor, UENF, Brasil.
jonas@uenf.br

RESUMO

Este estudo investigou a viabilidade de utilizar o Polietileno Tereftalato Pós-Consumo Reciclado (PET-PCR) como agregado alternativo em argamassas para construção civil, com o objetivo de avaliar suas propriedades e seu impacto na sustentabilidade do setor. Foram realizados ensaios de resistência à compressão, aderência ao substrato, trabalhabilidade e retenção de água nas argamassas com adição de PET-PCR, e os resultados foram comparados com argamassas convencionais e os requisitos da norma ABNT NBR 13281. Os resultados mostraram que a adição de PET-PCR nas argamassas resultou em uma leve redução na resistência à compressão e aderência ao substrato, porém, os valores permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela norma. A trabalhabilidade e retenção de água das argamassas com PET-PCR foram similares às argamassas convencionais. Este estudo contribui para a área de construção civil ao apresentar o PET-PCR como uma alternativa viável e sustentável para a utilização de resíduos plásticos na construção civil, contribuindo para a redução da demanda por recursos naturais e a geração de resíduos. No entanto, são necessários estudos adicionais para avaliar o comportamento mecânico e a durabilidade das argamassas com PET-PCR em longo prazo, bem como seu impacto ambiental completo.

PALAVRAS-CHAVE: PET-PCR. Argamassa. Sustentabilidade. Construção Civil. Norma ABNT NBR 13281.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor crucial para o desenvolvimento urbano, impulsionando o crescimento econômico e proporcionando moradia, infraestrutura e espaços de trabalho para a população. No entanto, essa atividade também gera impactos ambientais consideráveis, consumindo recursos naturais de forma desenfreada e gerando enormes volumes de resíduos (MASUERO, 2021). A magnitude desses impactos exige ações urgentes para minimizar os efeitos negativos da construção tradicional no meio ambiente.

Diante desse cenário preocupante, surge a construção civil sustentável como uma alternativa viável e urgente para minimizar os efeitos negativos da construção tradicional no meio ambiente. Essa abordagem inovadora prioriza o uso de práticas e materiais ecologicamente corretos, buscando reduzir o consumo de recursos naturais, a geração de resíduos e a emissão de gases poluentes ao longo de todo o ciclo de vida de uma construção (VAZQUES *et al.*, 2019).

Em busca de um futuro mais verde para as cidades, a reciclagem de resíduos na construção civil se ergue como uma alternativa sustentável e promissora, combatendo os impactos ambientais gerados pelo setor (POON *et al.*, 2009). Entre os materiais reciclados, o Polietileno Tereftalato Pós-Consumo Reciclado (PET-PCR) se destaca como um protagonista da sustentabilidade, ostentando versatilidade e potencial de aplicação em diversos campos, incluindo a construção civil.

As argamassas, componentes indispensáveis na construção civil, são compostas por uma mistura de aglomerantes, agregados e água. Sua versatilidade as torna peças chave em diversas etapas da obra, desde o assentamento de tijolos e blocos até o revestimento de paredes e contrapisos (FALCAO BAUER, 2013). Da qualidade e do desempenho das argamassas dependem a durabilidade, resistência e estética das edificações, pilares fundamentais para a segurança e o bem-estar dos ocupantes.

O PET-PCR, oriundo da reciclagem de garrafas PET, possui características físicas e mecânicas que o habilitam como um potencial substituto para os agregados naturais em argamassas (TZANNIS *et al.*, 2009). A incorporação do PET-PCR como agregado artificial nas

argamassas tem o potencial de reduzir a demanda por recursos naturais e contribuir para a diminuição da geração de resíduos, promovendo a economia circular (SILVA *et al.*, 2016).

Em um contexto onde a sustentabilidade na construção civil se torna cada vez mais crucial, este trabalho se dedica a caracterizar argamassas para contrapiso com agregado artificial PET-PCR como substituto parcial da areia natural na mistura. Este estudo se configura como um passo importante na busca por soluções inovadoras e sustentáveis para a construção civil, utilizando materiais reciclados e otimizando recursos, em consonância com as diretrizes da ABNT NBR 13281 e com as necessidades do mercado.

Os resultados desta pesquisa almejam contribuir significativamente para o desenvolvimento de argamassas mais sustentáveis e eficientes, impulsionando a adoção de práticas ecoeficientes na construção civil. Acredita-se que este estudo trará diversos benefícios, representando um passo importante na jornada por uma construção civil mais sustentável e eficiente.

Ao compartilhar os resultados da pesquisa com a comunidade científica, profissionais do setor da construção civil, governos e empresas, espera-se inspirar ações e decisões que promovam um futuro mais verde e sustentável para a indústria da construção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico e evolução das argamassas na construção civil

As argamassas têm uma longa história na construção civil, sendo utilizadas desde as civilizações antigas, como os egípcios, romanos e gregos. Nestas culturas, as argamassas eram compostas principalmente por uma mistura de cal, areia e água. Esses ingredientes eram habilmente combinados para criar uma substância versátil e durável. Através dos séculos, sua capacidade de aderir e proporcionar estabilidade às construções permitiu que essas civilizações erguessem edifícios que resistiram ao teste do tempo (FALCAO BAUER, 2013).

