Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2018

Abril de 2018

TENDÊNCIAS DO USO DE BORRACHA DE PNEU INSERVÍVEL EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

JULIANA CARRASCO. ALCAZAS
Eng. Civil
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Mato Grosso do Sul; Brasil
juliana_alcazas@hotmail.com

ANA PAULA DA SILVA. MILANI
Profa. Dra. Eng. Civil
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Mato Grosso do Sul; Brasil
ana.milani@ufms.br

JOSÉ CARLOS DE. JESUS LOPES
Prof. Dr. Administração
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Mato Grosso do Sul; Brasil
jose.lopes@ufms.br.

RESUMO

Diversas opções de destinação final dos pneus foram estruturadas segundo o Relatório Pneumáticos 2016 Resolução Conama nº 416/09 sendo elas: coprocessamento, laminação, granulação, regeneração da borracha e a pirólise. Além dessas, também vem sendo realizados estudos de inserção dos resíduos de pneus em compósitos cimentícios na construção civil, no entanto questões de como os resíduos influenciam diferentes parâmetros da durabilidade ainda necessitam de abordagens e especificações. O objetivo desse estudo é realizar um levantamento bibliométrico, a fim de selecionar artigos para obter um banco de dados para a realização de uma futura análise estatística que irá mensurar a influência das variáveis: tamanho da borracha, porcentagem, tratamentos e procedência da borracha, nas propriedades físico-mecânicas e também classificá-las nos critérios de durabilidade. Com a seleção dos artigos foi possível identificar as principais tendências dos estudos de compósitos cimentícios com borracha, nos últimos dezoitos anos.
Palavras-chave: Pneu. Borracha. Compósitos cimentícios, Durabilidade

ABSTRACT

Several options for the final destination of the tires were structured according to the 2016 Pneumatic Report Conama Resolution nº 416/09, being: coprocessing, lamination, granulation, rubber regeneration and pyrolysis. In addition, studies have been carried out on the insertion of tire waste into cement composites in civil construction, however, questions of how the waste affect different parameters of durability still require approaches and specifications. The objective of this study is to perform a bibliometric survey in order to select articles to obtain a database for the accomplishment of a future statistical analysis that will measure the influence of the variables: rubber size, percentage, treatments and origin of the rubber, in the physical-mechanical properties and also to classify them in the criteria of durability. With the selection of the articles it was possible to identify the main tendencies of studies of cementitious composites with rubber in the last eighteen years.
Keywords: Tire. Rubber. Cement composites. Durability.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as diversas formas de destinação final dos pneus, no Brasil, o IBAMA (2016) publicou no Relatório Pneumáticos Resolução Conama nº 416/09 as tecnologias de destinação praticadas declaradas pelas empresas brasileiras, sendo elas: coprocessamento, laminação, granulação, regeneração da borracha e a pirólise. Nesse mesmo relatório é apresentado que o cumprimento de destinação nacional pelos fabricantes foi de 101,17% e dos importadores de pneus 84,72%, mostrando resultados positivos em relação a destinação final dos pneus. Dessas tecnologias de destinação, o coprocessamento corresponde a 59,16%

(IBAMA, 2016). Esse processo consiste na trituração dos pneus, transformando-os em chips, sendo vendidos como combustível de queima para fornos.

No entanto, mesmo dispondo de filtros, a incineração não é a solução mais recomendada. As emissões tóxicas, que são liberadas até mesmo pelos incineradores mais modernos, são constituídas por três tipos de poluentes altamente perigosos para o ambiente e para a saúde humana: os metais pesados, os produtos de combustão incompleta e as substâncias químicas novas, formadas durante o processo de incineração (GREENPEACE, 2003). Assim, a utilização dos resíduos de borracha de pneus na forma *"in natura"* pode ser outra alternativa ou uma melhor solução para a eliminação destes resíduos, pois poupa os recursos naturais e produz um material mais eficiente (GUPTA et al., 2014).

Nos últimos anos, a comunidade da construção civil vem demonstrando grande preocupação em contribuir para o desenvolvimento sustentável global, sendo constante os estudos referentes ao reaproveitamento de materiais tidos como inservíveis, objetivando as possíveis vantagens no uso destes resíduos e de forma geral colaborando com a preservação do meio ambiente (MARTINS e AKASAKI, 2005). Dessa forma, foram desenvolvidos estudos para a inserção da borracha proveniente de pneus inservíveis na matriz cimentícia, ou seja, em argamassas, concreto, blocos e outros, criando um novo compósito cimentício que gerou a necessidade de diversas investigações a fim de identificar as características desse material.

Diversos pesquisadores ressaltam que podem haver problemas de redução da resistência à compressão em concretos com borracha conforme o aumento do teor do resíduo e isto pode ocorrer por duas razões: as fissuras iniciadas ao redor das partículas de borracha e à falta de aderência entre as partículas de borracha e a pasta de cimento, pois as partículas que são mais "macias" podem se comportar como vazios na matriz cimentante (GÜNEYISI, et al. apud YAZDI et al., 2015). Esta ligação interfacial pode ser melhorada usando o tratamento de superfície de agregados de borracha (GUPTA et al.,2014). Mas é importante ressaltar, que dependendo do local de aplicação do compósito cimentício com borracha, o bom desempenho em outras propriedades do material pode se tornar mais atrativo, desde que a resistência mínima seja atendida. Além disso a adição de fibras de borracha na mistura de concreto aumenta a resistência à flexão (GUPTA et al., 2014). Também foi constatada a redução no módulo de elasticidade do concreto com incorporação de borracha que indica maior flexibilidade desse material (GUPTA et al., 2014) e (FARHAD, 2016).

Outra propriedade dos materiais de construção civil de grande importância é a durabilidade, visto que o compósito cimentício pode ser considerado duradouro se nas condições ambientais que se encontra proporcionar vida útil de serviço estimado, sem custo excessivo para manutenção e reparação devido à degradação ou deterioração (MATHER, 2004). Segundo Hooton e Bickley (2014) há muitas maneiras de reduzir a pegada de carbono do concreto, no entanto, a forma mais eficaz para melhorar a sustentabilidade do concreto nas estruturas é fazendo-as durar mais tempo, através de um projeto de durabilidade e pela minimização dos defeitos de construção.

