

ÁREA TEMÁTICA: Área 3 – Reciclagem

APROVEITAMENTO DE BORRACHA RECICLADA DE PNEU INSERVÍVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

*Camila Simonetti (cacaks@hotmail.com), Jeniffer Wugniel Pereira (jenifferwugniel@hotmail.com),
Bernardo Fonseca Tutikian (bftutikian@unisinós.br)*

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

RESUMO

O descarte de pneus inservíveis começa a ocupar um papel de destaque na atual discussão sobre os impactos sanitários e ambientais, e pesquisadores de diversas áreas têm procurado desenvolver ações para o uso deste material como forma de aproveitamento do seu potencial. Neste contexto, uma das alternativas é a inclusão de partículas de borracha oriundas de pneus já descartados na indústria da construção civil. Dessa forma, o presente artigo teve como intuito elencar pesquisas e aplicações práticas do uso de borracha reciclada de pneus inservíveis em diversas áreas da construção civil. Esta análise foi feita através de uma revisão bibliográfica entre pesquisas brasileiras e internacionais, reunindo os principais apontamentos sobre essa temática. Nesse estudo, foram elencadas aplicações no âmbito da geotécnica, calçamento e pavimentação, uso em concretos e argamassas, bem como artefatos de borracha vendidos comercialmente. A elaboração dessa revisão de literatura reforçou a empregabilidade de borracha reciclada de pneus inservíveis, mostrando que ainda existe campo para aprimorar as técnicas sugeridas nesse artigo, bem como para viabilizar outras possibilidades de aproveitamento de borracha de pneus inservíveis na construção civil.

Palavras-chave: Pneu inservível; Borracha; Construção civil.

USE OF RECYCLED RUBBER FROM WASTE TIRES IN CIVIL CONSTRUCTION

ABSTRACT

The inappropriate disposal of waste tires represents a major concern regarding the mitigation of sanitary and environmental impacts from this action. This issue has motivated several studies on possible methods for reusing these elements. In this context, one of the alternatives is the inclusion of rubber particles from waste tires in the construction industry. Thus, this article aimed to list studies and practical applications about the use of recycled rubber from waste tires in various areas of civil construction. This analysis was done through a bibliographic review between Brazilian and international researches, bringing together the main notes on this theme. In this article, applications were listed in the scope of geotechnics, paving, use in concrete and mortar, as well as commercially sold rubber artifacts. The elaboration of this literature review reinforced the employability of recycled rubber from waste tires, showing that there is still space to improve the techniques suggested in this article, as well as to enable other possibilities of using waste rubber in civil construction.

Keywords: Waste tire; Rubber, Civil construction.

1. INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento tecnológico, aumento da população e demanda por novas tecnologias com redução do ciclo de vida dos produtos tem contribuído para o aumento do descarte de produtos inservíveis. Como consequência, ocorre o aumento do volume destinado a aterros, do consumo de recursos naturais, da poluição e do custo envolvido no processo de coleta e destinação dos resíduos. (LAGARINHOS, 2011).

Entre os resíduos sólidos produzidos pela população, os pneus, considerados resíduos especiais, ocupam um papel de destaque na discussão dos impactos sanitários e ambientais. (GOBBI, 2002).

Uma das preocupações é o tempo de decomposição desse material, pois um pneu, ao ser disposto na natureza, pode levar mais de 600 anos para se degradar. (GRIPPI, 2006).

Os pneus inservíveis descartados de forma inadequada contribuem para entupimentos de redes de águas pluviais e enchentes, além da poluição de rios, e ocupam um enorme volume nos aterros sanitários. (TORNELLI, 2016). O autor complementa que, quando ele é descartado de maneira incorreta, pode fomentar a proliferação de mosquitos, assim como auxiliar o aumento de doenças ocasionadas por este meio de transmissão, como dengue, zika e chikungunya.