Com o passar dos anos e o avanço tecnológico, as técnicas de fabricação de argamassas foram sendo aprimoradas e novos materiais foram introduzidos. No século XX, com o surgimento da indústria química, foram desenvolvidos aditivos e ligantes que possibilitaram a melhoria das propriedades das argamassas, como resistência, aderência e tempo de cura (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Além disso, a busca por sustentabilidade e eficiência na construção civil tem incentivado a pesquisa e desenvolvimento de argamassas com características especiais, como alta durabilidade, resistência a agentes agressivos e menor impacto ambiental. Nesse contexto, a reciclagem de resíduos e a utilização de materiais alternativos, como o PET-PCR, têm ganhado destaque como alternativas promissoras para a produção de argamassas mais sustentáveis (SILVA *et al.*, 2016).

Atualmente, as argamassas são amplamente utilizadas em diversas aplicações na construção civil, desde o assentamento de tijolos e blocos, revestimento de paredes e contrapisos, até a impermeabilização e recuperação de estruturas. A evolução contínua das argamassas reflete o constante desenvolvimento e inovação no setor da construção civil,

buscando sempre atender às demandas de durabilidade, desempenho e sustentabilidade das edificações modernas.

2.2 Reciclagem de resíduos na construção civil

A reciclagem de resíduos na construção civil emerge como uma alternativa promissora e sustentável para mitigar os impactos ambientais causados por esse setor. O crescente uso de materiais reciclados em concreto e cerâmica ganha destaque como uma prática essencial para promover a sustentabilidade na construção (FERRARIS, 2017; SILVA *et al.*, 2016).

Materiais como concreto, cerâmica, tijolos e argamassas podem ser reciclados e reutilizados em novas construções ou em outras aplicações, reduzindo a necessidade de extração de recursos naturais e minimizando a geração de resíduos. Além disso, a reciclagem de resíduos na construção civil contribui para a economia circular (KARA; TOPCU, 2010).

No Brasil, a reciclagem de resíduos na construção civil ainda enfrenta desafios relacionados à coleta seletiva, segregação dos resíduos e falta de infraestrutura adequada para o processamento e reaproveitamento dos materiais (ABRELPE, 2021). No entanto, iniciativas governamentais e privadas têm incentivado a adoção de práticas sustentáveis e a implementação de políticas de gestão de resíduos sólidos na construção civil (BRASIL, 2010).

2.3 Características e aplicações do PET-PCR

O Polietileno Tereftalato Pós-Consumo Reciclado (PET-PCR) é um material derivado da reciclagem de garrafas PET, que apresenta características físicas e mecânicas particulares, tornando-o adequado para diversas aplicações na construção civil (SILVA *et al.*, 2016). O PET-PCR é conhecido por suas propriedades como leveza, resistência à tração, flexibilidade e resistência à degradação, o que o torna um material versátil e de fácil manuseio em obras civis (TZANNIS *et al.*, 2009). Além disso, sua coloração clara pode facilitar a pigmentação, permitindo uma maior diversidade estética nos produtos finais.

Na construção civil, o PET-PCR tem sido amplamente utilizado como agregado em argamassas e concretos, substituindo parcialmente os agregados naturais como areia e pedra britada. Estudos têm mostrado que a substituição parcial de agregados naturais pelo PET-PCR pode melhorar as propriedades mecânicas das argamassas, como resistência à compressão, módulo de elasticidade e aderência, além de contribuir para a redução da densidade do material (SILVA *et al.*, 2016).

Além das argamassas, o PET-PCR também pode ser utilizado em outros produtos da construção civil, como blocos de concreto, pavimentos permeáveis, isolantes térmicos e acústicos, e até mesmo em elementos decorativos. A utilização do PET-PCR na construção civil não só promove a sustentabilidade ambiental, ao reduzir a demanda por recursos naturais e a geração de resíduos, mas também oferece benefícios econômicos, como a redução dos custos com a aquisição de materiais e a gestão de resíduos (KARA; TOPCU, 2010).

No entanto, é importante ressaltar que o uso do PET-PCR na construção civil requer cuidados especiais em relação à sua preparação, armazenamento e aplicação, para garantir a

qualidade e durabilidade dos materiais produzidos. Portanto, a pesquisa contínua e o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem e aplicações do PET-PCR na construção civil são fundamentais para ampliar seu uso de forma sustentável e eficiente.

2.4 Normas e diretrizes para argamassas

A ABNT é responsável por estabelecer normas que regulamentam diversos aspectos da construção civil no Brasil, incluindo as especificações para argamassas. A norma ABNT NBR 13281 é um documento técnico que define os requisitos mínimos para argamassas de assentamento e revestimento, visando garantir sua qualidade, desempenho e durabilidade (ABNT, 2018).

A ABNT NBR 13281 estabelece parâmetros para características físicas, como consistência, retenção de água, e trabalhabilidade, bem como características mecânicas, como resistência à compressão e aderência. Além disso, a norma também define requisitos químicos, como teor de compostos orgânicos e alcalinidade, que as argamassas devem atender para serem consideradas adequadas para uso na construção civil.