Para avaliar a durabilidade dos materiais cimentícios são muitos os ensaios de projeção de durabilidade, incluindo: o congelamento e descongelamento, molhagem e secagem, aquecimento e refrigeração, carga e descarga, cavitação, erosão, ataque com ácido, ataque de sulfato, outros tipos de ataques químicos (marítimos, carbonatação), corrosão do aço, ataques microbiológicos, resistência à abrasão. Além dos aspectos do ambiente externo, quando for relevante, também devem ser considerados os fatores do ambiente interno da estrutura (MATHER, 2004).

É importante ressaltar que Pacheco-Torgal, Ding e Jalali (2012) realizaram um levantamento dos trabalhos científicos que estudam a durabilidade do concreto com borracha, e concluiram que a durabilidade ainda é uma questão subjetiva e necessita de maiores investigações. Questões de como os resíduos influenciam diferentes parâmetros da durabilidade, e o mais importante, como o tratamento de resíduos pode melhorar a durabilidade do concreto ainda devem ser abordadas.

Diante da falta de normativas e da heterogeneidade dos diversos tipos de aplicação dos pneus inservíveis em argamassas e concretos, há a necessidade de estudos posteriores para parametrizar o tamanho, a forma, a massa específica, a quantidade a ser incorporada e o método de pré-tratamento das partículas de resíduo de borracha; de modo a especificar as características necessárias da borracha de pneu inservível para resultar em um compósito cimentício durável.

O objetivo desse estudo é realizar um levantamento bibliométrico para verificar as tendências do uso de borracha de pneu inservível em compósitos cimentícios, obtendo um conjunto de artigos que serão utilizados em um estudo posterior, para a formulação de um banco de dados e realização de análises estatísticas que irão mensurar a influência das variáveis: tamanho da borracha, porcentagem, tratamentos e procedência da borracha, nas propriedades físico-mecânicas e também classificá-las de acordo com os critérios de durabilidade.

2. METODOLOGIA

Em relação ao procedimento de levantamento de coleta de dados, a pesquisa é bibliométrica, utilizando dados secundários (MARCONI e LAKATOS, 2013), por meio do estudo sistemático em materiais como publicações acadêmicas do tipo artigo, já que esses são provenientes de trabalho de conclusão de curso, dissertações e teses. O instrumento de coleta de dados é a internet, por meio da pesquisa dos periódicos da CAPES e a busca pelos artigos será no período de 1999 até 2017, pois em 1999 foi criada a Resolução nº 258 do CONAMA, que dispõe da destinação dos resíduos de pneus inservíveis sendo que mais tarde foi substituída pela Resolução 416 de 2009.

2.1 Escolha das palavras de busca

Optou-se por palavras-chaves que possuem relação direta com a durabilidade do concreto, as quais serão justificadas nos itens posteriores. As palavras pesquisadas foram*: carbonation resistance* (resistência à carbonatação), *ions chloride resistance* (resistência a íons cloreto), *shrinkage* (retração), *sulfate resistance* (resistência a sulfatos), *porosity* (porosidade). *cracking resistance* (resistência à fissuração). Juntamente com essas palavras foi adicionado o termo *concrete rubber w/c* (concreto borracha a/c (água/cimento)), para restringir a busca apenas aos concretos com borracha e também a artigos que mostrem a relação água/cimento (a/c) em seus textos.

2.1.1 Relação a/c *(w/c)*

As normas brasileiras consideram a relação a/c diretamente em função da classe de agressividade ambiental as quais os concretos serão submetidos. Dessa forma, a NBR 6118 (2014) classifica as classes ambientais e também as especifica com relação as taxas de a/c nos projetos de estruturas correntes, segundo as condições de exposição. Além disso, a NBR 6118 (2014) determina que ensaios comprobatórios, de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto, devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos.

2.1.2 Resistência à carbonatação *(carbonation resistance)*

A importância em relação a profundidade de carbonatação ocorre devido ao alto grau prejudicial que ela pode provocar na estrutura provocando a despassivação do aço. Portanto, a despassivação por carbonatação é provocada pela ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura. Assim, para reduzir esse dano é necessário a realização de medidas preventivas que consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto, como o cobrimento adequado das armaduras, o controle da fissuração que minimizam este efeito e também um concreto de baixa porosidade (NBR 6118, 2014).

2.1.3 Resistência a íons cloreto *(ions chloride resistance)* e resistência aos sulfatos *(sulfate resistance)*

O elevado teor de íon-cloro também pode causar a despassivação, que consiste na ruptura local da camada de passivação. Assim os fatores que contribuem para minimizar esse efeito, da mesma forma que os carbonatação, são: o cobrimento das armaduras, o controle da fissuração e a baixa porosidade do concreto. Além desses, o uso de cimento composto com adição de escória ou material pozolânico é também recomendável nestes casos (NBR 6118, 2014). Já a expansão por sulfatos é provocada por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado (NBR 6118, 2014).

2.1.4 Retração e resistência à fissuração *(shrinkage and cracking resistance)*

A durabilidade da obra pode ser ameaçada pelas deformações lentas dos concretos, sejam de origem físico-químicas, como a retração por hidratação e de dessecação, ou mecânicas, como a fluência sob tensão (PONS E TORRENTI, 2014). As deformações de retração podem causar a fissuração e, assim, criar condições para propagação de fatores que favorecem a corrosão das armaduras. (PONS E TORRENTI, 2014). A abertura das fissuras é um parâmetro importante, as vezes por razões estéticas, mas, principalmente, por uma questão de durabilidade da obra. (ACKNER, TORRENTI e GUÉRINET, 2014). O controle da abertura de fissuras deve ser realizado visando o bom desempenho relacionado à proteção das armaduras quanto à corrosão e à aceitabilidade sensorial dos usuários (NBR 6118, 2014).

