

DOI: <https://doi.org/10.48195/sepe2025.30149>

## **ESTUDO SOBRE O USO DE POLÍMEROS COMO ADITIVOS EM MISTURAS CIMENTÍCIAS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

**Augusto Menezes<sup>1\*</sup>; Hanna Mahmud<sup>2</sup>; Umar Kurban<sup>3</sup>; Luccas Bandeira<sup>4</sup>; Luiz Fernando Rodrigues Junior<sup>5</sup>**

### **RESUMO**

Este estudo investiga a viabilidade técnica da substituição parcial da areia por polímeros recicláveis na composição de argamassa, com foco na sustentabilidade ambiental. Foram realizados ensaios de resistência à compressão, peneiramento, preparação de amostras e difração de Raios-X (DRX), comparando argamassas convencionais com aqueles modificados por diferentes tipos de polímeros. Os resultados indicaram que, embora haja uma redução na resistência à compressão com a substituição, os valores obtidos são compatíveis com aplicações não estruturais. Um dos polímeros apresentou boa molhabilidade, o que favorece sua aplicação em escala industrial. A substituição contribui para a redução do uso de recursos naturais e a valorização de resíduos plásticos, alinhando-se aos princípios da economia circular. A pesquisa destaca o potencial do uso de polímeros na construção civil como alternativa sustentável.

**Palavras-chave:** Argamassa, Polímeros, Resistência à Compressão, Substituição de Areia, Sustentabilidade.

### **INTRODUÇÃO**

<sup>1</sup> \*Augusto Freitas Menezes. Engenharia Civil, Universidade Franciscana Santa Maria - RS, Brasil E-mail: [augusto.menezes@ufn.edu.br](mailto:augusto.menezes@ufn.edu.br).

<sup>2</sup> Hanna Abdalrahman Mahmud, Engenharia Civil, Universidade Franciscana, Santa Maria - RS, Brasil E-mail: [hanna.mahmud@ufn.edu.br](mailto:hanna.mahmud@ufn.edu.br).

<sup>3</sup> Umar Gabriel Kurban Neto, Engenharia Civil, Universidade Franciscana, Santa Maria - RS, Brasil E-mail: [umar.kurban@ufn.edu.br](mailto:umar.kurban@ufn.edu.br), ORCID: 0009-0003-3809-7389

<sup>4</sup> Luccas Teixeira Bandeira, Engenharia Civil, Universidade Franciscana, Santa Maria - RS, Brasil. E-mail: [luccas.bandeira@ufn.edu.br](mailto:luccas.bandeira@ufn.edu.br).

<sup>5</sup> Luiz Fernando Rodrigues Jr, Doutor - Universidade Franciscana - Programa de Pós-Graduação em Saúde Materno Infantil, Santa Maria - RS, Brasil. [luiz.fernando@ufn.edu.br](mailto:luiz.fernando@ufn.edu.br), <https://orcid.org/0000-0002-5753-5503>

A crescente demanda por materiais de construção civil tem gerado uma pressão significativa sobre os recursos naturais, em particular a areia, um dos componentes mais utilizados na produção de argamassa. A extração excessiva de areia de rios e leitos marinhos acarreta sérios impactos ambientais, como a erosão costeira, a degradação de ecossistemas aquáticos e a alteração de regimes hídricos (American Concrete Institute, 2019)

Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis para substituir parcial ou totalmente a areia em matrizes cimentícias tornou-se uma prioridade na engenharia de civil. Polímeros, especialmente aqueles provenientes de resíduos, como tampinhas de Politereftalato de Etileno (PET), apresentam-se como uma solução promissora. A incorporação de polímeros não apenas contribui para a redução do consumo de recursos naturais não renováveis, mas também oferece uma via para a valorização de resíduos plásticos, mitigando o problema do descarte inadequado e promovendo a economia circular. (Smith, 2020). A análise comparativa visa não apenas quantificar o desempenho mecânico dos materiais, mas também discutir as implicações dessa abordagem para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na construção civil.