Para assegurar a conformidade com a ABNT NBR 13281, os fabricantes de argamassas devem realizar ensaios laboratoriais de acordo com os métodos de ensaio especificados na norma. Esses ensaios são cruciais para avaliar o desempenho das argamassas e confirmar se elas atendem aos critérios de aceitação estabelecidos pela norma.

É fundamental ressaltar que a conformidade com a ABNT NBR 13281 não apenas assegura a qualidade das argamassas, mas também estabelece um padrão de qualidade e segurança para os materiais empregados na construção civil. A adesão a essa norma desempenha um papel fundamental na prevenção de falhas construtivas, garantindo a durabilidade e eficiência das estruturas edificadas, além de promover a confiança dos usuários e a valorização do empreendimento.

Para garantir a qualidade e segurança dos projetos, é essencial que os profissionais da construção civil estejam familiarizados com as normas técnicas aplicáveis e assegurem sua correta aplicação no dia a dia das obras. A atualização constante das normas e diretrizes é crucial para que os profissionais acompanhem as inovações tecnológicas e adotem as melhores práticas do setor.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição dos materiais anidros utilizados

Cimento (aglomerante) Portland CP-II E 32, em saco de 50 kg, foi adquirido em uma loja comercial da cidade de Cachoeiro de Itapemirim, ES. O material pertence a um único lote, o que foi suficiente para a realização de todos os ensaios, assegurando a homogeneidade na composição das argamassas desenvolvidas no estudo.

Areia natural (agregado natural) lavada proveniente de um rio de quartzo, extraída em Cachoeiro de Itapemirim, ES. O material foi adquirido em uma loja de material de

construção em quantidade superior às necessidades dos ensaios, o que permitiu manter adequadamente as composições desenvolvidas na pesquisa.

PET-PCR (agregado artificial) material reciclado de garrafas PET. O material composto foi obtido de duas fontes: o primeiro, PET-PCR micronizado, da unidade piloto de reciclagem da UFES em Vitória, ES, e o segundo, areia de PET-PCR, proveniente de uma indústria da região de Campos dos Goytacazes, RJ. Esses materiais foram previamente misturados para assegurar homogeneidade nos ensaios.

Água potável utilizada na preparação das argamassas é fornecida pela concessionária da cidade de Campos dos Goytacazes, RJ.

3.2 Procedimentos experimentais

3.2.1 Preparação dos materiais

Os materiais foram preparados, separados e armazenados de acordo com as recomendações dos fabricantes em um laboratório adequado, com controle de temperatura e umidade, conforme ABNT (2016). A norma NBR 16541 (2016) especifica o "método de preparo da mistura da argamassa em laboratório, a ser utilizado na realização dos ensaios necessários à caracterização do material".

3.2.2 Dosagem das argamassas

Foram conduzidos ensaios preliminares para determinar as proporções ideais de cada material na composição das argamassas. Foi estabelecido um traço convencional de argamassa, com uma proporção em volume de aproximadamente 1:6 (aglomerante/agregado) conforme NBR-13753 (1996) e uma relação água/cimento de 0,5 para uma consistência do tipo "farofa" na mistura.

A Tabela 1 demonstra as proporções em volume das diferentes argamassas. Sendo que AREF refere-se à argamassa de referência, sem adição de PET-PCR. AP10 indica a mistura com 10% de substituição de areia por PET-PCR, AP20 com 20% de substituição, AP30 com 30% de substituição e AP40 com 40% de PET-PCR em substituição à areia.

Tabela 1 – Proporção em volume dos componentes anidros das argamassas.

Compósito	Areia (%)	Cimento (%)	PET (%)	Total (%)
AREF	85,7	14,3	-	100,00
AP10	77,1	14,3	8,6	100,00
AP20	68,6	14,3	17,1	100,00
AP30	60,0	14,3	25,7	100,00
AP40	51,4	14,3	34,3	100,00

Fonte: AUTORES, 2024.

3.2.3 Preparação das argamassas:

As argamassas foram preparadas em um misturador mecânico, seguindo as proporções estabelecidas e mantendo um controle padronizado de umidade e temperatura. A mistura foi realizada até atingir uma consistência homogênea, conforme os procedimentos recomendados pela NBR 16541 (2016).

3.3 Ensaios realizados

3.3.1 Ensaios para Caracterização dos Agregados:

Foram realizados ensaios para caracterizar as propriedades físicas, como granulometria (NBR 7211, 2022) e morfologia, da areia natural e do PET-PCR.

3.3.2 Ensaios para Classificação das Argamassas:

Foram realizados ensaios para classificar as argamassas em pelo menos seis requisitos previstos na NBR 13281 (2005), são eles: P - Resistência à compressão (MPa) NBR 13279(2005); M - Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m³) NBR 13280(2005); R - Resistência à tração na flexão (MPa) NBR 13279(2005); C - Coeficiente de capilaridade (g/dm².min^{1/2}) NBR 15259(2005); D - Densidade de massa no estado fresco (kg/m³) NBR 13278(2005); U - Retenção de água (%) NBR 13277(2005).

