

FACULDADES INTEGRADAS DE BAURU
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Ricardo Pascoalín Maccorin

Mateus Martinão Gonçalves

**O EMPREGO DA BORRACHA DE PNEU RECICLADA E DA CINZA DO
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA MISTURA DO CONCRETO: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

BAURU
2017

Ricardo Pascoalín Maccorin

Mateus Martinão Gonçalves

**O EMPREGO DA BORRACHA DE PNEU RECICLADA E DA CINZA DO
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA MISTURA DO CONCRETO: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado às Faculdades
Integradas de Bauru para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Civil, sob a coordenação da
disciplina de TCC.**

BAURU

2017

MACCORIN, Ricardo Pascoalín; GONÇALVES, Mateus Martinão

O emprego da borracha de pneu reciclada e da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na mistura do concreto: revisão bibliográfica. - Ricardo Pascoalín Maccorin, Mateus Martinão Gonçalves. Bauru, FIB, 2017. 48f.

Monografia, Graduação em Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Bauru

Coordenador: Elaine Câmera

1. Concreto. 2. Borracha de Pneus. 3. Bagaço da Cana-de-açúcar. I. O emprego de borracha de pneu reciclada e da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na mistura do concreto: revisão bibliográfica II. Maccorin, Ricardo. Gonçalves Mateus. III. Faculdades Integradas de Bauru.

CDD 620

Ricardo Pascoal Maccorin

Mateus Martinão Gonçalves

**O EMPREGO DA BORRACHA DE PNEU RECICLADA E DA CINZA DO
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA MISTURA DO CONCRETO: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado às Faculdades
Integradas de Bauru para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Civil.**

Bauru, 11 de Novembro de 2017.

Banca Examinadora:

Presidente/ Coordenador: Elaine Câmara

Professor 1: Glauce Alves Tonelli

Professor 2: Luiz Carlos Izzo Filho

**BAURU
2017**

AGRADECIMENTOS

Do acadêmico Ricardo Pascoal Maccorin

Primeiramente a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior Mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais “Maccorin” e “Val”, pelo amor e incentivo dispensado a mim e todo o suporte para a minha formação.

À coordenadora do curso de engenharia civil e também orientadora Elaine Câmara, pela participação e paciência em nos ensinar.

À todos, que de alguma maneira me ajudaram, não só para a conclusão desse projeto, mas no curso como um todo, muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Do acadêmico Mateus Martinão Gonçalves

Agradeço primeiramente a Deus, por esta oportunidade e pela força em superar as dificuldades.

À nossa família pelo apoio e incentivo nesse período de formação e à todas as pessoas que, de alguma forma, me ajudaram e estiveram ao meu lado nessa etapa.

À minha coordenadora e orientadora, Prof. M.^a Elaine Câmara, pela atenção que nos deu, correções e incentivos.

Às Faculdades Integradas de Bauru, em destaque o departamento de Engenharia Civil por todo o apoio, aos professores por tudo que me ensinaram e contribuíram para minha formação.

*“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará ao seu tamanho original.”*

Albert Einstein

MACCORIN, Ricardo Pascoalini; GONÇALVES, Mateus Martinão. **O emprego da borracha de pneu reciclada e da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na mistura do concreto: revisão bibliográfica.** 2017. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - FIB. Bauru, 2017.

RESUMO

Com o crescimento do ramo da construção civil é necessário se pensar em materiais que podem diminuir o impacto causado pelo homem ao meio ambiente. Um dos grandes problemas no setor é a extração de minérios e descartes de resíduos, onde a necessidade de se buscar materiais alternativos para a diminuição desses poluentes se mostra importante. Muitos materiais se mostram viáveis à utilização na construção civil. No caso deste trabalho, foi observado o comportamento de dois diferentes materiais que, com características diferentes, modificam o concreto. Este trabalho teve como objetivo um levantamento bibliográfico sistematizado, onde observou-se os resultados da incorporação de raspas de borracha de pneus inservíveis e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar no concreto. Foi percebido que, para tal incorporação, os autores substituíram ou adicionaram estes dois materiais na mistura do concreto, chegando a diversos resultados quanto às propriedades físicas e químicas da mistura.

Palavras-chave: Concreto. Borracha de Pneu. Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar.

MACCORIN, Ricardo Pascoalini; GONÇALVES, Mateus Martinão. **The use of recycled tire rubber and sugarcane bagasse ash in concrete mix: bibliographical review.** 2017.48f. Final Paper (Undergraduate in Civil Engineering) – FIB. Bauru, 2017.

ABSTRACT

With the increasing of Civil Construction's sector, is necessary to think about materials that can reduce the environment's impact caused by the man. One of the big problems in the area is the minerals' extraction and the waste disposal, where the need of searching for alternative materials to reduce these pollutants are very important. Many materials showed themselves as viable for their use in civil construction's area. In this final paper case was noticed the behavior of two different materials that, with distinct characteristics, modify the concrete mass. This Project had as objective a systematized bibliographical survey, where was showed the results of the mixture, that consists on the joint of tire rubber residues and the sugarcane bagasse ash in the concrete. Was noticed that, for that incorporation, the authors replaced or added these two elements in the mix of the concrete mass, getting to several results as about physical and chemical properties.

Keywords: Concrete mass. Rubber tire. Sugarcane bagasse ash.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

		P.
Figura 1	Operação de raspagem do pneu a ser recauchutado	18
Figura 2	Detalhe da raspagem do pneu a ser recauchutada	18
Figura 3	Detalhe da ferramenta rotativa de raspagem de pneus	19
Figura 4	Borracha reciclada	20
Figura 5	Imagem do desgaste do CR com CAB 5, 10 e 15	26
Figura 6	Moagem da CBC	33
Figura 7	Aspecto da cinza não moída	34
Figura 8	Cinza após a moagem	34
Figura 9	(a) Aspecto da cinza leve; (b) Aspecto da cinza pesada.	37

LISTA DE QUADROS

	P.
Quadro 1 – Borracha de pneus na construção civil	40
Quadro 2 – Cinza do bagaço da cana - de - açúcar	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos

CAB – Concreto com Adição de Borracha

CAD – Concreto de Alto Desempenho

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CBC – Cinza do Bagaço da Cana

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Cimento Portland

CP – Corpo de Prova

CR – Concreto Referência

IBRACON - Instituto dos Auditores Independentes do Brasil

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

SciELO - Scientific Electronic Library Online

T1 - Traço 1

T2 - Traço 2

T3 - Traço 3

T4 - Traço 4

T5 - Traço 5

T6 - Traço 6

T7 - Traço 7

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivo Geral	15
1.3	Objetivo específico	16
1.4	Estrutura do trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	O emprego da borracha como agregado na mistura do concreto	17
2.1.1	O processo de extração da borracha de pneus inservíveis e a reciclagem	18
2.1.2	A adição da borracha de pneus na mistura do concreto para a construção civil	21
2.1.3	A substituição da borracha de pneus na mistura do concreto para a construção civil	24
2.2	O emprego da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado na mistura do concreto	30
2.2.1	A adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na mistura do concreto para a construção civil	30
2.2.2	A substituição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na mistura do concreto para a construção civil	31
2.2.3	O processo de extração da cinza do bagaço da cana-de-açúcar	36
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	39
4	DESENVOLVIMENTO	40
4.1	Borracha de Pneu	40
4.2	Cinza do bagaço da cana-de-açúcar	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a necessidade de se pensar na saúde ambiental vem crescendo, principalmente no setor industrial, no qual ocorrem a extração de minérios, os descartes de resíduos e a emissão de gases poluentes. Na construção civil não é diferente, a exploração de materiais, a geração de resíduos e a utilização de sistemas ultrapassados no que se refere ao uso de novos materiais, acabam gerando consequências ambientais.

Recentemente, vários pesquisadores vêm estudando novos tipos de materiais que, devido ao seu emprego, podem diminuir ou até mesmo extinguir o impacto que a construção civil causa no meio ambiente. Por meio da mineração, o cimento e a areia são extraídos do solo, no qual podem provocar grande impacto ambiental. Uma alternativa para a diminuição do uso desses recursos naturais e a diminuição do impacto que elas ocasionam é utilização de materiais alternativos como matéria-prima, tais como os resíduos industriais (ALWAEELI, 2013).

A melhor alternativa para utilização de resíduos seria a reutilização de materiais que seriam descartados ou ainda com poucas finalidades para a reciclagem. Sendo assim, dois materiais se mostram proveitosos para a utilização como matéria-prima na mistura do concreto. Um deles é o uso das raspas de pneus inservíveis, e o outro é composto de cinzas de bagaço da cana-de-açúcar, ambos com distintas características mecânicas. Além das questões ambientais envolvidas, tende a ser promovida uma economia de custos no emprego de tais materiais na construção civil.

Tais materiais foram submetidos a diferentes tipos de ensaios (SILVEIRA *et al.* 2016; SAMPAIO *et al.*, 2014; VERZEGNASSI *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2011; DANTAS *et al.*, 2009; ALBUQUERQUE *et al.* 2006; SANTOS; BORJA, 2005) para testar suas capacidades e empregabilidade na construção civil, tanto a borracha, quanto a cinza do bagaço da cana-de-açúcar foram substituídas (parcialmente) ou adicionadas na massa total do concreto, ora, pelo agregado miúdo (areia), ora pelo agregado graúdo (brita), e até mesmo ensaios com a substituição parcial do cimento.