2.1.5 Porosidade *(porosity)*

Uma das recomendações da NBR 6118 (2014) para diminuição dos efeitos da carbonatação e dos íons cloretos é o baixo nível de porosidade, demostrando a grande importância do controle desta propriedade. A estrutura porosa interfere diretamente nas propriedades de transporte do concreto, sendo elas duas grandezas físicas que caracterizam a aptidão dos concretos de resistir à entrada de agentes agressivos: a permeabilidade (escoamento que ocorre sob gradiente de pressão) e a difusão (transporte em escala molecular sob gradiente de concentração). Quando se pensa em durabilidade, essa está associada à porosidade aberta, mais especificamente à porosidade aberta interconectada, que permite a penetração dos agentes agressivos externos para o interior do concreto. (OLLIVIER e TORRENTI, 2014).

2.2 Medida de aderência do tema

Os artigos foram baixados de acordo a pesquisa das palavras chaves especificadas, nos periódicos CAPES, após esse processo foi realizada uma seleção utilizando uma medida de aderência do tema para separa-los. As medidas de aderência do tema adotadas foram: 1) Durabilidade do concreto com borracha de pneus inservíveis; 2) Outros compósitos cimentícios (pasta, argamassa, solo com cimento e outros); 3) Diferentes resíduos de pneus “in natura” (cinza de borracha de pneus e outros); 4) Revisão Bibliográfica – *Review.*

A busca com as palavras chaves gerou artigos de diversos temas e tipos. Assim de acordo com o objetivo dessa pesquisa, optou-se por classificar os artigos de revisão bibliográfica como os de conteúdo menos relevantes, portanto de aderência quatro (4).

Como as diferentes derivações da borracha de pneu inservível também influenciam nas análises, foi escolhido não coletar os dados de artigos que continham borracha derivada da queima (cinza) e também resíduos de pneus de origem polimérica como a plumagem sem a borracha, decidindo classifica-los como aderência três (3).

Já em relação a outros tipos de compósitos (pasta, argamassa, solo cimento e outros) receberam classificação de aderência 2, pois foram poucos artigos e de origem de compósitos variadas.

A escolha dessas divisões deu-se de acordo com uma breve análise dos perfis dos artigos, sendo que os que se encaixaram no item 1 de aderência são aqueles que possuem tema mais compatível com a pesquisa, aplicação da borracha de pneus em concretos, sendo destes os dados que serão extraídos e trabalhados estatisticamente em estudo posterior.

2.3 Análise de tendências

Nos artigos com aderência 1 foram analisadas as tendências de pesquisa, seguindo o seguinte método de análise de cada artigo: na página inicial, no resumo e no objetivo do artigo foram observados o país do autor principal; nome da revista ou jornal; tipo ou aplicação do concreto (concreto (material), pilar, bloco entre outros). Já na metodologia foram extraídos os seguintes dados: adições ao cimento, adição ou substituição da borracha, tratamentos do resíduo, tipologia dos ensaios realizados.

Na tipologia dos ensaios, esses foram divididos em: ensaios Mecânicos (resistência à compressão, resistência à flexão, entre outros), ensaios Físico-químicos (absorção, densidade, análise microestrutural,

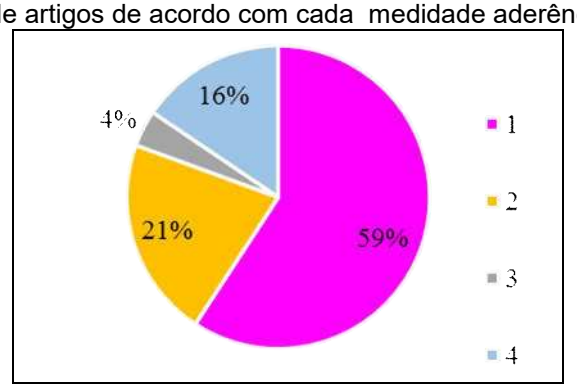
resistência aos sulfatos, íons cloretos, carbonatação entre outros), ensaios térmicos (condutividade térmica, fluxo de calor, resistividade térmica) e ensaios acústicos (absorção sonora entre outros).

3. RESULTADOS

As buscas pelas seis palavras chaves geraram no portal da CAPES 1.980 artigos e após a seleção, na qual, foram retirados artigos repetidos, restaram 103 artigos que continham relação com o tema desse estudo.

Nos 103 artigos realizou-se uma análise de conteúdo, separando-os em relação as medidas de aderência do tema, sendo as quantidades de artigos observadas no gráfico 1. Destaca-se que foram enquadrados na aderência principal - tema Durabilidade do concreto com borracha de pneus inservíveis - a quantidade de 61 artigos.

Gráfico 1- Porcentagem de artigos de acordo com cada medidade aderência ao tema estabelecida.



Fonte: Autores, 2017.

3.1 Medidas de aderência do tema - 4, 3 e 2

Em relação a Medida de aderência 4 - Revisão Bibliográfica - foram encontrados 16 artigos classificados de revisão bibliográfica. Dentre os artigos considerados de revisão, existem aqueles que apenas citam os compósitos cimentícios com borracha na introdução ou em alguma outra parte do artigo, aqueles que abordam o tema realizando uma revisão em um subitem e aqueles que falam exclusivamente do tema com revisão completa.

Os artigos que realizaram uma revisão bibliográfica completa da borracha de pneu são Myhre e Mackillop (2002), Pacheco-Torgal, Ding e Jalali (2012), Karakurt (2015), Rashad (2016) e Thomas e Gupta (2016). Myhre e Mackillop (2002) fazem uma abordagem geral da borracha reciclada e finaliza com as aplicações desse resíduo.

Já em Pacheco-Torgal, Ding e Jalali (2012) são discutidas as propriedades e a durabilidade do concreto com borracha. O trabalho de Karakurt (2015) revisa os estudos que possuem análise microestrutural dos compósitos com borracha. Em Rashad (2016) há uma revisão abrangente sobre reciclagem de borracha como substituição dos agregados finos em materiais cimentícios. E por último, Thomas e Gupta (2016) revisam as aplicações da borracha de resíduos de pneus em concretos.