3.4 Metodologia de análise

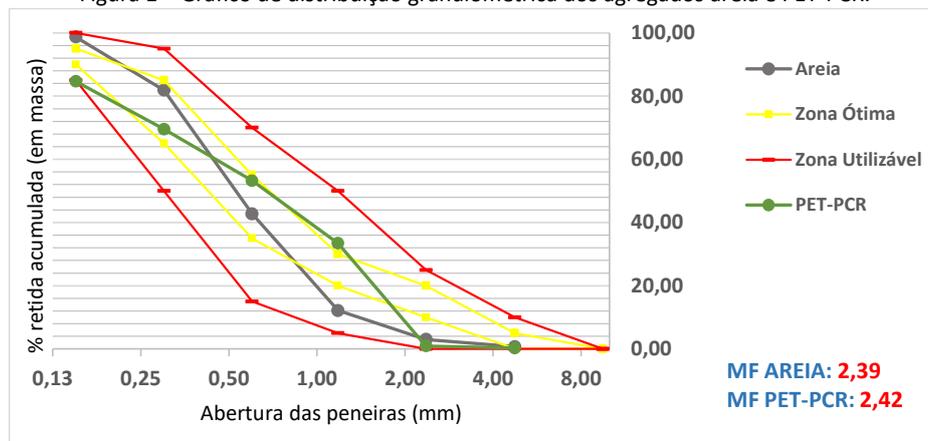
Análise dos Resultados: Os resultados dos ensaios foram analisados estatisticamente para avaliar a influência do PET-PCR como agregado artificial nas propriedades das argamassas em relação à proporção de substituição da areia, o agregado natural. A análise estatística das amostras foi realizada conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 13281 (2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados obtidos nos ensaios para caracterização granulométrica das argamassas

A Figura 1 ilustra os valores dos resultados da distribuição média dos elementos típicos do ensaio de granulometria dos agregados natural (areia) e artificial (PET-PCR).

Figura 1 – Gráfico de distribuição granulométrica dos agregados areia e PET-PCR.

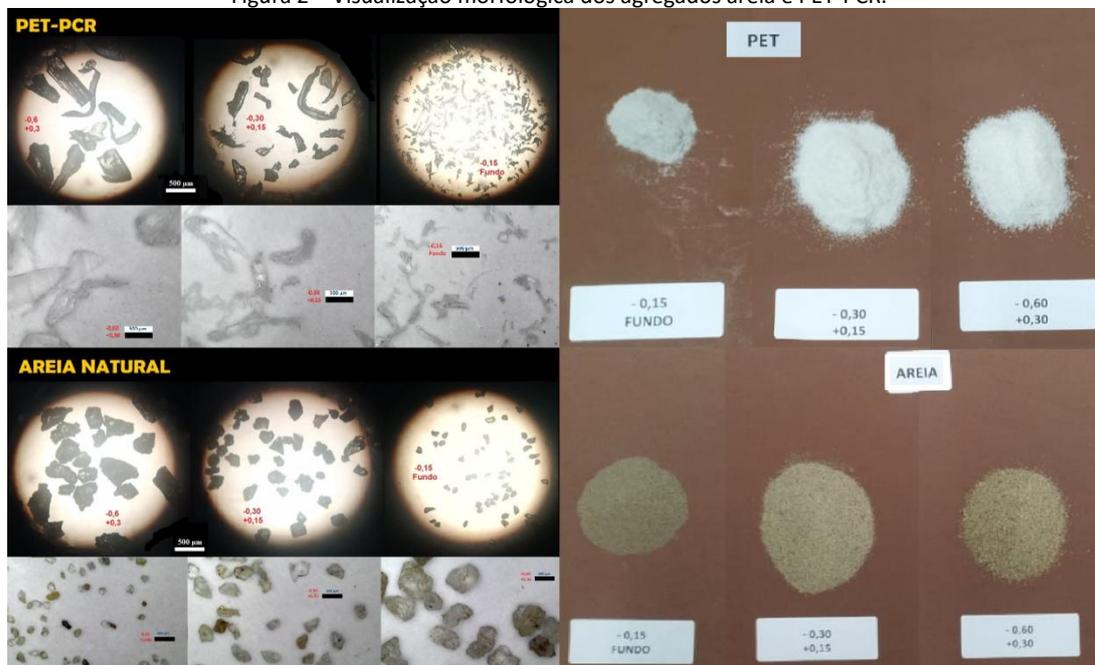


Fonte: AUTORES, 2024.

4.2 Resultados obtidos nos ensaios para caracterização morfológica das argamassas

A Figura 2 apresenta uma visualização microscópica das amostras das partículas típicas em faixas granulométricas decrescentes dos agregados natural (areia) e artificial (PET-PCR) utilizados nos ensaios de granulometria. Essas imagens foram obtidas por meio de microscópios óptico e digital.

Figura 2 – Visualização morfológica dos agregados areia e PET-PCR.