A presente pesquisa teve como objetivo explorar os usos recentes de materiais recicláveis, como a borracha de pneus inservíveis e a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, na constituição da mistura do concreto. Para isso, foi realizada uma

pesquisa bibliográfica sistematizada usando as palavras concreto, cinza do bagaço da cana-de-açúcar e borracha de pneus, onde seus resultados foram expressos por meio de tabelas comparativas.

1.1 Justificativa

Com o avanço da construção civil, está cada vez mais comum a busca por novos materiais que diminuam o impacto no meio ambiente. A reciclagem de resíduos sólidos vem sendo muito estudada, pois se trata de materiais que seriam descartados e considerados lixo e se mostram bastante promissores na substituição de alguns materiais já utilizados no setor da construção civil, ou ainda, na adição de algumas misturas como a do concreto. Da mesma forma, a reciclagem e utilização de determinados agregados que seriam descartados, podem representar algumas diminuições futuras em custos de matéria-prima consumida.

Muitos pesquisadores têm obtido resultados expressivos ao inserir resíduos sólidos no concreto, atingido eficiência e bom custo. Dois tipos de materiais se destacam por conta de sua abundância e diferentes características mecânicas: a borracha do pneu reciclada e moída e a cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Suas características específicas, que quando incorporados ao concreto – e devido a suas propriedades plásticas e pozolânicas, respectivamente, podem ser muito utilizados no futuro, respeitando as devidas proporções realizadas em cada estudo e os resultados.

1.2 Objetivo geral

Buscar, por meio de uma Pesquisa Bibliográfica sistematizada, os possíveis empregos e resultados, positivos e/ou negativos, tanto na adição, quanto na substituição de componentes da mistura para o concreto, ora por borracha reciclada, ora por cinza de bagaço da cana-de-açúcar.

1.3 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, inferir quais as possíveis formas de aplicação de tais materiais reciclados e alternativos que demonstrem resultados satisfatórios, a fim de serem futuramente empregados na construção civil.

1.4 Estrutura do trabalho

A estrutura deste trabalho é composta de introdução, desenvolvimento, metodologia, resultados e considerações finais.

Como se trata de um trabalho exploratório, realizado por meio de uma pesquisa bibliográfica, a estrutura apresentada engloba, especificamente, dois subcapítulos, no que se refere ao desenvolvimento, sendo um deles sobre o emprego da borracha de pneus inservíveis e o outro sobre o emprego da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na construção civil, tendo como base os ensaios laboratoriais desenvolvidos em diversas universidades brasileiras.

Na pesquisa bibliográfica foi possível identificar nos ensaios os tipos de materiais utilizados e também o modo de extração de cada um, tanto das raspas da borracha, quanto da cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo do trabalho versará sobre a adição da borracha proveniente do reaproveitamento de pneus inservíveis, assim como da adição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar na composição de concreto para a construção civil. Da mesma forma, a pesquisa bibliográfica realizada procurou esmiuçar o avanço na utilização de tais técnicas, seus estudos e ensaios laboratoriais para promover sua inclusão em usos extra laboratoriais.

2.1 O emprego da borracha como agregado na mistura do concreto

A fabricação de pneus em território brasileiro começou em 1936, desde então foram produzidos cerca de 1 bilhão de novos pneus, onde o descarte, em grande maioria das vezes, é de forma irregular, com queimas sem controle e emissões de gases poluentes, ou então são depositados em áreas livres, tais como terrenos baldios e rios (KAMIMURA, 2002), gerando possíveis risco de saúde pública.

Apenas em 2016 foram produzidos cerca de 67 milhões de pneus, segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2017), sendo considerado um grande volume. Dessa forma, se faz necessário o estabelecimento de alternativas para a destinação de todos os pneus classificados como inservíveis, ou seja, que não têm mais utilidade para o fim pelo qual foi produzido. Muitos pesquisadores (SILVEIRA *et al.* 2016; VERZEGNASSI *et al.*, 2011; ALBUQUERQUE *et al.* 2006; SANTOS; BORJA, 2005) têm estudado a possível incorporação desses pneus inservíveis na construção civil.

Os primeiros estudos de utilização da borracha de pneus na forma moída como agregado na mistura do concreto foram realizados por Eldin e Snoucci (1993). Os autores concluíram que ao substituir parte da areia que compõe a mistura por borracha moída, ocorre uma perda da resistência mecânica que vai de 25 a 85%. Entretanto, os autores também notaram que houve perda menor de resistência quando a borracha moída é substituída por agregado miúdo.

2.1.1 O processo de extração da borracha de pneus inservíveis e a reciclagem

Por meio de um processo mecânico, realizado por um equipamento chamado “raspadeira”, (figura 1,2 e 3) composto por cilindros e com ranhuras que ocasionam a raspagem na sua superfície de rodagem, os resíduos dos pneus são extraídos (SANTOS; BORJA, 2005).

Figura 1: Operação de raspagem do pneu à ser recauchutado



FONTE: Martins (2005, p. 31)

Figura 2: Detalhe da raspagem do pneu à ser recauchutado



FONTE: Martins (2005, p. 32)

Figura 3: Detalhe da ferramenta rotativa de raspagem de pneus



FONTE: Martins (2005, p. 32)

Após essa etapa, é preciso um segundo processo, denominado de recuperação da borracha, que pode ser tanto um processo físico, como químico. No primeiro, as ligações tridimensionais do elastômero são quebradas por distintas fontes de energia. Já para o reaproveitamento da borracha no método químico são usados agentes químicos sob pressão e temperaturas elevadas. (KAMIMURA, 2002).

Um terceiro passo é o processo de restauração. Nele, é necessário separar a borracha vulcanizada de outros materiais que compõem o pneu, como as fibras de náilon e aço; após isso, o pneu passa por um processo de trituração onde as lascas são separadas pelo mecanismo de peneiramento. Para o processo de desvulcanização, a borracha passa por uma série de processos químicos. Assim que estiver desvulcanizada, a borracha é refinada por moinhos até a geração de uma massa uniforme. (MARQUES, 2005).

Após o processo de regeneração da borracha, o produto resultante pode ser considerado como uma matéria-prima para a produção de elementos como pisos industriais, bolas de borracha, tapetes, solados de calçados e quadras esportivas. A quantidade média de borracha recuperada para a fabricação desses produtos, pode chegar até 15%, no caso de produtos como mantas e lençóis utilizados na indústria

têxtil e tem um potencial para chegar em 100%. (MARQUES, 2005; KAMIMURA, 2002).

Depois de consumida por completo, a borracha do pneu não pode ser utilizada novamente, porém, existem processos que podem ser realizados para aumentar da vida útil do pneu, onde é feita a substituição dos componentes mais desgastados. Nesse caso, pode ocorrer uma reutilização do pneu para o fim que fora criado. Todavia, nesse trabalho, o processo de reciclagem de componentes para um fim diferente daquele para o qual produzido é o ponto principal, exclusivamente a borracha e sua adição ao concreto ou substituição de algum dos componentes da mistura por ela, na figura 4 pode-se ver a borracha reciclada.

Figura 4: Borracha reciclada



FONTE: Verzegnassi *et al.* (2011, p.102)

Com a grande quantidade de pneus inservíveis gerado no país, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou a resolução nº 258, em 1999, com a intenção de minimizar os impactos gerados pelo descarte dos pneus ao meio ambiente. Essa resolução refere-se à busca de soluções ambientalmente adequadas e seguras para o descarte desses pneus. (CONAMA, 1999).

Em complementação, está em vigor a Resolução do CONAMA nº 416 de 30 de setembro de 2009, onde é estabelecido que os fabricantes e importadores de pneus novos devem implantar, nos municípios acima de 100.000 (cem mil) habitantes, pelo menos um ponto de coleta no prazo máximo de até 1 ano, a partir da publicação da Resolução. No art. 3º dessa Resolução, para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação adequada a um pneu inservível. (CONAMA, 2009).

Dessa forma, uma das destinações da borracha desses pneus tem sido para os estudos sobre a inserção na construção civil, visto que em pavimentação, na adição da borracha ao asfalto, já há uso aplicado. A inserção da borracha como agregado na mistura do concreto pode diminuir o consumo de areia e, conseqüentemente, seu impacto ambiental.

Resíduo pode ser definido como tudo aquilo que não seria reaproveitado nas indústrias, comércios, residências e até mesmo em atividades humanas. Indústrias como metalúrgica, automotiva, química, têxtil, alimentícia, madeireira entre outras, são setores com alto índice de geração de resíduos. Esses lixos residuais são variados tais como cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, pastichos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros, cerâmicas, entre outros. Com todo esse lixo, é necessária uma reciclagem especial, pois são materiais com alto potencial poluidor da natureza. (COLEFAR, 2014).

Ao longo do tempo, a extração de areia natural pode ocasionar o assoreamento dos rios e lagos, trazendo prejuízos ao meio ambiente. A extração de areia no Brasil atinge, anualmente, a faixa de 320 milhões de metros cúbicos. O consumo da areia tende a aumentar, pois a construção civil vem crescendo ao passar dos anos. (KUCK, 2004).

