

Avaliação Mecânica dos Blocos de Vedação com Substituição Parcial dos Agregados Miúdos pela Borracha Moída

Ana Paula Bonifácio Ferreira ¹
Diego Haltieri dos Santos ²
Geraldo Magela da Silva ³
Roberta Maria Machado ⁴
Rodrigo Vicente Machado Toffolo ⁵
Wilson Nascimento Moreira ⁶

RESUMO

Atualmente o setor da construção civil é o que mais consome recursos naturais não renováveis, tornando-os escassos. Com o crescimento populacional, os volumes de descarte de resíduos irregulares aumentaram, sendo necessário buscar melhores soluções ecoambientais e sociais voltadas para a sustentabilidade, reutilizando de várias formas estes resíduos. Dentro desta visão de projeto, surgiu a possibilidade de se utilizar resíduos provenientes da indústria de recauchutagem de pneus que até então seriam descartados na natureza, em produtos utilizados na construção civil, tomando como base de estudo o bloco de concreto com função de vedação. O principal objetivo deste estudo foi a investigação do potencial de utilização da borracha reciclada de pneus em matrizes de cimento, na construção de blocos de vedação com menor impacto ambiental e contribuindo, assim, para o desenvolvimento sustentável da Construção Civil. Neste trabalho foram feitos três diferentes tipos de blocos de vedação, sendo um traço convencional com 100% dos agregados naturais, e outros dois traços com substituição de 10% e 20% do agregado miúdo pela borracha. Foram realizados testes em laboratório de acordo com as normas brasileiras, que avaliaram a resistência à compressão simples, capacidade de absorção de água, qualidade e eficácia dos produtos gerados. Os resultados encontrados nos ensaios de resistência à compressão dos blocos apresentaram perda de resistência e nos ensaios de absorção de água os resultados mostraram um aumento dos valores, mas ainda assim os resultados estavam dentro dos padrões aceitáveis pelas normas técnicas.

Palavras chave: resíduos, bloco, concreto, borracha, sustentabilidade.

Abstract

Currently, the construction sector is the one that consumes the most non-renewable natural resources, making them scarce. With population growth, irregular waste disposal volumes increased, so it is necessary to seek better eco-environmental and social solutions aimed at sustainability, reusing these forms of waste in several ways. Within this project vision, the possibility of using waste from the tire retreading industry that until then would have been

¹ Graduação em Engenharia Civil, Faculdade Santa Rita (MG); E-mail: ana1708ferreira@gmail.com;

² Mestrado em Engenharia Civil (UFOP), Professor Titular do Departamento de Edificações – IFSC – Criciúma (SC). E-mail: haltieri@yahoo.com.br;

³ Especialização em Gerenciamento de Projetos (PUC-MG), Professor Titular da Faculdade Santa Rita. E-mail: geraldomsilva@gmail.com;

⁴ Doutorado em Engenharia Civil (UFOP), Professora Titular da Faculdade Santa Rita. E-mail: roberta.machado25@yahoo.com.br;

⁵ Mestrado em Engenharia Civil (UFOP), Professor Titular da Faculdade Santa Rita. E-mail: rodrigo@toffolo.com.br;

⁶ Graduando em Engenharia Civil (UFOP), Faculdade Santa Rita. E-mail: wnmnem@gmail.com

discarded in nature, in products used in civil construction, was based on a concrete block with a sealing function. The main objective of this study was to investigate the potential of using recycled tire rubber in cement matrices, in the construction of sealing blocks with lower environmental impact and thus contributing to the sustainable development of Civil Construction. In this work, three different types of sealing blocks were made: a conventional line with 100% of the natural aggregates, and another two traces with 10% and 20% substitution of the rubber aggregate. Laboratory tests were performed according to Brazilian standards, which evaluated the resistance to simple compression, water absorption capacity, quality and efficiency of the products generated. The results found in the tests of compressive strength of the blocks showed loss of resistance and in the tests of water absorption the results showed an increase of the values, but still the results were within the standards acceptable by the technical norms.

