

Avaliação da retração em concretos com diferentes teores de fibras de polipropileno

Márcio Henrick Silva Costa

Vinício Cecconello (vceconello@ucs.br)
Universidade de Caxias do Sul

DOI: 10.18226/25253824.v9.n14.07

Submetido em: 23/04/2025 Revisado em: 20/08/2025 Aceito em: 20/08/2025

Resumo: A busca por materiais de construção mais duráveis e sustentáveis impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias no setor da construção civil. O concreto, amplamente utilizado, beneficia-se da incorporação de fibras de polipropileno, que aumentam sua resistência e tenacidade. No entanto, a retração ainda representa um desafio significativo, causando fissuras e comprometendo a durabilidade do material. Este estudo avaliou o comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras de polipropileno, analisando tanto o estado fresco quanto o endurecido. Foram utilizados teores de zero, 0,05 % e 0,10 % m/m de fibras e realizadas análises de abatimento, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e variação dimensional (retração). Os resultados mostraram que o aumento do teor de fibras reduziu a trabalhabilidade do concreto, especialmente em 0,10 % m/m. A resistência à tração aumentou inicialmente com a adição de fibras, enquanto a resistência à compressão diminuiu após 42 dias. A retração foi menor nas misturas com fibras, mais evidente em 0,10 % m/m, devido à capacidade das fibras de costurar microfissuras e distribuir melhor as tensões, reduzindo a fissuração. Este estudo demonstra o potencial das microfibras de polipropileno para melhorar as propriedades do concreto, tornando-o mais durável e resistente.

Palavras-Chave: Concreto reforçado com fibras, Microfibras de polipropileno, Retração, Durabilidade.

Abstract: The search for more durable and sustainable construction materials drives the development of new technologies in the construction sector. Concrete, widely used, benefits from the incorporation of polypropylene fibers, which enhance its strength and toughness. However, shrinkage remains a significant challenge, causing cracks and compromising the material's durability. This study evaluated the mechanical behavior of fiber-reinforced concrete with polypropylene fibers, analyzing both fresh and hardened states. The fiber contents of zero, 0.05 wt.%, and 0.10 wt.% were used, and slump tests, compressive strength, flexural tensile strength, and dimensional variation (shrinkage) analyses were performed. Results showed that increasing fiber content reduced the workability of the concrete, especially at 0.10 wt.%. The tensile strength initially increased with the addition of fibers, while the compressive strength decreased after 42 days. Shrinkage was lower in fiber mixtures, particularly at 0.10 wt.%, due to the fibers' ability to stitch microcracks and better distribute stresses, reducing cracking. This study demonstrates the potential of polypropylene microfibers to improve the properties of concrete, making it more durable and resistant.

Keywords: Fiber-reinforced concrete, Polypropylene microfibers, Shrinkage, Durability.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por edificações e obras de infraestrutura tem levado a engenharia a desenvolver materiais mais duráveis e resistentes do que os convencionais. Nesse contexto, cientistas têm se dedicado ao desenvolvimento de materiais compósitos que combinam metais, cerâmicas e polímeros, criando uma geração de materiais [1]. O concreto, um dos materiais mais utilizados na construção civil, apresenta desafios em relação à resistência à retração, impactando sua durabilidade. A qualidade e quantidade dos materiais são determinantes para o desempenho do concreto, especialmente frente a resistência à compressão [2] e à retração [3].

Destacam a busca por misturas que permitam a criação de estruturas esbeltas, duráveis e de menor impacto ambiental, impulsionando a pesquisa em aprimoramentos do concreto convencional (CC) [4]. Para melhorar a resistência à tração do concreto, o concreto reforçado com fibras (CRF) se mostra uma alternativa eficaz. A adição de fibras (aço, vidro, polipropileno, entre outras) à matriz cimentícia aumenta a tenacidade do material, retardando a propagação de fissuras e melhorando a capacidade de carga [5-7]. Carnio [8] ressalta que a tecnologia do concreto reforçado com fibras não é recente e já é amplamente aplicada, especialmente no Brasil, em pisos, pavimentos e obras de infraestrutura como túneis. Inicialmente, utilizavam-

se fibras de aço, seguidas por fibras poliméricas e de vidro, e mais recentemente, fibras de basalto. As fibras não competem com o concreto armado, mas podem ser vantajosas em alguns sistemas construtivos, atuando em conjunto com as armaduras. A adição de fibras sintéticas, como as de polipropileno, ao concreto convencional tem ganhado destaque por melhorar o desempenho em termos de resistência mecânica, durabilidade e retração [9]. A tecnologia de inserção de fibras no concreto é amplamente aplicada na construção civil, aumentando a tenacidade e resistência à tração, e permitindo a absorção de impactos. Além disso, pode diminuir a trabalhabilidade, que pode ser ajustada com aditivos [10].