Em relação a Medida de aderência 3 - Diferentes derivados dos resíduos pneus - foram encontrados quatro artigos com diferentes derivados da borracha: cinza, fibra polimérica e borracha derivada de campos de esporte. No estudo de Hyeok-Jung et al. (2017) foi avaliada a performance mecânica e a durabilidade de concretos contendo cinza derivadas da queima de pneus.

Serdar et al. (2015) realizou a aplicação de fibras poliméricas (exceto a borracha) derivada de pneus inservíveis no concreto e verificou a resistência à fissuração devido à deformação por encolhimento. Mais tarde, Onuaguluchi e Banthia (2017) também estudaram as propriedades físicas e químicas de fibra de poliméricas, analisaram a microestrutura, as fissuras plásticas, microestrutura e a durabilidade a longo prazo de misturas de argamassa quando incorporado esse resíduo.

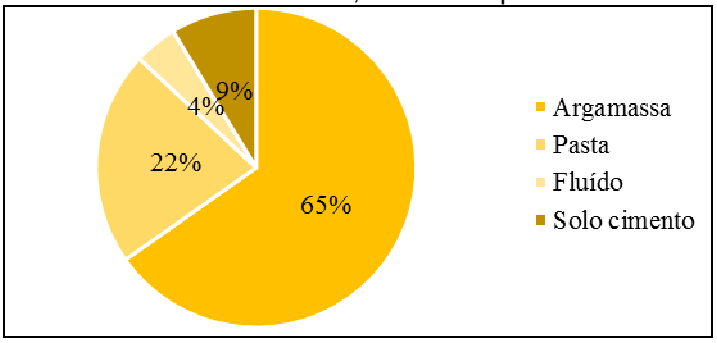
Ghizdãvet et al. (2016) estudou o potencial de uso do estireno butadieno borracha (SBR) como substituição do agregado. Essa borracha é derivada de campos de esporte e não precisa ser moída, sua forma de grão e o tamanho é estatisticamente ideal.

Na análise da Medida de aderência 2 - Outros compósitos cimentícios - foram obtidos 22 artigos, como o estudo de Angelin et al. (2015) que realizaram ensaio tanto com argamassa como pasta de cimento, e então foram considerados 23 compósitos cimentícios. Assim, realizou-se uma subdivisão de tendências desses trabalhos (gráfico 2), sendo elas: argamassa, pasta de cimento, solo-cimento (WANG e SONG, 2015), (YADAV e TIWARI, 2017) e fluído de preenchimento (PIERCE e BLACKWELL, 2003).

Dos 65% dos trabalhos que produziram argamassas, algumas tinham características e usos mais específicos como argamassa de alta resistência (ANGELIN et al., 2017); e argamassa de mistura seca para a produção de blocos (SODUPE-ORTEGA et al., 2016; DEMIR et al., 2015).

No estudo de lajes de Abdulla e Khatab (2014) foi analisado o efeito de uma camada intermediária de argamassa de borracha sobre o comportamento de múltiplas camadas de argamassa armada, que é uma argamassa reforçada com estreita camadas espaçadas de malha de aço de tamanho relativamente pequeno sujeitas a cargas estáticas e dinâmicas. Já nos trabalhos com pasta de cimento de Leung e Grasley (2012), Nacif et al. (2013); Angelin et al. (2015), Xiaowei et al. (2017); entre os ensaios realizados está sempre presente a análise microestrutural sobre a interação da borracha com a matriz cimentícia.

Gráfico 2- Nível de aderência 2, outros compósitos cimentícios.



Fonte: Autores, 2017.

Portanto os artigos de aderência 4 - Revisão Bibliográfica - discutem os artigos de origem de outros autores, sendo inviável obter dados desses trabalhos para análises e as pesquisas de aderência 3 - Diferentes derivados dos resíduos de pneus - trabalham com materiais como cinza de borracha de pneus e fibras sintéticas, ou seja, não possuem borracha de pneus processadas por cortes mecânicos. Já os classificados como aderência 2 - Outros compósitos cimentícios - trabalham com produtos cimentícios de propriedades diversificadas, gerando dados heterogênicos e dificultando sua análise.

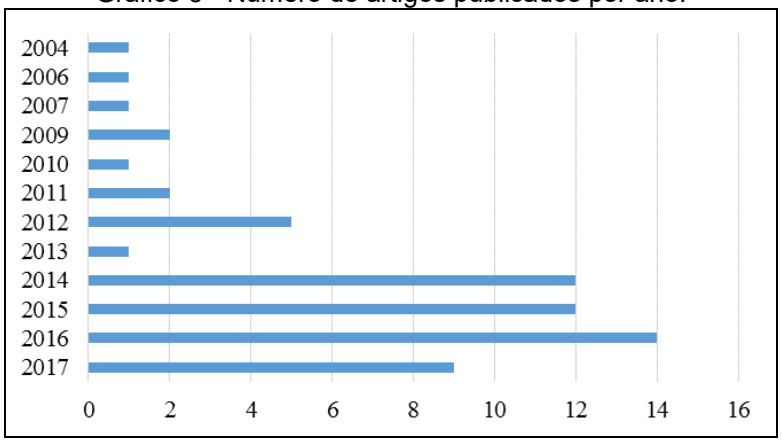
3.2 Medida de Aderência do Tema - 1

Os artigos classificados aderência 1- Durabilidade do concreto com borracha de pneus inservíveis- são os mais numerosos e trabalham com a borracha de pneus pura ou em conjunto com outros resíduos, todos estudam as propriedades do concreto, propiciando a coleta de dados provenientes de uma mesma categoria, assim somente esses artigos foram selecionados para a análise de dados.

3.2.1 Ano de publicação

Como pode ser observado no gráfico 3, a quantidade de artigos que tratam do conteúdo concreto com borracha de pneus foi crescendo ao longo dos anos, os dados de 2017 foram coletados entre junho e agosto, portanto podem haver publicações que ocorreram após esse período. Provavelmente o aumento dessas pesquisas tem relação com o aumento do número de veículos no mundo e consequentemente com a geração de pneus inservíveis, ocasionando a busca por destinações mais adequadas e menos impactantes como é caso da aplicação na construção civil.