Key words: waste, block, concrete, rubber, sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é responsável por um dos maiores impactos ambientais, pois tem alto consumo de matérias primas. De 20% a 50% dos recursos naturais que são extraídos na Terra são destinados à construção civil. Tem-se a estimativa que o consumo de agregado para concreto e argamassa, no Brasil, é em torno de 220 milhões de toneladas por ano. (JOHN, 2000)

Atualmente a conscientização ambiental vem sendo discutida e cobrada pela população. Durante o ciclo de produção dos produtos, as empresas impuseram limites para a poluição gerada nesse processo. Hoje em dia, as empresas são forçadas a buscarem meios alternativos em relação aos recursos, através de reciclagem, reutilização e redução de perdas na produção de seus produtos.

A sociedade vem crescendo em ritmo acelerado e o aumento da frota de veículos nas ruas nos últimos anos se tornou visível. Com isto aumentou o número de pneus inservíveis e a poluição gerada. Estes pneus, antes da Resolução criada pelo CONAMA Nº 258 de 1999, eram em grande parte queimados ou acumulados em aterros na natureza formando montanhas artificiais. Segundo Rodrigues e Santos (2013), na indústria da construção civil os agregados reciclados de borracha de pneu são vistos como favoráveis, devido às características deste material.

Visando diminuir o impacto ambiental e obter melhores propriedades dos materiais disponíveis ao nosso redor, apresenta-se a proposta de trabalho a fim de contribuir de maneira significativa, ao desenvolvimento de novas possibilidades para fabricação de produtos de base tecnológica para aplicação na construção civil, como o uso de pneu triturado em blocos de concreto vibro prensados para vedações

moldados a partir de uma mistura de qualidade, de forma viável técnica e econômica.

1.1 Objetivo Geral

Estudar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da utilização de borracha moída de pneu em substituição ao agregado miúdo natural utilizado na fabricação de blocos de concreto para vedação.

1.2 Objetivo Específico

- Produzir blocos de concreto vibro prensados para vedação, com concreto adicionado de resíduo de borracha de pneu;
- Avaliar a resistência mecânica e absorção de água dos blocos fabricados com agregados naturais e com borracha moída de pneu;

2. MATERIAIS

Para a produção dos blocos de concreto foram utilizados os seguintes materiais:

- **Cimento CP V – ARI – RS:** este cimento Portland foi utilizado devido à alta resistência inicial, validando a produção dos blocos de vedação;
- **Pó de pedra, brita 0:** agregados naturais oriundos da região de Conselheiro Lafaiete/MG. As amostras dos agregados foram analisadas conforme recomendações das normas técnicas para ensaios de laboratórios;
- **Borracha moída:** O resíduo da borracha de pneu foi obtido de através de pneus inservíveis submetidos ao processo de trituração. A empresa fornecedora do resíduo foi a MB Borracha, localizada em Juiz de Fora/MG.
- **Água:** A água foi coletada no Laboratório de Materiais de Construção e Técnicas Construtivas, local onde os ensaios foram realizados.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento desta pesquisa baseou-se na produção de blocos de concretos vibro-prensados com substituição parcial do agregado pó de pedra por resíduos de pneu triturado.

Foram confeccionados três diferentes tipos de traços para os blocos de vedação, B1, B2 e B3.

- Traço B1, convencional, foi fabricado a partir de 100% dos agregados naturais;
- Traço B2, foi feita a substituição de 10% do agregado miúdo pela borracha moída;
- Traço B3, foi feita a substituição de 20% do agregado miúdo pela borracha moída.

As substituições do agregado miúdo pela borracha moída foram realizadas em volume e a caracterização dos agregados foi realizada de acordo com as normas vigentes. Foram realizados os ensaios de: granulometria, teor de umidade, massa específica, massa unitária, teor do material pulverulento.