Estudos mostram que as fibras de polipropileno, apesar de não contribuírem significativamente para a durabilidade a longo prazo, ajudam a prevenir fissuras por retração plástica nas fases iniciais [11]. Elas também são quimicamente inertes, adequadas para ambientes agressivos, e contribuem para a prevenção da corrosão do aço no concreto [12-14] confirmam a eficácia das fibras de polipropileno (PP) em mitigar a retração do concreto e controlar a evolução das fissuras, destacando sua importância na melhoria das propriedades do material. Frente a isso, o presente trabalho busca analisar a influência das fibras de PP na resistência à retração do concreto, de forma a possibilitar a análise do compósito em seu estado fresco e endurecido.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a concepção do concreto reforçado com fibras (CRF), foi adaptado o traço desenvolvido [15], utilizando a proporção em massa de 1:1,21:1,45:1,05 (cimento, cinza de casca de arroz, areia, agregado de britagem), com relação a/c de 0,65 e consumo de superplastificante de 2,5 % em relação a massa de cimento. O consumo de fibras de polipropileno seguiu os limites apresentados pelo mesmo autor, variando em percentuais de 0,05 % e 0,10 % sobre a massa de cimento, conforme o programa experimental proposto por [14]. A Tabela 1 apresenta a identificação de cada amostra com base no percentual de adição das fibras de polipropileno e o quantitativo de materiais para obtenção de nove amostras com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm de cada composição, além de mais nove amostras com dimensões de 2,5 cm x 2,5 cm x 28,5 cm.

Tabela 1 – Quantitativo de materiais por traço para produção dos corpos de prova

Nomenclatura	C (kg)	S (kg)	A (kg)	AB (kg)	PP (kg)	SP* (kg)
CRF0%	1,212	1,476	1,764	1,272	-	0,031
CRF0,05%	1,212	1,476	1,764	1,272	0,0019	0,031
CRF0,10%	1,212	1,476	1,764	1,272	0,0038	0,031

Legenda: C – Cimento; S – Cinza de casca de arroz; A – Areia; AB- Agregado de britagem; PP – Fibra de Polipropileno; SP – Superplastificante; * Consumo sobre a massa de cimento. Fonte: Autores (2024).

O cimento utilizado foi do tipo CP V-ARI. Os agregados miúdos consistiram em areia natural com massa específica de $2,62 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, módulo de finura 2,18 e dimensão máxima de 2,36 mm. O agregado de britagem apresentou massa específica de $2,53 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, módulo de finura 2,72 e dimensão máxima de 4,75 mm. A cinza de casca de arroz empregada possuía massa específica de $2,16 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Utilizou-se também um superplastificante à base de policarboxilato de terceira geração, além de água e fibras de polipropileno.

O processo de mistura teve duração de aproximadamente 13 minutos e foi conduzido em um misturador planetário. Inicialmente, realizou-se uma pré-mistura dos materiais secos (cimento, cinza de casca de arroz e areia) em baixa rotação. Em seguida, aumentou-se a rotação do misturador para a inserção da água contendo 2,56 % m/m de superplastificante. Por fim, as fibras de polipropileno foram introduzidas gradualmente.

A trabalhabilidade das composições do CRF foi avaliada por meio do ensaio de mini abatimento, com base na metodologia descrita por Kantro [16-17]. O ensaio consiste na utilização de um molde tronco cônico de 70 mm x 100 mm x 50 mm, disposto sobre uma placa de acrílico com uma escala graduada fixa, permitindo a visualização do espalhamento. Inicialmente, o molde foi preenchido com o CRF, sem qualquer tipo de adensamento ou nivelamento superficial. Posteriormente, o molde foi erguido,

permitindo que a mistura fluísse por ação da gravidade. Através da escala, foi possível determinar visualmente o diâmetro de espalhamento das amostras. A Figura 1 ilustra a sequência do ensaio.