Gráfico 3 - Número de artigos publicados por ano.



Fonte: Autores, 2017.

3.2.2 País do autor principal

Foi realizado o levantamento dos países aos quais pertenciam os autores principais, totalizando 21 países (gráfico 4), sendo que essa variedade de nacionalidades demonstra que os pneus inservíveis são um problema global, e que sua a aplicação na área de engenharia civil tem sido objeto de pesquisas nacionais e internacionais.

No gráfico 4, os países em desenvolvimento China e Índia são os que apresentaram maiores números de artigos. Na China, a redução de energia e das emissões de gás carbônico, a escassez do arenito em Taiwan são problemas urgentes que influenciam a melhor utilização dos recursos e uma construção de qualidade e eficiente, a fim de manter o desenvolvimento econômico. Assim, as técnicas de reciclagem de recursos podem ser usadas para converter "resíduos" em "novo recurso", oferecendo recursos ambientais (HUNAG et al., 2015).

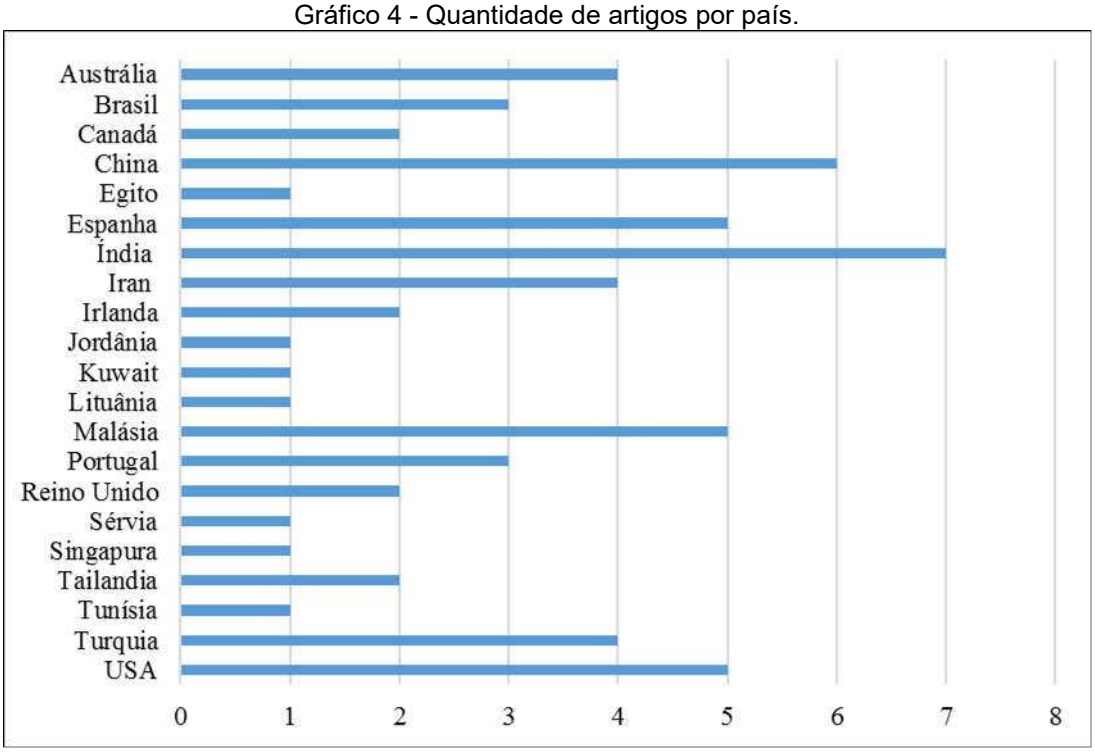
Os indianos retratam o custo e a escassez da areia de rio, os efeitos ambientais de sua extração, além da restrição dos governos estaduais da Índia a extração da areia de rio para a indústria do concreto, assim é necessária a realização de pesquisas para investigar o uso de materiais alternativos mais baratos, facilmente disponíveis e sustentáveis. A acumulação de pneus descartados é um grande problema, uma vez que a degradação destes pneus é muito difícil. (GUPTA, CHAUDHARY e SHARMA, 2016)

A eliminação de resíduos de pneus é um problema de saúde e ambiental, além da reciclagem ser bastante difícil devido sua estrutura complexa. (GUPTA, CHAUDHARY E SHARMA, 2014). A prática de eliminação por queima cria graves riscos de incêndio e poluição ambiental. A disposição em aterros não é inviável, devido o esgotamento de locais disponíveis e também as infecções sanitárias por insetos e roedores. (THOMAS, GUPTA e PANICKER, 2016).

Como pode ser observado ainda no gráfico 4, o Brasil tem apenas 3 publicações, por isso acredita-se que as publicações estão ocorrendo ainda em revistas e bancos de dados nacionais e regionais, já que as políticas públicas em âmbito nacional ainda estão em desenvolvimento, no que diz respeito especificamente a aplicação do resíduo borracha de pneus inservíveis na construção civil.
No entanto existem municípios que já tomaram a iniciativa da criação de leis que estimulam a aplicação da borracha de pneus, como é o caso da cidade de Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul, que aprovou a Lei n. 4.818, de 19 de março de 2010, que dispõe sobre a incorporação de borrachas de pneus inservíveis em revestimentos asfálticos de pavimentos e concretos não estruturais rodoviários e urbanos construídos com recursos municipais no âmbito da cidade.

Dessa forma, faz-se necessária a busca por trabalhos em bancos nacionais para a obtenção de um número maior de artigos e também para que existam dados dos resíduos de borracha de pneus gerados no território brasileiro.

Gráfico 4 - Quantidade de artigos por país.



Fonte: Autores, 2017.

3.2.3 Nome da revista ou jornal

Também foram identificados as revistas e jornais as quais pertenciam esses 61 artigos, com isso foram encontrados 18 tipos de meios de publicações diferentes com destaque para a Revista Construction and Building Materials, meio de publicação 31 artigos que corresponde a mais da metade do total de aderência 1.

