

Uso de Resíduos de Pneumáticos Inservíveis na Produção de Concreto Para Blocos: uma simulação computacional

The Use of Tire Waste in the Production of Concrete Blocks: computer-based simulation models

Leander Luiz Klein*

Glauco Oliveira Rodrigues**

Mirela Schramm Tonetto***

Eugênio de Oliveira Simonetto****

**Professor de Administração na Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta,
Rio Grande do Sul, Brasil.
End. Eletrônico: kleander88@gmail.com*

***Mestrando de Administração na Universidade Federal de Santa Maria,
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
End. Eletrônico: glaucop10@redes.ufsm.br*

****Graduanda de Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria,
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
End. Eletrônico: mirelatonetto@gmail.com*

*****Professor Doutor de Administração na Universidade Federal de Santa Maria,
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
End. Eletrônico: eosimonetto@gmail.com*

doi:10.18472/SustDeb.v7n1.2016.17355

Recebido em 04.01.2016

Aceito em 16.03.2016

ARTIGO - VARIA

RESUMO

O objetivo deste artigo é elaborar um modelo de simulação computacional da utilização de resíduos de pneus inservíveis na composição de blocos intertravados de concreto. Para tanto, como método do trabalho, realizou-se uma simulação computacional das variações ocorridas nos elementos básicos constituintes de blocos de concreto quando da inserção de resíduos de

pneus. Foram constituídos dois cenários para a projeção dos resultados e utilizou-se o software Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2011) para a obtenção dos dados. Como principais resultados do artigo destaca-se a economia de 15,71% de água no cenário A e de 9,42% no cenário B; e a economia de 6,79% de cimento no cenário A e 0,77% no cenário B. Por fim, ressalta-se o consumo de 473 toneladas de resíduos pneumáticos na simulação feita no cenário B e 372 toneladas no cenário A. Isso dá subsídios para o incentivo dessa prática de uso de resíduos pneumáticos em blocos de concreto.

Palavras-chave: Resíduos Pneumáticos. Blocos de Concreto. Meio Ambiente.

ABSTRACT

The objective of this article is to develop a computer-based simulation model of the use of scrap tire waste in the composition of interlocking concrete blocks. Research was carried out by means of a computer simulation of variations occurring in constituent basic elements of concrete blocks by the insertion of waste tires. Two scenarios were elaborated for the projection of results and Vensim software (VENTANA SYSTEMS, 2011) was used. The main results of the article are there is an economy of 15.71% of water in scenario A and 9.42% in scenario B; and an economy of 6.79% of cement in scenario A and 0.77% in scenario B. Finally, we emphasize consumption of 473 tons of scrap in the simulation done in scenario B and 372 tons in scenario A. This suggests that there should be encouragement of the use of pneumatic waste in building concrete blocks.

Keywords: Waste Tires. Concrete Blocks. Environment.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o destino de resíduos sólidos tem se tornado um assunto preponderante nas discussões de pesquisadores de várias áreas e ambientalistas. Isso se torna mais evidente com o desenvolvimento incessante da economia, que gera um grande número de resíduos sólidos nas cidades, indústrias e construções, resultando no esgotamento dos recursos materiais (GUO *et al.*, 2015). Mascarenhas e Silva (2013) mencionam que dada a proximidade do limite da extração de recursos, deve haver uma mudança nos processos produtivos com a geração de valor na cadeia produtiva, e procedimentos pós-consumo adequados, como o descarte correto dos produtos e embalagens, para gerar uma gestão mais sustentável.

