

CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITO CIMENTÍCIO REFORÇADO COM FIBRAS DE BORRACHA DE PNEU

[\[ver artigo online\]](#)

Vinícius do Carmo Reis¹
Everton Ruggeri Silva Araújo²
Fred Maurício Ferreira da Conceição³

RESUMO

A incorporação de fibras em compósitos cimentícios tem sido amplamente pesquisada, com o propósito de buscar novas tecnologias, visando aprimorar as propriedades deste material. O presente trabalho visa estudar a adição de fibras sintéticas, especificamente, fibras de borracha de pneu em compósitos cimentícios, abordando a preparação, moldagem e análise dos resultados técnicos das amostras com adição de fibras em relação as amostras de referência, sem a adição de fibras. Foram efetuados testes experimentais em dois traços de concreto, concreto com adição de borracha (denominado no presente trabalho como concreto de referência) e concreto com 10% de adição de borracha, onde os corpos prova das seguintes dosagens foram submetidos à ensaios de compressão axial. Os resultados obtidos mostram que a adição de borracha provoca redução na resistência mecânica do concreto, o que pode reduzir as aplicações deste novo material, embora tenha conferido ao mesmo maior ductilidade, além desta vantagem, a inserção da borracha de pneu no concreto contribui na reciclagem de um material poluente e que é usualmente descartado no meio ambiente de forma errônea.

Palavras-chave: Compósitos cimentícios; Borracha de pneu; Caracterização.

CHARACTERIZATION OF CEMENTIUM COMPOSITE REINFORCED WITH TIRE RUBBER FIBER

ABSTRACT

The incorporation of fibers in cementitious composites has been widely researched, with the purpose of seeking new technologies, aiming to improve the properties of this material. The present work aims to study the addition of synthetic fibers, specifically, tire rubber fibers in cementitious composites, approaching the preparation, molding and analysis of the technical results of the samples with addition of fibers in relation to the reference samples, without the addition of fibers. Experimental tests were carried out on two concrete mixes, concrete with the addition of rubber (called in the present work as reference concrete) and concrete with 10% of the addition of rubber, where the specimens of the following dosages were submitted to axial compression tests. The results obtained show that the addition of rubber causes a reduction in the mechanical strength of the concrete, which can reduce the applications of this new material, although it has given it greater ductility, in addition to this advantage, the insertion of tire rubber in the concrete contributes to recycling of a polluting material and that is usually disposed of in the environment in an erroneous way.

Keywords: Cement composites; tire rubber; Characterization

1 Engenheiro Civil graduado pela Universidade da Amazônia "UNAMA"; v.reis1349@gmail.com

2 Professor e coordenador na Universidade da Amazônia "UNAMA"; e.ruggeri.eng@gmail.com

3 Engenheiro Civil graduado pela Universidade da Amazônia "UNAMA"; fredmauricio.ferreira@gmail.com



INTRODUÇÃO

O concreto é caracterizado pela mistura íntima entre água, aglomerante, agregados graúdos e agregados miúdos, por apresentar uma excelente resistência à água em relação a materiais como madeira e aço, pela facilidade com que elementos estruturais de diferentes formas e tamanhos podem ser executados e por habitualmente ser o material com maior disponibilidade e menor preço, o concreto se estabeleceu como o material mais utilizado em construções ao redor do mundo. Entretanto, com o aumento do consumo de concreto no mundo as limitações deste material se tornaram cada vez mais evidentes.

Embora o concreto tradicional tenha se provado como um material de grande resistência à compressão, é notório que o mesmo não apresenta resultados satisfatórios quando submetido a esforços de tração. Um dos fatores que acarretam este tipo de fragilidade em compósitos de cimentícios é a ausência de mecanismos de dissipação de energia. Diferente de materiais como metal, compósitos cimentícios não detêm inerentemente mecanismos de dissipação de energia, (SASMAL; AVINASH, 2016).

Para contornar certas deficiências do concreto são adicionados materiais sintéticos ou naturais para aumentar a sua tenacidade. Entre os materiais usados destaca-se o uso de fibras, que quando adicionadas à matriz cimentícia se ligam com a mesma, melhorando suas propriedades mecânicas e de deformação. Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto que apresenta na sua composição, cimento, água, agregados, fibras naturais ou sintéticas pode ser caracterizado como concreto reforçado com fibras (CRF).