3.2.4 Tipo ou aplicação do concreto

Como pode ser observado na tabela 1, 77% dos autores trabalham mais com as propriedades do material concreto, e poucos trabalharam com componentes ou elementos construtivos, 23%.

O fato de mais de 50% dos artigos terem sidos publicados na Revista Construction and Building Materials e de que 77% dos autores trabalham mais com as propriedades do material concreto (tabela 1), indica que provavelmente o resíduo de borracha de pneus ainda está no estudo da concepção de um novo material, corroborando a necessidade de aglutinar as pesquisas em torno da temática.

Tabela 1– Concretos, componentes e elementos classificados de acordo com a descrição dos autores.

	Tipo ou aplicação	Nº de artigos	%
Material	Concreto	33	54%
	Concreto auto-adensável	1	2%
	Concreto de alta-resistência	2	3%
	Concreto de reparação	1	2%
	Concreto leve	1	2%
	Concreto para pavimentação	1	2%
	Concreto permeável	2	3%
	Concreto seco	3	5%
	Concreto sob confinamento	3	5%
	Subtotal =	47	**77%**
Componentes e elementos	Lajes de concreto	2	3%
	Painel de Concreto	1	2%
	Pavimento de concreto	1	2%
	Pavimento de concreto compactado a rolo	2	3%
	Pavimento rígidos de concreto com borracha	1	2%
	Tubos de aço com concreto no interior	2	3%
	Tubos de concreto seco	1	2%
	Vigas (concreto convencional e auto adensável)	1	2%
	Bloco de concreto -Concreto seco	1	2%
	Blocos de Pavimentação de concreto	2	3%
	Subtotal =	14	**23%**
	Total	61	100%

Fonte: Autores, 2017.

3.2.5 Adição ao cimento

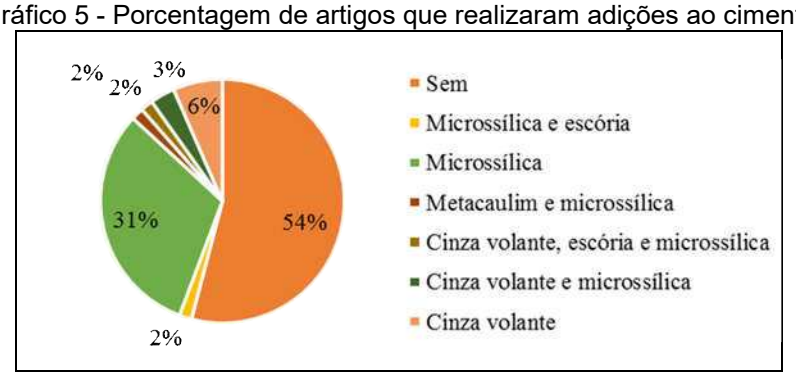
A identificação de que houve adição ao cimento foi computada quando o autor de cada pesquisa deixou explícito na metodologia o nome da adição ou quando inseriu uma tabela da composição química do cimento que fosse possível identificar a presença de adição, como por exemplo a microssílica. Portanto, quando os autores relataram somente o nome do cimento com siglas, sem análise de sua composição, este dado foi desconsiderado (não computado), já que há cimentos com origem de diferentes países e com normas nacionais.

Como pode ser observado gráfico 5, foram considerados 54% artigos sem adição e a maior parte das adições foi de microssílica, o que corresponde a 31%. A adição de microssílica na matriz cimentícia melhora as propriedades mecânicas dos concretos com borracha de pneus e diminuem a taxa de perda de resistência à compressão e à tração, e também do módulo de elasticidade, uma vez que a microssílica é constituída de partículas mais finas que funcionam como um enchimento e que proporcionam uma boa aderência entre a borracha e a matriz de cimento. (GÜNEYISI, GESOĞLU e ÖZTURAN, 2004).

A cinza volante também refina a estrutura dos poros, o concreto auto - adensável com borracha de pneus e cinza volante também apresentou melhor resistência à permeabilidade ao íon cloreto, sortividade de água e absorção de água. (GESOĞLU E GÜNEYISI, 2011).

Além disso, provavelmente a utilização da microssílica, cinza volante e escória, que são resíduos industriais, também está relacionada a redução do consumo de energia e das emissões de carbono na produção dos cimentos.

Gráfico 5 - Porcentagem de artigos que realizaram adições ao cimento



Fonte: Autores, 2017.

3.2.6 Adição ou substituição da borracha

Ressalva-se que alguns autores descreveram de forma explícita o processo de fabricação da borracha, ou seja, o corte mecânico dos pneus e também a composição da borracha pura ou com resíduos de aço e fibras poliméricas de outra origem (sem ser a borracha). No entanto, muitos trabalhos deixaram implícito a origem, subentendendo-se que a origem foi mecânica, já que não cita o processo de queima. Portanto é necessário considerar esse fator, pois pode influenciar os dados fornecidos nos resultados desses trabalhos.

Analisou-se o perfil das pesquisas em relação a forma que os autores incorporaram a borracha ao concreto. O gráfico 6, mostra que 62% dos artigos incorporaram a borracha como substituição do agregado miúdo.

A resistência à carbonatação é significativamente afetada pela incorporação de borracha de pneus, especialmente quando o agregado graúdo é substituído. Quanto à influência do tamanho dos agregados substituídos na mistura, verifica-se que os resultados dos testes de durabilidade pioram quando o tamanho aumenta. O teste de retração foi a única exceção dessa regra (BRAVO e BRITO, 2012).

Gráfico 6- Forma de aplicação



Fonte: Autores, 2017.

3.2.7 Tratamentos do resíduo

Em relação em como os resíduos foram aplicados, 85% não recebeu nenhum pré-tratamento, tabela 2.
O tratamento mais utilizado foi com NaOH (hidróxido de sódio), tabela 2, a utilização de NaOH segundo Segre, Monteiro e Sposito (2002) remove o estearato de zinco, um aditivo presente nos resíduos de pneu que muitas vezes migram e difundem para a superfície, resultando em baixa adesão entre a borracha e outros materiais.

