colloquium exactarum

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MORFOLÓGICA DE COMPÓSITOS DE CONCRETO COM RESÍDUOS DE BORRACHA VULCANIZADA

PHYSICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF CONCRETE COMPOSITES VULCANIZED RUBBER WASTE

João Carlos dos Santos Canhada; Daniele Araújo Altran; Hamilton Mitsugu Ishiki; Guilherme Noboru Sassaki Fidelis; Renivaldo José dos Santos

Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Faculdade de Engenharia – FEPP. PIBIC - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
e-mail: jaocanhada@gmail.com, daniele@unoeste.br

RESUMO – O crescimento industrial mundial está cada vez mais interligado com os diversos meios sustentáveis, a fim de diminuir os problemas ambientais causados pelo crescimento desenfreado ocorrido até o momento, um meio alternativo encontrado foi a substituição parcial do agregado miúdo pelo polímero elastomérico. O concreto piloto apresentou uma resistência de 20,5 MPa após o término do período de cura aos 28 dias de idade, já nos concretos confeccionados com a adição do polímero, observou-se uma perda de resistência. Verificou-se também a queda da massa específica, aumento do índice de vazios e absorção de água conforme se adicionava o polímero. Com os resultados então coletados pode-se indicar as possíveis áreas de atuação, tais com: guias, sarjetas e mobiliários urbanos.
Palavras-chave: concreto; polímero elastomérico; sustentável.

ABSTRACT – The advancement of the industry in the world is every day more associated to the many sustainable technologies. Therefore, in order to reduce the environmental issues caused by the uncontrolled growth, the utilization of recycled aggregate made with elastomeric polymer has been found as an alternative for the traditional aggregate. The concrete pilot sample reached the compression strength of 20,5 MPa after the curing time (28 days), whereas for the concrete sample with recycled aggregate a loss in strength was noted. In addition, for this research, the samples with the recycled aggregate presented lower specific weight, higher void ratio and water absorption. Finally, based on the results of this research, the concrete produced with recycled aggregate is suggested to be used in the construction of sidewalks, curbs and urban furniture.
Keywords: concrete; elastomeric polymer, sustainable

Recebido em: 09/08/2017
Revisado em: 25/08/2017
Aprovado em: 29/08/2017

1. INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos descartados está sendo cada vez mais explorada pela construção civil, tendo como o objetivo a incorporação de novas propriedades ao concreto, conservando os materiais finitos usados como o agregado miúdo e graúdo, e diminuindo os impactos ambientais em nossa sociedade.

No Brasil, o setor da construção civil é responsável por cerca de 30% do consumo dos recursos naturais extraídos, o que equivale a 220 milhões de toneladas de agregados naturais por ano, e são destinados à produção de produção de concretos e argamassas (LINTZ; MELLO, 2008).

Quando se elabora um artefato, tem-se os resíduos sólidos gerados no instante de sua confecção e aqueles que são relacionados ao pós-consumo desse material. Nesse contexto, a maior fonte produtora de resíduos sólidos pós-consumo, são os pneus inservíveis, que contêm em sua composição principalmente o copolímero de butadieno e estireno (SBR) e a borracha natural (NR) (GUJEL et al., 2008).

De acordo com o Art. 15 da Resolução CONAMA Nº 416/2009, é vedada a disposição final de pneus no meio ambiente, tais como o abandono ou lançamento em corpos de água, terrenos baldios ou alagadiços, a disposição em aterros sanitários e a queima a céu aberto.

A resolução CONAMA 258, teve alguns acréscimos de detalhes com a resolução 301, onde define as responsabilidades para produtores e importadores de pneus pela destinação final ambientalmente adequada dos pneus inservíveis (MOTTA, 2008), devido à alta periculosidade, já que os mesmos ao serem queimados liberam gases tóxicos e se descartados em um lugar impróprio tornam-se propensos à proliferação de doenças, causadas por insetos.