Após a desmoldagem dos corpos de prova para os ensaios de propriedades mecânicas (tração e compressão), realizada 48 h após a mistura, iniciou-se a etapa de cura. Todos os corpos de prova foram submetidos à cura submersa, a uma temperatura aproximada de 20°C , até completarem os períodos de 7, 28 e 42 dias. Paralelamente, os corpos de prova dos ensaios de variação dimensional foram colocados em um plástico hermético (PVC) [18] e mantidos por $48\pm 6 \text{ h}$. Posteriormente, as amostras foram armazenadas em ambiente fechado ($23\pm 2^\circ\text{C}$ e $50\pm 5\%$ UR) para monitoramento em idades mais avançadas de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias.

Figura 1 – Ensaio de mini slump



A resistência à tração na flexão foi avaliada aos 7, 28 e 42 dias, em três corpos de prova de cada traço de CRF, aplicando uma velocidade de carregamento de $50\pm 10 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$ até a ruptura das amostras [19]. A resistência à compressão axial foi avaliada nas metades das amostras oriundas do ensaio de tração à flexão, aplicando uma velocidade de carregamento de $500\pm 50 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$ até a ruptura das amostras [18].

Além disso, o procedimento de variação dimensional foi conduzido desmoldando os corpos de prova após 24 h, com a primeira leitura de comprimento realizada imediatamente após a desmoldagem. As leituras subsequentes foram feitas aos 3, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias. Este procedimento envolveu a preparação das amostras, a cura em condições controladas ($23\pm 2^\circ\text{C}$ e $50\pm 5\%$ UR), a realização de ensaios periódicos em um aparelho comparador e a análise dos dados obtidos para avaliar a variação dimensional das amostras. A Figura 2 ilustra a sequência do ensaio.

Figura 2 – Procedimento do ensaio de variação dimensional

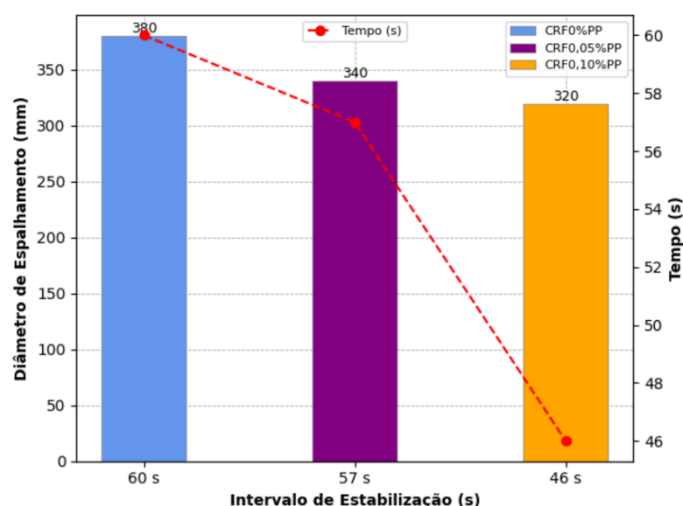


3. RESULTADOS

3.1. Trabalhabilidade

Através do ensaio de mini abatimento, mantendo fixos o consumo de superplastificante e a relação água-cimento para todas as composições de CRF, avaliou-se a trabalhabilidade, visando identificar a interferência da adição das fibras de polipropileno na mistura. O gráfico apresentado na Figura 3 demonstra o comportamento do espalhamento ao longo do tempo, observando-se que o aumento dos percentuais de fibras de polipropileno resulta em uma redução na trabalhabilidade da mistura. Esse fenômeno foi também observado [20-21], que ressaltaram a influência da dispersão e orientação das fibras na mistura, uma vez que estas reduzem a trabalhabilidade e fluidez do material.

Figura 3 – Efeito da proporção de fibras na trabalhabilidade da mistura



O concreto sem fibras apresenta maior espalhamento e melhor trabalhabilidade. À medida que o teor de fibras aumenta para 0,05 % e 0,10 % m/m, o espalhamento diminui, indicando maior dificuldade de manuseio e aplicação. A trabalhabilidade reduz proporcionalmente ao aumento do teor de fibras.