Em Mohammadi, Khabbaz e Vessalas (2016) os resultados revelaram que a resistência do concreto foi reduzida tanto em concretos com borracha de pneus com ou sem tratamento. Em comparação com a borracha não tratada, as amostras preparadas com borracha que receberam o tratamento de hidróxido de sódio apresentaram resistência à compressão e a flexão de 25 e 5% maiores, respectivamente.

Acredita- se, que mesmo tendo alguns estudos relacionados aos tratamentos da borracha de pneus, ainda são poucas as pesquisas nesse tema. Outra questão é que utilizar as partículas de pneus " *in natura*" é uma forma mais prática e barata de manipular esse resíduo.

Tabela 2–Tratamentos realizados com a borracha.

Tratamento	Nº de artigos	%
Sem tratamento	52	85,25%
NaOH	4	6,56%
NaOH + epóxi	1	1,64%
NaOH + sílica	1	1,64%
Água + pó de calcário	1	1,64%
Látex SBR	1	1,64%
Argamassa	1	1,64%
Total	61	100,00%

Fonte: Autores, 2017.

3.2.8 Análise dos ensaios

Na metodologia, também foi identificada a tipologia dos ensaios realizados por cada artigo, sendo que todos os trabalhos (100%) realizaram pelo menos um tipo de ensaio mecânico e 66% também fizeram ensaios físico-químicos, 10% ensaios térmicos e 8% ensaios acústicos. Estas observações direcionam para o entendimento de que as pesquisas estão ainda em uma fase inicial de concepção do material, pois se é sabido que a borracha traz benefícios térmicos e acústicos, se já houve pleno conhecimento do compósito cimentício com borracha de pneus deveriam existir trabalhos com mais resultados térmico-acústicos.

4. CONCLUSÕES

Na análise dos artigos, observou-se a necessidade de descrições de procedimentos e materiais mais objetivas e explícitas, pois alguns artigos não apresentaram clareza nos processos de fabricação de borracha de pneus inservíveis. Esse princípio é essencial para que as pesquisas científicas possam ser reproduzidas, nesse caso o rigor deve ser maior ainda, já que os resíduos são mais suscetíveis a variações de suas propriedades.

Com o estudo bibliométrico realizado foi possível observar que os trabalhos estudam em sua maioria as propriedades mecânicas do material concreto, substituindo os agregados miúdos pela borracha de pneus sem aplicação de tratamento no resíduo de borracha.

O fato de mais de 50% dos artigos terem sidos publicados na Revista Construction and Building Materials e de que 77% dos autores trabalham mais com as propriedades do material concreto, indica que provavelmente o resíduo de borracha de pneus ainda está no estudo da concepção de um novo material, corroborando a necessidade de aglutinar as pesquisas em torno da temática. Como foi verificado nos estudos a inclusão da borracha proveniente de pneus inservíveis tem suas pontencialidades, mas ainda são necessários traços definidos em relação de durabilidade.

Dessa forma, essa revisão bibliométrica é a base para o próximo estudo em que serão coletados dados quantitativos desses artigos já selecionados, para a realização de análises estátiscas em busca de um desempenho previsível do concreto com borracha de pneus inservíveis de acordo com meios indiretos relacionados com a durabilidade como a resistência à compressão, a absorção, a porosidade, a relação a/c e outros.

5. REFERÊNCIAS

ABDULLA, AZIZ; KHATAB, HADEEL. **Behavior of Multilayer Composite Ferrocement Slabs with Intermediate Rubberized Cement Mortar Layer**. Arabian Journal for Science and Engineering, v.39, p. 5929-5941, 2014.

ACKNER, P.; TORRENTI, J. M.; GUÉRINET, M. Capítulo 6: Controle de fissuração nas primeiras idades: condição de durabilidade das obras de concreto. **Durabilidade do concreto. Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente.** Editores: Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot. São Paulo. IBRACON, 2014.

ANGELIN, A. F. ; LINTZ, R. C. C.; GACHET-BARBOSA, L. A. ; OSÓRIO, W. R. **The effects of porosity on mechanical behavior and water absorption of an environmentally friendly cement mortar (with recycled rubber).** Construction and Building Materials, v. 151, p. 534-545, 2017.

ANGELIN, A.F. ; ANDRADE, M. F.F. ; BONATTI, R. ; LINTZ, R. C. C. ; GACHET-BARBOSA, L. A. ; OSORIO, W. R. **Effects of spheroid and fiber-like waste-tire rubbers on interrelation of strength-to-porosity in rubberized cement and mortars**. Construction and Building Materials, v.95, p.525, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

BRAVO, M.; DE BRITO, J. **Concrete made with used tyre aggregate: durability-related performance**. Journal of Cleaner Production, v. 25, pp.42-50, 2012.

CÂMARA MUNICIPAL DE CAMPO GRANDE, MATO GROSSO DO SUL. **Lei n. 4.818, de 19/03/2010**. Disponível em:< http://www.camara.ms.gov.br/legislacao-municipal >. Acessado em: 15 novembro, 2017.

DEMIR, F.; YESILATA, B.; TURGUT, P.; BULUT, H.; ISIKER, Y. **Investigation of the effects of pH, aging and scrap tire content on the dissolution behaviors of new scrap tire-concrete mixture structures**. Journal of Cleaner Production 93, p. 38-46, 2015.

FARHAD, A. **Mechanical Properties of Waste Tire Rubber Concrete.** J. Mater. Civ. Eng., 28. 2016. p. 040151521-0401515214.

GESOĞLU, M.; GÜNEYISI, E. **Permeability properties of self-compacting rubberized concretes**. Construction and Building Materials, v. 25, pp.3319-3326, 2011.

GHIZDÃVET, Z.; STEFAN, B.; NASTAC, D. ; VASILE, O. ; BRATU, M. **Sound absorbing materials made by embedding crumb rubberwaste in a concrete matrix.** Construction and Building Materials 124, p.755, 2016.