2.1.2 A adição da borracha de pneus na mistura do concreto para a construção civil

A fim de melhorar a aderência entre o cimento e as partículas de borracha Segre (2000) tratou superficialmente as partículas de borracha com soluções de NaOH (Hidróxido de Sódio), onde houve uma melhora significativa na união dos materiais após a adição na mistura. Além disso, para o concreto com adição de

borracha (CAB) tornar-se mais eficiente, Albuquerque (2006) analisou três diferentes tipos de tratamento superficial na borracha que fora adicionada ao concreto, são eles: tratamento por aditivo vinílico, por aditivo acrílico e por aditivo estireno-butadieno. Os resultados encontrados por Albuquerque (2006) mostraram-se satisfatórios em relação à tração mensurada.

Da mesma forma, Accetti e Pinheiro (2000) experimentaram a inclusão de fibras de borracha ao concreto e apuraram que o ao misturá-los, a borracha trabalha como barreira, intervindo no aparecimento de fissuras após 28 dias. Esse processo se iniciou durante a cura do cimento, onde as fibras da borracha retiveram as microfissuras, impedindo seu desenvolvimento em períodos posteriores.

Segundo Nirschl (2002), a granulometria das partículas de borracha é um fator que influencia as propriedades mecânicas do concreto com adição da borracha (CAB). O autor concluiu que as fibras que medem de 0,8 mm até 2,38 mm, quando adicionadas ao concreto, em comparação às menores, obtiveram um desempenho melhor na resistência do concreto. Já as fibras de tamanhos inferiores a 0,8 mm, não mostraram valores significativos em relação à resistência.

Martins e Akasaki (2005), ao compararem o concreto de alto desempenho (CAD) com a adição de borracha, formando um CAB, observaram que a substituição de 11,35% do volume da areia pelo polímero ocasionou uma redução de 20% na resistência à compressão. Ao inserir a borracha no CAD, notou-se um comportamento diferente ao convencional, tornando assim o material mais dúctil e uma diferença no tipo de ruptura.

Em ensaios realizados por Martins e Akasaki (2005), com a incorporação de partículas finas, médias e graúdas na massa de concreto, foi constatada que, no caso da adição de partículas finas, houve um menor prejuízo à resistência do concreto. No mesmo estudo, o autor também apurou uma menor trabalhabilidade ao ser adicionada a borracha ao concreto. Da mesma forma, o autor enfatizou que o diâmetro granulométrico das partículas de borracha exerce uma influência na resistência mecânica do concreto, quanto maior a adição, menor essa resistência.

Em relação à adição de borracha de pneus na mistura do concreto, Albuquerque (2006) constatou que há uma diminuição, tanto na resistências à tração, quanto à compressão, porém, a mistura demonstra uma maior capacidade de deformação, apontando para uma maior propriedade de absorção de energia, quando comparado ao concreto convencional. Além disso, o autor afirma que esse

desempenho está relacionado ao fato da borracha possuir grande capacidade de deformação elástica, conseguindo desenvolver um concreto com menores possibilidades de fraturas.

Verzegnassi *et al.* (2011) elaboraram três traços de concreto com adição de 1%, 3% e 6% de borracha em relação à massa de cimento, e 1 traço sem a adição como forma de comparação. Os autores realizaram os ensaios por meio de corpos de prova de acordo com a NBR 5738/08 (ABNT, 2008b), no qual é moldado um corpo de prova cilíndrico de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Foram feitos também ensaios de ruptura à compressão e ensaios para a determinação do módulo de elasticidade. Para os ensaios de ruptura à tração na compressão diametral, feitos conforme a NBR 7222/94 (ABNT, 1994), os mesmos autores utilizaram corpos de provas de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura. Os ensaios foram realizados aos 3 e 7 dias de idade.

Verzegnassi *et al.* (2011) também observaram que ao realizar o teste aos 3 dias de idade, verificou-se um aumento da resistência à compressão cada vez que era adicionada a borracha ao concreto. Os autores argumentam que o aumento da resistência está relacionado diretamente à adição da borracha sem alterar o fator água/cimento. Pode-se observar também que o consumo de água aumentou na mistura, devia a presença da borracha. O desempenho do concreto melhorou nos primeiros dias, isso ocorreu com todos os traços. Porém, aos 7 dias houve uma perda de resistência à compressão e, segundo os autores, essa perda está relacionada à adição de borracha, pois quanto mais se adiciona borracha, mais o concreto ia perdendo resistência. Foi concluído que existe uma relação direta entre o aumento da porcentagem de borracha adicionada no concreto e a perda de resistência aos 7 dias de idade.

Os autores perceberam que, ao adicionar a borracha na mistura para os ensaios de tração por compressão diametral, houve uma melhora em relação ao concreto comum, também aos 7 dias de idade. Ao obter o ensaio de tração ocorreu uma que na resistência ao adicionar mais de 3% de borracha na mistura. O módulo de elasticidade foi percebido um aumento com a adição da borracha na mistura, porém seria necessário ensaios mais elaborados e com 28 dias de idade. (VERZEGNASSI *et al.*, 2011)

2.1.3 A substituição da borracha de pneus na mistura do concreto para a construção civil

Além da possibilidade de encontrar estudos que utilizam a adição de borracha reciclada em misturas de concreto e seu emprego na construção civil, da mesma forma alguns pesquisadores têm buscado esclarecer também que a substituição de algum agregado, seja gráudo ou miúdo, pela borracha pode trazer resultados promissores e usos futuros.

A substituição do agregado gráudo do concreto por partículas grandes de borracha foi estudada por Topçu (1995), os resultados não foram significativos, pois a nova mistura, depois de finalizada apresentou perda de propriedades mecânicas presentes na anterior, tais como resistência à compressão, à tração e à flexão. No entanto, a capacidade para absorver a energia plástica aumenta após a substituição pela borracha, o que permite que o material sofra grande deformação antes de sua ruptura. Além disso, foi constatado um aumento no índice de fragilidade do concreto na substituição de 15% por borracha e, por outro lado, uma diminuição dessa fragilidade quando substituído de 30% a 45% por borracha no concreto. Com a diminuição neste índice de fragilidade, a capacidade de deformação do concreto aumenta antes da ruptura.

Toutanji (1996) analisou a substituição de 25%, 50%, 75% e 100% dos agregados gráudos do concreto por borracha e concluiu que a perda da resistência à compressão, conforme aumenta a substituição por borracha, é o dobro da perda da resistência à flexão, tornando a ruptura mais dúctil, e não mais frágil. Sendo assim, o concreto passa a ter uma maior deformação antes de sua fratura.

Em estudo realizado por Raghavan e Huynh (1998) foram constatados, por meio de microscopia eletrônica em corpos-de-prova de argamassa, no qual foram rompidos por meio de flexão, a ruptura na ligação entre a borracha e a pasta de cimento. Os autores entenderam que fora devido à falta de aderência entre os materiais. Por outro lado, apesar da pouca aderência identificada, a borracha foi capaz de evitar a disseminação de pequenas fissuras, o que permite que o CAB seja capaz de absorver a carga após a ruptura.

Para Turatsinze (2004), os concretos de cimento Portland se mostram frágeis em questão de aparições de fissuras, devido à retração e à dilatação. Para a eliminação dessas trincas usam-se fibras de reforço que impedem o espalhamento

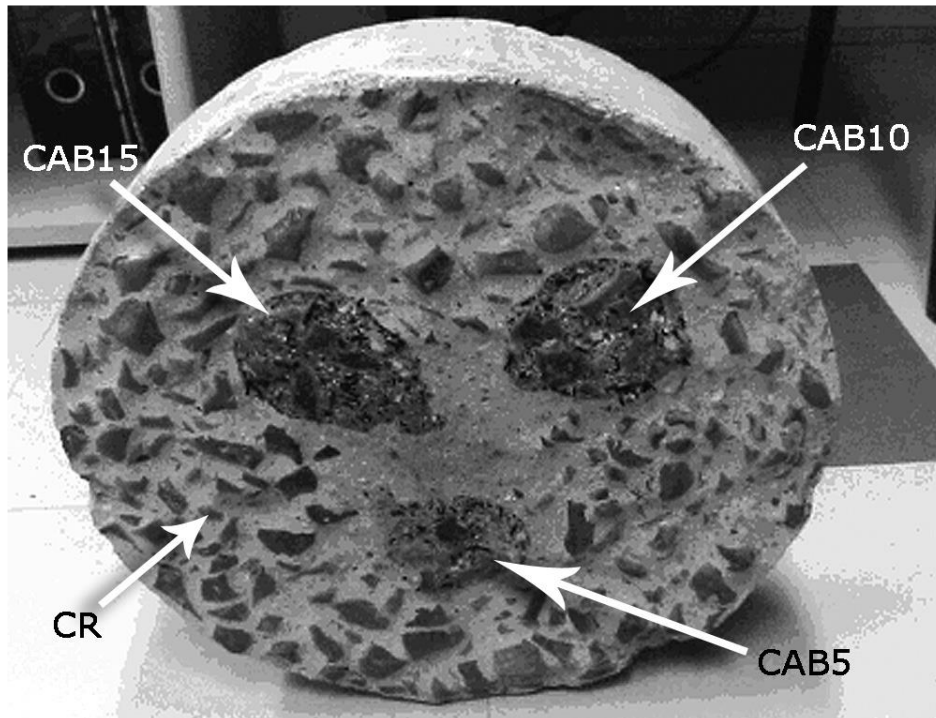
de fissuras. Foi comparado o comportamento das fibras de borracha com a fibra de reforços usuais e foi concluído que a borracha não se mostra tão efetiva quanto às fibras convencionais porém, esse material poderá ser usado quando houver a necessidade de se ter um material de alta resistência ao surgimento de fissuras.