> A reciclagem de pneus pós-consumo permite minimizar o acúmulo deste resíduo que pode trazer sérios riscos à saúde pública e ao meio ambiente se descartado de maneira inadequada, além de evitar a ocupação de espaço físico, considerando as elevadas proporções geradas (GUJEL et al., 2008).

Desta maneira propõe-se neste artigo um material sustentável contendo polímero elastomérico (sem tratamento algum) que é caracterizado pela capacidade de suportar uma grande deformação antes de sua ruptura, grande durabilidade, flexibilidade entre outros.

Assim haverá um incentivo a uma nova fonte de renda ao invés de custos (uma vez que os mesmos devem ser destinados a aterros específicos, pois não são aceitos em aterros domiciliares), e a redução do uso de um elemento finito, dessa forma, diminuindo

os danos gerados aos ecossistemas para a extração do mesmo.

Estudos do comportamento físico, mecânico e morfológico desses compósitos, para ao fim poder ser identificado suas possíveis áreas de atuação.

2. METODOLOGIA

De acordo com Bauer (2000) agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, e ocupam cerca de 60 a 80% do peso por metro cúbico do compósito (ANDOLFATO, 2002).

Para a elaboração do concreto piloto adotou-se um traço do livro do Silva (1975), o cimento adotado foi o CP-Z-32, determinou-se a massa específica da areia 2,7g/cm³ pelo método do Frasco de Chapman NM 52:2009, granulometria e módulo de finura igual 3,14 de acordo com a NBR NM 248:2003. A brita 1 com diâmetro máximo de 19,1mm foi a utilizada para a elaboração do concreto, sua granulometria e módulo de finura igual a 8, foram determinados seguindo a mesma norma da areia. A massa específica do pó de borracha foi adotada como 1,1 g/cm³ (GIACOBBE, 2008) e sua granulometria e módulo de finura igual a 2,8 foram determinados similarmente a da areia.

Os polímeros elastoméricos passam por um processo chamado de reticulação, que basicamente aumenta a rigidez do material, assim o mesmo pode receber uma carga considerável sem sofrer uma deformação excessiva. O pneu é um material que transmite e recebe esforços gerados pelas acelerações e desacelerações, e certamente possui uma vida útil, após cumprir o que lhe fora destinado e não podendo mais ser restaurado, passa a ser chamado de inservível, e segundo o CONAMA Resolução Nº 416, Art 2, pneu inservível é todo aquele que apresente danos irreparáveis em sua estrutura não se prestando mais para à rodagem ou à reforma.

Foi necessário a realização de algumas correções para a então adição do polímero a mistura cimentícia, já que o mesmo possui uma massa específica inferior à do agregado miúdo.

Seguirá a NBR 12655:2015 para seu preparo, concreto e aceitação e NBR 5738:2016 para a moldagem dos corpos de provas. O teor de umidade na areia será verificado para um exato controle da relação a/c, as substituições começaram a partir de 5%.

As propriedades avaliadas serão: resistência à compressão NBR 5739:2007, morfologia para uma melhor análise da interação pó de borracha e pasta de cimento, a trabalhabilidade no estado fresco *slump test,* NBR NM 67:1998 e de acordo com NBR 9778:2009 a absorção de água, índice de

vazios e massas específicas (seca, após saturação e fervura e real).

Posteriormente o preparo do concreto, se medirá o abatimento do tronco pelo *slump test*, logo após moldar-se-á os corpos de provas cujas dimensões são 10cm de diâmetro e 20 de altura (NBR 5738:2016), deverão permanecer por 24 horas nos moldes, e cumprido esse tempo serão desmoldados e dirigidos a câmara úmida para realização da cura.

Alguns corpos de provas extras serão confeccionados para a determinação da absorção de água, índice de vazios e massas específicas.

Também coletou-se fragmentos a partir das rupturas dos corpos de provas de 7 e 28 dias para a realização dos ensaios de microscopia eletrônica de varredura. Sua finalidade foi a de verificar a dispersão do pó de borracha na matriz cimentícia e para identificar o comportamento de vazios na mesma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os valores decorrentes do *slump test* para os concretos elaborados.