3.2. Resistência à tração na flexão

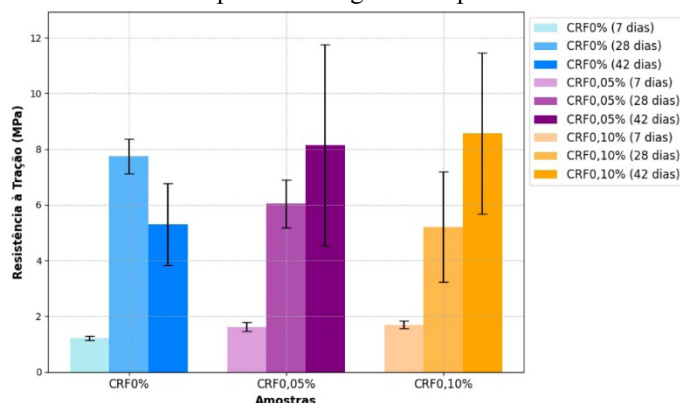
Avaliando os resultados em cada idade de ensaio, aos 7 dias, a adição de 0,10 % m/m de fibras de polipropileno ao concreto reforçado aumentou a resistência à tração em 39,41 %, em comparação com o concreto sem fibras (CRF0%), que apresentou uma resistência média de 1,21 MPa. Esse aumento precoce, resultando em uma resistência média de 1,69 MPa, indica uma boa dispersão das fibras na matriz cimentícia e uma influência positiva durante a fase inicial de cura. No entanto, a eficácia das fibras varia ao longo do tempo, apresentando redução na resistência à tração aos 28 dias.

Aos 28 dias, as amostras com 0,05 % e 0,10 % m/m de fibras mostraram uma redução de 22,03 % e 32,69 %, respectivamente,

em comparação com a amostra sem fibras (CRF0%), que teve uma resistência de 7,74 MPa. Aos 42 dias, a resistência média do concreto sem fibras foi de 5,29 MPa, enquanto as amostras com 0,05 % e 0,10 % m/m de fibras apresentaram resistências de 8,13 MPa e 8,56 MPa, respectivamente, representando aumentos de 53,78 % e 61,78 % em comparação com a amostra sem fibras. A Figura 4 apresenta os valores médios de resistência à flexão.

Os resultados de [22], [23] e [24], também evidenciaram a influência das fibras, onde apesar da redução inicial, as fibras contribuem positivamente para a resistência à tração de longo prazo do concreto ao mitigar a formação de microfissuras após 28 dias. A resistência à tração do concreto sem fibras de PP diminuiu após 28 dias, devido à retração e ao consequente surgimento de microfissuras. Diferentemente do concreto sem fibras, os concretos com PP apresentaram um aumento contínuo da resistência à tração após 28 dias, atribuído à ação das fibras em retardar a fissuração.

Figura 4 – Resistência média à tração na flexão dos corpos de prova ao longo do tempo



Evidenciando o papel positivo das fibras de polipropileno na melhoria da resistência à tração e durabilidade do concreto [25].

3.3. Resistência à compressão

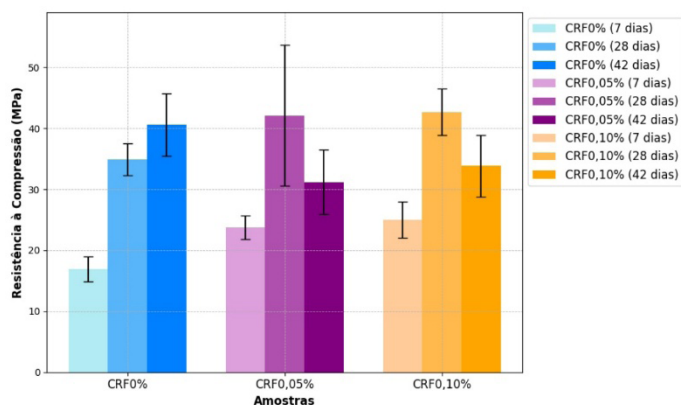
Entre as amostras contendo fibras de polipropileno, a adição de 0,10 % m/m de fibras de polipropileno ao concreto reforçado resultou em um aumento de aproximadamente 48,04 % na resistência à compressão aos sete dias, em relação às amostras sem fibras. Esse aumento significativo demonstra a contribuição das fibras, distribuídas homogeneamente na matriz cimentícia, para a melhoria da resistência do material compósito nas idades iniciais. Estudos corroboram esses achados, indicando que a adição de fibras de PP pode elevar a resistência à compressão e à flexão significativamente, especialmente em suas primeiras idades [25].