O concreto tradicional apresenta rupturas de forma repentina quando a deflexão excede a resistência à flexão última, enquanto o concreto reforçado com fibras (CRF) continua suportando cargas admissíveis, mesmo que as deformações sejam superiores a deflexão de ruptura do concreto convencional. Conforme Shah (apud MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 520), o mecanismo de tenacidade presente em concretos reforçados com fibras pode ser descrito como:

O compósito suportará cargas cada vez maiores após a primeira fissura da matriz, caso a resistência das fibras ao arrancamento na primeira fissura for maior do que a carga na primeira fissuração;[...] em uma seção fissurada, a matriz não resiste a nenhuma tensão e as fibras suportam toda a carga do compósito. Com uma carga cada vez maior sobre o compósito, as fibras tendem a transferir a tensão adicional para a matriz através de tensões de aderência. Se as tensões de aderência não excederem a resistência de aderência, então pode haver fissuração adicional na matriz. Esse processo de fissuração múltipla continuará até que haja rompimento das fibras ou até que o escorregamento local acumulado leve ao arrancamento da fibra.

O estudo sobre fibras sintéticas vem apresentando crescimento, assim como as suas aplicações, podendo em alguns casos demonstrar certa superioridade tecnológica em relação a outras fibras, como a fibra de aço, podendo apresentar: melhor relação de rigidez em comparação ao peso da estrutura, maior resistência à corrosão, impactos, incêndios e melhor trabalhabilidade, (NETO, 2018).

1.1 Objetivos Gerais

Comparar o desempenho mecânico de um concreto simples em relação a um concreto reforçado com fibras de borracha de pneu.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar ensaios de flexo-compressão nos corpos de prova quando os mesmos atingirem a idade de 7 e 28 dias;
- Avaliar a influência das fibras de borracha de pneu na resistência à flexo-compressão.

1.3 Justificativa

O desenvolvimento de novos materiais foi e sempre será uma preocupação, pois sua relevância em diferentes áreas da engenharia é muito grande. Embora existam diversos materiais de diferentes tipos, a busca por propriedades mais específicas, a escassez, custo elevado de produção e causas socioambientais sempre movem o interesse à pesquisa de novos materiais.

Estudos sobre a incorporação de fibras em argamassas ou concretos pode resultar em novos compósitos cimentícios, apresentando propriedades mecânicas com desempenho

superior em relação a concretos e argamassas tradicionais. Fibras sintéticas são materiais versáteis, podendo ser utilizados em pavimentos rígidos, elementos estruturais que apresentam elevada taxa de armadura, concretos para reparos estruturais ou elementos de superfície contínua (ONGHERO, 2017).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico do presente trabalho é apresentado em três tópicos principais e quatro subtópicos, onde o primeiro tópico trata sobre compósitos e as suas aplicações na construção civil, o segundo tópico apresenta o conceito de fibra e a sua relação com compósitos, o terceiro tópico apresenta a definição de concreto, e os quartos subtópicos discorrem sobre elementos intrínsecos ao concreto como traço, *slump test*, propriedades do concreto no estado fresco e endurecido e granulometria.

2.1 Compósitos

Os materiais compósitos são largamente empregados na construção civil, um dos sistemas estruturais mais utilizados no mundo, o concreto armado é um tipo de compósito, pois, associa ao concreto armaduras metálicas, assim suprindo a deficiência que o concreto apresenta em relação a esforços de tração. A produção de um material compósito tem como propósito combinar diferentes materiais para fabricar um único material, com propriedades superiores em relação às propriedades dos seus materiais constituintes quando isolados.

Os materiais compósitos podem ser definidos como materiais híbridos derivados de uma combinação racional de dois ou mais materiais com características e composições distintas, onde um dos materiais constituintes do compósito é descontínuo e primariamente responsável pela resistência aos esforços mecânicos, sendo atribuído como componente estrutural ou de reforço (ISAIA, 2010). Em contrapartida, o outro material é contínuo e forma o meio de transferência dos esforços atribuídos ao compósito, sendo denominado como matriz.