A Resolução nº 416 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 30 de setembro de 2009, aborda a coleta e a destinação adequada dos pneus inservíveis, indicando que deve ser viabilizada pelos fabricantes de pneus, sendo que para cada pneu novo ou importado, deve ser destinado adequadamente um pneu inservível. (CONAMA, 2009).

A Reciclanip é responsável por coordenar a coleta dos pneus inservíveis das principais empresas fabricantes do Brasil, sendo uma das maiores iniciativas da indústria brasileira na área de logística reversa. O Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis teve início em 1999, e, até 2019, foram recolhidos e destinados 471 mil toneladas de pneus inservíveis. (RECICLANIP, 2020).

Neste contexto, surge a necessidade de reavaliar o descarte de pneus inservíveis tanto pela indústria de reciclagem de resíduos sólidos quanto pelo mercado que se articula em torno da coleta e da transformação de quantidades crescentes desse resíduo. A construção civil pode participar desse processo de aproveitamento de pneus inservíveis, atribuindo uma destinação final nobre para esses elementos. No âmbito da construção civil, a borracha reciclada pode ser incorporada ao concreto ou argamassas, já que são materiais largamente utilizados. Ou ainda, podem constituir obras geotécnicas, pavimentações dentre outros dispositivos e sistemas construtivos.

2. OBJETIVO

Este presente trabalho tem como objetivo principal apresentar opções de utilização de borracha reciclada de pneus inservíveis no âmbito da construção civil. Como objetivos secundários, o estudo busca demonstrar a legislação brasileira atual sobre a disposição adequada desses elementos, bem como indicar um breve panorama acerca da reciclagem desse material.

3. METODOLOGIA

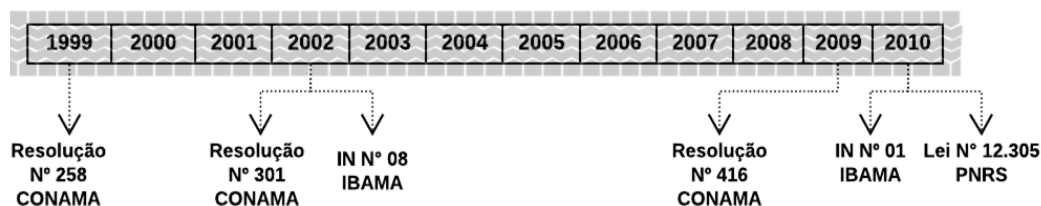
A metodologia deste trabalho foi baseada em uma pesquisa bibliográfica e documental de experiências nacionais e internacionais, sendo as principais fontes consultadas para a elaboração da revisão artigos em periódicos científicos, livros, teses, dissertações e resumos em congresso. Como se trata de uma revisão bibliográfica, não foi realizada pesquisa de campo ou experimental acerca do tema.

Os resultados são expressos em três categorias principais, sendo estas a regulamentação brasileira sobre pneus, a reciclagem dos pneus quando inservíveis e as possíveis aplicações de borracha reciclada de pneus na construção civil.

4. REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA SOBRE PNEUS INSERVÍVEIS

As primeiras regulamentações brasileiras envolvendo pneus surgiram na década de 90 como normas voltadas para prevenir a geração de resíduos de pneus. A Figura 1 apresenta uma linha do tempo com a sequência cronológica de vigência de normativas acerca da legislação ambiental brasileira sobre pneus inservíveis.

Figura 1. Cronologia da legislação ambiental brasileira sobre pneus inservíveis



Fonte: elaborado pela autora.

Em 1999, o Conselho Nacional do Meio Ambiente colocou em vigor a primeira resolução, nº 258 de 26 de agosto do respectivo ano, definindo que fabricantes e importadores de pneus passam a ter a obrigação de dar uma destinação ambientalmente correta aos pneus inservíveis conforme proporção determinada pela referida resolução. (CONAMA, 1999).