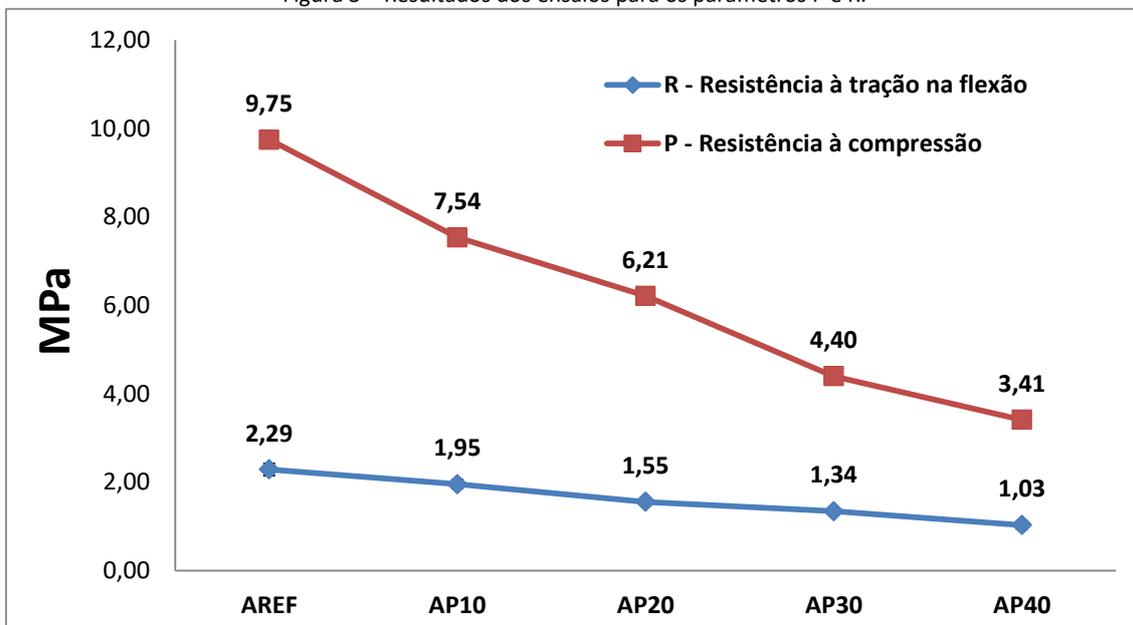


Fonte: AUTORES, 2024.

4.3 Resultados obtidos para ensaios de classificação das argamassas conforme NBR 13281

A Figura 3 ilustra os gráficos com os valores dos resultados das médias e curva de tendência dos ensaios realizados nas argamassas para os parâmetros P (resistência a compressão) e R (resistência à tração na flexão).

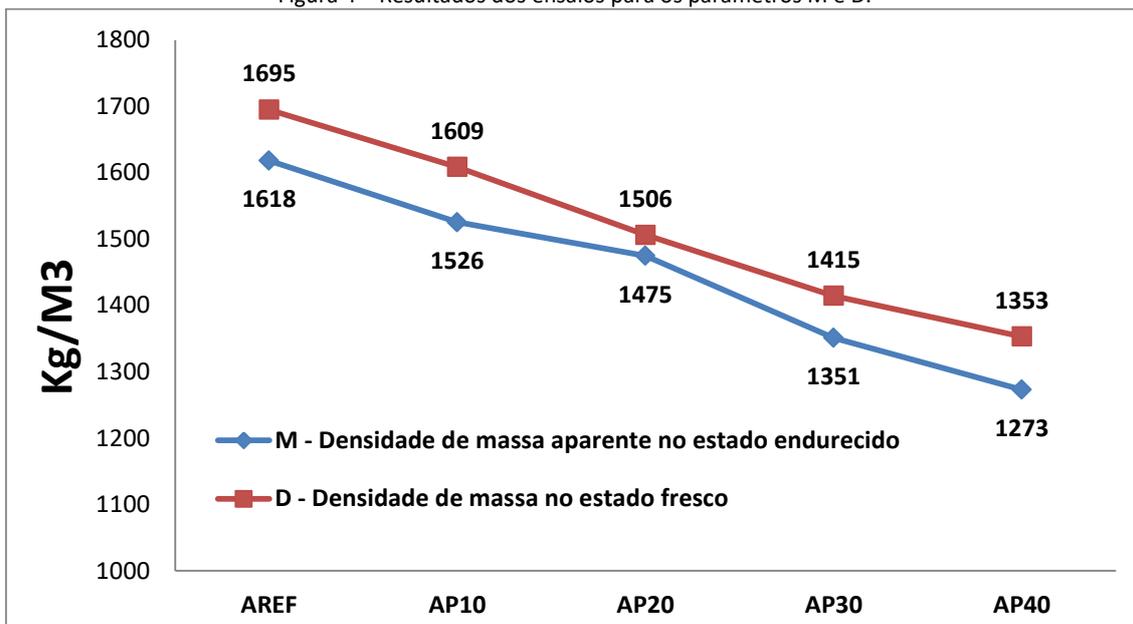
Figura 3 – Resultados dos ensaios para os parâmetros P e R.



Fonte: AUTORES, 2024.