3.1. Ensaio Granulométrico

Foram utilizados para realização dos testes os seguintes materiais, pó de pedra, brita e borracha triturada, que foram devidamente preparados e ensaiados de acordo com a NBR NM 248/03. Para o ensaio granulométrico foram utilizados 500 g de pó de pedra, 5000 g de brita e 200g de borracha.

3.2. Determinação da absorção de água

O ensaio de determinação da absorção de água foi realizado conforme a NBR NM 30/01.

3.3. Determinação da massa específica

Este ensaio de determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizado conforme a NBR NM 52/09 através de frasco de vidro e com tampa, com capacidade de 500 cm³, para poder obter-se a relação entre a massa do agregado seco de pó de pedra e o volume dos grãos, incluindo os poros impermeáveis.

Para a brita como agregado graúdo, a massa específica foi obtida conforme a NBR NM 53/09.

3.4. Determinação da massa unitária

O ensaio da massa unitária dos agregados foi realizado conforme a NBR NM 45/06 a fim de obter-se a relação entre a massa do agregado seco contida em determinado recipiente e o volume deste.

3.5. Determinação do teor de material pulverulento

O ensaio do teor de material pulverulento foi realizado segundo a NBR NM 46/03, sendo coletadas 500 g de amostra de pó de pedra e seca na estufa, posteriormente foi passada na peneira de malha de 75 mm e feita à lavagem até a água residuária ficar clara.

3.6. Blocos de concreto para vedação

3.6.1. Dosagem do traço

Para a confecção dos blocos de concreto vibro-prensado com dimensões de 14x19x39 cm e resistência, F_{bk} , de 2 MPa, utilizou-se a borracha de pneu triturado no traço do concreto, substituindo parcialmente o agregado miúdo por borracha, nas porcentagens de 0%, 10% e 20%.

O traço do bloco de concreto com a adição de borracha de pneu foi determinado em função dos parâmetros de produção industrial de forma adaptada ao traço 1:12, já utilizado para a fabricação do bloco de concreto convencional. A Tabela 01 apresenta os traços dos blocos de concreto em massa.

Tabela 01 - Traço dos blocos de concreto em massa.

TRAÇO					
Bloco	Cimento (kg)	Agregado Miúdo (kg)	Agregado Graúdo (kg)	Adição de Borracha (kg)	Fator água/cimento (kg)
B1	1,00	8,00	4,00	0	0,78
B2	1,00	7,20	4,00	0,200	0,74
B3	1,00	6,40	4,00	0,400	0,70

Fonte: Autor, 2016.

3.6.2. Moldagem e cura dos blocos de concreto

Com a mistura pronta na betoneira, foi colocado em um carrinho de mão e conduzido até a vibro prensa, onde um operador especializado era responsável por controlar o tempo, força de vibração e compactação dos blocos. Os blocos prensados e vibrados eram retirados em um pallet por intermédio de um carrinho adaptado para transporte dos blocos até onde passariam pela cura.

Os blocos foram colocados com o pallet de sua fabricação em um pátio e foram cobertos por lonas para evitar a perda de umidade dos blocos para o ambiente. A empresa realizou a cura dos blocos por meio de sistema de aspersão da água.

Durante a execução dos traços com 10% e 20% de borracha de pneu, foi observada a necessidade de se colocar uma menor quantidade de água, pois a borracha não absorve água como os outros agregados dando o ponto da mistura através do teste

tátil visual em tempo menor. Caso fosse adicionado à mesma quantidade de água da fabricação dos blocos convencionais para os blocos feitos com a substituição parcial da borracha, a produção dos blocos seria prejudicada com a possível formação de trincas e brocas.

Foram confeccionados 09 blocos de concreto para cada tipo de traço, sendo que 06 blocos seriam utilizados para análise da resistência à compressão e 03 blocos para análise de absorção de água, gerando assim um total de 27 corpos de prova para realização dos ensaios.

3.6.3. Determinação da resistência à compressão

Os blocos foram, inicialmente, capeados a fim de se obter a regularização de suas faces para realização posterior dos ensaios. De acordo com a NBR 12118/14, as amostras dos blocos de concreto foram submetidas ao teste de resistência à compressão com o auxílio de uma prensa.