Conforme Isaia (2010), a matriz de um compósito tem como objetivo principal envolver, proteger e ligar os componentes usados como reforço, distribuindo os esforços entre os mesmos. Usualmente a matriz apresenta maior ductilidade e menor módulo de elasticidade em relação ao elemento usado como reforço. O elemento de reforço tende a ser descontínuo, sendo

denominado de fase dispersa. Em muitos casos, assume a forma de partículas, que se dispersam na matriz, exceto quando a relação comprimento/diâmetro² das partículas apresentam um valor muito elevado. Se as partículas do material usado para reforço apresentar estas características, as mesmas passam a ser denominadas de fibras.

Na engenharia civil, as matrizes mais utilizadas na atualidade são as cerâmicas, proeminentemente as cimentícias, a partir das quais são produzidas grande parte das argamassas e concretos.

2.2 Fibras

De acordo com Figueiredo (2011), fibras podem ser definidas como elementos descontínuos onde o seu comprimento é superior à dimensão da seção transversal. Usualmente as fibras que são empregadas como reforço em concretos são denominadas genericamente como macrofibras, onde as macrofibras podem ser de feitas de polímeros ou aço. As fibras utilizadas como reforço para compósitos podem ser de metal (aço), mineral (vidro), natural (juta, sisal) ou sintéticas (polipropileno, carbono) (ARBOLEDA, 2014).

Segundo Salvador (2013), as propriedades que apresentam maior relevância sobre a capacidade de reforço que a fibra poderá conferir a matriz são a sua resistência mecânica, à tração ao cisalhamento e o seu módulo de elasticidade, contudo, fatores como o teor e a eficiência da ancoragem das fibras também afetam o desempenho de compósitos reforçados com fibras. Quando a fibra é incorporada em uma matriz há um aumento na capacidade de resistir esforços, pois uma parcela da carga é transferida pela matriz para a fibra através da deformação oriunda do cisalhamento na interface da matriz ou da fibra (ISAIA, 2010).

Conforme Figueiredo (2011), grande parte das fibras consumidas pelo mercado são as de aço e polipropileno, geralmente sendo utilizadas em pisos, pavimentos e para produção de concreto projetado e pré-fabricado.

Quando empregadas em pisos e pavimentos, as fibras tornam o uso de armadura dispensável, assim reduzindo o tempo e custo de mão de obra. No concreto projetado e no pré-fabricado, com o uso de fibras como reforço para a matriz, torna-se dispensável o uso de tela metálica, onde no concreto projetado o uso de fibras apresenta vantagens em obras como revestimentos de túneis, pois, com uso de fibras a tela metálica torna-se dispensável, assim, possibilitando que o túnel seja revestido logo após a escavação, reduzindo o tempo e

aumentando a segurança do processo (SALVADOR, 2013). O uso de fibras em concretos pré-fabricados aumenta a resistência à impactos e simplifica o processo de produção através da eliminação do uso da tela metálica.

2.3 Concreto

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto pode ser definido como um material composto constituído essencialmente por um meio aglomerante contínuo, onde estão submersas partículas ou fragmentos de agregados.

Em uma mistura de concreto, o cimento Portland em conjunto com a água forma uma pasta parcialmente fluida, onde esta pasta envolve as partículas dos agregados. Nas primeiras horas, o concreto apresenta um estado onde se e possível moldá-lo em formas de diferentes formas geométricas, após um intervalo, o concreto enrijece devido à reação entre a água e o cimento, assim adquirindo propriedades mecânicas satisfatórias para torná-lo um material de desempenho estrutural considerável (ISAIA, 2010).

De acordo como Neville e Brooks (2013), o concreto pode ser produzido a partir de diversos tipos de cimento e também pode conter materiais como: pozolana, cinza volante, escoria de alto-forno, sílica ativa, aditivos, polímeros e fibras. Ademais, esses concretos podem ser prensados, autoclavados, extrudados, curados a vapor, vibrados por impacto e projetados.

2.3.1 Traço

De acordo com Isaia (2010), compreende-se como estudo de dosagem os procedimentos necessários para se obter à proporção ideal entre os materiais constituintes do concreto para produzir um concreto que atenda as especificações técnicas pré-determinadas. Usualmente o estudo de dosagem é conhecido como traço, podendo ser expresso em massa unitária ou volume.