A Resolução nº 301 do CONAMA (2002), altera e inclui determinados dispositivos da Resolução nº 258 do CONAMA (1999), modificando os prazos e quantidades para coleta e destinação final de pneus inservíveis visando a sua melhor aplicação.

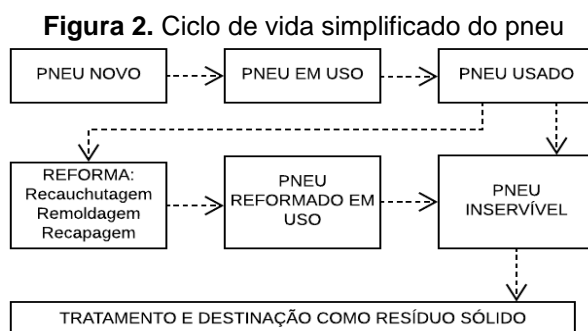
Em 30 de setembro de 2009, entrou em vigor a Resolução nº 416 do CONAMA a qual estipula que fabricantes e importadores de pneus são responsabilizados pela coleta e destinação final de 100% os pneus inservíveis do território nacional. (CONAMA, 2009).

Para complementação da Resolução nº 416 do CONAMA (2009), foi efetivada a Instrução Normativa nº 01 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (IBAMA, 2010). Anteriormente, este mesmo órgão implementou a Instrução Normativa nº 08 exigindo o cadastramento de todos os comerciantes do setor de pneumáticos. (IBAMA, 2002).

Em 2010, foi sancionada a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual vem ratificar a Resolução nº 416 do CONAMA (2009), reforçando a obrigatoriedade dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pneus a descartar os pneus inservíveis adequadamente.

5. RECICLAGEM DE PNEUS INSERVÍVEIS

O ciclo de vida do pneu consiste na extração de matéria prima, produção, consumo, coleta dos pneus descartados e gerenciamento da destinação do resíduo. A Figura 2 representa de forma esquemática o ciclo de vida do pneu, a partir da etapa de produção.



Fonte: adaptado de Secretariat Basel Convention (1999).

A Portaria nº 554 do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia regula a qualidade para a reforma de pneus, definindo itens de cumprimento obrigatório referentes à segurança deste produto. A referida portaria define pneu novo como aquele que não sofreu qualquer uso, e pneu usado o que foi submetido a qualquer tipo de uso ou desgaste. Já o pneu inservível, é o pneu que apresente danos irreparáveis em sua estrutura. (INMETRO, 2015).

O número máximo de consertos e reparos para que um pneu possa ser reformado deve ser de acordo com o estabelecido na referida portaria. Por exemplo, o número máximo de reformas para pneus diagonais para automóveis e comerciais leves é igual a três. Desta forma, o pneu só retorna

à sua cadeia através da reutilização pela reforma, caracterizando este retorno ao ciclo bastante limitado, dificultando a reutilização do pneu com o mesmo fim para o qual foi produzido.

Uma vez que um pneu tenha sido permanentemente removido de um veículo, sem a possibilidade de ser devolvido à rodagem, ele se torna um elemento a ser descartado. A reciclagem se torna uma excelente opção para a gestão sustentável de pneus inservíveis, pois um resíduo é transformado em uma matéria prima que pode ser reintegrada ao fluxo econômico como recurso para substituir o uso de recursos virgens. (SHULMAN, 2004).

Os tratamentos e tecnologias existentes não tentam retornar a borracha ao seu composto polimérico de origem. Silva (2015) explica que a desvulcanização da borracha ocasiona a quebra de ligações estruturais e perdas de propriedades do polímero, gerando um material de qualidade muito inferior à do material de origem.

O tratamento que os pneus terão durante a reciclagem é um método especializado de processá-los para alcançar um resultado especificado, por exemplo, redução de tamanho é um tratamento projetado para reduzir um pneu em pedaços menores para as quais uma de várias tecnologias diferentes possa ser usada. (SHULMAN, 2004).