A Figura 4 ilustra gráficos com os valores dos resultados das médias e curva de tendência dos ensaios realizados nas argamassas para os parâmetros M (densidade de massa aparente no estado endurecido) e D (densidade de massa no estado fresco).

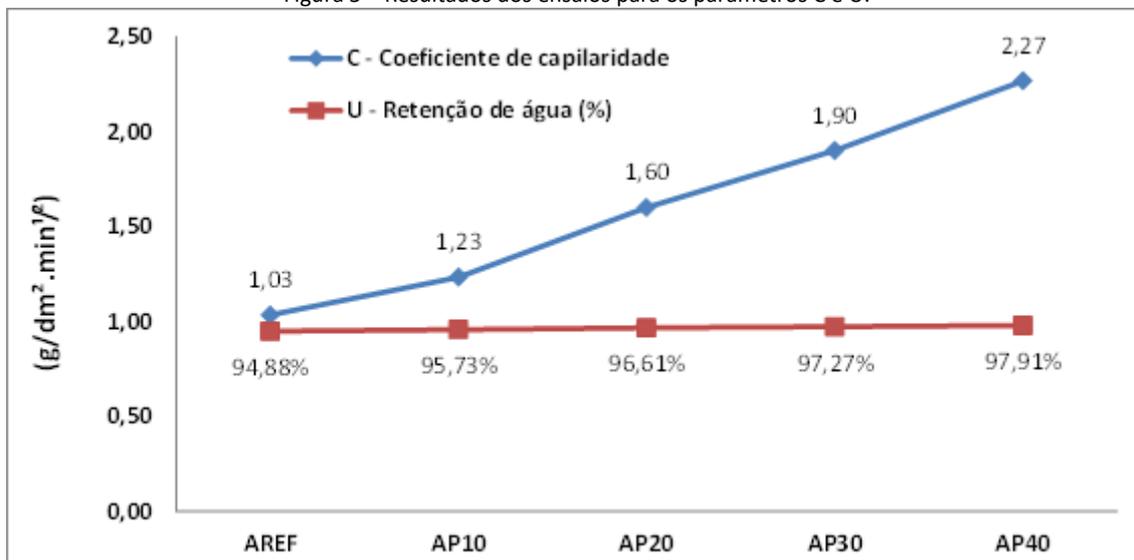
Figura 4 – Resultados dos ensaios para os parâmetros M e D.



Fonte: AUTORES, 2024.

A Figura 5 ilustra gráficos com os valores dos resultados das médias e curva de tendência dos ensaios realizados nas argamassas para os parâmetros C (coeficiente de capilaridade) e U (retenção de água).

Figura 5 – Resultados dos ensaios para os parâmetros C e U.



Fonte: AUTORES, 2024.

4.4 Análise e interpretação dos dados

4.4.1 Caracterização granulométrica das argamassas

Os resultados apresentados na Figura 1 da distribuição média dos agregados indicam que o tamanho típico das partículas (Módulo de Finura - MF) dos agregados está dentro do intervalo da zona ótima (2,2 a 2,9) para aplicações conforme os parâmetros definidos pela ABNT NBR 7211 (2022).

4.4.2 Caracterização morfológica das argamassas

Na Figura 6 de Farias; Palmeira (2010), é apresentada uma ilustração da representação dos parâmetros para definição da morfologia dos agregados.

Figura 6 – Ilustração da representação dos parâmetros de forma.



Fonte: Adaptado FARIAS; PALMEIRA, 2010.

Ao contrastar essa ilustração da Figura 6 com os elementos observados na Figura 2, percebe-se que os grãos típicos do agregado natural (areia) têm uma característica de área específica volumétrica com formas predominantemente cúbicas. Por outro lado, os elementos do agregado artificial (PET-PCR) apresentam uma morfologia alongada-lamelar.

4.4.3 Classificação das argamassas conforme requisitos da NBR 13281

Os resultados dos ensaios para classificação das argamassas indicam uma tendência quase linear nos valores à medida que a proporção de PET-PCR na mistura aumenta. Essa tendência é facilmente observada em todos os seis parâmetros analisados. A Quadro 1 apresenta os valores dos parâmetros dos requisitos para classificação de argamassas segundo NBR 13281 (2005).

Quadro 1 – Parâmetros dos requisitos para classificação de argamassas.

Classes	P	M	R	C	D	U
1	≤ 2,0	≤ 1200	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1400	≤ 78
2	1,5 a 3,0	1000 a 1400	1,0 a 2,0	1,0 a 2,05	1200 a 1600	72 a 85
3	2,5 a 4,5	1200 a 1600	1,5 a 2,7	2,0 a 4,0	1400 a 1800	80 a 90
4	4,0 a 6,5	1400 a 1800	2,0 a 3,5	3,0 a 7,0	1600 a 2000	86 a 94
5	5,5 a 9,0	1600 a 2000	2,7 a 4,5	5,0 a 12	1800 a 2200	91 a 97
6	> 8,0	> 1800	> 3,5	> 10	> 2000	95 a 100

Fonte: Adaptado ABNT NBR 13281, 2005.

Após analisar os dados das Figuras 3, 4 e 5 conforme os parâmetros do Quadro 1, é possível visualizar no Quadro 2 as informações de classificação das composições das argamassas estudadas.