O descarte final de resíduos sólidos gerados pelo homem tem se tornado objeto de muitas pesquisas, cujo foco principal é o aproveitamento desses resíduos para gerar materiais alternativos úteis para uso em outros produtos. Acrescentar elementos reciclados em obras de engenharia civil é uma prática bastante comum em países desenvolvidos como os Estados Unidos, e gera benefícios não apenas em relação à questão ambiental, mas também social e econômica. Por exemplo, segundo a Rubber Manufacturers Association (2013), em 2013, os mercados de produtos inservíveis dos EUA eram compostos em 95,9% (em peso) por pneus inservíveis, e estes foram utilizados de diversas formas, incluindo o combustível derivado de pneus, aplicações em engenharia civil como em calçadas e outras superfícies com incremento de borracha. Além disso, no referido país, há incentivos fiscais federais e estaduais para uso desse tipo de material e o desenvolvimento de novas alternativas de uso, o que acaba estimulando o desenvolvimento dessas práticas no país.

No Brasil, tem-se verificado a aplicação de legislações mais severas e de uma maior conscientização e cobrança da sociedade por práticas responsáveis das empresas em suas operações e atividades. Tais responsabilidades incluem a preocupação com o adequado descarte dos resíduos gerados no processo produtivo e impacto ambiental provocado por estes após o consumo (CHAVES e BATALHA, 2006).

Tendo em vista esse cenário de preocupação com o descarte de materiais inservíveis, neste estudo, tratar-se-á especificamente do descarte e reutilização de pneus inservíveis e sua aplicação em blocos intertravados de concreto para utilização em obras de engenharia civil. O uso de concreto com resíduos de pneus é adequado e resistente para muitas aplicações na construção civil. Entretanto, seu uso no Brasil ainda tem sido pouco expressivo. Diante desse contexto, o objetivo deste artigo é elaborar um modelo de simulação computacional da reutilização de pneus para composição de blocos intertravados de concreto.

A análise e o estudo de alternativas para o uso de pneus descartados tornam-se relevantes ao ser verificada a produção e utilização anual de pneus no Brasil. De acordo com a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – Anip (2014), nos doze meses de 2013, foram produzidos 68,8 milhões de pneus, e o acumulado mensal de 2014 chegou a 68,7 milhões de unidades. Considerando o total de pneus importados, que segundo a Anip (2014) foi 27,2 milhões de pneus em 2014, chega-se a quase 100 milhões de pneus por ano no Brasil. De maneira geral, salienta-se também que o interesse na utilização de materiais sólidos descartáveis, como pneus, tem aumentado significativamente com a crescente conscientização a respeito das questões do meio ambiente e com a busca de novas soluções que combinam crescimento econômico e preservação do patrimônio natural (PEDRO, BRITO e VEIGA, 2013). Diante disso, o estudo traz como contribuição a análise de cenários sobre a reciclagem e usos de pneus e os potenciais benefícios gerados. Paralelamente, também foram analisadas as economias de água e cimento obtidas com a composição desses blocos de concreto com a utilização de resíduos de borracha de pneus.

A estrutura do artigo é composta por esta introdução ao tema, com a apresentação do objetivo da pesquisa e contribuições do estudo. A seguir, são escritas considerações sobre a reciclagem de pneus no Brasil e sobre o uso e aplicação de resíduos de pneus inservíveis na engenharia civil. Na seção três é especificado o método de elaboração deste artigo. Por fim, são expostos e analisados os resultados obtidos e realizadas as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A PRODUÇÃO E A REUTILIZAÇÃO DE PNEUS NO BRASIL

Ao se falar em reutilização de pneus deve-se levar em conta a questão do aumento da utilização destes no mercado de veículos em geral. Freitas e Nóbrega (2014) mencionam que um dos grandes problemas em relação aos pneus inservíveis é o gradativo aumento de sua proporção em face do aumento da produção de veículos automotores no País. Para se ter uma ideia desse crescimento, considerando-se os dados da Anip (2010), em 2002 eram produzidos 46,6 milhões de pneus no Brasil. Em 2009, foram 53,8 milhões e, como destacado na introdução do trabalho, em 2014, foram produzidos um total de 68,7 milhões de pneus, sem contar o número de pneus importados.