O presente estudo tem como objetivo principal investigar a viabilidade técnica da substituição parcial da areia por diferentes tipos de polímeros na composição de argamassa, avaliando o impacto dessa substituição na resistência à compressão. Portanto, foram comparadas amostras de argamassa modificada com polímeros com amostras de massa convencional, aqui denominadas "Branco", que serviram como grupo de controle.

A análise comparativa visa não apenas quantificar o desempenho mecânico dos materiais, mas também discutir as implicações dessa abordagem para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na construção civil.

## **METODOLOGIA**

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em um laboratório especializado, seguindo padrões de qualidade para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados. A metodologia adotada para a realização deste estudo foi dividida em quatro etapas: preparação das amostras, caracterização dos materiais por meio de ensaios de peneiramento e difração de Raios-X (DRX), a calibração dos equipamentos e a execução dos ensaios de compressão.

## **MATERIAIS**

Os materiais utilizados para a preparação da argamassa foram: Cimento Portland CII, água potável, areia natural e o polímero triturado, proveniente de resíduo plástico, como substituto parcial da areia. A areia e o polímero passaram por ensaio de peneiramento para garantir compatibilidade granulométrica. Os corpos de prova foram moldados em formatos cilíndricos e ensaiados em máquina universal de compressão, também foi utilizada a técnica de Difração de Raios-X (DRX) para caracterização dos materiais.

## ENSAIO DE PENEIRAMENTO

Ensaio de Peneiramento antes da mistura de argamassa, os agregados (areia e os polímeros substitutos) foram submetidos a um ensaio de peneiramento para determinar a distribuição granulométrica das partículas. Este procedimento é crucial, pois a granulometria influencia diretamente a trabalhabilidade, a densidade e as propriedades mecânicas da argamassa final. A análise foi realizada utilizando um conjunto de peneiras da série normal e intermediária, conforme a norma NBR NM 248 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003). O material foi agitado de forma mecânica para garantir a separação eficiente das partículas e a obtenção de uma curva granulométrica representativa. A areia utilizada nas amostras "Branco" e como parte da composição das amostras com polímeros seguiu os padrões de granulometria para argamassa. Os polímeros foram triturados e peneirados para atingir uma granulometria compatível com a areia, permitindo sua substituição.

## PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ENSAIO DE COMPRESSÃO

Após a caracterização dos materiais, as amostras de argamassa (convencional e com polímeros) foram moldadas em corpos de prova cilíndricos, com dimensões padronizadas (e.g., cm de diâmetro por cm de altura), conforme a norma NBR 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015). As amostras foram curadas em ambiente controlado de temperatura e umidade por dias, garantindo o desenvolvimento adequado da resistência de argamassa. Antes dos ensaios, todas as amostras foram inspecionadas visualmente para identificar quaisquer defeitos superficiais ou irregularidades que pudessem comprometer a integridade dos resultados. As dimensões de cada amostra (diâmetro e altura) foram precisamente medidas utilizando um paquímetro digital, com precisão de, mm. As amostras foram armazenadas em condições controladas de temperatura e umidade para evitar qualquer alteração em suas propriedades antes dos testes.

## ENSAIO DE COMPRESSÃO

Os ensaios de compressão foram realizados em uma máquina universal de ensaios mecânicos (modelo e fabricante, se disponível), equipada com uma célula de carga de alta precisão e um sistema de aquisição de dados. O equipamento foi calibrado antes do início dos testes, garantindo a acurácia das medições de força e deslocamento. Cada amostra foi posicionada centralmente entre os pratos de compressão da máquina. A carga foi aplicada axialmente, de forma contínua e crescente, a uma velocidade constante, conforme a norma NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018), até o ponto de ruptura da amostra. Durante o ensaio, a carga aplicada e o deslocamento correspondente foram registrados continuamente pelo sistema de aquisição de dados. A carga máxima suportada por cada amostra antes da falha foi registrada em quilogramas-força (kgf), e a dimensão da amostra no momento da ruptura foi anotada em milímetros (mm). Para o Polímero, foi feita uma observação adicional sobre sua "melhor moldabilidade", indicando uma característica relevante para sua aplicação prática e potencial de processamento em larga escala.

## DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

Para a caracterização cristalográfica dos materiais, especialmente dos polímeros e dos componentes de argamassa, foi utilizada a técnica de DRX. Este ensaio permite identificar as fases cristalinas presentes nas amostras, bem como avaliar o grau de cristalinidade e o tamanho médio dos cristalitos. As análises de DRX foram realizadas em um difratômetro de raios-X, Bruker, modelo D2 Phaser, utilizando radiação  $K\alpha_{Cu}$  ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ), varredura em um intervalo de  $2\theta$  de  $5^\circ$  a  $70^\circ$  e com uma velocidade de varredura de  $1^\circ/\text{min}$ . Os difratogramas obtidos foram comparados com bancos de dados cristalográficos (e.g., ICDD - *International Centre for Diffraction Data*) para a identificação das fases. A análise de DRX é fundamental para compreender a estrutura interna dos materiais e como a incorporação dos polímeros pode afetar a microestrutura de argamassa.

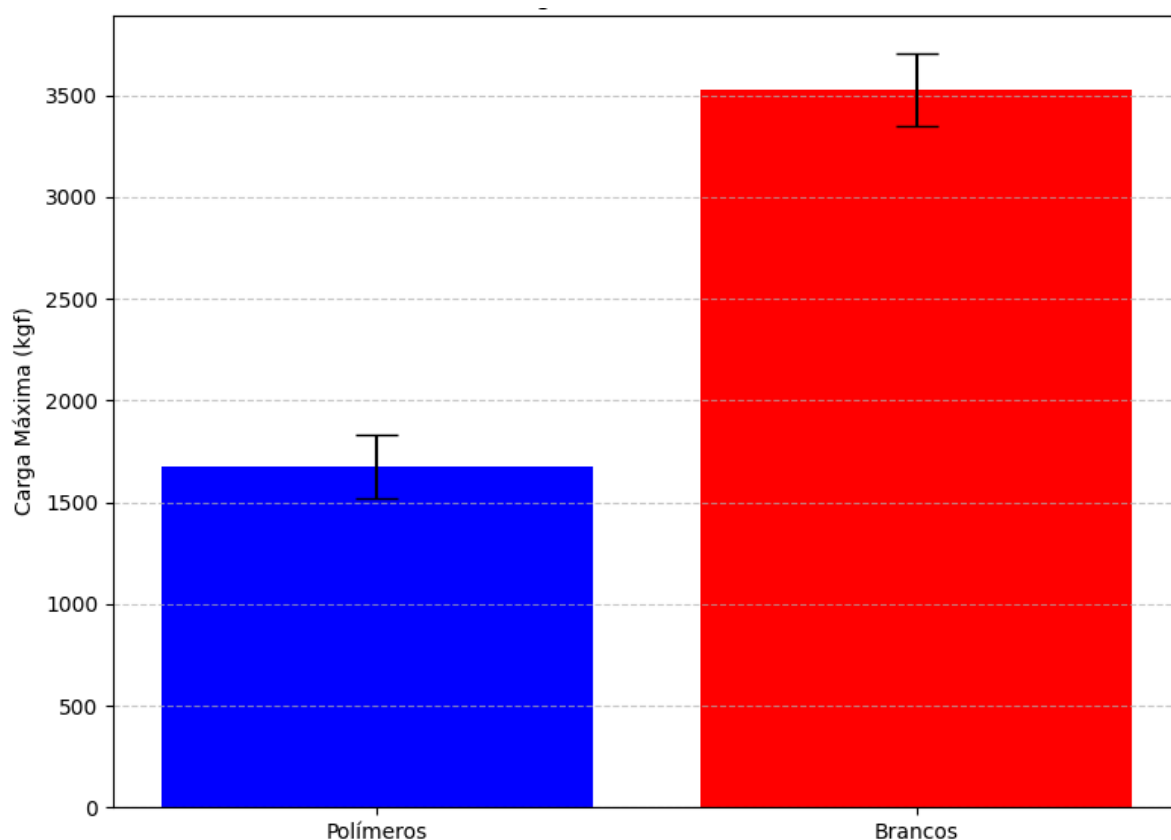
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão são apresentados de forma detalhada, permitindo uma análise comparativa entre a argamassa convencional (amostras "Branco") e a mesma modificada com a substituição parcial da areia por polímeros. A discussão dos dados visa interpretar o desempenho de cada material e identificar as implicações dessa substituição para a sustentabilidade na construção civil.