Tabela 1. Abatimento do cone (cm).

	NBR NM 67:1998
Substituição (%)	**(cm)**
0	19
5	19
10	19
15	15

Fonte: Os Autores.

Sabe-se que a resistência do concreto é quem determina o modo com que o mesmo poderá ser utilizado, estrutural ou não, a seguir os resultados obtidos apresentados na Tabela 2.

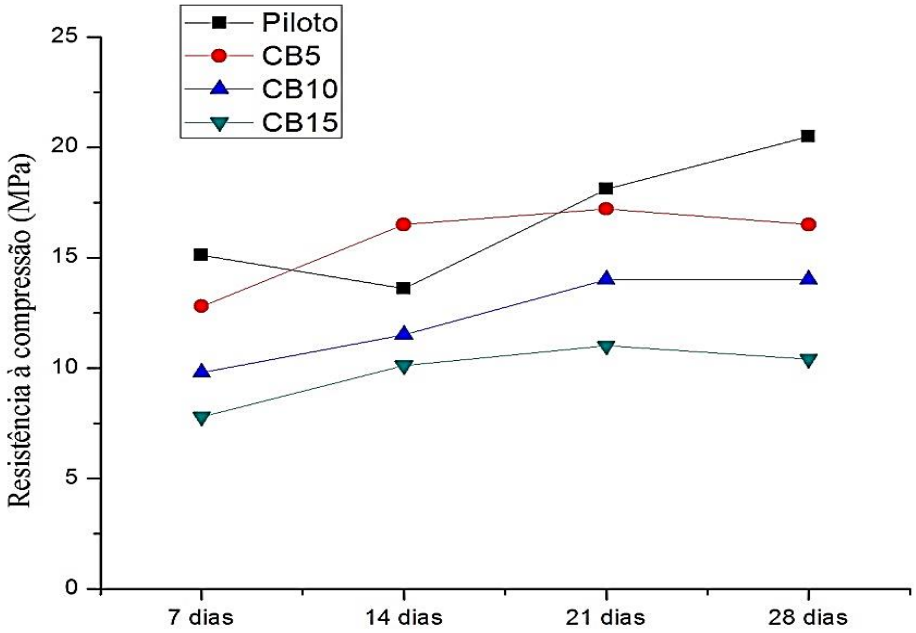
Tabela 2. Média da resistência à compressão (X) (MPa) e desvio padrão (S).

	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
Traço	**X**	**S**	**X**	**S**	**X**	**S**	**X**	**S**
Piloto	15,1	1,15	13,6	1,46	18,1	1,52	20,5	1,61
CAB5	12,8	1,16	16,5	0,86	17,2	0,33	16,5	1,88
CAB10	9,8	0,62	11,5	0,22	14	0,65	14	0,4
CAB15	7,8	0,95	10,1	0,79	11	0,5	10,4	0,81

Fonte: Os Autores.

Segue a representação gráfica dos resultados obtidos, na Figura 1.

Figura 1. Resistência à compressão.



Fonte: Os autores.

As médias e desvios padrões referentes as absorções de água e índice de vazios são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Teor de absorção de água e índice de vazios.

	Teor de Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
Piloto	7,07 ± 0,19	15,89 ± 0,15
CB5	6,40 ± 2,02	14,61 ± 3,54
CB10	10,10 ± 1,98	21,22 ± 3,94
CB15	9,38 ± 0,34	18,52 ± 0,72

Fonte: Os Autores.

A Tabela 4 mostra os valores médios encontrados.

Tabela 4. Massas específicas.

Traço	MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)		
	Seca	Apósa Saturação e Fervura	Real
Piloto	2,25	2	2,67
CB5	2,32	2	2,72
CB10	2,1	2	2,67
CB15	1,97	2	2,42

Fonte: Os Autores.

Segundo Neville (2015), o *slump test* pode ser definido como o esforço necessário para a manipulação de uma quantidade de concreto recém misturado com mínima perda de homogeinidade.