Considerando os números expostos no parágrafo anterior, a reciclagem desse produto se torna

cada vez mais necessária e relevante. No Brasil, para normatizar e orientar o descarte adequado de pneus, foi aprovada a Resolução do Conama nº 258/99, de agosto de 1999, que fixa metas e obriga os fabricantes e importadores a darem destinação final aos pneus inservíveis (CONAMA, 1999). Com essa regulamentação, a coleta de pneus inservíveis aumentou consideravelmente, visto que os fabricantes e revendedores de pneus passaram a coletar e dar destinação final aos mesmos. Antes da aprovação dessa legislação, de acordo com Lagarinhos e Tenório (2013), apenas 10% dos pneus eram reciclados.

Desde a aprovação da resolução, a quantidade de pneus inservíveis sem o correto descarte foi reduzida consideravelmente. Dados da Reciclanip (2015) revelam que somente durante o primeiro trimestre de 2015, a entidade coletou e destinou de forma ambientalmente correta mais de 114,5 mil toneladas de pneus inservíveis, o que equivale a 22,9 milhões de unidades de pneus de carros de passeio retirados das ruas, estradas e rios das 27 capitais brasileiras. Ainda de acordo com a Reciclanip (2015), desde 1999, quando começou a coleta pelos fabricantes, 3,11 milhões de toneladas de pneus inservíveis foram coletados e destinados adequadamente para o descarte, o equivalente a 623 milhões de pneus de passeio.

Quanto às opções de reutilização dos pneus inservíveis, Sandroni e Pacheco (2006) mencionam que as alternativas mais comuns para a destinação dos pneus inservíveis no Brasil são a pirólise, a recauchutagem, a composição asfáltica e a chamada reciclagem energética. Outra demanda para o pneu inservível é sua utilização como combustível alternativo para cimenteiras, onde o pneu pode substituir uma parte do carvão a ser incinerado. No entanto, essa alternativa é contestada devido ao aumento da quantidade emitida de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) (MASTRAL; CALLEN e GARCIA, 2000) e devido à emissão da perda do seu potencial energético.

No estudo realizado por Amari, Themelis e Wernick (1999), os autores verificaram que o pneu utilizado como combustível não representava uma estratégia ótima para recuperação de valor, já que menos de 40% da energia utilizada na fabricação dos pneus é recuperada quando este é utilizado como combustível. Uma alternativa mais valiosa para a reutilização dos resíduos de pneus é sua utilização na argamassa de concreto, já que eles podem ser facilmente incorporados nessa argamassa (Canova *et al.*, 2012).

Para Hirose (2004), a indústria de concreto recebe centenas de tipos de matérias-primas alternativas e vem sendo utilizado na construção civil, desempenhando assim papel importante na preservação do meio ambiente no século XXI. Nesse sentido, o próximo tópico deste artigo trata de algumas opções e usos do concreto com resíduos pneumáticos.

OS USOS DOS RESÍDUOS PNEUMÁTICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A reutilização de pneus inservíveis tem tido diferentes aplicações para evitar o acúmulo em locais inapropriados e gerar poluição. Andrade (2007) explica alternativas de reciclagem de pneus inservíveis como a desvulcanização ou regeneração da borracha de pneus, a pavimentação asfáltica, o coprocessamento dos pneus para geração de energia, a pirólise e a recauchutagem. Estes são alguns usos de pneus inservíveis entre as alternativas possíveis. Na área da construção civil, a implementação de pneus inservíveis também tem sido uma prática cada vez mais utilizada.

O uso e alocação de pneus inservíveis na indústria da construção civil é uma importante estratégia para a redução desse resíduo na natureza. A pesquisa de agregados de reciclados em concreto tem sido iniciada recentemente (NENO, BRITO e VEIGA, 2014), e para Uygunoglu e Topçu (2010) a borracha de pneus inservíveis é um dos materiais residuais recentes mais investigados

com uso em potencial no campo da construção civil. Assim, é essencial que essa prática seja encorajada.