3.6.4. Absorção de água

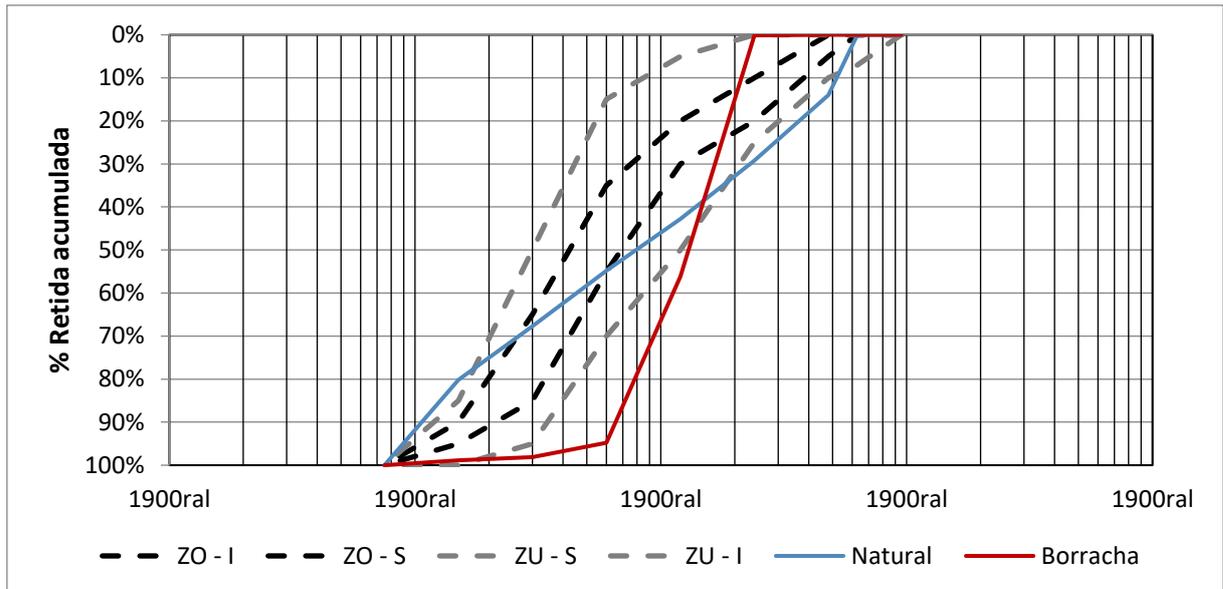
A análise da absorção de água nos blocos de concreto foi realizada de acordo com a NBR 12118/14, a absorção de água dos blocos é feita a fim de se obter a relação da massa de água contida nos blocos saturados e a massa dos blocos secos em estufa com a temperatura de 105 ± 5 °C.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Ensaio Granulométrico

A Figura 01 apresenta a granulometria dos agregados miúdos.