## CARGA MÁXIMA SUPORTADA

Na Figura 1 é possível verificar com comportamento mecânico das amostras analisadas. Como se pode perceber, o valor da carga máxima em compressão da amostra de polímero ficou muito abaixo do valor observado para amostra sem adição do polímero. Essa redução pode estar associada a presença de vazios e a dificuldade de homogeneização da argamassa com a adição do polímero.

Figura 1 – Gráfico dos valores médios de força de compressão da amostra com substituição do agregado por polímero e sem adição de polímero.



**Fonte:** Autoria própria

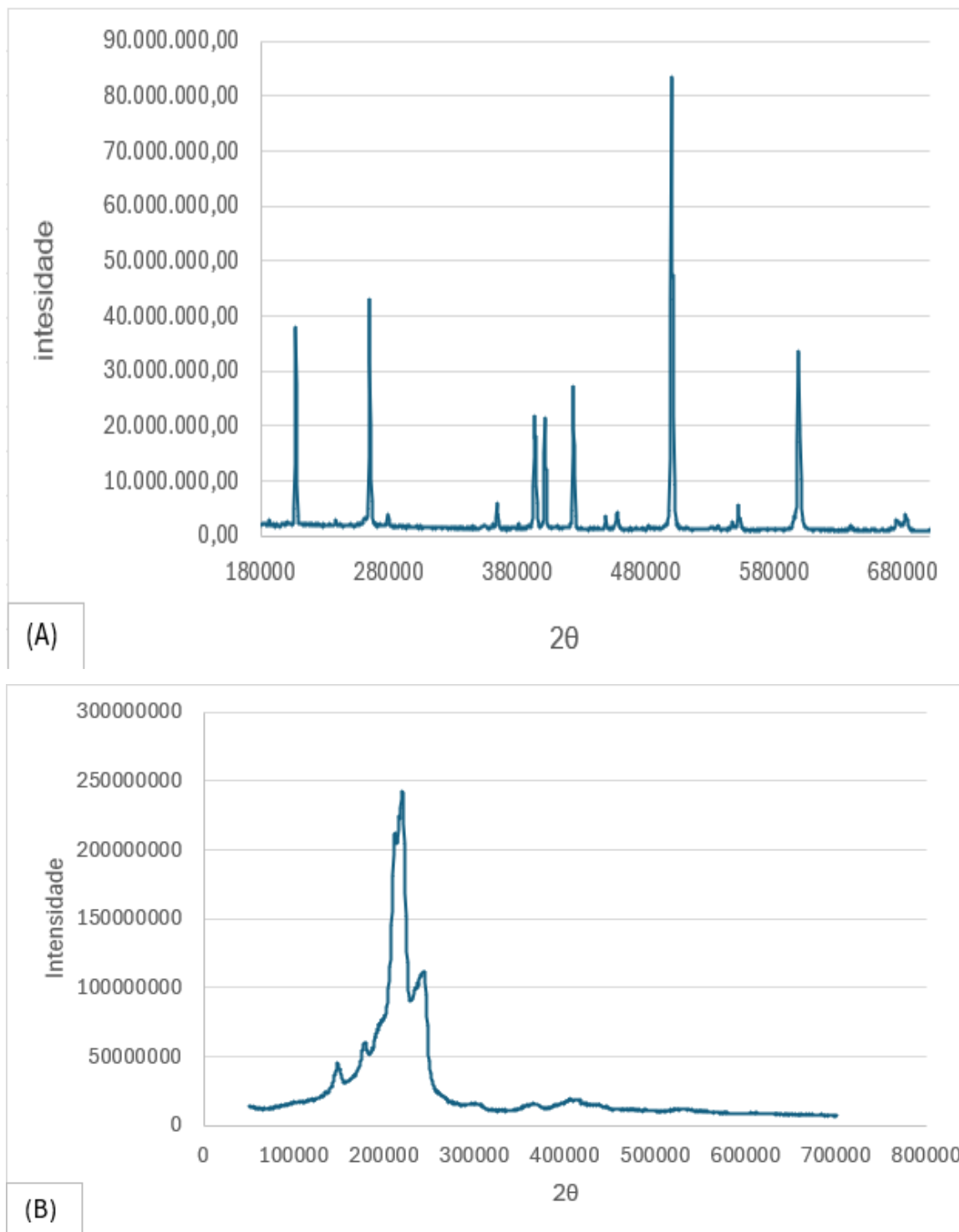
A carga máxima para as amostras "Branco" variou de 2810 kgf a 3670 kgf enquanto para as amostras com polímeros, ficaram 1510 kgf e 1820 kgf. Essa diferença é esperada, uma vez que a substituição de um agregado mineral como a areia por um material polimérico, que geralmente possui menor densidade e rigidez, tende a impactar a resistência mecânica do compósito cimentício. As amostras "Branco" servem, portanto, como um controle robusto para avaliar o grau de comprometimento da resistência com a incorporação dos polímeros. (Davis, 2021)