Pode-se notar que até uma adição de 10% o concreto pode ser classificado como fluído, apenas o traço com 15% do polímero apresentou uma redução no abatimento.

Um fator decisivo para esse resultado foi a escolha da relação a/c de 0,6 e a escolha da mesma é justificada tendo em vista que como a massa específica do polímero é menor que a da areia, evidenciava-se que se teria uma maior quantidade de grãos por unidade de volume, assim uma maior quantidade de área superficial a ser molhada, contudo apenas no CAB15 foi evidente.

Assim como já imaginado houve uma redução quanto a resistência à compressão, tal fato pode ser explicado devido ao aumento do índice de vazios, e Marques (2005) afirma que ao lavar o pó de borracha com água, há uma melhora de até 16% em relação a mesma sem a lavagem e que com o uso do solvente tetracloreto de carbono, pode-se melhorar em até 57% essa propriedade.

Nota-se que o CAB5 foi o que apresentou melhor desempenho aos 28 dias de cura em comparação como CAB10 e CAB15, onde o mesmo teve uma perda de apenas 19,5% em relação ao Piloto, obtendo uma resistência de 16,5 MPa, já o CAB10 e CAB15 apresentaram um desempenho inferior, alcançando os valores de 14 e 10,4 Mpa, uma perda de 31,71% e 49,3%.

Percebe-se que o piloto com 14 dias teve um resultado decrescente, fato que pode ser explicado pela moldagem insatisfatória dos corpos de prova escolhidos para esta idade de rompimento.

Teor de absorção de água do concreto expressa o volume total de poros permeáveis, poros que tenham ligação da superfície como núcleo do concreto, já o índice de vazios do concreto determina a quantidade total de poros na estrutura do concreto sejam eles permeáveis ou não (CAMPOS; MANZINI; SILA NETO, 2013).

Nota-se que do piloto para o CAB5 houve uma leve redução de absorção de água e índice de vazios, no CAB10 houve um aumento e no CAB15 uma redução em relação ao CAB10, porém ainda maior que o CAB5.

Ainda não houve um consenso na literatura nos valores encontrados nesta propriedade, segundo Freitas (2007) a adição de borracha em materiais cimentícios diminui a absorção de água do compósito, já Marques (2005) indica que o uso de borracha de pneu em concreto não afeta esta propriedade, deixando como obstáculo para aplicação do concreto sua resistência mecânica e Giacobbe (2008) diz que o aumento da adição de borracha possui total influência no aumento tanto da absorção de água quanto do índice de vazios.