O estudo de dosagem visa obter a mistura ideal e mais econômica com os materiais disponíveis na região para atender as especificações que foram determinadas (ISAIA, 2010). Segundo Mehta e Monteiro (2008), os principais requisitos que a dosagem objetiva determinar são a trabalhabilidade do concreto fresco, resistência do concreto endurecido em uma determinada idade e a durabilidade.

2.3.2 Slump Test

O ensaio de consistência pelo abatimento do tronco do cone, comumente conhecido como *slump test*, visa identificar variações na uniformidade da mistura em uma amostra do concreto (CALADO et al., 2015).

A aparelhagem necessária para realizar o *slump test* é composta por:

- Molde;
- Haste de compactação;
- Placa de base.

Para a realização do ensaio, o molde e a placa de base são umedecidos e a placa é posicionada em uma superfície reta, em seguida o molde é colocado sobre a placa, o concreto é colocado no molde em três camadas, cada uma com 10 centímetros, sendo que cada camada é adensada com 25 golpes utilizando a haste de compactação, em seguida é feito o arrasamento da superfície e a retirada do molde, por último mede-se o abatimento da amostra em relação à altura total do molde. Seguindo as diretrizes da ABNT NBR 16889 (2020) a consistência do concreto alcançado pelo abatimento do tronco de cone pela dosagem de referência, apresentada pela tabela 1 foi de 6 centímetros, o *slump test* do concreto referência é apresentado na figura 1.

Figura 1 – Abatimento do concreto



Fonte: O autor (2021)

Conforme Neville (2016), embora o ensaio de consistência pelo abatimento apresente limitações, o mesmo é muito utilizado em canteiros de obras como um controle sobre a variação dos materiais que estão sendo aplicados no misturador.

2.3.3 Propriedades

A qualidade do concreto é determinada pelas suas propriedades no estado fresco e endurecido, no estado fresco a mais importante propriedade do concreto é trabalhabilidade, pois a mesma reúne diversas propriedades fundamentais do concreto fresco (SOBRAL, 2000).

Segundo Sobral (2000), o termo trabalhabilidade refere-se às propriedades intrínsecas do concreto no estado fresco, relativas à mobilidade da massa e à coesão entre os elementos constituintes do concreto, visando à compacidade, homogeneidade e o bom rendimento do concreto.

No estado endurecido, as propriedades mais relevantes para testes é a resistência mecânica e a durabilidade, onde a resistência é a medida necessária para romper o concreto e a durabilidade é a vida útil do concreto sob determinadas condições ambientais (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.3.4 Granulometria

Conforme Weidmann (2008), a granulometria pode ser definida como a distribuição dos tamanhos das partículas de um determinado agregado, comumente sendo expressa em termos de porcentagens acumuladas das parcelas retidas ou passantes em uma dada série de peneiras, ou por porcentagens entre certos intervalos de aberturas. Deste modo, a granulometria de um agregado é definida por meio do peneiramento de uma amostra em uma sequência de peneiras dispostas de forma decrescente em relação à abertura de sua malha.

De acordo com Neville (2016), embora a granulometria do agregado não tenha influência sobre a resistência, a mesma tem grande influência sobre a trabalhabilidade do concreto e conseqüentemente sobre a demanda de água, segregação, exsudação, facilidade de lançamento e acabamento do concreto no estado fresco, estes fatores apresentam grande importância sobre o concreto no estado fresco e tem influência sobre propriedades do concreto no estado endurecido, como a resistência, durabilidade e retração.

3 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo proposto neste trabalho, foram moldados corpos de prova que visam analisar o comportamento do concreto com incorporação de borracha de pneu, onde foram estudadas algumas propriedades mecânicas destes concretos, com diferentes teores de substituição do agregado miúdo por borracha de pneu, tendo como base um concreto de referência.

Para a realização dos ensaios propostos para aferir o comportamento da inserção das fibras de borracha de pneu no concreto comum, foram produzidos no laboratório de materiais de construção da Universidade da Amazônia – UNAMA, 8 corpos de prova, sendo 4 provas e 4 contraprovas com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura.

Para a fabricação dos corpos de prova de concreto convencional e com adição de fibra de borracha de pneu, utilizou-se areia e seixo rolado disponíveis no laboratório de materiais de construção da Universidade da Amazônia e cimento Portland composto com fíler (CP II – F) da marca Nassau, cuja as características são especificadas pela ABNT NBR 16697 (2018).