Quadro 2 – Classificação das argamassas segundo NBR 13281.

CLASSE	P	M	C	R	D	U
AREF	6	5	1	4	4	5
AP10	5	4	1	3	4	5
AP20	5	4	2	3	3	5
AP30	4	3	2	2	3	6
AP40	3	3	3	2	2	6

Fonte: AUTORES, 2024.

4.5 Discussão sobre as implicações dos resultados das caracterizações e classificações

4.5.1 Implicações da granulometria

Na Figura 1, os dados mostram a distribuição gráfica da granulometria dos agregados. Observa-se que a faixa explorada neste estudo indica que os agregados estão predominantemente centralizados na zona ótima, correspondendo a uma distribuição granulométrica tipicamente reconhecida na literatura como tamanho de areia média para ambos os agregados, tanto o natural quanto o artificial.

Essa distribuição é considerada adequada para o trabalho, pois reflete uma substituição com empacotamento semelhante, favorecendo uma manutenção adequada na compactação da mistura dos compósitos.

4.5.2 Implicações da morfologia

Em Mehta; Monteiro (2014), observa-se que grãos com morfologia lamelar e alongada, devido à sua maior área específica volumétrica em relação às partículas esféricas, resultam em preenchimento irregular da argamassa. Por outro lado, devido à sua forma e textura superficial, esses grãos apresentam maior aderência à argamassa, resultando em elementos mais resistentes quando o traço é mantido, comparativamente às outras formas.

Analisando o trabalho de Falcao Bauer (2013), percebe-se que o aumento da porcentagem de elementos alongados e lamelares resulta em uma relativa perda de trabalhabilidade, mantendo-se o traço. Por outro lado, argamassas produzidas com agregados de forma arredondada apresentam maior trabalhabilidade.

Outro aspecto descrito por Mehta; Monteiro (2014) é que as partículas alongadas e lamelares devem compor no máximo 15% em massa do concreto. Portanto, proporções maiores desses agregados devem ser evitadas em relação ao total de agregado para areias artificiais.

4.5.3 Implicações dos requisitos das classificações da NBR 13281

Ao comparar os resultados das argamassas para o parâmetro de controle P (resistência à compressão), verificou-se que todos atendem à norma ABNT NBR 13281. Observa-se, no entanto, uma redução na classe de resistência à compressão à medida que aumenta a proporção de agregado artificial na composição da mistura. A argamassa de

referência é classificada como classe 6, enquanto a argamassa com substituição de 40% de PET-PCR está na classe 3, representando uma variação de três classes neste parâmetro.

Em relação aos resultados para o parâmetro de controle R (resistência à tração na flexão), todos os resultados também estão em conformidade com a norma ABNT NBR 13281. Observa-se uma redução na classe de resistência à medida que aumenta a proporção de agregado artificial. A argamassa de referência é classificada como classe 4, enquanto a argamassa com substituição de 40% de PET-PCR está na classe 2, apresentando uma variação de duas classes neste parâmetro.

No que diz respeito ao parâmetro de controle M (densidade de massa aparente no estado endurecido), houve uma redução de duas classes. A argamassa de referência (AREF) é classificada como classe 5, enquanto a argamassa com maior proporção de PET-PCR na composição (AP40) é classificada como classe 3.

Para o parâmetro de controle M (densidade de massa aparente no estado endurecido), também foi observada uma redução de duas classes. A argamassa de referência (AREF) é classificada como a classe mais alta (5), enquanto a argamassa com a maior proporção de PET-PCR na composição (AP40) é classificada com a classe mais baixa (3).

No parâmetro de controle C (coeficiente de capilaridade), observou-se uma inversão na classificação em comparação aos requisitos anteriores, com uma tendência de aumento de duas classes. Nesse cenário, a argamassa de referência (AREF) é classificada na classe mais baixa (1), ao passo que a argamassa com a maior proporção de PET-PCR na composição (AP40) alcança a classe mais alta (3).

Por fim, no último parâmetro de controle analisado neste estudo, U (retenção de água), a classificação manteve-se constante para as argamassas AREF, AP10 e AP20, enquanto houve um aumento na classificação para as composições AP30 e AP40. Essa variação resultou em um aumento de apenas uma classe, já que AP30 e AP40 atingiram a classe máxima.

Destaca-se que para todas as composições de argamassas deste estudo, nenhuma fugiu aos critérios de classificação para aplicação conforme a norma ABNT NBR 13281.

5 CONCLUSÕES

5.1 Principais conclusões do estudo

A redução na resistência à compressão e à tração na flexão das argamassas com a incorporação de PET-PCR pode ser atribuída à menor rigidez do PET-PCR em comparação com os agregados naturais.

Já a redução das densidades de massa aparente no estado endurecido e no estado fresco indica uma melhora significativa. É possível identificar uma tendência de desenvolvimento de argamassas cada vez mais leves, o que proporciona benefícios nas estruturas dos ambientes construídos, tornando-os menos pesados.