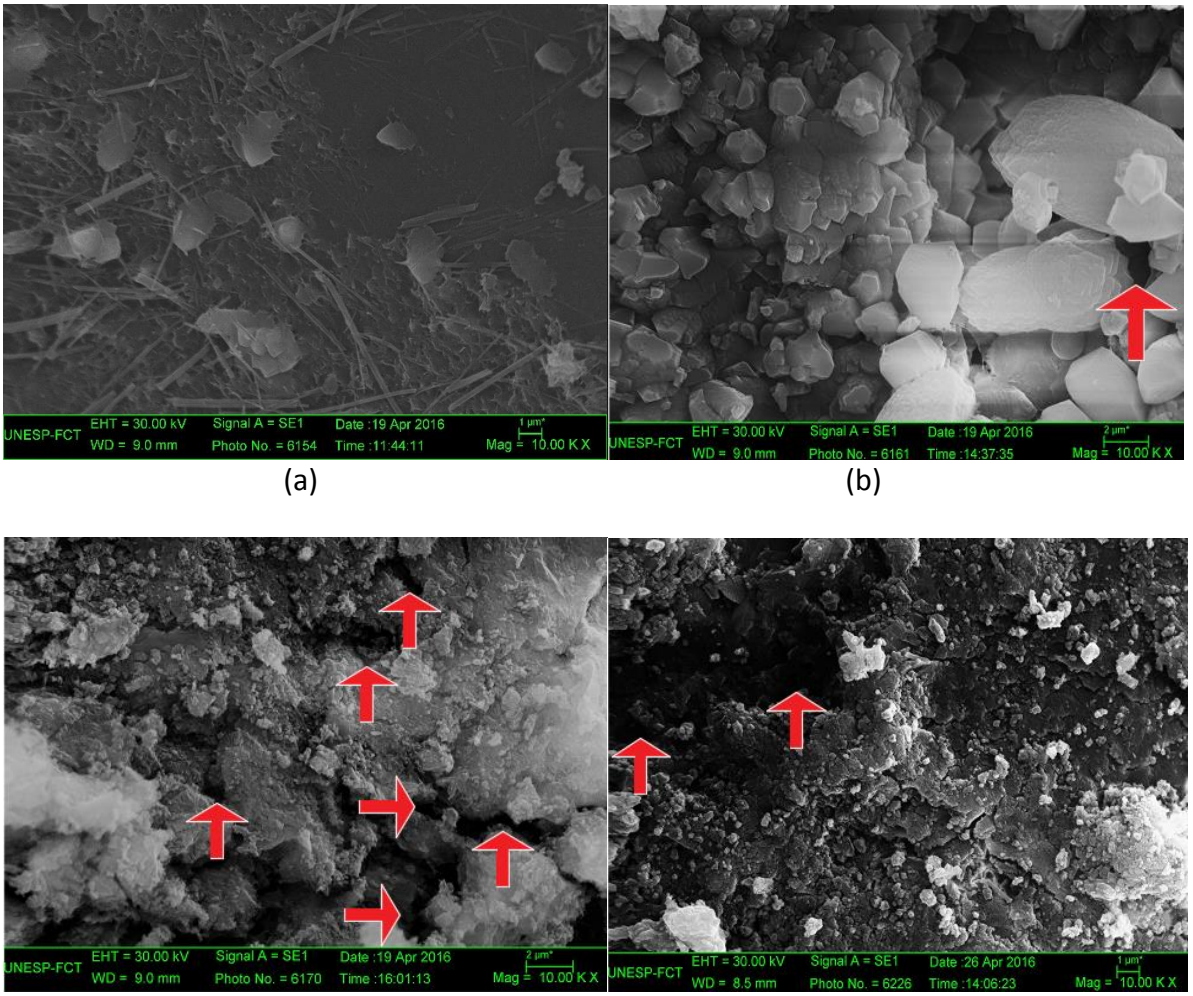
Observou-se que em todos os casos a medida que se aumentou a porcentagem de agregado reciclado houve uma diminuição das massas específicas, tal fato era esperado e facilmente explicado, pois nota-se que a borracha possui valor de massa específica menor que a areia utilizada.

Segundo a NBR 12655:2015, e com os dados obtidos das massas específicas, pode-se então definir os traços como concreto normal, onde suas massas específicas variam de 2 a 2,8 g/cm^3.

Os fragmentos coletados para o MEV foram obtidos após o rompimento total dos

corpos de provas, na Figura 2 estão as imagens dos materiais com 7 dias de cura.

Figura 2. Imagens MEV para corpos de prova com 7 dias de cura, Piloto$_{(a)}$, CAB5$_{(b)}$, CA10$_{(c)}$, CAB15$_{(d)}$.



(a) (b)