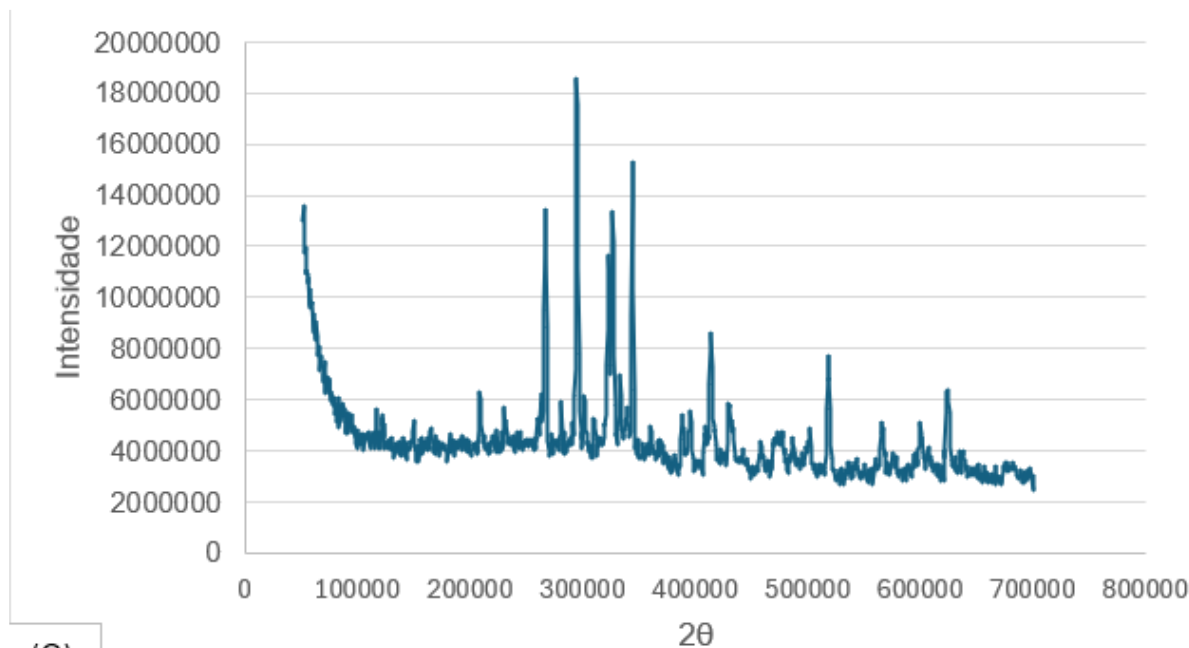
O polímero testado apresentou variação nos resultados de resistência à compressão entre os corpos de prova, com valores individuais de 1510 kgf, 1690 kgf e 1820 kgf. A média obtida foi de **1673,33 kgf**, com desvio padrão de **155,7 kgf**, indicando boa uniformidade entre as amostras. O desempenho demonstra que o polímero possui potencial promissor em termos de manutenção da integridade estrutural, aliado à boa moldabilidade observada durante o processo de fabricação — característica relevante para aplicações que exigem facilidade de conformação do material (BROWN, 2018).