Há quatro níveis de tratamentos para os pneus inservíveis conforme as suas funções, que se tornam mais complexas à medida que progridem através de níveis sucessivos. A Tabela 1 resume as categorias de tratamentos para reciclagem de pneus.

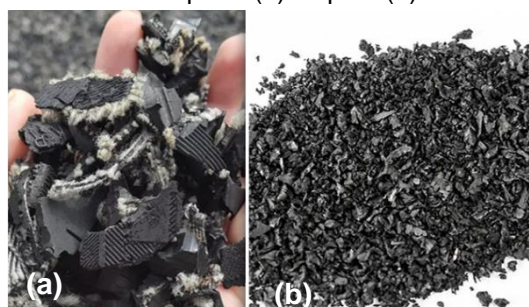
Tabela 1. Categorias de tratamentos para reciclagem de pneus

Categoria	Descrição	Exemplo
Reciclagem primária	Destruição mecânica ou física de partes do pneu	Remoção do cordão, cortes
Reciclagem secundária	Separação dos elementos do pneu para segregar os componentes principais	Separação da borracha, dos metais e dos têxteis
Reciclagem terciária	Processo tecnológico de produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos poliméricos	Pirólise e desvulcanização
Reciclagem quaternária	Processo tecnológico de recuperação de energia por resíduos poliméricos	Incineração controlada

Fonte: adaptado de Spinacé e Paoli (2005) e Shulman (2004)

Cabe ressaltar que a maior parte das pesquisas e exemplos utilizados nesse artigo estão contemplados nas categorias primária e secundária de tratamento para a reciclagem de pneus inservíveis, uma vez que utilizam a trituração e separação mecânica sem o emprego de tratamentos químicos. A borracha reciclada, oriunda de pneu inservível, pode ser encontrada no mercado em diversos formatos e granulometrias. Pode ser obtido em pó, em formato granular entre 2 mm a 3 mm, mediante trituração, ou pedaços maiores como lascas ou chips. A seguir a Figura 3 ilustra a diferença entre os chips de borracha e a borracha triturada.

Figura 3. Resíduos de pneu (a) chips e (b) borracha triturada



Fonte: adaptado de RECICLA MAIS (2019)

6. APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE PNEUS INSERVÍVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Centros de pesquisa, organizações não governamentais e fabricantes de pneus aportam investimentos em novas alternativas para o uso ambientalmente adequado aos pneus inservíveis. Diversos pesquisadores atuam em linhas de pesquisa buscando uma alternativa para a aplicação do pneu inservível, de maneira sustentável, dentro da construção civil.

O pó de borracha tem aplicações como aditivo para asfalto para pavimentação de rodovias, onde aumenta a durabilidade da pista de rolamento, como suporte de grama sintética em quadras esportivas, como carga em composição de borracha e como matéria-prima para a produção de regenerado. (GRISON, 2010).

No âmbito da pavimentação asfáltica, Dias (2005) atestou a viabilidade técnica para execução de pavimentação de vias urbanas com a utilização de borracha reciclada de pneus, adicionada ao concreto asfáltico, mantendo a aplicabilidade das técnicas e equipamentos tradicionais para execução do concreto asfáltico, com a finalidade de prolongar a vida útil e reduzir custo de manutenção. A pavimentação desenvolvida na pesquisa foi aplicada em um trecho de 109 metros no Bairro Bom Jesus, no Município de Porto Alegre/RS, conforme apresenta a Figura 4.