Da mesma forma, Mosca *et al.* (2005) analisaram as dosagens de partes dos agregados miúdos e graúdos no concreto substituídos pela borracha, sendo que ao substituir 1% do agregado pela borracha vulcanizada notou-se uma perda de resistência para a compressão de 9%; ao substituir 3% do agregado houve uma perda de 39% da mesma resistência e, ao substituir 6% do agregado notou-se uma perda de cerca de 75% da resistência à tração.

Alguns estudos também apontaram para a diminuição da resistência mecânica do concreto quando é feita a substituição do agregado miúdo por partículas de borracha de pneus, oriundos da indústria de recauchutagem. O autor averigou que, para manter a resistência do concreto, com a adição de borracha contínua, seria necessário um aumento no consumo de cimento. Da mesma maneira, foi demonstrado que a quantidade de ar absorvido no processo teve um pequeno aumento comparado com o concreto convencional, diminuindo assim seu peso específico. Os autores identificaram que o desgaste superficial do CAB por abrasão, ao serem adicionados 10% de borracha no concreto, se manteve o mesmo em relação ao concreto convencional (MARQUES, 2005).

Em um estudo realizado por Freitas *et al.* (2009), o agregado miúdo foi substituído por 5, 10 e 15% (CAB 5, CAB 10 e CAB 15) de raspas de borracha de pneus. Nesse estudo foram realizados teste de abatimento (*slump test*) para verificar sua consistência e trabalhabilidade e foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm para ensaios de compressão aos 28 dias. Foram realizados ensaios para a resistência à abrasão (figura 5) e resistência à compressão axial simples em corpos de provas (CPs) cilíndricos aos 3, 7, 28 e 90 dias de idade seguindo a ABNT/NBR 5739/94.

Figura 5: Imagem do desgaste do CR com CAB 5, 10 e 15, após o teste de abrasão



FONTE: Freitas *et al.* (2009, p. 917)

Freitas *et al.* (2009) realizaram tal ensaio em diferentes idades para que fosse acompanhada a evolução da resistência com o avanço do tempo de cura. Para a realização de ensaios de resistência à tração na flexão e por compressão diametral os CPs foram rompidos aos 28 dias, no qual o concreto atinge sua resistência máxima. Outros ensaios feitos pelos autores analisaram a resistência à abrasão e a resistência à aderência, também rompidos aos 28 dias. E, por último, foi feito o teste para a determinação do índice de vazios, massa específica e absorção de água que também foram rompidos aos 28 dias, porém ficaram em câmara úmida até o tempo de cura.

Após todos os corpos de provas rompidos, os autores concluíram que ao substituir parte do agregado miúdo (areia) pela raspa da borracha, no caso do concreto fresco, é diminuída sua trabalhabilidade e o teor de ar aprisionado. Isso ocorre porque a borracha foi adicionada em formato de fibras. (FREITAS *et al.* 2009).

Os mesmos autores concluíram que houve uma perda de resistência de 48,3% ao substituírem 15% da areia pela borracha, quando comparado com o concreto comum. Para resistência à tração na flexão, o ensaio mostrou que houve

diminuição de cerca de 30% para o concreto com 15% de borracha. Da mesma forma, foi percebida uma leve vantagem na redução de fissuras e foi necessário um esforço extra para o rompimento total do corpo de prova. Esse resultado se deve às fibras da borracha, que mantiveram o concreto unido, mesmo após sua ruptura.

Já para os desgastes abrasivos, Freitas *et al.* (2009) observaram que os concretos com o CAB obtiveram um resultado melhor ao ser comparado com o concreto comum. Foi concluído que a substituição de 5% da areia pela borracha seria o resultado mais ideal, pois obtiveram resultados até mesmo superiores ao comparar com o concreto comum, pois na resistência de aderência pelo método de tração, o concreto comum obteve 4,5 Mpa e o concreto com 5% teve um resultado de 4,9 Mpa.

Silva *et al.* (2017), que estudaram o CAB no emprego de pisos intertravados, substituíram o agregado miúdo por resíduos de borracha. Esses autores realizaram ensaios de compressão simples, no qual foram moldados 7 corpos de provas (CPs) no formato de pisos intertravados com dimensões de 200x100x60 (mm). Para a dosagem foram feitos os seguinte traços para o concreto referência (CR) 1: 0,77 : 2,33 : 1,11 : 0,43 (cimento : areia : pó de pedra : brita : água), para os demais traços foi substituído o agregado miúdo pelo resíduo da borracha por 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 20% e 50%.

No mesmo estudo foi realizado um ensaio para determinar a consistência dos concretos (*slump test*), conforme a norma ABNT NBR NM 67, cujos resultados foram de 215 mm para o CR, 215 mm para o CAB com 2,5% de borracha; 165 mm para o CAB com 5% de borracha; 55 mm para o CAB com 7,5% de borracha; 95 mm para o CAB com 10% de borracha; 80 mm para o CAB com 20% de borracha e 125 mm para o CAB com 50% de borracha. Os rompimentos dos CPs foram realizados aos 7 e 28 dias, onde Silva *et al.* (2017) chegaram em diferentes resultados.

O CR aos 7 dias obteve uma resistência à compressão de 45,3 Mpa, já aos 28 dias chegou a 60,4 Mpa; o CAB com 2,5% de borracha teve uma resistência de 49,2 Mpa aos 7 dias, e 68,3 Mpa para os 28 dias; o CAB com 5% obteve uma resistência de 63,4 Mpa aos 7 dias e aos 28 uma resistência de 68,6 Mpa; para o CAB com 7,5 % chegou em uma resistência de 57,7 Mpa para o rompimento do CP aos 7 dias e 65,2 para os 28 dias; o CAB de com 10% de borracha teve um resultado de 53,6Mpa para os 7 dias e 69,2Mpa para os 28 dias; para o CAB com 10% de borracha obteve um resultado de 41,7 Mpa para os 7 dias e 55,3 Mpa aos

28 dias e o CAB com 50% de borracha chegou á 38,5 Mpa aos 7 dias e 42,2 Mpa aos 28 dias.

De acordo com a ABNT NBR 9781 a resistência à compressão simples para pisos intertravados deve ser de no mínimo 35 Mpa para uso em vias destinadas para tráfego leve, para veículos comerciais e pesados deve ser de 50 Mpa ou mais. Portanto para vias de tráfego leve, todos os ensaios se mostraram viáveis. E para o uso de pisos intertravados para veículos comerciais o CAB com 20%, considerando com um tempo de cura de 28 dias, também pode ser utilizado nas vias.

Santos e Borja (2005) realizaram ensaio á compressão substituindo parte do agregado graúdo (brita) por raspas de borracha proveniente de pneus inservíveis, a substituição parcial do agregado graúdo foram no teor de 5, 10 e 15%. Os corpos-de-prova (CP) foram moldados com dimensões de 10x20cm com três traços diferentes (5%, 10%, 15%) de borracha, além disso, foi feito CPs de concreto sem adição de borracha para finalidade de comparação, que seria o concreto referência (CR). Para cada ensaio foram dosados 3 fatores água/cimento (0,55; 0,73; 0,91), os CPs obtiveram um tempo de cura de 28 dias nas condições ambientes de temperatura, os rompimentos dos CPs nos ensaios à compressão foram executados segundo a NBR – 5739.

O CP que obteve o melhor resultado nos ensaios à compressão foi o traço com 5% de borracha com um fator água/cimento de 0,91, que chegou á uma resistência à compressão de 7,09 Mpa, comparando com o CR que chegou em um resultado de 11,37 Mpa com o mesmo fator água/cimento, o CP com 5 % de borracha se mostrou bastante satisfatório.

De maneira geral Santos e Borja (2005) perceberam que a substituição de parte do agregado graúdo por raspas de borracha exerceu uma influência significativa na redução da resistência à compressão havendo uma perda de 10 a 15% em relação à compressão.

Silveira *et al.*(2016) realizaram ensaios de compressão axial, modulo de elasticidade, flexão simples e fadiga, substituindo 10% do agregado miúdo por raspas de pneus inservíveis, as raspas do pneu passou por um processo de peneiramento para obter a seleção do material com dimensões e características próximo ao agregado miúdo.

Foram efetuados 8 corpos de provas (CPs) no qual o traço T1 foi seu concreto convencional sem a incorporação de borracha. O traço T2 foi apenas

substituído 10% do volume do agregado miúdo (areia) pela borracha triturada. O traço T3 foi substituído também foi substituído 10% do volume do agregado miúdo por raspas de borracha, porém com um acréscimo de 30% de cimento. O T4 houve uma substituição de 10% do agregado miúdo por borracha e um acréscimo de 5% de cimento em relação a massa total. O T5 foi substituído 10% do agregado miúdo por borracha com uma adição de 10% de cimento. O traço T6 também foi substituído 10% do agregado miúdo pela borracha com um acréscimo de 15% de cimento. Para o traço T7 foram substituídos 10% da areia por raspas de borracha e um acréscimo de 20% de cimento e para o traço T8 também foi substituído 10% do agregado miúdo por borracha e com uma adição de 25% de cimento. (SILVEIRA *et al.* 2016).