Figura 01 - Curva granulométrica do pó de pedra e da borracha moída



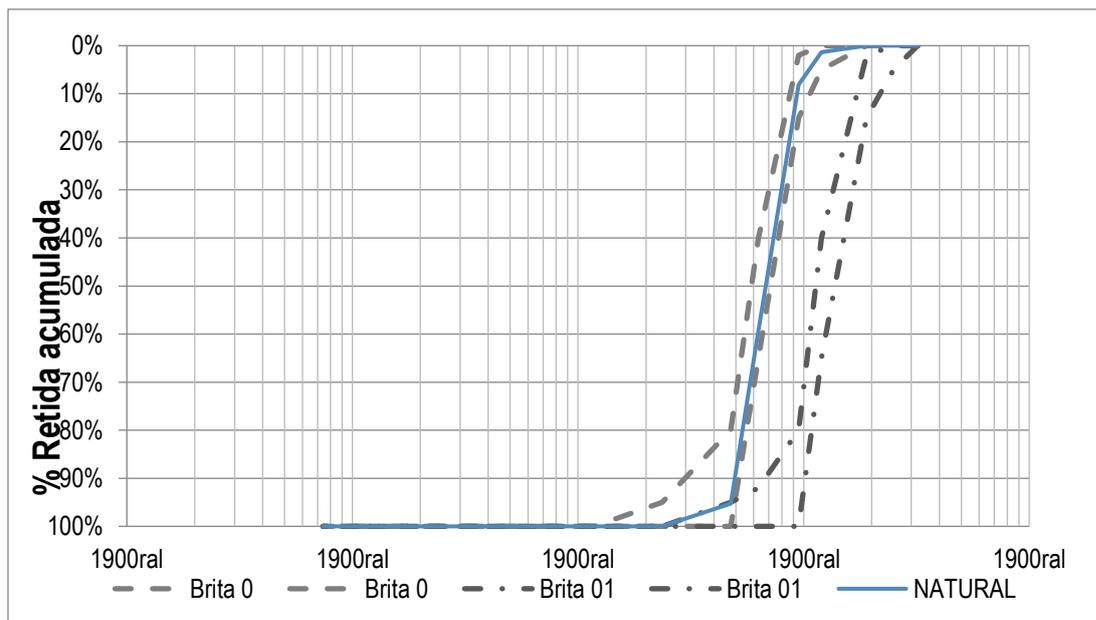
Fonte: Autor, 2016.

Nota-se que a distribuição granulométrica do agregado natural (pó de pedra) se encontra parcialmente dentro dos limites estabelecidos por norma para agregado miúdo. O módulo de finura do pó de pedra foi igual a 2,89 e a dimensão máxima característica igual a 4,75mm.

A granulometria da borracha ficou concentrada na sua maior totalidade nas peneiras 1,18mm e 600 µm, evidenciando grande parte da curva fora das zonas utilizáveis. Era de se esperar que o beneficiamento da borracha não se enquadrasse nos parâmetros normativos dos agregados miúdos. O módulo de finura foi igual a 3,48mm e o DMC igual a 1,18mm.

A Figura 02 ilustra a granulometria da brita 0 utilizada na fabricação dos blocos B1, B2 e B3.

Figura 02 - Curva granulométrica da brita



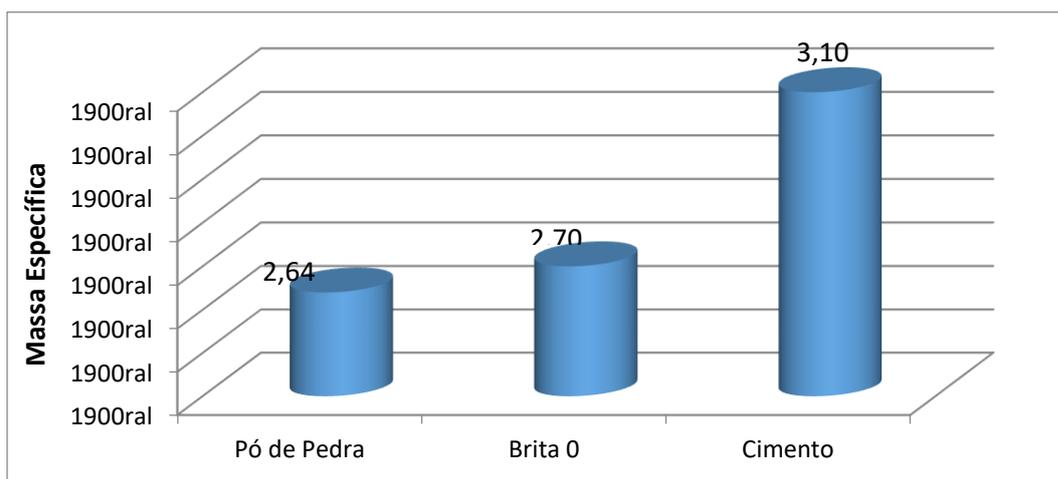
Fonte: Autor, 2016.