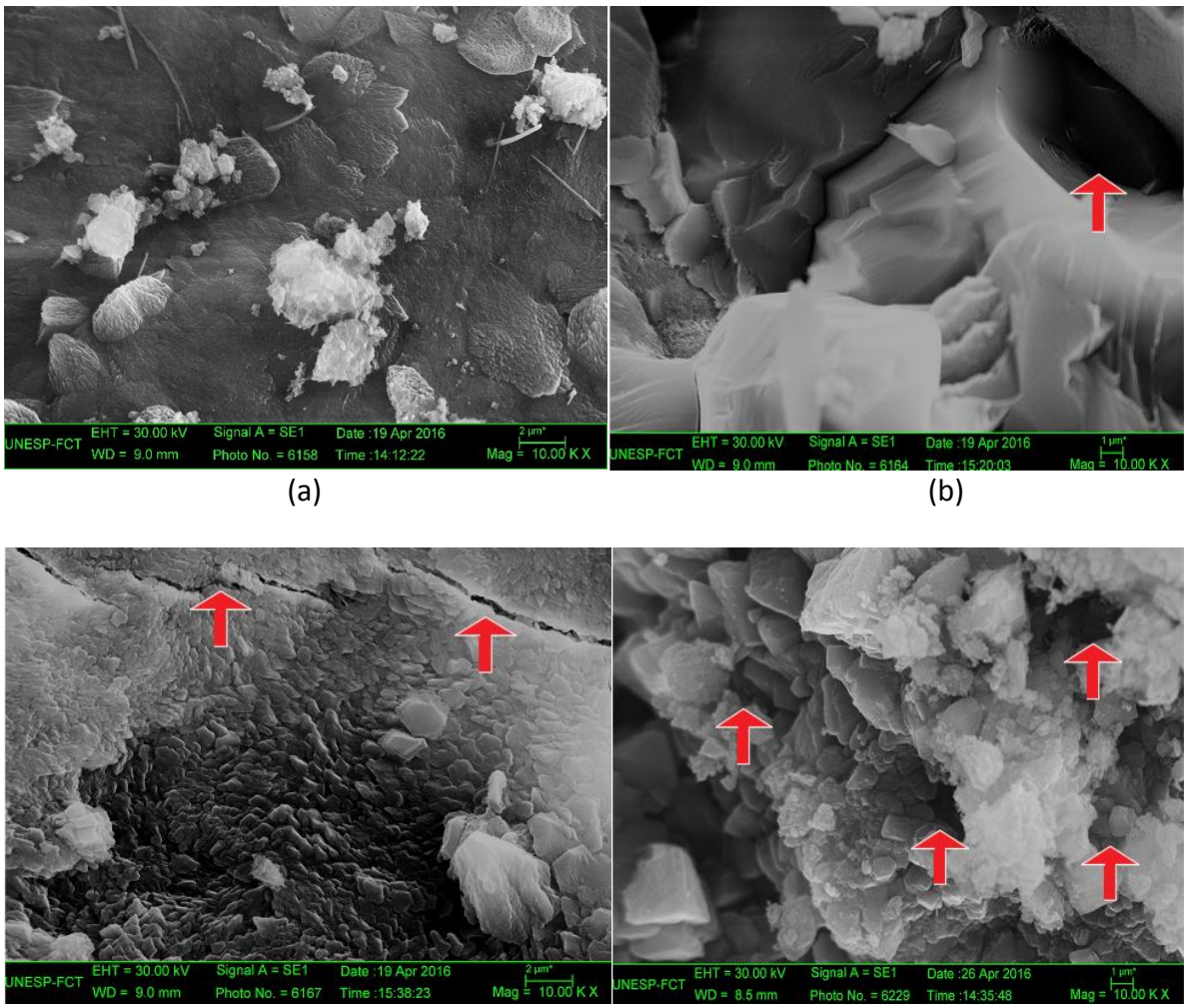
(c) (d)

Fonte: Os Autores.

Nota-se que na Figura 2 CB15 foi o que possuiu uma superfície mais uniforme, há uma região com poros, porém na sua totalidade está mais homogênea, a imagem do CAB5 não é tão clara, por causa da pouca adição de pó de borracha, o CAB10 é a imagem que mais observou-se poros que estão indicados com flechas vermelhas, lembrando que ainda não havia ocorrido 100% de cura, a cura do concreto é de fundamental importância para que as reações químicas de hidratação ocorram entre os materiais (DINIZ et al., 2012).

As imagens do MEV para os fragmentos que foram submetidos a 28 dias de cura estão expostas na Figura 3.

Figura 3. Imagens MEV para corpos de prova com 28 dias de cura, Piloto$_{(a)}$, CAB5$_{(b)}$, CA10$_{(c)}$, CAB15$_{(d)}$.