Devido à natureza dos materiais encontrados na região optou-se por utilizar o método de Powers para o cálculo de dosagem, acrescentando uma fração de 10% de fibra de borracha de pneu em relação ao agregado miúdo para os corpos de prova com adição de fibra.

Após a dosagem dos materiais, os mesmos foram dispostos na betoneira onde permaneceram ininterruptamente em mistura por um período de 5 minutos nos quais os materiais utilizados para a produção dos corpos de prova foram dispostos na seguinte ordem na betoneira: seixo, água, areia, cimento e água para os corpos de prova de referência e seixo, água, areia, cimento, fibra e água para os corpos de prova com fibra de borracha de pneu.

Ao final do processo de mistura, o concreto foi colocado em moldes cilíndricos, os traços para os corpos de prova de referência e com adição de fibra de borracha de pneu estão dispostos na tabela 1.

Tabela 1 – Traço dos concretos

Traços dos concretos	
CP de referência	1 : 2,14 : 2,57 : 0,63
10% de fibra	1 : 0,214 : 1,926 : 2,57 : 0,63

Fonte: O autor (2021)

Os moldes foram preparados e adensados seguindo os procedimentos descritos na ABNT NBR 5738 (2015), após 24 horas nos moldes os corpos de provas foram desmoldados e direcionados a câmara úmida para serem curados até as suas idades de rompimento. Após serem curados, os corpos de prova de 7 e 28 dias foram encaminhados para a prensa hidráulica para serem submetidos ao ensaio de compressão axial simples.

A máquina utilizada para a realização dos ensaios de compressão axial foi uma prensa EMIC, modelo MUE-100, com escala de calibração de 1000 kN, apresentada na figura 2.

Figura 2 – Prensa hidráulica



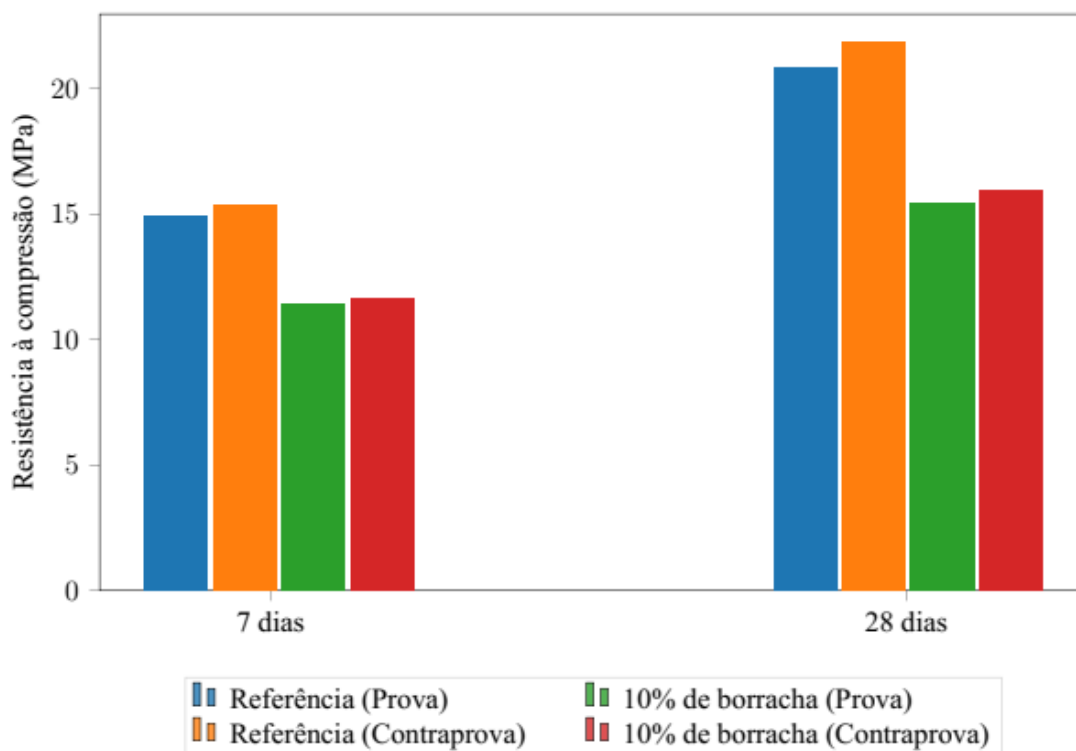
Fonte: O autor (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os corpos de prova com adição de borracha de pneu apresentaram desempenho mecânico inferior em relação aos corpos de prova de referência ao serem submetidos aos esforços de compressão. Em contrapartida, os corpos de prova com substituição de agregado miúdo por borracha manifestaram redução nas fissurações, sendo necessário a aplicação de um esforço suplementar para dividi-los ao meio na maioria dos corpos de provas ensaiados, indicando maior ductilidade dos corpos de prova com adição de borracha.