O uso de resíduos de pneus descartáveis tem sua aplicabilidade em diversas alocações da engenharia civil, respeitando é claro a sua utilização para determinada obra. Suas aplicações podem ser úteis em dutos na canalização de esgotos (os chamados ecodutos) e embalagens longa vida na fabricação de telhas ecológicas (SOUZA e KUNKEL, 2012), em estruturas de arrimo (BARONI, SPECHT e PINHEIRO, 2012), pavimentos de asfalto (XIAO, AMIRKHANIAN e JUANG, 2007; GANIRON JR., 2014, HUANG *et al.* 2004), placas e lajes pré-moldadas (SANTOS, 2005; AKASAKI, 2007; MACEDO e TUBINO, 2005), contenção de encostas (MATTIOLI, MONTEIRO e FERREIRA, 2009) e blocos de concreto e pavimentos intertravados (KAMIMURA, 2002; FIORITI e AKASAKI, 2004; JUSLI *et al.*, 2015) usados como objeto de simulação computacional neste artigo.

Especificamente, o reaproveitamento de resíduos de pneus inservíveis na fabricação de blocos de concreto é uma técnica que envolve a inserção desse elemento no processo normal de fabricação dos blocos intertravados de concreto. Segundo Portland (2010), as peças de concreto podem ser produzidas industrialmente em “vibro prensas” que proporcionam elevada compactação às peças, aumentando sua resistência mecânica e durabilidade. Sua fabricação também pode ser realizada com moldes ou prensas manuais, sem uso de equipamentos elétricos. Evidentemente que esses blocos de concreto também são objetos de estudo em pesquisas para verificar aspectos como resistência à compressão, absorção de água, resistência à tração, resistência ao impacto, entre outros, conforme pode ser visto nos artigos de Fioriti, Ino e Akasaki (2010), Canova, *et al.* (2012) e Topçu e Demir (2007).

Em relação à obtenção dos resíduos de pneus, estes podem ser obtidos pelo processo de recauchutagem de pneus. Essa técnica consiste fundamentalmente no aproveitamento da estrutura resistente do pneu gasto para incorporar-lhe uma nova borracha de piso (banda de rodagem), de forma que ele possa ser utilizado novamente. Esse procedimento, no entanto, contribui em grande número para o acúmulo de resíduos de borracha que são obtidos durante o processo e os resíduos se encontram na forma de fibras e pó de borracha (FIORITI, INO e AKASAKI, 2010). Além dessa técnica, resíduos de borracha de pneus também podem ser obtidos por meio de um processo de pré-tratamento e trituração, que consiste em várias operações diferentes como a separação da borracha, do aço e das fibras têxteis. O produto final, dependendo do destino, é o pó de borracha ou as lascas de pneus (LAGARINHOS e TENÓRIO, 2008).

Verifica-se que o uso de carcaças e resíduos de pneus em obras de engenharia civil pode envolver “diversas soluções criativas e aplicações diversificadas, mas não existe, ainda, uma tecnologia ideal, pois a definição do processo depende de fatores como: volume de pneus, proximidade de mercado, tipo de consumidores, investimento necessário, além de incentivos fiscais e financeiros” (BARONI, SPECHT e PINHEIRO, 2012, p. 452). Ressalta-se, além disso, que se faz necessária uma participação mais ativa de governos, com vantagens tributárias a empresas que usam esse material em suas obras, da sociedade, descartando corretamente os pneus inservíveis, e das empresas, com o avanço das tecnologias voltadas para a reutilização e a reciclagem de pneus, para uma maior efetividade da reutilização de pneus inservíveis.

3 MÉTODO DO TRABALHO

Neste trabalho o método de pesquisa adotado para o desenvolvimento do modelo computacional foi baseado nos procedimentos desenvolvidos por Law e Kelton (1991). Seus procedimentos são constituídos pelos seguintes passos: (1) estudos exploratórios em artigos científicos e rela-

tórios sobre o ambiente simulado para o delineamento do objetivo da pesquisa; (2) desenvolvimento da simulação, pela construção de um modelo formal; (3) implementação computacional da simulação, utilizando-se o software Vensim da área de system dynamics; (4) validação da simulação, por meio de testes dos dados sobre o uso de resíduos pneumáticos em concreto, para verificar se os resultados obtidos representam a realidade observada; (5) simulação de cenários.