Os CPs foram moldados de acordo com a norma ABNT NBR 5738 em corpos cilíndricos de 10x20cm e após 24 horas foram desmoldados com um tempo de cura de 28 dias em câmara úmida. Todos os CPs passaram por ensaios à compressão onde o modulo de elasticidade foi seguido de acordo com a ABNT NBR 8522, no qual foi colocado sensores de deslocamento em pontos extremos dos CPs. Os ensaios para flexão e fadiga foram feitos após 90 dias de cura, pois esse ensaio leva um tempo considerável para ser realizado.

Os autores perceberam que ao substituir 10% do agregado miúdo por raspas de borracha sem o acréscimo de cimento no traço (T2), ocasionou uma redução de 44% de resistência à compressão comparando com o T1. Para o traço T4 houve uma perda de 28% de resistência à compressão, pois teve um aumento de 5% no consumo de cimento, o traço T5 e T6 (10 e 15% a mais de cimento) obtiveram resultados com praticamente as mesmas tensões de ruptura com o T4, considerando assim T4, T5 e T6 praticamente com os mesmos resultados. Para o ensaio com 20% de acréscimo de cimento na mistura (T7) ocorreu um acréscimo significativo na resistência mecânica do concreto, porém para os autores chegarem a uma resistência à compressão próxima ao T1 (concreto comum) foi necessário um acréscimo de 30% de cimento (T8), e ainda assim com um resultado 7% inferior ao concreto comum.

Os ensaios para flexão se mostraram pouco satisfatório, o traço T2 com acréscimo de 10% borracha e sem adição de cimento, mostrou um resultado 43% menor comparado com o T1, e como para a resistência à compressão também foi necessário um acréscimo de 30% de cimento (T8) para o concreto chegar as mesmas resistências mecânicas que o T1(SILVEIRA *et al.* 2016).

2.2 O emprego da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado na mistura do concreto

Muitos pesquisadores vêm estudando o uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (Dantas *et al.*, 2009; Lima *et al.*, 2011; Sampaio *et al.*, 2014) como agregado da massa do concreto, tanto na adição sem alterar a porcentagem de agregados, quanto na substituição dos agregados em seu traço.

Os mesmos autores constataram que os resultados se mostraram bastante viáveis, tanto economicamente, quanto mecanicamente, por se tratar de um resíduo que seria descartado. Tal material também pode, assim como a borracha de pneus, ser reaproveitado na construção civil. Seu uso pode ser o mesmo na adição ao concreto comum, sendo que, com suas devidas porcentagens, a mistura se tende a se mostrar muito promissora.

Da mesma maneira, pode ser substituída parte do agregado miúdo, ou ainda parte do cimento, por cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, devido à quantidade expressiva de sílica e, conseqüentemente, sua propriedade de pozolona. Um material que contém pozolana tem a capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio, que é liberado quando adicionado água no cimento, onde torna o material estável e enrijecido (Oliveira *et al.*, 2004).

2.2.1 A adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na mistura do concreto para a construção civil

Sampaio *et al.* (2014) realizaram um estudo evidenciando a adição da CBC (cinza do bagaço da cana) no concreto. Foram adicionados na mistura do concreto teores de CBC de 10, 20 e 30 % em relação à massa do cimento, assim como foi adicionado também um aditivo superplastificante. Os aditivos visam aumentar a qualidade do concreto e/ou diminuir os seus pontos fracos. Nesse caso, foi usado um aditivo para melhorar a trabalhabilidade do concreto.

Para os ensaios foram feitos 13 corpos de prova cilíndrica de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Foi feito um traço de concreto comum na proporção de 1:2:3 (cimento : areia : brita) e uma relação água/cimento de 0,53. O aditivo utilizado foi 1 % em relação à massa de cimento. Para o ensaio de compressão, o

rompimento ocorreu aos 7 e 28 dias e foi feito um teste de absorção por imersão, índice de vazios, porosidade total e massa específica real.

Os autores chegaram a conclusão que a adição da CBC no concreto diminui sua plasticidade, pois a cada aumento no teor de CBC, aumenta o consumo de água. Porém, a incorporação da CBC aumenta a resistência à compressão e essa resistência melhora sempre que há um aumento do teor da cinza no concreto. Foi notado também que com uma adição de 30% de CBC houve uma melhora na permeabilidade do concreto, pois com a cinza incorporada na mistura é diminuída a porosidade do concreto. Sampaio *et al.* (2014) concluíram que o concreto contendo o CBC se mostra bastante viável na melhoria de suas propriedades mecânicas, podendo ser usado em pré-moldados, pisos e bordas na construção civil em geral, além da possibilidade de um reuso adequado desse resíduo.

2.2.2 A substituição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na mistura do concreto para a construção civil

O uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como substituto de uma parte de materiais cimentícios tem demonstrado bons resultados, apesar dos poucos estudos ainda no assunto. Uma das principais razões dos bons resultados, é pelo fato de tais cinzas apresentarem alto teor de composto sílica, propriedade próxima àquela averiguada na areia. (CORDEIRO, 2006; CORDEIRO *et al.* 2008).

Segundo Singh *et al.* (2000), ao serem substituídos 10% do cimento pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar, há uma melhora na resistência à compressão, melhores resultados aos ataques químicos de H_2SO_4 e menor permeabilidade, isso se dá ao fato de que a CBC atua como material pozolânico.

Em estudo de Ganesan *et al.* (2007), que realizou a substituição de até 20% de cimento Portland por cinza da CBC, resultados iniciais foram satisfatórios, pois houve uma melhora na resistência à compressão, redução da permeabilidade a água, apresentando uma melhora na conservação das estruturas de concreto.

Ao substituir o concreto por 20% da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em argamassas, Paula *et al.* (2009) indicaram que essa mistura seria a ideal, pois ela não prejudicou a resistência à compressão após os 28 dias, que é o tempo necessário para o concreto chegar em sua resistência máxima. A autora também

constatou uma maior porosidade e uma maior capacidade de absorção de água cada vez que um maior teor de cinza era adicionado.

Em um estudo realizado com cinza de casca de arroz e cinza de bagaço de cana-de-açúcar, Barbosa et al. (1998) notaram um resultado semelhante quando comparado com os resultados mecânicos de ambas as cinzas. Os autores observaram da mesma forma que os resultados para compressão são inversamente proporcionais ao teor de cinzas adicionado. Quando realizado o teste de absorção, os resultados demonstraram que quanto maior o teor da cinza, tanto da CBC, quanto da casca de arroz, maior será sua permeabilidade.

De acordo com Valenciano (1999), que em seu estudo preparou corpos de prova com combinações de cimento Portland e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, e analisou-os aos 7 e aos 28 dias, observou que, ao serem gradativamente substituídas porcentagens de cimento por cinzas, de 0% a 50%, sendo incrementada a substituição em escala de 10, ou seja, C1 (100/0), C2 (90/10), C3 (80/20), C4 (70/30), C5 (60/40) e C6 (50/50), houve queda significativa na resistência à compressão simples dos corpos-de-prova provenientes de cimento Portland/cinzas de bagaço de cana-de-açúcar após 30%, tanto aos 7, quanto ao 28 dias.

Visando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar como aditivo mineral para o concreto, Cordeiro *et al.* (2008) concluíram que na moagem seria mais usual a redução do tamanho das partículas. Foi observada que a alteração no tempo de moagem de 480 minutos para 960 minutos ocasionou uma pequena redução no tamanho das partículas. Ao reduzir de tamanho, os autores notaram que, conseqüentemente, houve aumento na atividade pozolânica da cinza. Todavia, foram necessário 960 minutos para alcançar um diâmetro médio de 8 μm .

Dantas *et al.* (2009) substituíram parte do cimento por cinza do bagaço da cana-de-açúcar, e também em outro CP, substituição parcial do cimento por areia, onde no segundo não houve incorporação de cinza, e após compararam os resultados de ambos materiais.

Foram feitos ensaios de *slump test* para a determinação da consistência do concreto e os autores chegaram à conclusão que a substituição de 20% do cimento pela CBC é mais viável que a substituição por areia, pois além de melhorar a características do concreto, diminui o uso do cimento, diminuindo assim o custo e

o impacto ao meio ambiente, pois a cinza do bagaço da cana-de-açúcar é um resíduo em abundância (DANTAS *et al.* (2009).

Ensaio de abrasão e carbonatação natural foram realizados por Lima *et al.* (2011), onde os autores avaliaram concretos com teores de 0% concreto referencia (CR), 30% e 50% (C30 e C50) de CBC em substituição ao agregado miúdo.

A CBC utilizada por Lima *et al.* (2011), passaram por uma estufa a 100° C por 12 horas e logo após ela foi moída por 3 minutos por um moinho tipo almofatiz/pistilo motorizado, tal moinho aceita amostras com diâmetros de 30 mm até 200g (Figura 6).