A resistência característica a compressão dos corpos de prova é apresentada na figura 3.

Figura 3 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão



Fonte: O autor (2021)

A partir dos resultados apresentados pela figura 3, percebe-se que os corpos de prova que continham fibra de borracha apresentaram desempenho inferior em comparação aos corpos de prova de referência, onde os corpos de prova com adição de borracha rompidos aos 7 dias apresentaram uma perda de resistência de 23,85% e o corpos rompidos aos 28 dias apresentaram redução de 26,54% de resistência.

O comportamento apresentado pelo concreto com adição de borracha corrobora com outros trabalhos encontrados na literatura, Granzotto (2010) e Huang et al. (2004) também obtiveram perda de resistência mecânica devido à adição de borracha de pneu ao concreto. Granzotto (2010) ao adicionar 10% de borracha em relação ao agregado miúdo em um concreto de classe C20 teve uma perda aos 7 dias de 29,3% e aos 28 dias uma perda de 35,67%. Huang et al. (2004) ao substituírem 15% do agregado graúdo por borracha obtiveram um decréscimo de 45% na resistência à compressão.

As análises granulométricas dos agregados foram realizadas conforme a ABNT NBR NM 248 (2003), onde se constatou que o agregado graúdo (seixo) apresenta um diâmetro máximo de 9,5 milímetros e um módulo de finura de 0,200 e o agregado miúdo (areia) apresenta diâmetro máximo de 2,4 milímetros e um módulo de finura de 1,94. Os resultados dos ensaios de granulometria do agregado graúdo e miúdo encontram-se respectivamente nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Análise granulométrica do agregado graúdo

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem retida (%)			% Retida e acumulada
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Média	
25	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
12,5	65,40	66,12	1,31	1,32	1,31	1,31
9,5	105,14	104,76	2,10	2,09	2,10	3,41
4,75	593,06	594,30	11,85	11,88	11,87	15,28
Fundo	4237,81	4236,94	84,74	84,70	84,72	100
Total	5001,41	5002,12	100	100	100	—

Fonte: O autor (2021)

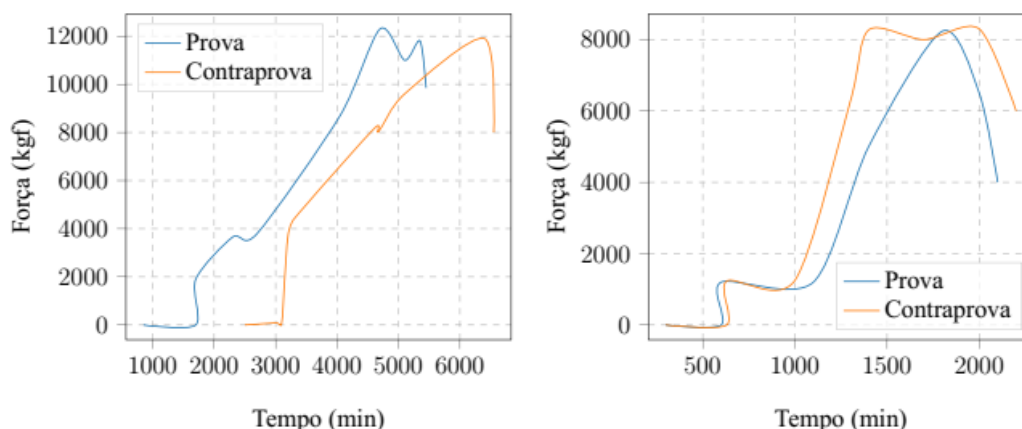
Tabela 3 – Análise granulométrica do agregado miúdo