Para realizar a modelagem e análise dos resultados da simulação computacional, será utilizado o software Vensim. Suas características auxiliam a melhorar os sistemas reais, e é muito utilizado para desenvolver e analisar modelos de dinâmica de sistemas. Através das suas ferramentas e extensões, o software apresenta uma análise de alta qualidade, com dimensões que absorvem e checam a realidade. Podendo interligar diferentes variáveis, atribuindo diferentes pesos além de fornecer ao usuário um ambiente para criação de modelos flexíveis. O software é gratuito, podendo ser utilizado em salas de aula ou em outros ambientes educacionais.

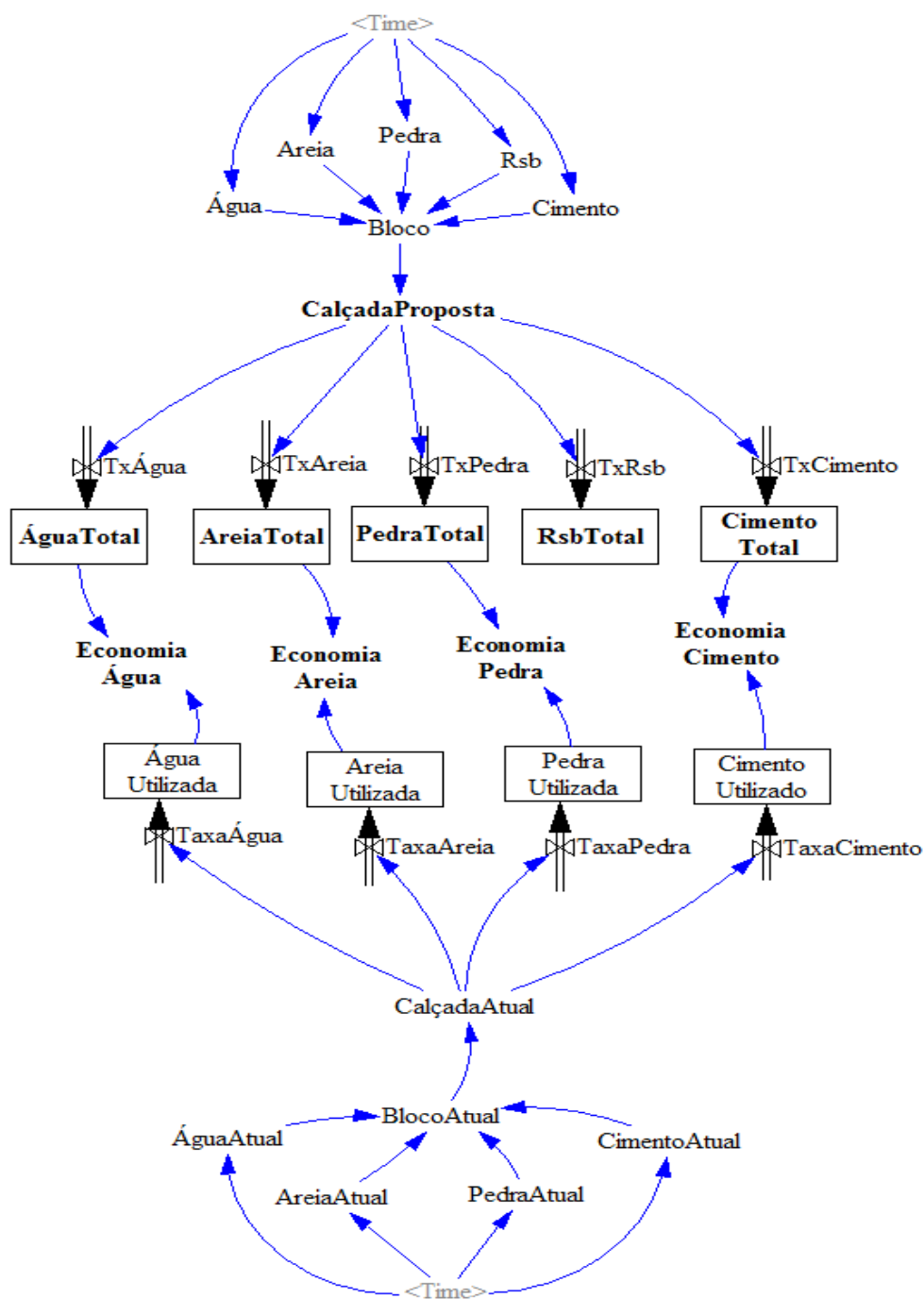
O modelo computacional e a constituição dos cenários foram realizados a partir dos resultados obtidos na pesquisa de Fioriti, Ino e Akasaki (2010). No estudo por eles desenvolvido, foram apresentados resultados experimentais de blocos intertravados para pavimentos de concreto, com resíduos de pneus. Foram realizados ensaios de resistência mecânica à compressão, absorção de água e resistência ao impacto, que apresentaram resultados satisfatórios. Isso indica que o uso de blocos intertravados de concreto com resíduos de pneus são apropriados para construção de calçadas, que será a unidade de base para a elaboração deste estudo. Esses dados serviram como base para a modelagem que será apresentada na seção a seguir, por meio destes, as variáveis receberam seus devidos pesos.