Na análise do coeficiente de capilaridade, os resultados mostram um aumento significativo desse parâmetro, sugerindo que a redução na resistência e na densidade das argamassas com maior incorporação de PET-PCR se deve ao aumento da quantidade de poros.

Quanto à retenção de água, houve uma pequena variação de redução, influenciada pela característica hidro-repelente do PET-PCR.

Nota-se que a utilização de PET-PCR como agregado alternativo nas argamassas traz benefícios ambientais, contribuindo para a redução da demanda por recursos naturais e minimizando a geração de resíduos. Assim, mesmo com variações nas propriedades mecânicas das argamassas com adição de PET-PCR, sua incorporação pode ser vista como uma alternativa viável e sustentável na construção civil.

Veja que as composições atendem às determinações normativas, torna-se desejável sua utilização, considerando-se o levantamento de custos como um aspecto decisório.

5.2 Contribuições para a área de ambiente construído e sustentabilidade

Este estudo é de suma importância para a área de ambientes construídos e sustentabilidade por diversos motivos. Primeiramente, ele se destaca ao avaliar o potencial de aplicação do PET-PCR como agregado em argamassas. Esse enfoque representa uma significativa inovação, proporcionando uma alternativa sustentável e eficaz para a utilização de resíduos plásticos na construção civil, contribuindo assim para a redução do impacto ambiental gerado por esses materiais.

O estudo vai além ao evidenciar 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. Esses parâmetros são cruciais para assegurar a qualidade e durabilidade das estruturas construídas. Esta constatação não apenas valida a viabilidade técnica do uso do PET-PCR em argamassas, mas também representa um avanço significativo ao abrir caminho para a adoção de práticas mais sustentáveis e responsáveis na construção civil.

Outro ponto relevante é que a incorporação de PET-PCR pode não apenas beneficiar o meio ambiente, mas também trazer vantagens econômicas, considerando a potencial redução de custos relacionados à aquisição de materiais tradicionais. Isso pode incentivar ainda mais a indústria da construção civil a adotar essa alternativa, promovendo uma transição gradual para métodos construtivos mais ecológicos e conscientes.

Por fim, ao enfatizar a importância da sustentabilidade na construção civil e ao fornecer dados e análises concretas sobre o desempenho das argamassas com PET-PCR, este estudo contribui significativamente para a disseminação de conhecimento e para a conscientização de profissionais sobre a importância da adoção de práticas sustentáveis no setor.

5.3 Limitações do estudo sugestões para pesquisas futuras

Algumas limitações foram identificadas durante o estudo, como: a falta de estudos mais aprofundados sobre o comportamento de durabilidade das argamassas com PET-PCR em longo prazo; a necessidade de mais investigações sobre o impacto ambiental completo da produção e disposição do PET-PCR nas argamassas; custos de produção do PET-PCR.

Com base nas limitações identificadas, sugere-se para pesquisas futuras: realizar estudos de durabilidade das argamassas com PET-PCR em diferentes condições ambientais e ao longo do tempo; avaliar o ciclo de vida completo das argamassas com PET-PCR, desde a produção até a disposição final, para determinar seu impacto ambiental; investigar novas tecnologias e métodos de processamento do PET-PCR que possam otimizar suas propriedades e aplicabilidade nas argamassas; realizar levantamento de custos de viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211: Agregados para concreto — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (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, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (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, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13753: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1996.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 307**, de 5 de julho de 2002. Dispõe sobre resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, 2002.
- FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. Agregados Para a Construção Civil. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2010.
- FALCAO BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. Editora LTC, 2013.
- FERRARIS, S. Recycled construction and demolition waste for sustainable road-base layers. **Waste Management**, v. 60, p. 75-84, 2017.
- KARA, P.; TOPCU, I. B. An investigation on the aggregate shape properties and strength characteristics of crushed sand. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 5, p. 410-419, 2010.
- MASUERO, Angela Borges. Desafio da Construção Civil: crescimento com sustentabilidade ambiental. Editorial **Revista Matéria** (Rio J.) 26 (04), 2021, <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210004.13123>.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, **Propriedades e Materiais**. Editora IBRACON, 2014.

POON, C. S. et al. **Environmental benefits of recycling in construction: A case study of recycled pavement materials**. *Waste Management*, v. 29, n. 1, p. 309-314, 2009.

SILVA, R. V. et al. Recycled ceramic aggregate as a coarse aggregate replacement in structural concrete. **Construction and Building Materials**, v. 111, p. 52-59, 2016.

SILVA, A. L. et al. Utilização de Resíduos de PET em Argamassas para Revestimento. **Revista Materiais de Construção e Estruturas**, v. 63, n. 344, p. 45-56, 2016.

TZANNIS, A. et al. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. **Waste Management**, v. 29, n. 10, p. 2647-2654, 2009.

VAZQUEZ, Elaine Garrido; BRANDÃO, Maria G; CASTRO, Othon. Uma nova gestão ambiental para a construção civil na busca da sustentabilidade. **Gestão e Gerenciamento**, [S.l.], v. 3, n. 3, jan. 2019. ISSN 2447-1291. Disponível em: <<https://nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento/article/view/152>>. Acesso em: 16 abr. 2024.