Figura 6: Moagem da CBC



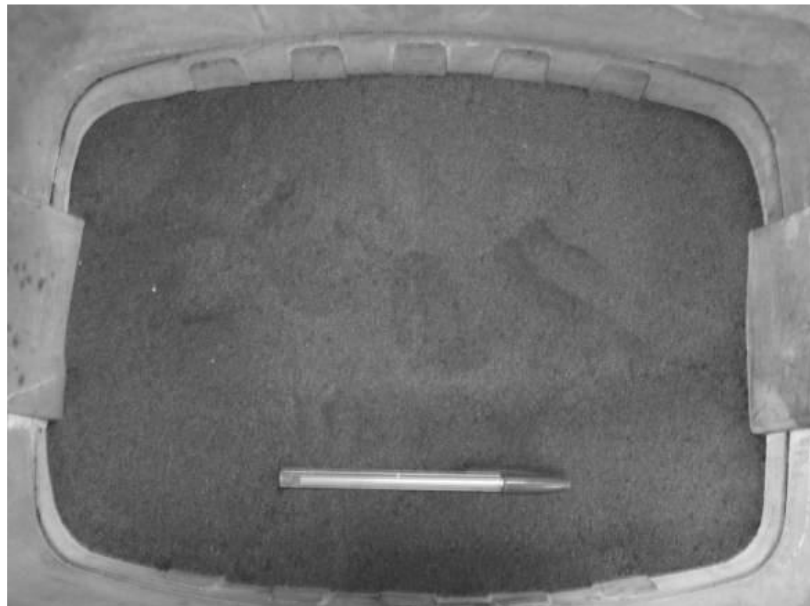
. Fonte: LIMA et al. (2011, p. 204)

Figura 7: Aspecto da cinza não moída



Fonte: LIMA et al. (2011, p. 204)

Figura 8: Cinza após a moagem



Fonte: LIMA et al. (2011, p. 204)

Para os ensaios Lima *et al.* (2011) utilizaram três diferentes tipos de cimentos, CP V ARI RS (cimento Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos); CP III 40 RS (cimento Portland de alto forno e sulfatos) e CP II E32 (cimento Portland composto de alto forno). Foram moldados corpos de provas

cilíndricos de 10 cm x 20 cm para análise do estado endurecido, após a moldagem os corpos-de-prova ficaram na fôrma por 24 horas, após serem desenformados foi aguardado o período de 28 dias até a realização dos ensaios. Foram executados testes de resistência à compressão, massa específica, índice de vazios e absorção de água por imersão.

Nos resultados para carbonatação dos concretos, Lima *et al.* (2011) chegaram a conclusão de que para o cimento CP II, com a substituição de 30 e 50% de agregado miúdo, foram os melhores resultados obtidos ao serem comparados com o CR. Para os resultados de ensaios de compressão, o cimento CII E32 com CBC na mistura teve um resultado melhor ao comparado com o CR. Para o mesmo exemplar de cimento com 30% e 50% de CBC resultaram em menor valor de absorção de índice de vazios entre todos os tipos de ensaios investigados. Para o traço com 30% de CBC, sendo ele nos 3 tipos de cimento, houve uma menor profundidade de carbonatação ao ser comparado com o CR. O concreto com 50% de substituição do agregado miúdo por CBC teve o melhor desempenho como menos desgaste superficial, também relacionado ao CII E 32.

Lima *et al.* (2011) concluíram que o CBC tanto com 30% ou 50% em substituição ao agregado miúdo pode ser utilizados em determinados setores como estruturas aparentes de concreto armado com tratamento impermeabilizante da superfície, pois são mais propícios à carbonatação.

Fernandes *et al.* (2015) realizaram ensaios de compressão e tração por compressão diametral substituindo parte do agregado miúdo pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC). Os autores substituíram a areia por 5, 10 15, e 20% pelo CBC. O cimento utilizado para a fabricação dos CPs foi o CPV- ARI (cimento Portland de alta resistência inicial).

Para os ensaios à compressão foram moldados CPs de 20x10cm para cada traço, onde foram rompidos aos 7 e 28 dias de idade seguindo a ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 5739. O ensaio à tração por compressão diametral seguiu a ABNT 7222 no qual foram moldados CPs de 20x10cm e também rompidos aos 7 e 28 dias, para ambos os ensaios também foi feito CPs com concreto sem adição de CBC no qual seria o concreto referência (CR). Assim como Sampaio *et al.* (2014) para todos os CPs foram adicionados aditivos superplastificantes totalizando 1,5% em relação ao peso do concreto em cada traço feito, tal aditivo visa melhorar a trabalhabilidade do concreto, já que com o CBC adicionado em sua massa o

consumo de água aumenta diminuindo assim sua trabalhabilidade. No concreto fresco foram feitos ensaio de abatimento pelo tronco de cone (slumptest) seguindo a ABNT NBRNM 67. Fernandes *et al.* (2015)

Para todos os ensaios, a mistura que obteve um melhor resultado foi o concreto com 20% de CBC chegando a resultados melhores que o CR. O ensaio de abatimento pelo tronco de cone, para o CR chegou a um resultado de 130,00mm e para o concreto com 20% de CBC obteve um resultado de 110,00mm. Para a resistência à compressão o CR obteve um resultado de 30 Mpa para o CP rompido aos 7 dias de idade e para os 28 dias chegou à 42 Mpa, o concreto com 20% de CBC teve um resultado de 37 Mpa e os CP rompido aos 28 dias chegou em um resultado de 45 Mpa. Para os ensaios de tração por resistência diametral, o CR teve um resultado de 4,0 Mpa rompendo o CP aos 7 dias de idade e de 3,3Mpa aos 28 dias. O concreto com 20% de CBC obteve um resultado de 4,5 Mpa aos 7 dias e 4,7 Mpa aos 28 dias de idade. Fernandes *et al.* (2015)

Fernandes *et al.* (2015) concluíram que conforme aumenta o CBC na mistura ocorre uma redução do abatimento do concreto; ao substituir o agregado miúdo por 20% de CBC há uma pequena melhora em relação aos ensaios de compressão e tração por compressão comparando com o CR.

2.2.3 O processo de extração da cinza do bagaço da cana-de-açúcar

O maior subproduto gerado no processo industrial da cana-de-açúcar é o bagaço, utilizado como combustível em caldeiras para a geração de energia que resulta em cinzas. De acordo com a CONAB (2017), a produção de cana-de-açúcar, estimada para a safra 2017/18, é de 646,4 milhões de toneladas. Todo o bagaço é para a produção de energia em caldeiras, o que poderá gerar, aproximadamente, 3,9 milhões de toneladas de cinza.

Essa cinza gerada pelas caldeiras é depositada em um cinzeiro abaixo da grelha da caldeira, já as cinzas com granulometria mais fina, que é denominada como cinza volante ou leve, é suspensa pelos gases de combustão e, ao ser dispersado na atmosfera, passa por um filtro para a diminuição nas emissões de particulados. O processo de separação dessas cinzas pode ser diferente em cada usina, de acordo com a tecnologia utilizada. (CASTRO; MARTINS, 2016)

Figura 9: (a) Aspecto da cinza leve; (b) Aspecto da cinza pesada.



FONTE: (CASTRO; MARTINS, 2016, p.04)

Apesar de ser um subproduto pobre em nutrientes, parte dessas cinzas volta para o solo dos canaviais como adubo. Porém, nessa composição há metais pesados, podendo contaminar o solo e o lençol freático. (CASTRO; 2016)

Segundo Andrade *et al.* (2007), as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar são capazes de substituir a areia natural em materiais à base de cimento. Para Cordeiro *et al.* (2008), a cinza do bagaço de cana-de-açúcar tem capacidade para atuar como aditivo mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos. Os autores consideram importante a utilização desse resíduo para combater os problemas de poluição no meio ambiente.

A mistura das cinzas de origem vulcânica com a cal e a água é denominada de pozolana. Tal denominação também pode ser dada para outros tipos de materiais de diversas origens, por apresentarem comportamento semelhante. Um material pode ser considerado pozolânico sendo inorgânico, natural ou artificial, silicoso ou alumino-silicoso que não apresenta atividade hidráulica, porém ao serem moído com a presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio.

Moreira e Goldemberg (1999) atualmente, as pozolanas mais comuns, que fazem parte do cimento Portland, possuem desde materiais fortemente reativos, como argilas calcinadas, sílica ativada e cinza da casca de arroz, até materiais com menor capacidade como cinza volante e resíduos de blocos cerâmicos. Com um grande potencial pozolânico, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar tem ganhando

espaço entre os pesquisadores. Segundo Moreira e Goldemberg (1999), o bagaço da cana-de-açúcar é o maior resíduo da agricultura brasileira.

As necessidades energéticas do setor sucroalcooleiro são supridas pelo bagaço da cana-de-açúcar, sendo ela responsável pela produção de energia por meio da biomassa (LORA *et al.*, 2001). A cinza do bagaço da cana-de-açúcar exibe uma grande quantidade de dióxido de silício (acima de 60%), onde o silício é absorvido do solo pelas raízes na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), após a transpiração, onde ocorre a retirada da água, a sílica gel é depositada na parede externa das células da epiderme. Na parede das células ocorre o acúmulo de silício e funciona como uma barreira física à entrada de fungos patogênicos e reduz a perda de água por transpiração. O quartzo (areia) pode ser outra fonte de sílica, proveniente da lavoura, ela não é totalmente retirada durante a etapa de lavagem no procedimento da cana-de-açúcar (BARBOZA FILHO; PRABHU, 2002).