GREENPEACE BRASIL. **Incineração não é a solução** (2003). Disponível em: < http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/incinera-o-n-o-e-a-solu-o/ >. Acessado em: 28 jan. 2016.

GÜNEYISI, E.; GESOĞLU, M.; ÖZTURAN, T. **Properties of rubberized concretes containing silica fume**. Cement and Concrete Research, v .34, p.2309-2317, 2004.

GUPTA, T.; CHAUDHARY, S.; SHARMA, R. K. **Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate.** Construction and Building Materials 73, p. 562–574, 2014.

_____. **Mechanical and durability properties of waste rubber fiber concrete with and without silica fume.** Journal of Cleaner Production 112, p. 702-711, 2016.

HOOTON, R. D; BICKLEY, J. A. **Design for durability: The key to improving concrete sustainability.** Construction and Building Materials 67, p. 422-430, 2014.

HUNAG, L. J.; WANG, H. Y.;WANG, S. Y. **A study of the durability of recycled green building materials in lightweight aggregate concrete**. Construction and Building Materials 96, p. 353–359, 2015.

HYEOK-JUNG, K.; SANG-MIN, P.; SUBBIAH, K.; SEUNG-JUN, K. **Durability performance evaluation of concrete containing TDFA (Tire Derived Fuel Ash).**Construction and Building Materials 133, p.376, 2017.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recurso Naturais Renováveis. **Relatório Pneumáticos 2016 Resolução Conama nº 416/09.** Disponívelem:<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/174D441A/RelatorioPneumaticos2016.pdf>. Acessado em: 22 novembro, 2016.

KARAKURT, C. **Microstructure properties of waste tire rubber composites: an overview.** Journal of Material Cycles and Waste Management, v.17, p.422-433, 2015.

LEUNG, CHIN K.; GRASLEY, Z. C. **Effect of micrometric and nanometric viscoelastic inclusions on mechanical damping behavior of cementitious composites**. Construction and Building Materials, v. 35, p.444, 2012.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do Trabalho Científico.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

MARTINS, I. R. F.; AKASAKI, J.L. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu.** Dissertação UNESP. 2005.

MATHER, B. **Concrete durability**. Cement e Concrete Composites, v. 26, p. 3-4, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO Nº 416**, DE 30 DE SETEMBRO DE 2009. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>. Acessado em: 23 junho, 2016.

MOHAMMADI, I.; KHABBAZ, H.; VESSALAS, K. **Enhancing mechanical performance of rubberised concrete pavements with sodium hydroxide treatment.** Materials and Structures, v. 49, p. 813-827, 2016.

MOHAMMED, B. S.; HOSSAIN, K. M. A.; SWEE, J. T. E.; WONG, G. **Properties of crumb rubber hollow concrete block.** Journal of Cleaner Production 23, p. 57-67, 2012.

MYHRE, M.; MACKILLOP, D. **Rubber recycling.** Rubber Chemistry and Technology, Vol.75, p. 429-474, 2002.

NACIF, G. L ; PANZERA, T. H ; STRECKER, K ; CHRISTOFORO, A. L ; PAINE, K. **Investigations on Cementitious Composites Based on RubberParticle Waste Additions.** Materials Research-Ibero-American Journal Of Materials, Vol.16, p. 259-268, 2013.

OLLIVIER, J. P.; TORRENTI, J. M. Capítulo 3: A estrutura porosa dos concretos e as propriedades de transporte. **Durabilidade do concreto. Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente.** Editores: Jean- Pierre Ollivier e Angélique Vichot. São Paulo. IBRACON, 2014.

ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. **Durability performance of polymeric scrap tire fibers and its reinforced cement mortar**. Materials and Structures 50, p. 1-10, 2017.

PACHECO - TORGAL, F.; DING, Y.; JALALI, S. **Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): an overview.** Construction and Building Materials, v. 30, p.714, 2012.

PIERCE, C.E.; BLACKWELL, M. C. **Potential of scrap tire rubber as lightweight aggregate in flowable fill.** Waste Management, v.23, p. 197-208, 2003.

PMCG. Prefeitura Municipal de Campo Grande – MS. **Apresentação do Plano de Saneamento Básico – Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Disponível em:<http://www.pmcg.ms.gov.br/semadur>. Acessado em: 24 novembro, 2016.

PONS, G.; TORRENTI, J. M. Capítulo 5: Retração e fluência. **Durabilidade do concreto. Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente.** Editores: Jean- Pierre Ollivier e Angélique Vichot. São Paulo. IBRACON, 2014.

RASHAD, A. M. **A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials.** International Journal of Sustainable Built Environment, v.5, p. 46-82, 2016.

SEGRE, N.; MONTEIRO, P. J. M. ; SPOSITO, G. **Surface Characterization of Recycled Tire Rubber to Be Used in Cement Paste Matrix.** Journal of Colloid And Interface Science, v. 248, p.521-523, 2002.

SERDAR, M ; BARICEVIC, A ; RUKAVINA, M. J.; PEZER, M ; BJEGOVIC, D ; STIRMER, N. **Shrinkage Behaviour of Fibre Reinforced Concrete with Recycled Tyre Polymer Fibres.** International Journal Of Polymer Science, 2015.

SODUPE-ORTEGA, E. ; FRAILE-GARCIA, E. ; FERREIRO-CABELLO, J. ; SANZ-GARCIA, A. **Evaluation of crumb rubber as aggregate for automated manufacturing of rubberized long hollow blocks and bricks.** Construction and Building Materials, v.106, p.305, 2016.

THOMAS, B. S. ; GUPTA, R. C. ; PANICKER, V. J. **Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: durability-related performance.** Journal of Cleaner Production 112, p. 504-513, 2016.

THOMAS, B. S.; GUPTA, R. C. **A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 54, p.1323-1333, 2016.

YADAV, J. S.; TIWARI, S. K. **Effect of waste rubber fibres on the geotechnical properties of clay stabilized with cement.** Applied clay science, 2017.

YAZDI, M. A.; YANG, J.; YIHUI, H. S**. A Review on Application of Waste Tire in Concrete**. International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, v. 9, Nº:12, 2015.