Figura 4. Trecho experimental de aplicação de concreto asfáltico com borracha reciclada



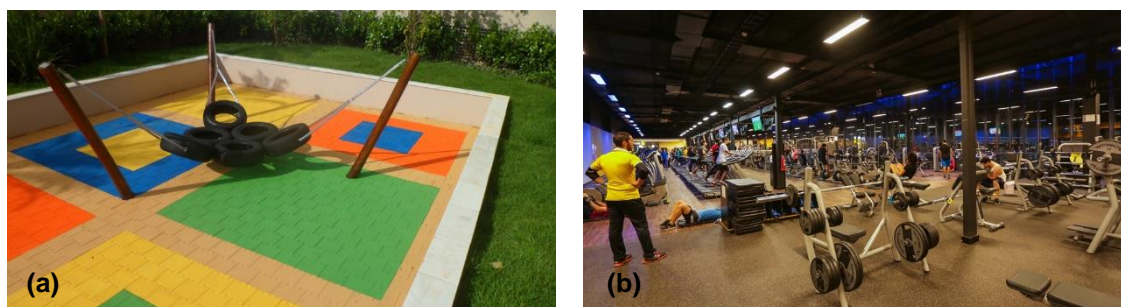
Fonte: Dias (2005)

A fabricação de solos esportivos através de compostos de borracha triturada tem um custo muito inferior ao composto sintético utilizado normalmente para esse fim, além de trazer uma maior flexibilidade e permeabilidade. Nos pisos esportivos a borracha triturada fica sob a camada ou na superfície do próprio revestimento. (GOBBI, 2002).

Uma proposta interessante é a utilização de resíduos de pneus como agregados de borracha no fabrico de calçadas ecológicas e inclusivas. As calçadas ecológicas proporcionam proteção, conforto e segurança aos cidadãos que nelas circulam proporcionando ainda mobilidade e acessibilidade sustentável. Uma vez que, para travessia de pedestres, há uma solicitação de baixa de cargas e trânsito leve, o uso de calçadas ecológicas de concreto com adição de 5% de raspas de pneus é uma opção viável, conforme estudo feito por Bolina *et al.* (2013). O emprego de concreto com borracha de recauchutagem de pneu para uso em pavimentação de baixo tráfego vem sendo estudado também por outros pesquisadores. (SILVA *et al.*, 2019).

Pisos ecológicos de borracha, vendidos em placas, já podem ser facilmente encontrados no mercado comercial, conforme ilustrado na Figura 5. Em geral, são produzidos a partir dos grânulos de borracha de pneus inservíveis trazendo como benefícios a fácil instalação, alto amortecimento, ação antiderrapante, alta durabilidade, alta densidade e resistência à abrasão, conforto acústico ao ambiente e uma ótima relação custo-benefício. (MELLO.ECO, 2020).

Figura 5. Piso ecológico de borracha para (a) playground e para (b) academias



Fonte: MELLO.ECO (2020)

O pneu é uma excelente fonte alternativa de combustível. (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2008). Isto pode ser verificado comparando-se o valor do poder calorífico do pneu (7.667 kcal/kg) com o gás natural (620 kcal/kg), por exemplo. Nesse sentido, através do coprocessamento, é utilizado para queima em caldeiras na indústria de papel e celulose, ou cimenteiras, auxiliando a tornar a cadeia da reciclagem de pneus um negócio autossustentável.

Em aterros sanitários, os pneus absorvem os gases que são liberados pela decomposição dos outros resíduos, inchando e podendo até estourar, o que prejudica a cobertura dos aterros, além de ocupar uma área considerável pela sua própria forma. (MOTTA, 2008). No entanto, Gomes (2009) constatou a possibilidade de uso de chips de pneus, em substituição à brita nas camadas de drenagem do sistema de selagem de um aterro. Dessa forma, se verifica uma possibilidade para a compatibilidade física deste material aplicado em aterros, para deposição adequada dos resíduos sem ocasionar danos ambientais.

O uso de pneumáticos inservíveis na construção de recifes artificiais é uma alternativa interessante de destinação. Esta técnica consiste em unir os pneus inservíveis entre si, assim como as unidades mínimas e os módulos recifais, com cordas trançadas de poliéster de 16 mm de espessura. O estudo mostrou que foi possível estabelecer uma proposta estrutural de recife com resistência e estabilidade adequada para sustentar espécies marítimas incrustantes e agregadas. (QUINTERO, 2009).