Os estudos para a viabilidade da CBC como aditivo mineral ainda são iniciantes. Porém, pesquisas garantem que a viabilidade do uso da cinza se mostram promissoras para a incorporação no cimento Portland.

Com a ampliação do setor de produção de álcool combustível nos próximos anos, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar terá um aumento significativo. No estudo feito por Castro e Martins (2016), a CBC se mostrou um material alternativo bastante viável, com a sua distribuição granulométrica; sua massa específica e com o alto teor de sílica. Com essas características, esse resíduo mostra uma semelhança com a areia, podendo assim ser uma possibilidade como adição mineral em produtos cimentícios.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Trata-se de uma pesquisa de caráter exploratório, cujo procedimento adotado é o da Pesquisa Bibliográfica. O primeiro passo foi o da seleção de bibliografias referentes ao tema proposto: borracha de pneus e cinzas de bagaço da cana-de-açúcar na mistura do concreto empregado na construção civil. Para tal seleção foram pesquisados periódicos vinculados à base de dados CAPES e Scielo.

Dessa forma, por meio de pesquisa sistematizada, foram feitos os cruzamentos das palavras-chave concreto + borracha de pneu e concreto + cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

No primeiro cruzamento foram encontrados seis artigos, sendo estes os únicos publicados em língua portuguesa e acessíveis integralmente, assim como na modalidade de artigos em periódicos. Na Revista Matéria foram encontrados dois artigos, já nas Revistas IBRACON, Estudos Tecnológicos, Química Nova e Matéria o resultado da busca retornou apenas um artigo em cada uma delas. Compreendidos entre o período de 2005 a 2017.

Por outro lado, o segundo cruzamento resultou em cinco artigos em língua portuguesa, acesso integral à publicação e exclusivamente artigos científicos. Dois deles publicados na Revista IBRACON e apenas uma publicação encontrada em cada uma das Revistas Holos, Matéria e Ambiente Construído.

Após a seleção dessas doze publicações foram realizadas as buscas por procedimentos experimentais que envolvessem os dois materiais possíveis de serem reutilizados, tanto à cinza do bagaço da cana-de-açúcar, quanto à borracha de pneus, de forma separada, extraíndo de cada publicação a forma como cada ensaio fora realizado.

Da mesma maneira, após a análise dos experimentos publicados, foram separados em duas categorias: 1) a adição dos materiais, de forma separada, na mistura do concreto; e 2) a substituição de algum agregado da mistura por um dos dois produtos recicláveis, tanto a borracha de pneus inservíveis, quanto de cinzas de bagaço da cana-de açúcar

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Borracha de pneus

No quadro 1 foi realizado um comparativo dos autores que incorporaram as raspas de pneus de borracha no concreto. O quadro expressa se tal incorporação foi adicionada na massa do concreto ou substituída por parte do agregado e seus resultados.

Quadro 1 – Borracha de pneus na construção civil

Autores	Ano	Substituição	Adição	Resultados dos testes
Santos e Borja	2005	Substituição do agregado graúdo por 5; 10 e 15% de raspas de borracha provenientes de pneus inservíveis. Ensaios com teores de água/cimento de 0,55;0,73;0,91	Não	O traço com o melhor resultado no ensaio à compressão foi o de 5% em substituição do agregado graúdo com um fator água/cimento de 0,91 chegando à 7,09 Mpa onde o CR obteve um resultado de 11,37 Mpa.
Freitas <i>et al.</i>	2009	Borracha vulcanizada sem tratamento, tendo como referência concreto comum e a substituição da areia em 5%, 10% e 15%	Não	Houve um melhor resultado no ensaio de tração: concreto comum obteve 4,5Mpa, enquanto o CAB com 5% expressou uma melhora com 4,9 Mpa, outros ensaios não tiveram resultados significativos.
Verzegnassi <i>et al.</i>	2011	Não	Adicionados 1%, 3% e 6%. Os corpos de prova foram analisados aos 3 e 7 dias	Aos 7 dias de idade o CAB houve uma melhora em relação ao concreto comum no ensaio de tração. 3% de borracha é considerado ideal para obter um resultado satisfatório.
Silveira <i>et al.</i>	2016	Substituição de 10% do volume do agregado miúdo por raspas de borracha triturada na mesma dimensão que a areia	Adição de cimento em relação a massa do concreto na proporção de 5%,10%,15%, 20%,30%.	Tanto para os ensaios de compressão, quanto para flexão, foi necessário um acréscimo de 30% (T8) de cimento, quando o agregado miúdo for substituído por 10% de borracha para chegar a mesma resistência que o concreto referencia (T1).

Silva <i>et al.</i>	2017	Fabricação de CPs de pisos intertravados substituindo partes do agregado miúdo por raspas de borrachas em teores de 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 20% e 50%.	Não	Para os ensaios à compressão, todos os CPs se mostraram viáveis, se for considerar tráfegos leve, pois a ABNT NBR 9781 exige uma resistência de no mínimo 35 Mpa. Para o uso de tráfego de veículos comerciais é necessário uma resistência de 50 Mpa, no qual o CAB com 20% com tempo de cura de 28 dias se mostrou viável.
---------------------	------	---	-----	--

Fonte: Créditos dos autores - 2017

4.2 Bagaço da cana-de-açúcar

No quadro 2 foi realizado outro comparativo de trabalhos, porém dessa vez o material analisado foi a cinza do bagaço da cana-de-açúcar. O quadro mostra os métodos que foram utilizados, se foram substituídos ou adicionados a cinza na massa do concreto e por qual agregado foi substituído e sua porcentagem. Os resultados dos autores estão expressos no quadro, onde cada autor obteve resultados específicos.

Quadro 2 – Cinza do bagaço da cana-de-açúcar

Autores	Ano	Substituição	Adição	Resultados
Dantas <i>et al.</i>	2009	Substituição parcial do cimento por cinza do bagaço de cana, e também substituição parcial do cimento por areia sem acréscimo de cinza. Ambos foram substituído em um teor de 20%.	Não	A substituição do cimento pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar no teor de 20% é mais viável que a areia, há um ganho de resistência além da diminuição do consumo do cimento.
Lima <i>et al.</i>	2011	Substituição de 0, 30, e 50% do agregado miúdo pela cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Ensaios com 3 tipos de cimentos CP V ARI RS; CP III 40 RS; e CP II E32.	Não	Substituindo o agregado miúdo com teores de 30 ou 50% os autores concluíram que o CBC pode ser utilizado em determinados setores, como estruturas aparentes de concreto armado com tratamento impermeabilizante da superfície, pois são mais propícios à carbonatação. Cimento que obteve melhor resultado foi o CII E32

Sampaio <i>et al.</i>	2014	Não	Adicionados na mistura do concreto teores de 10,20 e 30% de CBC, realizados ensaios de compressão e de absorção, índice de vazios.	Com a adição de CBC, o concreto teve uma queda de plasticidade. Ao inserir o CBC teve uma melhora nos ensaios de compressão, e o CBC com teor de 30, houve uma melhora na permeabilidade do concreto.
Fernandes <i>et al.</i>	2015	Substituição de 5%, 10%. 15% e 20% do agregado miúdo por CBC.	Não	Houve um ganho de resistência mecânica nos ensaios de compressão e tração por compressão diametral, concreto com teor de 20% de CBC se mostrou mais satisfatório, podendo ter um ganho de resistência.

Fonte: Créditos dos autores- 2017

Sendo assim ambos os quadros representam uma compilação de dados encontrados em nove de onze artigos, resultantes da pesquisa bibliográfica sistematizada, sendo que os outros dois não apresentaram ensaios laboratoriais, tendo apenas sido utilizados como referencial teórico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o objetivo inicial, de demonstrar a aplicabilidade de materiais alternativos na mistura do concreto a ser empregada na construção civil, foi possível constatar que alguns materiais, tais como a borracha reciclada de pneus inservíveis e a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, se demonstraram viáveis do ponto de vista ambiental e mecânico, ao serem utilizados com agregados adicionados ou substitutos.

Um dos materiais citados no trabalho foi a raspa de borracha de pneus inservíveis, onde alguns autores substituíram pela borracha parte do agregado miúdo ou do agregado graúdo ou até mesmo realizaram a substituição parcial do cimento. Já outros autores adicionaram a borracha na massa total do cimento, sem substituição de nenhum material. Os ensaios com substituição demonstraram ser mais viáveis com a troca no teor de 5% a 20% do agregado miúdo pela borracha. Para o estudo que houve adição de borracha também se mostrou viável, porém em um teor abaixo de 5%.

A incorporação da borracha no concreto trouxe resultados mecânicos viáveis. Tanto com a adição, quanto com a substituição houve perdas de resistência para tração e compressão, porém, o concreto se mostrou mais dúctil, ou seja, se deformou com maior facilidade. Da mesma forma, houve um menor surgimento de trincas ou fissuras nos CPs com borracha, e foi necessário um esforço extra até a ruptura total, ou seja, um concreto com características diferentes. Para o concreto fresco, o ensaio de *slump test* demonstrou que a trabalhabilidade do concreto diminuiu, pois há uma incorporação de ar. O CAB é um material acessível para uma futura fabricação, pois ele utiliza pneus inservíveis, um dos maiores problemas ambientais em relação ao descarte de materiais automotivos.