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem retida (%)			% Retida e acumulada
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Média	
4,8	0,91	0,87	0,09	0,09	0,09	0,09
2,4	11,34	11,45	1,13	1,14	1,14	1,23
1,2	53,55	53,67	5,35	5,37	5,36	6,59
0,6	102,55	102,63	10,25	10,26	10,26	16,85
0,3	549,04	549,25	54,90	54,92	54,91	71,76
0,15	251,19	250,28	25,12	25,03	25,07	96,83
Fundo	33,48	31,87	3,15	3,19	3,17	100
Total	1000,06	1000,02	100	100	100	—

Fonte: O autor (2021)

A resistência à compressão dos corpos de prova fora aferida nas idades de 7 e 28 dias, a figura 3 apresenta a força aplicada respectivamente aos corpos de prova de referência e com adição de 10% de borracha, ambos com 7 dias.

Figura 3 – Força aplicada aos corpos de prova aos 7 dias



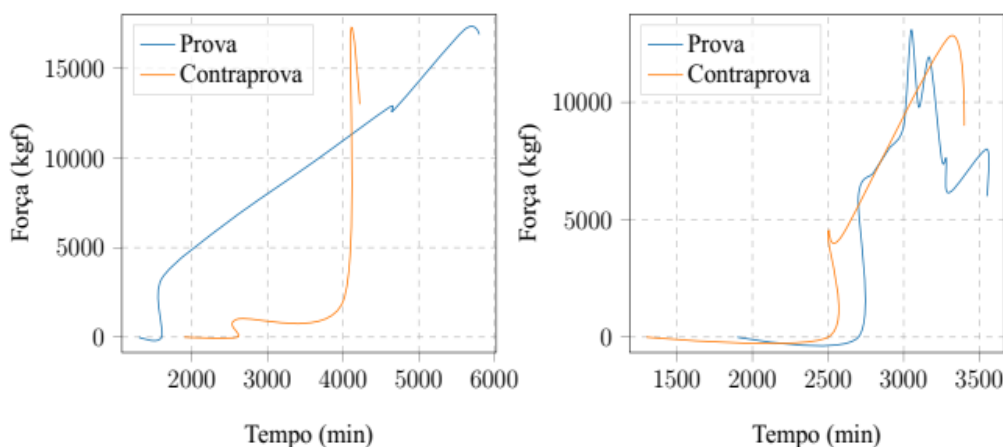
Fonte: O autor (2021)

Conforme visto na figura 3, percebe-se que para os corpos de prova de referência com 7 dias, as curvas do diagrama força/tempo apresentam similaridades, nota-se nas curvas uma região linear mais acentuada na contraprova, em contrapartida, a prova não detém uma linearidade tão aparente.

Encontra-se uma região de deformação plástica após o escoamento, atingindo em torno do limite de resistência tanto para a prova quanto para a contraprova de 12.000 quilograma-força, para os corpos de prova de referência com 7 dias. Os corpos de prova com 10% de borracha se rompem de forma similar, onde a prova e a contraprova se rompem em torno de 8.000 quilograma-força.

A figura 4 apresenta a comparação entre as forças aplicadas respectivamente ao concreto de referência e ao concreto com adição de borracha, ambos aos 28 dias.

Figura 4 – Força aplicada aos corpos de prova aos 28 dias



Fonte: O autor (2021)

Na figura 4, a prova e contraprova de referência apresentaram comportamentos distintos, na prova nota-se regiões de deformação elástica não aparentes, onde há um escoamento e logo em seguida uma deformação plástica, no entanto a contraprova manifesta um comportamento semelhante à de um material frágil, pois, não se percebe uma deformação plástica aparente neste tipo de ensaio.

Para os corpos de prova com adição de 10% de borracha, é possível notar valores e curvas similares, onde a transição de deformação elástica não se apresenta de forma tão aparente. Já o escoamento é visível e a deformação plástica é presente, todavia, há uma variação em torno do limite de resistência na prova e ocorre o retardamento da ruptura em relação a contraprova.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista que a construção civil é causadora de grandes danos ambientais e que a população mundial tem se voltado para os conceitos de sustentabilidade e conservação do meio ambiente, diversos segmentos relacionados à ciência e tecnologia buscam alternativas para controlar ou reduzir os danos ambientais causados pelo consumo indiscriminado de matéria-prima e pela grande quantidade de resíduos gerados.