Aos 28 dias, observou-se que as amostras com 0,05 % e 0,10 % m/m de fibras mantiveram uma resistência à compressão superior em comparação com as amostras sem fibras, alinhando-se com os resultados de outros autores [26], que também relataram

incrementos na resistência com a adição adequada de fibras de polipropileno. Entretanto, aos 42 dias, a resistência à compressão das amostras com fibras mostrou uma tendência de estabilização ou redução, enquanto as amostras sem fibras continuaram a aumentar. Isso sugere que a presença das fibras influencia o processo de hidratação e endurecimento do concreto, particularmente em idades avançadas, com efeitos variáveis conforme o teor de fibras e a dispersão na matriz cimentícia. A Figura 5 apresenta as médias obtidas de resistência à compressão.

Nas idades iniciais, a adição de fibras de polipropileno (PP) aumenta a resistência à compressão do concreto, sendo que 0,4 % m/m é o teor ideal para melhorias notáveis. Com o prolongamento do tempo de cura para idades avançadas, a resistência pode se estabilizar ou diminuir, especialmente com teores de fibra acima de 0,5 % m/m, devido a problemas de trabalhabilidade e aglomeração [27] e [28].

Figura 5 – Resistência média à compressão dos corpos de prova ao longo do tempo



3.4. Variação dimensional

A retração foi monitorada em diferentes idades (0, 1, 4, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias) para três misturas: CRF0%, CRF0,05% e CRF0,10%. Nas idades iniciais (0 a 7 dias), as amostras CRF0% e CRF0,05% apresentaram maior retração em comparação com CRF0,10%, com CRF0% exibindo a maior retração inicial, indicando maior susceptibilidade a fissuras [15] e [29]. Essa tendência inicial de retração foi mais controlada nas amostras com 0,10 % m/m de fibras, evidenciando a eficácia das fibras de polipropileno em reduzir a retração plástica e microfissuração inicial.

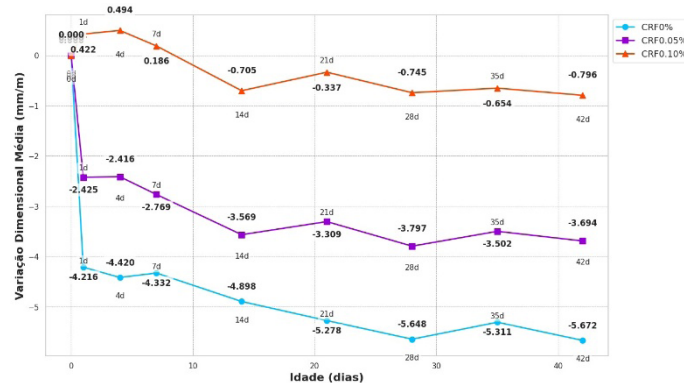
Entre 7 e 14 dias, todas as amostras mostraram redução nos valores de retração, com CRF0% mantendo a maior taxa de retração, seguida por CRF0,05% e CRF0,10%. A eficácia das fibras em mitigar a retração foi destacada por [26], com a adição de 0,3 % m/m de fibras de PP, reduzindo significativamente a perda de água e retração por secagem. Entre 14 e 21 dias, a retração continuou a diminuir, com CRF0% atingindo $-5,27 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$,

CRF0,05% $-3,79 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$, e CRF0,10% $-0,74 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$, mostrando eficácia superior no controle dimensional para CRF0,10%.