(a) (b)

(c) (d)

Fonte: Os autores

Com 28 dias de cura pode-se ver na Figura 3 que o CAB5 manteve o mesmo comportamento, o vazio existente possivelmente foi devido ao desprendimento de algum material após o rompimento, o CAB10 foi o que possui uma melhor superfície, contudo nota-se formação de uma trinca na mesma e o CAB15 o que obteve uma maior quantidade de poros, após o rompimento notava-se que o CAB15 havia ficado mais poroso, assim como observa-se no

MEV, porém nos cálculos o mesmo teve um valor menor que o CAB10, tal resultado pode ser explicado devido à pouca quantidade de amostras.

4. CONCLUSÃO

Com os dados obtidos neste trabalho a respeito da possível reutilização de pneus inservíveis gerados e seu potencial para a degradação do meio ambiente caso seja depositado de maneira incorreta, conclui-se que:

O material reciclado utilizado pode ser classificado como agregado miúdo, mesmo que ainda possuindo uma granulometria um pouco mais fina.

Mesmo com a adição do pó de borracha a trabalhabilidade se manteve até o CAB10, apenas no CAB15 houve uma redução, porém, ainda mantendo uma boa trabalhabilidade.

Quanto a resistência, a do CAB5 é satisfatória para a fabricação de Guias e Sarjetas que exigem uma resistência mínima de 15 MPa aos 28 dias (NORMA DNIT 020/2006), o CAB10 e CAB15, são aceitáveis para serem utilizados na fabricação de mobiliários urbanos, tais como: bancos e mesas de praças, entre outros.

A absorção de água e índice de vazio tiveram uma redução no CAB5, contudo ao acrescentar mais pó de borracha seus valores começaram a crescer.

Com a diminuição das massas específicas têm-se estruturas mais leves, promovendo economia no dimensionamento das fundações.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 248 – Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. NBR 5738 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. NBR 5739 – Concreto: Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ABNT. NBR NM 67 – Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ABNT. NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. NBR 12655 – Concreto de cimento Portland: Preparo, controle, recebimento e aceitação-Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ANDOLFATO, R. P. Controle tecnológico básico do concreto. Ilha Solteira: [s. N.], 2002.

BAUER, F. L. A. Materiais de Construção. 5. ed. São Paulo: LTC, 2000. v. 1, p. 63.

CAMPOS, C. F. S.; MAZINI, G. B.; SILVA NETO, G. A. Análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com resíduo sólido de cerâmica vermelha. Colloquium Exactarum, p. 01-11, 2013.

CONAMA. Resolução N°258, Art. 2, de 26 de agosto de 1999.

CONAMA. Resolução N°416, Art. 2, de30 de novembro de 2009.

CONAMA. Resolução N°416, Art. 15, de 30 de novembro de 2009.

DINIZ, H. A. A. et al. Influência do processo de cura em concreto convencional em seis idades. In: CONNEPI - CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7. 2012.

FREITAS, C. Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas. 2007. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, 2007.

GIACOBBE, S. Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneus. 2008. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2008.

GUJEL, A. A. et al. Incorporação de Pó de Pneu em uma Formulação para Banda de Rodagem de Pneu de Motocicleta. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 18, n. 4, p. 320-325, 2008.

LINTZ, R. C. C.; MELLO, M. Y. C. Estudo das propriedades mecânicas de compósitos de cimento com borracha de pneus inservíveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS CBECiMat. Anais... Porto de Galinhas, 2008. p. 213-029.

MARQUES, A. C. Estudo da influência da adição de borracha vulcanizada em concreto à temperatura ambiente e elevada temperatura. 2005.

Neville, A. M. Propriedades do concreto – 5ª Edição. São Paulo: Bookman, 2015.

SANTOS, A. V.; DE BORJA, E. V.. Avaliação das Propriedades Mecânicas de Blocos Intertravados com Resíduo de Pneu Reciclado. HOLOS, v. 3, p. 52-60, 2008.

SILVA, G. R. Manual de traços de concreto. São Paulo: Nobel, 1975.