Outro material citado no trabalho foi a cinza do bagaço de cana-de-açúcar, ora substituindo, parcialmente, algum agregado do concreto pela cinza, ora tendo sido adicionada na massa total do concreto. Por conter substâncias pozolânicas, o CBC obteve resultados satisfatórios, sendo que no caso da substituição do agregado miúdo, em teores que variam de 20 a 50% de CBC, foi possível observar ganhos de resistências para os ensaios de tração e compressão

em relação ao concreto referência, porém para o concreto fresco houve grande perda da trabalhabilidade, constatado pelo o ensaio de abatimento pelo tronco (*slump test*), onde em alguns casos foram introduzidos aditivos superplastificante em teores de 1 e 1,5 %, e com isso houve uma melhora em sua trabalhabilidade.

Com isso, o concreto com a substituição parcial do agregado miúdo pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar se mostra viável por se tratar de um resíduo industrial com poucas utilidades finais e, além de aumentar certas resistências mecânicas, o uso de areia para a confecção do concreto é diminuída, melhorando problemas ecológicos relacionados à extração de areais para a construção civil.

Ambos os materiais possuem diferentes características mecânicas, porém para serem fabricados comercialmente é necessário maior aprofundamento no assunto relativo ao CAB e ao CBC.

Com tudo o que foi demonstrado esse trabalho pretende-se auxiliar em pesquisas futuras onde o uso de matéria – prima não convencional no uso do concreto seja mais explorada, reduzindo a exploração de minerais que servem como agregado do concreto, com isso reduzindo os impactos ambientais que a construção civil causa nos dias atuais.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR-5738**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, Brasil, 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR-5739**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, Brasil, 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBRNM 67**: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do troco de cone, Rio de Janeiro, 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR 7222** - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994

Associação Brasileira de Normas Técnicas - **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9781** – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - **NBR 8522** - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, Rio de Janeiro, 2008.

ACCETTI, K. M., PINHEIRO, L.M. Tipos de fibras e propriedades do concreto cm fibras. In: Congresso Brasileiro Do Concreto, 42, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Arte Interativa, 2000.

ALBUQUERQUE, A. C.; ANDRADE, W. P.; HASPARYK, N. P.; ANDRADE, M.A.S.; BITENCOURT, R.M. Adição de Borracha de Pneu ao Concreto Convencional e Compactado com Rolo. **Anais...** Anais do ENTAC, 2006.

ALWAEELI, M. Application of granulated lead–zinc slag in concrete as an opportunity to save natural resources. **Radiation Physics and Chemistry**, v.83, p.54-60, 2013.

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP. **Produção e vendas de 2016**. Departamento de Estudos. Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/producao-vendas.pdf>. Acessado em 6 de set de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 1998.

BARBOSA, M. F., LIMA, E., PIRES SOBRINHO, C. W. A. Estudo de argamassas com adições de cinza de casca de arroz e cinza de cana – de - açúcar. VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Qualidade no processo Construtivo. **Anais...** Anais do ENTAC, 1998.

BARBOSA FILHO, M.P.; PRABHU, A.S., Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz (Application of calcium silicate in rice culture) - **Circular Técnica 51**, EMBRAPA. Santo Antônio de Goiás, 2002.

CASTRO, T. R; MARTINS, C.H. Caracterização das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material alternativo para a redução de impactos ambientais. *MIX Sustentável*, v.2, n.1, p. 12-19, 2016.

COLEFAR (Minas Gerais). **Resíduos Industriais**. Disponível em: <http://colear.com.br/legislacao-e-meio-ambiente/>. Acesso em: 09 set de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA 258/99**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=1999> acessado em 6 de set de 2017.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Safra 2017/18, n. 1, v. 4 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-57, abril 2017. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_20_14_04_31_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_17-18.pdf. Acessado em 30 agosto 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2009. **Resolução n. 416**, de 30 de setembro. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências.

CORDEIRO, G. C., Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto, **Tese de Doutorado**, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

CORDEIRO, G. C. *et al.* Pozzolanic Activity and Filler Effect of Sugar Cane Bagasse Ash in Portland Cement and Lime Mortars. **Cement and Concrete Composites**, v. 30, n. 5, p. 410-418, 2008.

DANTAS, M. C.; MOREIRA, H, P.; TAVARES, M.; ANJOS, M. A. S; BORJA, E. V.; PEREIRA, A. C. Influencia do uso de cinza de biomassa da cana-de-açúcar no comportamento concretos auto-adensáveis. **Holos**, ano 25, n. 4. 2009.

ELDIN, N. N.; SENOUCCI, A. B. Rubber – tire particles as concrete aggregate. **Journal of Materials in Civil Engineering**. pp 478-496, 1993.

FERNANDES, Sérgio Eduardo et al. Cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral em concretos para verificação de sua durabilidade. **Revista Matéria**, Ilha Solteira, v. 20, n. 04, p.909-923, jun. 2015

FREITAS, C; GALVÃO, J. C. A. Desempenho físico-Químico e mecânico de moncreto de cimento portland com borracha de estireno-butadieno recilcado de pneus. **Quimica Nova**, 2009, v.32, n.4, pp. 913-918.

- GANESAN, K., RAJAGOPAL, K., THANGAVEL, K., "Evaluation of bagasse ash as a supplementary cementitious material", *Cement & Concrete Composites*, v. 29, n. 6, pp. 515-524, 2007.
- KAMIMURA, E. Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil. **Dissertação** de mestrado (vinculada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFSC). Florianópolis/SC, 127p, 2002.
- KUCK, D. W. **Ciência hoje on-line**. Instituto Ciência Hoje. Rio de Janeiro. 2004
- LIMA, Sofia Araújo et al. Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p.201-212, abr. 2005
- MARQUES, A. C. Estudo da influência da adição de borracha vulcanizada em concreto à temperatura ambiente e elevada temperatura. **Dissertação** de mestrado (vinculada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UNESP). Ilha Solteira/SP, 114p, 2005.
- MARTINS, I. R. F.; AKASAKI, J. L. Study of compressive strength of high performance concrete added with tire rubber. In: *Materiales Compuestos 05*, 2005a, Valencia. **Anais...** Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2005a. CD-ROM, Trabalho 12.5(93).
- MARTINS, I. R. F. Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu. **Dissertação** de mestrado (vinculada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UNESP), Ilha Solteira/SP, 2005.
- MOREIRA, J.R., GOLDEMBERG, J., 1999, "The alcohol program", **Energy Policy**, v. 27, n.4, pp. 229-245.
- MOSCA, A. M. A.; LINTZ, R. C. C.; CÁRNIO, M.A. 2005. Influência da utilização da borracha vulcanizada nas propriedades mecânicas do concreto. In: 47º Congresso Brasileiro de Concreto, Olinda, 2005. **Anais...** Olinda, IBRACON, 2005, CD-ROM.
- NIRSCHL, G. C.; AKASAKI, J. L.; FIORITI, C. F. Influência da granulometria das fibras de borracha vulcanizada em dosagens de concreto, Congresso Brasileiro de Concreto, 44, 2002, Belo Horizonte - MG, **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2002.
- OLIVEIRA, M. P.; NOBREGA, A. F.; CAMPO, M. S.; BARBOSA, N. P. Estudo do caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland. Conferencia Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais: Habitação e infraestrutura de interesse social Brasil – NOCMAT 2004, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: USP, 2004. 15p.
- PAULA, M. O. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.353-357, 2009.

RAGHAVAN, D.; HUYNH, H. FERRARIS, C. F. "Workability, Mechanical Properties and Chemical Stability of a recycled Tyre Rubber-Filled Cementitious Composite"; **Journal of Materials Science**, n. 33, pp. 1745-1752. 1998.

SAMPAIO, Z. L M.; SOLUZA, P. A. B. F.; GOUVEIA, B. G. Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos. **Ibracon**, Natal, v. 7, n. 4, p.626-647, 5 ago. 2014.

SANTOS, E. A; BORJA, E. V. Investigação experimental de traços para blocos de concreto para alvenaria de vedação com adição de resíduos de pneus reciclados. **Revista HOLOS**. v. 1, 2005. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/57/63>. Acesso em: 03 set. 2017

SEGRE, N. C.; JOEKES, I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 30, n. 9, pp. 1421-1425, 2000.

SILVA, Fabiana Maria da et al. Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS). **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 01, p.01-11, 2017.

SINGH, N. B.; SINGH, V. D.; RAI, S. Hydration of bagasse ash-blended portland cement. **Cement and Concrete Research**. v. 30 (2000) n.9, p 1485- 1488.

SILVEIRA, Paulo Moreira et al. Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu. **Revista Matéria**, Ilha Solteira, v. 21, n. 2, pp. 416-428, 2016.

TOPÇU, I. B. The properties of rubberized concretes. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 2, pp. 304-310, 1995.

TOUTANJI, H. A. The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates. **Cement & Concrete Composites**, v.18, p.135-139, 1996.

TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU, J. L. Mechanical characterisation of cement based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres. **Building and environment**, p.1-6, 2004.

VALENCIANO, M.C.M. Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre a característica físico-mecânicas de tijolos de solos melhorado com o cimento. 102f. **Dissertação** de mestrado – Faculdade de Engenharia agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

VERZEGNASSI, Emerson et al. Concreto convencional com adição de borracha reciclada de pneus: estudo das propriedades mecânicas. **Estudos Tecnológicos**, Limeira, v. 7, n. 2, p.98-108, 2011.