Muros de pneus também podem ser viabilizados para a estabilização de encostas, não apenas pelo baixo custo, mas por razões ambientais. Os pneus são amarrados entre si com corda de polipropileno ou arame de gabião. O dimensionamento estrutural aponta muros com largura constante de 3 pneus e alturas até 4 metros. Os autores da pesquisa mencionam que é uma opção prática e pode ser utilizada na maioria das situações de engenharia. (SIEIRA *et al.*, 2001; SOUZA, 2002). A Figura 6 ilustra muro de pneus experimental.

Figura 6. Muro de pneus experimental para a estabilização de encostas



Fonte: Sieira *et al.* (2001)

Além de muros de contenção, Giacobbe e Figueiredo (2008) também mencionam o uso de pneus inteiros como barreiras antichoque em estradas, com o intuito de amortecer impactos.

A inserção de borracha em placas pré-moldadas de concreto pode inovar e aperfeiçoar características desse produto já consolidado no mercado. É possível obter um material mais deformável, possibilitando um maior conforto acústico. Uma série de problemas relativos aos ruídos indesejáveis pode ser solucionada. Macedo e Tubino (2005) analisaram placas pré-moldadas de concreto com a adição de borracha reciclada de pneus inservíveis, constando melhoria do isolamento acústico à medida que o teor de borracha aumentava na mistura. Assim, a utilização da borracha reciclada junto às matrizes cimentícias demonstra um futuro promissor quanto ao isolamento acústico, sendo o assunto pesquisado também por outros autores. (RODRIGUEZ; LÓPEZ; VAZ, 2006; SANTOS, 2005).

Um exemplo de aplicação prática são placas de vedação e proteção, no âmbito acústico, utilizadas ao longo do trecho São Leopoldo/RS - Novo Hamburgo/RS, na obra de ampliação de linha da Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S.A. Com o objetivo de absorver e refletir para o alto o ruído dinâmico proveniente do contato roda-trilho, foram instaladas placas de vedação e proteção acústica de concreto armado, de alta resistência, com traço abundante em argamassa, produzido industrialmente com formas de aço e revestidos internamente, na face voltada para o tráfego de trens, com material fonoabsorvente de chips de pneu inservível aplicado sobre o concreto com adesivo estrutural. (ÁVILA, 2010). Esse sistema é denominado LVT (*Low Vibration Track*), de baixa vibração e ruído, e pode ser observado na Figura 7.

Figura 7. Aplicação de chips de borracha para proteção acústica na obra de ampliação da TRENURB em Novo Hamburgo/RS



Fonte: acervo da Construtora Premold (2010).

O aproveitamento de partículas de pneus inservíveis no concreto tem sido objetivo de estudo de diversos pesquisadores, pois se justifica em uma alternativa de disposição desses resíduos e modificações das propriedades do concreto para atendimento a requisitos específicos, em que as propriedades da borracha podem ser relevantes. Como exemplo, pode ser citado o estudo do concreto massa, do concreto de alto desempenho, dosagens para definição do teor ótimo de utilização do resíduo, e elaboração de elementos estruturais como vigas e lajes. (AKASAKI; VITA, 2008; ALBUQUERQUE, 2009; LOPES *et al.*, 2005; TRIGO, 2008).

Argamassas leves, contendo agregados de borracha reciclada de pneus substituindo partes da areia, caracterizam uma contribuição na área de elementos construtivos sustentáveis, indicando viabilidade de emprego na construção civil. Pesquisadores focam a contribuição da borracha em argamassas de forma a reduzir a fissuração, qualificar propriedades acústicas e térmicas, bem como aumento na resistência ao desgaste por abrasão. (CANOVA; BERGAMSCO; DE ANGELIS NETO, 2015; CINTRA, 2013; MENEGUINI, 2003).