A brita 0 está completamente compreendida entre os limites superiores e inferior e apta para a utilização na produção de blocos estruturais ou de vedação. O módulo de finura foi igual a 6,03 e o DMC igual a 12,5mm.

4.2. Massa específica

A Figura 03 apresenta os resultados da massa específica dos agregados utilizados nessa pesquisa.

Figura 03 - Massa específica dos agregados



Fonte: Autor, 2016.

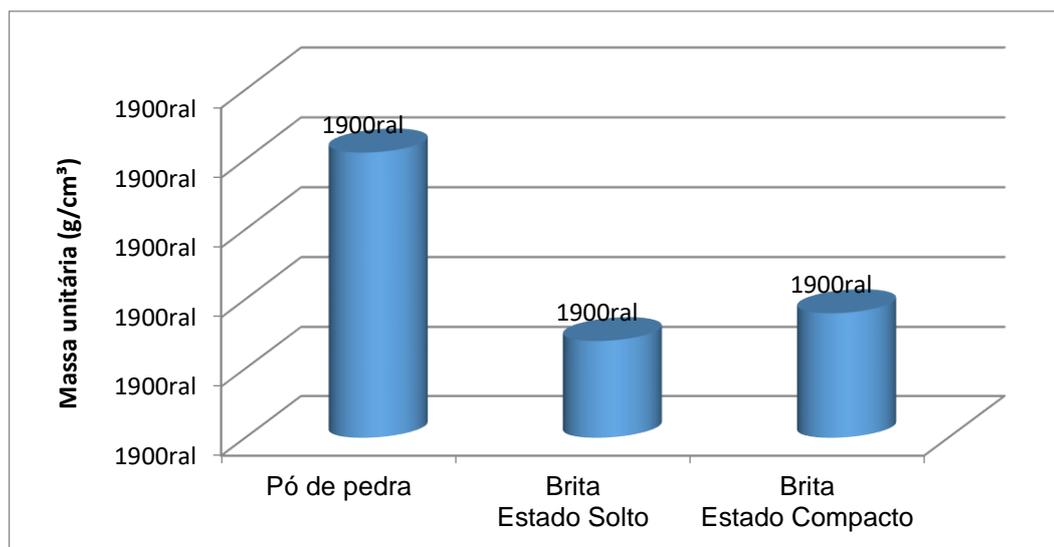
As diferenças entre as medições das massas específicas dos agregados ensaiados não ultrapassaram o limite de 0,05 g/cm³, portanto estão dentro dos padrões

estabelecidos pelas NBR 52/09 e NBR NM 53/09. Os resultados foram satisfatórios, de forma que os agregados pudessem ser utilizados na fabricação do concreto.

4.3. Massa unitária

A Figura 04 apresenta os resultados da massa unitária dos agregados utilizados nesta pesquisa.

Figura 04 - Massa unitária



Fonte: Autor, 2016.

Este ensaio influencia na caracterização dos agregados constituintes do concreto, reduzindo o índice de vazios e uniformizando os grãos dos materiais. Os resultados obtidos são pertinentes aos encontrados na literatura.

4.4. Teor de umidade

As amostras do pó de pedra e brita 0 apresentaram, respectivamente, um teor de umidade com cerca de 1,39 % e 0,16% sendo um resultado satisfatório e que não influenciou no resultado final em relação ao fator água/cimento para a fabricação do concreto pois os agregados foram previamente secos em estufa.

A borracha triturada não demonstrou umidade aparente, devido à característica do material.