No período de 21 a 42 dias, todas as amostras apresentaram estabilização da retração, com a maior retração inicial diminuindo até os 42 dias. CRF0% apresentou uma leve contração adicional, enquanto CRF0,05% e CRF0,10% demonstraram estabilização mais rápida e eficaz, com CRF0,10% mostrando a menor variação dimensional ($-0,79 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ aos 42 dias). A Figura 6 ilustra graficamente os dados de variação dimensional.

Sumarizando os resultados de variação dimensional (retração) ao longo de diferentes idades, a mistura CRF0% apresentou a maior retração inicial, que diminuiu até os 42 dias, indicando maior susceptibilidade à fissuração. A mistura CRF0,05% tiveram retração inicial moderada com estabilização mais rápida, mostrando a eficácia das fibras de PP na redução da variação dimensional. A mistura CRF0,10% apresentaram a menor retração inicial e ao longo de todo o período, evidenciando a eficácia das fibras de PP em mitigar a retração e promover uma estabilização precoce.

Figura 6 – Variação dimensional média dos corpos de prova ao longo do tempo



4. CONCLUSÃO

Dentre todas as composições de CRF, ficou evidente que a adição de diferentes teores de fibras de polipropileno impacta significativamente as propriedades mecânicas e a durabilidade do concreto. As fibras foram estudadas em três teores (zero, 0,05 % e 0,10 % m/m), permitindo avaliar sua influência no comportamento do concreto. Os resultados mostraram que o concreto sem fibras (CRF0%) teve maior espalhamento e melhor trabalhabilidade, enquanto as misturas com fibras apresentaram menor trabalhabilidade. A adição de 0,10 % m/m de fibras melhorou a resistência à tração inicialmente, mas essa eficácia variou ao longo do tempo. Aos 42 dias, as amostras sem fibras continuaram a aumentar em resistência à compressão, enquanto as com fibras mostraram redução.

A variação dimensional (retração) teve comportamentos distintos, CRF0% apresentou a maior retração inicial, CRF0,05%,

mostrou uma retração inicial moderada e CRF0,10%, teve a menor retração inicial e ao longo do período, evidenciando a eficácia das fibras em mitigar a retração. A inclusão de fibras, embora reduza a trabalhabilidade inicial do concreto, oferece vantagens como maior resistência à tração e melhor controle dimensional, tornando-se uma adição valiosa para diversas aplicações na construção civil.

REFERÊNCIAS

- [1] Callister, W. D. JR. Ciências e Engenharia de Materiais: Uma introdução. 10ª. Edição LTC Editora. Rio de Janeiro, 2020.
- [2] Tutikian, B.F., Helene, P., “Dosagem dos Concretos de Cimento Portland”, Concreto: Ciência e Tecnologia, 1ª ed., capítulo 12, São Paulo, SP, Brasil, IBRACON, 2011.
- [3] Cecconello, V.; C.Sartori, B. R.; .Kulakowski, M. P; Kazmierczak, C. S.; Mancio, M.. Shrinkage and porosity in concretes produced with recycled concrete aggregate and rice husk ash. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 694-704, jun. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952019000300013>.
- [4] Román, R.; Vinício Cecconello; Schäfer, M. Análise do desempenho mecânico de CUAD com a adição de fibras de aço carbono e de polipropileno. Foco, v. 16, n. 10, p. e3364–e3364, 20 out. 2023.
- [5] Malhotra, S.; Kanoung, A.; Goyal, A. Influence of Metal, Glass, Synthetic and Natural Fibers on Fiber-Reinforced Concrete – A Review. Latest Trends in Engineering and Technology, p. 451–462, 28 maio 2024.
- [6] Mohiuddin, M. *et al.* Review on conventional concrete and nylon fiber reinforced concrete behavior. Malaysian Journal of Civil Engineering, v. 35, n. 1, p. 7–15, 28 mar. 2023.
- [7] More, F. M. D. S.; Subramanian, S. S. Impact of Fibres on the Mechanical and Durable Behaviour of Fibre-Reinforced Concrete. Buildings, v. 12, n. 9, p. 1436, 13 set. 2022.
- [8] Carnio, M. A. Aspectos gerais sobre o uso do concreto reforçado com fibras no Brasil: produção, projeto, tecnologia, normalização. In: Revista IBRACON Concreto & Construções. 87. ed. São Paulo: [s.n.]. p. 26–32.
- [9] Borges, A. P. S. N. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. 90 p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- [10] Guimarães, D. Avaliação das Propriedades de Concretos Reforçados com Fibras de Aço para Utilização em Pisos Industriais. 2015. 180 f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [11] Assunção, W. R. *et al.* Análise estatística do comportamento mecânico do concreto híbrido reforçado com aço e fibras de polipropileno. Brazillian Journal of Development. 2021.
- [12] Fugiyama, M. M. Estudo do comportamento mecânico de vigas de concreto armado com barras poliméricas reforçadas com fibra de basalto e fibras descontínuas. 2022. 108 f. Dissertação, Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022.
- [13] Nassif, H. *et al.* Validation of Predicted Stress in Polypropylene Fiber-Reinforced Self-Consolidating Concrete Under Restrained Shrinkage Conditions. SSRN Electronic Journal, 2021.
- [14] Wen, C. *et al.* Early-age autogenous shrinkage and tensile creep of concrete reinforced with polypropylene macro fiber. Journal of Sustainable Cement-Based Materials, v. 12, n. 10, p. 1255–1269, 28 maio 2023.
- [15] Pereira *et al.* Evaluation of the Addition of Polypropylene (PP) Fibers in Self-compacting Concrete (SCC) to Control Cracking and Plastic Shrinkage Between Different Methods. Materials Research-ibero-american Journal of Materials, v. 26, n. suppl 1, 1 jan. 2023.
- [16] Kantro, D.I. Influence of Water-Reducing Admixtures on Properties of Cement Paste—A Miniature Slump Test. Cement, Concrete, And Aggregates, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 95-102, 1 jan. 1980. ASTM International. <http://dx.doi.org/10.1520/cca10190j>.
- [17] Barluenga, G. *et al.* Rheology and Build-Up of Fresh SCC Pastes Evaluated with the Mini-slump Cone Test. Rilem bookseries, p. 160–167, 24 ago. 2019.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15261: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- [19] 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.