7. CONCLUSÃO

Devido ao grande número de pesquisas encontradas, sobre a utilização da borracha reciclada no âmbito da construção civil, é possível observar que já se tem uma contribuição técnica e científica que propicia o seu emprego, podendo ser integrado ao mercado da construção civil em matrizes cimentícias ou outras aplicações. A elaboração dessa revisão de literatura reforça a empregabilidade de borracha reciclada de pneus inservíveis.

A legislação vigente exige a logística reversa de pneus inservíveis, o que permite recolher o resíduo em quantidade suficiente para o processamento e a comercialização. No Brasil, já existem entidades consolidadas que promovem a articulação da logística reversa.

Outro aspecto de grande relevância, que justifica o uso de resíduos de pneus na construção civil, são os benefícios ecológicos que podem ser obtidos, minimizando os problemas ambientais e sociais gerados pelo descarte indevido e o acúmulo desse material sem destino adequado.

A adição de partículas de borracha de pneus no concreto tem sido amplamente estudada, em situações em que propriedades como isolamento térmico, acústico e absorção de impacto podem ser qualificadas.

Por fim, ainda existe campo para aprimorar as técnicas sugeridas nesse artigo, bem como para viabilizar outras possibilidades de aproveitamento de borracha de pneus inservíveis na construção civil.

1. REFERÊNCIAS

AKASAKI, J. L.; VITA, M. O. Estudo das propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto de alto desempenho com adição de resíduo de borracha pneumática. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO*, 50., 2008. **Anais [...]**. Salvador: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

ALBUQUERQUE, A. C. DE. **Estudo das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneu**. 2009. 162 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, RS, Brasil, 2009.

ÁVILA, A. **Expansão da TRENURB a novo hamburgo tem mais de 60% da obra concluída**. Disponível em: <http://trensurb.gov.br/paginas/paginas_noticias_detalhes.php?codigo_sitemap=2560>. Acesso em: 26 abr. 2020.

BOLINA, C. C. *et al.* Calçadas ecológicas e inclusivas utilizando resíduos de pneus inservíveis. **Revista Científica Linkania Master**, v. 1, n. 6, p. 60-80, 2013.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, seção 1, 3 ago. 2010.

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; DE ANGELIS NETO, G. Pó de borracha de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 3, p. 1-12, nov. 2015.

CINTRA, C. L. D. **Argamassa para revestimento com propriedades termoacústicas, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus**. 2013. 182 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. São Carlos, SP, Brasil, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 258 de 26 de agosto de 1999. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, seção 1, p. 39, 2 dez. 1999.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 416 de 30 de setembro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, seção 1, p. 64-65, 1 out. 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 301 de 21 de março de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, seção 1, p. 120-121, 21 mar. 2003.

DIAS, M. R. **Utilização de mistura asfáltica com borracha pelo processo da via-seca:** execução de um telhado experimental urbano em Porto Alegre - RS. 2005. 135 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, RS, Brasil, 2005.

GIACOBBE, S.; FIGUEIREDO, A. D. DE. **Concreto de cimento portland com borracha de pneus.** São Paulo: EPUSP, 2008.

GOBBI, A. J. D. **Reaproveitamento de pneus inservíveis como fonte de energia e matéria-prima.** 2002. 67 f. Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.

GOMES, A. M. V. **Chips de pneus:** substituto de brita calcária em aterros sanitários. 2009. 113 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo. Salvador, BA, Brasil, 2009.

GRIPPI, S. **Lixo:** reciclagem e sua história: guia para as prefeituras brasileiras. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

GRISON, E. C. **Borrachas e seus aditivos:** componentes, influências e segredos. 1. ed. Porto Alegre: Suliani Letra e Vida, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS (IBAMA). Instrução Normativa nº 8 de 15 de maio de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, seção 1, p. 68, 15 maio 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Instrução Normativa nº 1 de 18 de março de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, seção 1, p. 53-54, 19 mar. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE (INMETRO). **Portaria nº 554, de 29 de outubro de 2015.** Brasília: INMETRO, 2015. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002331.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2020.