A reciclagem de resíduos apresenta-se como uma possibilidade viável e a construção civil tem se mostrado um setor promissor para a captação destes novos materiais, sejam estes resíduos de outras indústrias ou seu próprio resíduo. Visando ampliar o conhecimento neste campo, o presente trabalho avaliou a influência ocasionada pela inserção de borracha de pneu sobre um compósito cimentício.

A comparação dos resultados obtidos mostrou que a adição de borracha provoca significativa redução na resistência mecânica do concreto, onde os corpos de prova com adição de 10% de borracha apresentaram uma perda de resistência de 23,85% e 26,54% aos 7 e 28 dias, respectivamente.

Levando em consideração a importância da reciclagem do pneu para a redução da degradação do meio ambiente e a ductilidade a borracha aferiu ao concreto, acredita-se que este estudo merece ser aprofundado. Este material apresenta qualidades favoráveis para a utilização como material para a fabricação de calçadas, meio-fio, piso de ciclovias, muros e peças pré-fabricadas (GRANZNOTTO, 2010).

De acordo com Freitas (2007), embora a borracha apresente maior capacidade de deformação, a sua capacidade em resistir aos esforços aplicados a ela fica restringida pela rigidez da matriz de concreto, fazendo com que as partículas de borracha atuem como vazios no interior do concreto. A capacidade em resistir deformações é relevante para materiais de reparo, pois mitiga o aparecimento de fissuras e aprimora a durabilidade do concreto, este acontecimento pode ser justificado pelo baixo módulo de elasticidade, que possibilita na maioria das vezes que o material sofra uma deformação maior antes da sua ruptura (FREITAS, 2007).

Destacam-se duas propostas de continuidade para pesquisas desta natureza, submeter a borracha de pneu a um tratamento prévio para que a mesma apresente maior compatibilidade ao concreto e o desenvolvimento de modelos teóricos que possibilitem a análise do concreto com diferentes dosagens e solicitações mecânicas. De toda forma, deve-se considerar outras propriedades mecânicas como retração e a durabilidade.

REFERÊNCIAS

- ARBOLEDA, Diana. Fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) composites for infrastructure strengthening and rehabilitation. 2014. University of Miami, Flórida.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- CALADO, Carlos Fernando de Araújo et al. Concreto auto-adensável (CAA), mais do que alternativa ao concreto convencional (CC). Refice: Edupe, 2015. 241 p.
- FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. Concreto reforçado com fibras. 2011. Tese (Livre-Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- FREITAS, Camila. Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas. 2007. Dissertação (Mestrado) – Curitiba.
- GRANZNOTTO, Laura. Concreto com adições de borracha: uma alternativa ecologicamente viável. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- HUANG, Baoshan et al. Investigation into waste tire rubber-filled concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, v. 16, n. 3, p. 187–194, 2004.
- ISAIA, Geraldo Checchella (Org.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais: microestrutura, propriedades e materiais*. 2. ed. [S.l.]: Ibracon, 2010. 1712 p.
- MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo José Melaragno. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 3. ed. [S.l.]: Ibracon, 2008. 670 p. ISBN 9788598576121.
- NETO, João Trajano da Silva. *Compósito cimentício reforçado com fibras poliméricas de*

- alta resistência mecânica. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- NEVILLE, Adam. Propriedades do concreto. 5. ed. [S.l.]: Bookman, 2016. 912 p. ISBN 8582603665.
- NEVILLE, Addam; BROOKS, J.J. Tecnologia do concreto. 2. ed. [S.l.]: Bookman, 2013. p. 466. ISBN 8582600720.
- ONGHERO, Lucas. Combate à retração e fissuração em concretos de alto desempenho reforçados com microfibra de vidro. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SALVADOR, Renan Pícolo. Análise comparativa de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SASMAL, Saptarshi; AVINASH, G. Investigations on mechanical performance of cementitious composites micro-engineered with poly vinyl alcohol fibers. *Construction and Building Materials*, Elsevier, v. 128, p. 136–147, 2016.
- SOBRAL, Hernani Sávio. Propriedades do concreto fresco. 6. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000. 30 p. ISBN 85-87024-43-4.
- WEIDMANN, Denis Fernandes. Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento portland. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Florianópolis.