- [20] Ahmad, J. *et al.* Mechanical performance of concrete reinforced with polypropylene fibers (PPFs). *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, v. 16, p. 155892502110603, jan. 2021.
- [21] Skadins, U.; Cervenka, J. Lessons learnt from blind competition of shear behavior of fiber-reinforced concrete T-beam. *Structural Concrete*, p. 1–20, 2023.
- [22] Yao, W.; Zhong, W. Effect of polypropylene fibers on the long-term tensile strength of concrete. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, v. 22, n. 1, p. 52–55, fev. 2007.
- [23] Scolaro, T. P. (2020). Influência de diferentes fileres nas propriedades mecânicas e na retração de argamassas autonivelantes (Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC). Recuperado de <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/215859/PECV1224-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [24] Cecconello, Vinício; Poletto, Matheus. Assessment of graphene oxide coated polyester fiber reinforced cementitious composites. *Journal Of Materials Research And Technology*, [S.L.], v. 27, p. 8216-8227, nov. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.11.266>.
- [25] Irshidat, M. R. *et al.* Dosage Optimization of Polypropylene Fiber for Strength Enhancement of Cementitious Composites. *Proceedings of the International Conference on Civil Infrastructure and Construction (CIC 2020)*, 1 fev. 2020.
- [26] Niu, X. *et al.* Study on the Properties of Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNTs)/Polypropylene Fiber (PP Fiber) Cement-Based Materials. *Polymers*, v. 16, n. 1, p. 41, 21 dez. 2023.
- [27] Rasheed, Abdulwahab; Akinleye, Tunde Monsuru; TAIYE, Hussein Sahid. Effects of polypropylene fibre on the compressive and splitting tensile strength of concrete. *Journal of Materials and Engineering Structures «JMES»*, v. 5, n. 1, p. 15-22, 2018.
- [28] Jhatial, A. A. *et al.* Influence of Long Polypropylene Fibre on the Properties of Concrete. *Quaid-e-Awam University Research Journal of Engineering, Science & Technology*, v. 18, n. 02, p. 38–43, 31 dez. 2020.
- [29] Silva, R. V. DA; Cascudo, O.; Bacarji, E. Compósitos cimentícios com fibras de polipropileno: avaliações no estado fresco e endurecido. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 27, p. e13190, 28 nov. 2022.