LAGARINHOS, C. A. F. **Reciclagem de pneus:** análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa. 2011. 293 f. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, SP, Brasil, 2011.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. **Polímeros**, v. 18, n. 2, p. 106–118, 2008.

LOPES, R. E. *et al.* Estudo de dosagens para obter concretos com resíduos de borracha de pneus. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005. **Anais [...]**. Recife: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005.

MACEDO, D. C. B.; TUBINO, R. M. C. Comportamento térmico e acústico de placas pré-moldadas com borracha de pneu. *In:* ENCONTRO REGIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1., 2005. **Anais [...]**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2005. p. 1-13.

MELLO.ECO. **Piso ecológico de borracha.** Disponível em: <<http://www.mello.eco.br/piso-de-borracha.php>>. Acesso em: 26 abr. 2020.

MENEGUINI, E. C. A. **Comportamento de argamassas com o emprego de pó de borracha.** 2003. 101 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP, Brasil, 2003.

MOTTA, F. G. A cadeia de destinação dos pneus inservíveis: o papel da regulação e do desenvolvimento tecnológico. **Ambiente & sociedade**, v. XI, n. 1, p. 167–184, 2008.

QUINTERO, E. C. H. **Construção e implantação de recifes artificiais em comunidades pesqueiras, usando pneus inservíveis**. 2009. 113 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo. Salvador, BA, Brasil, 2009.

RECICLA MAIS. **Retires**. Disponível em: <https://www.reciclamais.net.br/produtos>. Acesso em: 26 fev. 2020.

RECICLANIP. **Destinados**. Disponível em: <http://www.reciclanip.org.br>. Acesso em: 26 fev. 2020.

RODRIGUEZ, A. L.; LÓPEZ, D. A. R.; VAZ, M. J. Reaproveitamento do resíduo de borracha para fabricação de placas pré-moldadas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., 2006. **Anais [...]**. São Paulo: UNESP, 2006. p. 4023-4031.

SANTOS, A. C. DOS. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas avaliação do comportamento do com aplicação em placas pré-moldadas**. 2005. 135 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Maceió, AL, Brasil, 2005.

SECRETARIAT BASEL CONVENTION. **Technical guidelines on hazardous wastes: identification and management of used tires**. Geneva: Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal, Basel Convention Series N° 99/008, 1999.

SHULMAN, V. L. **Tyre recycling**. Bruxelas: European Tyre Recycling Association, 2004.

SIEIRA, A. C. C. F. *et al.* Comportamento de um muro de pneus para estabilização de encostas. **Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia**, v. 91, n. Mar01, p. 39–55, 2001.

SILVA, A. T. **Estudo da desvulcanização ultrassônica da borracha de pneus inservíveis**. 2015. 101 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre, RS, Brasil, 2015.

SILVA, L. S. *et al.* Concreto com borracha de recauchutagem de pneu para uso em pavimentação de baixo tráfego. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 2, 2019.

SOUZA, A. N. DE. **Muro de contenção utilizando pneus: análise e alguns comparativos de custos**. 2002. 121 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Mestrado Profissionalizante em Engenharia com ênfase em Geotecnia. Porto Alegre, RS, Brasil, 2002.

SPINACÉ, M. A. DA S.; PAOLI, M. A. DE. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 65–72, 2005.

TORNELLI, A. F. A importância da reforma de pneus no combate à dengue. **Pneus&Cia**, v. 8, n. 51, p. 12–16, 2016.

TRIGO, A. P. M. **Estudo de lajes com adição de resíduo de pneu**. 2008. 112 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, SP, Brasil, 2008.