4.5. Teor de pulverulento

A amostra de pó de pedra apresentou um teor de pulverulento com cerca de 13,76% sendo um valor relativamente alto devido a quantidade elevada de finos. O resultado

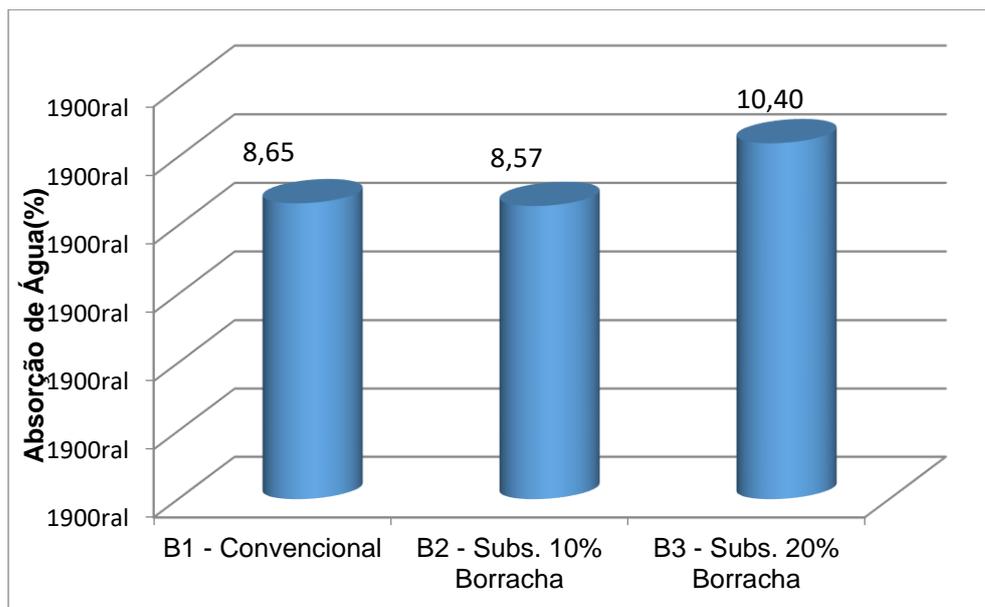
não influenciará no fator água/cimento, pois os blocos são produzidos por vibro prensagem.

4.6. Análise dos blocos

4.6.1. Absorção de água

A Figura 05 mostra os resultados de absorção de água para os blocos B1, B2 e B3.

Figura 05 - Absorção de água



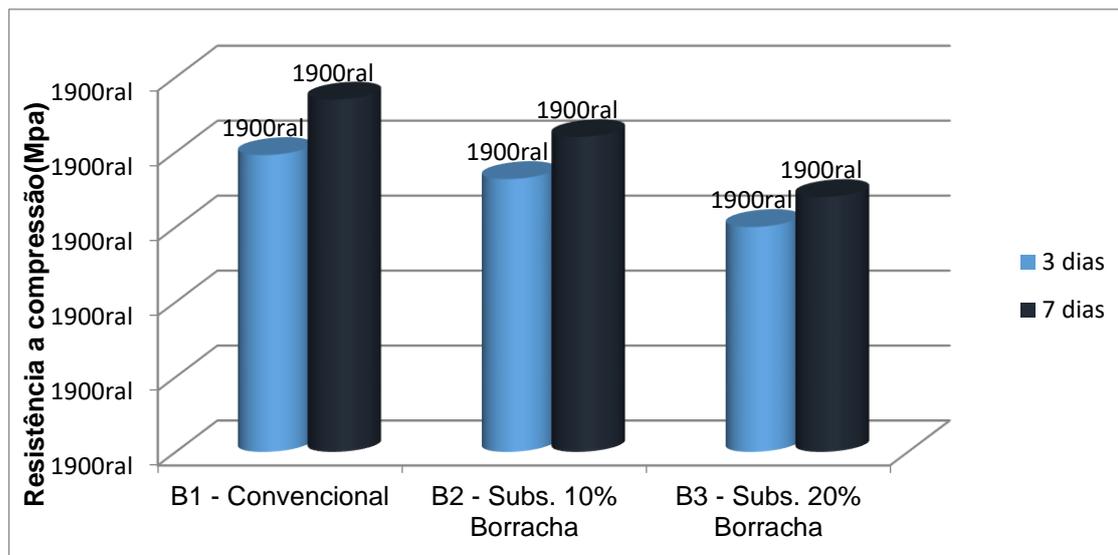
Fonte: Autor, 2016.