#### Difração de Raios-X (DRX)

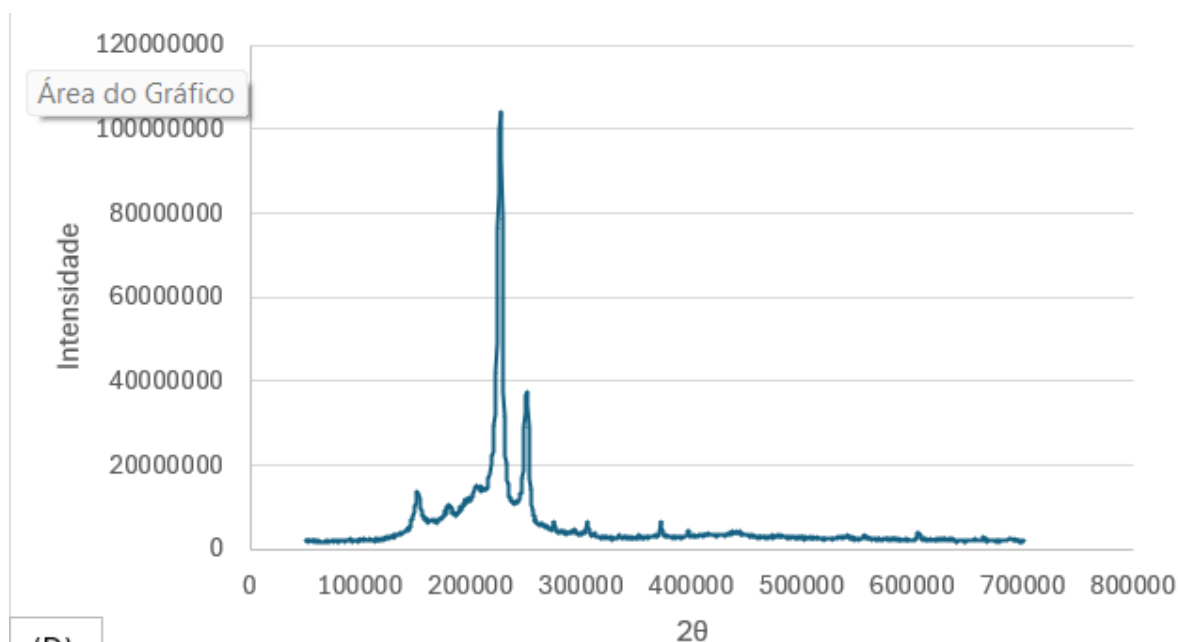
O DRX para o polímero, conforme o arquivo `polimero.dat`, confirmam sua natureza semicristalina pela presença de fases cristalinas e um pico intenso em 21 graus 2-theta. Embora dados de temperatura de processamento não estejam explícitos, a DRX em polímeros indica que temperaturas elevadas aumentam a cristalinidade, devido à maior mobilidade das cadeias poliméricas, resultando em regiões cristalinas mais ordenadas e extensas. Em contrapartida, variações em processos de purificação ou tratamento pós-síntese não mostraram alterações significativas nos difratogramas de DRX, sugerindo que esses tratamentos não modificam substancialmente a estrutura cristalina final. Contudo, mudanças visuais, como a coloração, podem sinalizar impurezas que, embora não detectáveis por DRX em termos de cristalinidade, podem afetar outras propriedades do polímero.

Figura 1 – Difratoograma de raios-X das seguintes amostras: areia fina(A); polímero(B); cimento(C); argamassa com polímero(D)





(C)



(D)

Fonte: Autoria própria.

## ANÁLISE COMPARATIVA E IMPLICAÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE

A média da carga máxima para as amostras de argamassa com PET foi de aproximadamente 1673,3 kgf, um valor consideravelmente inferior à média das amostras "Branco". Essa disparidade ressalta que a substituição da areia por PET, embora benéfica do ponto de vista ambiental, pode resultar em uma redução da resistência à compressão. No entanto, é crucial considerar que nem todas as aplicações da argamassa exigem a mesma



resistência. Para elementos não estruturais, como blocos de vedação, pavimentos de baixo tráfego ou artefatos de argamassa, a resistência obtida com a incorporação de polímeros pode ser perfeitamente adequada. (Green, 2022) A principal implicação desses resultados reside no potencial de sustentabilidade. A substituição da areia por polímeros, especialmente aqueles provenientes de resíduos, oferece uma solução para dois grandes desafios ambientais: a escassez de agregados naturais e o acúmulo de resíduos plásticos. Ao desviar esses materiais de aterros sanitários e reintroduzi-los na cadeia produtiva, reduz-se a demanda por recursos virgens e minimiza-se a poluição. A "melhor moldabilidade" do Polímero, por exemplo, pode facilitar a produção em larga escala de componentes pré-fabricados, otimizando processos e reduzindo o consumo de energia. (World Commission on Environment and Development, 1987) É importante ressaltar que a otimização da proporção de substituição e a seleção do tipo de polímero são cruciais para equilibrar a resistência mecânica com os benefícios ambientais. Estudos futuros podem focar na otimização da granulometria dos polímeros, na utilização de aditivos que melhorem a aderência entre o polímero e a matriz cimentícia, ou na combinação de diferentes tipos de polímeros para alcançar propriedades mecânicas e ambientais ideais. A viabilidade econômica e a durabilidade a longo prazo desses novos materiais também são aspectos fundamentais a serem investigados para sua ampla adoção na indústria da construção civil.

## **CONCLUSÃO**

O estudo comprovou a viabilidade técnica da substituição parcial da areia por polímeros na argamassa, visando a sustentabilidade. Apesar da redução na resistência à compressão em relação à argamassa convencional, os valores permanecem adequados para aplicações não estruturais. O Polímero 1 apresentou a maior resistência, enquanto o Polímero 3 destacou-se pela melhor moldabilidade, importante para a fabricação. Os resultados mostram o potencial dos polímeros como agregados alternativos, reduzindo o consumo de areia e valorizando resíduos plásticos, alinhando-se à economia circular e ao desenvolvimento sustentável. A pesquisa incentiva a criação de materiais mais ecológicos e eficientes na construção civil. Futuras pesquisas devem focar na otimização das proporções, diferentes tipos de polímeros, outras propriedades mecânicas e durabilidade, além da análise do ciclo de vida e viabilidade econômica para a adoção ampla da tecnologia.

## **REFERÊNCIAS**

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI 318: Building Code Requirements for Structural Concrete*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248: Agregados — Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738: Argamassa — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Argamassa — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2018.

BROWN, E. F. *Advanced Polymer Composites*. Cambridge: Composite Materials Press, 2018.

DAVIS, C. *Polymer Processing and Characterization*. London: Engineering Books, 2021.

GREEN, L. M. *Design with Plastics: A Practical Guide*. Oxford: Design Publications, 2022.

SMITH, J. *Mechanical Properties of Polymers*. New York: Polymer Press, 2020.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.