Os blocos de concreto produzidos com substituição parcial do agregado miúdo por 10% de borracha obteve uma absorção de água ligeiramente menor do que os blocos convencionais, tornando o resultado positivo e atendendo os parâmetros da NBR 6136/16, por apresentarem absorção média inferiores a 10% que é o valor máximo permitido pela norma. Porém, os blocos com substituição parcial de 20% de borracha ultrapassaram o valor máximo de absorção de água permitido pela norma, no entanto, o valor de absorção ficou muito próximo aos limites normativos. Com o incremento do teor de borracha, os blocos aumentaram a absorção de água, aumentando possivelmente o índice de vazios.

4.6.2. Resistência a compressão dos blocos

Os resultados obtidos dos blocos ensaiados nas idades de 3 e 7 dias podem ser encontrados na Figura 06.

Figura 06 - Resistência característica dos blocos



Fonte: Autor, 2016.

Analisando os valores do bloco B1, constatou-se uma perda de resistência em relação aos blocos convencionais, mais ainda assim dentro do valor mínimo exigido pela norma para blocos sem função estrutural. Uma queda brusca na resistência a compressão pode ser observada nos resultados do bloco B3.

De acordo com a NBR 6136/16, os blocos de concreto sem função estrutural devem obter uma resistência característica à compressão (f_{bk}) ≥ 2 MPa. Os blocos B1 (2,35 MPa), B2 (2,1 MPa) atingiram a resistência mínima normativa de 2 MPa, no entanto o bloco B3 (1,71 MPa) não atingiu. O alto teor de substituição fez com que o bloco B3 não tivesse competência mecânica para atuar como bloco de vedação.

5. CONCLUSÃO

Buscou-se neste trabalho analisar a substituição parcial em 10% e 20% de borracha pelo agregado miúdo para blocos vibro prensados sem função estrutural. Os resultados de caracterização dos agregados foram pertinentes aos encontrados na literatura e nas normas, validando sua utilização na fabricação de blocos de vedação.

Durante a fabricação dos blocos houve uma dificuldade de encontrar uma relação ao fator água/cimento nos traços devido à trabalhabilidade exigida para moldagem dos blocos na vibro-prensa, pois na produção dos traços com a borracha, o colaborador precisou reduzir a quantidade de água a ser adicionada, constatado no teste tátil visual para análise do ponto da mistura. Observou-se então que a mistura teve

menor adição de água e menor tempo de compactação e vibração no processo de fabricação.

No ensaio de resistência à compressão notou-se que conforme aumentada a proporção de borracha nos traços, maior é a perda de resistência. Porém, os blocos com 10% de borracha mesmo com uma perda de resistência mantiveram dentro dos parâmetros mínimos da norma. Pode-se levar em consideração o rompimento dos blocos nas idades de 3 e 7 dias, que com o passar do tempo ganhariam mais resistência e os valores iriam aumentar.

Já nos ensaios de absorção de água, os resultados mostraram um aumento de valor nas amostras com substituição de borracha se comparados aos blocos convencionais. Os blocos com substituição parcial de 20% de borracha apresentaram valores desfavoráveis, ultrapassando os valores aceitáveis pela norma.

De acordo com o planejamento experimental adotado e resultados obtidos, pode-se concluir que o bloco com substituição parcial de 10% de borracha no agregado miúdo encontra-se dentro dos parâmetros da normatização ABNT, que indicam viabilidade para seu emprego para utilização de alvenarias de vedação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12118. - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2014.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.;

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente: Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 258.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html> Acesso em: 03 de maio 2016.;

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.;

RODRIGUES, J. P. C.; SANTOS, C. C. **Resistência à compressão a altas temperaturas do betão com agregados reciclados de borracha de pneu.** CONGRESSO IBERO LATINO AMERICANO SOBRE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO, 2, 2013, Coimbra. Anais. Coimbra: CILASCI, 2013. p. 1-10.