Já a simulação foi realizada com base em dados obtidos de uma Instituição de Ensino Superior nos últimos cinco anos, ou seja, de 2010 a 2014. Os dados obtidos nessa instituição foram basicamente o número de obras anuais que envolvessem calçadas, bem como as dimensões das mesmas (largura x comprimento). Esses dados permitiram realizar uma estimativa anual do número de blocos intertravados de concreto utilizados nessas calçadas, a partir do cálculo do número de blocos utilizados para um metro quadrado de calçada.

3.1 O MODELO DE SIMULAÇÃO E SUAS VARIÁVEIS

O modelo foi desenvolvido com a intenção de simplificar a interação usuário-computador, para que análises do tipo “o que se?” (what-if?), comuns em modelos de simulação, sejam de rápida e simples execução. O modelo desenvolvido para este trabalho está representado na Figura 1.

Figura 1 – Modelo de simulação desenvolvido



Fonte: Elaborada pelos Autores (2015).

O modelo apresentado na Figura 1 é composto de duas partes. Na parte inferior, a variável “Calçada Atual”, representa a realidade atual da construção de calçadas naquela instituição, ou seja, sem a utilização de resíduos pneumáticos. Abaixo dessa variável, inseriu-se a variável “Bloco Atual”, que representa os blocos intertravados de concreto que são utilizados naquela instituição para construir as calçadas. Esse bloco é constituído basicamente de quatro elementos, são

eles: água, pedra, areia e cimento (FIORITI, INO e AKASAKI, 2010). Sua função é de armazenar a soma dos valores (em kg) de seus componentes, representando assim a quantidade de material exata composta em um bloco intertravado.

A variável “Calçada Atual” é composta da multiplicação da variável “Bloco Atual” pela média de blocos intertravados; essa média foi adquirida por meio de dados obtidos de uma Instituição de Ensino Superior nos últimos cinco anos. As variáveis superiores a “Calçada Atual” são chamadas de taxas; elas possuem a função de dividir exatamente nas proporções dos componentes finais, tornando possível a comparação entre os cenários propostos por esta pesquisa. Para obter uma melhor exatidão foram utilizados os volumes respectivos de cada componente formador do “Bloco Atual”, dados expostos na pesquisa de Fioriti, Ino e Akasaki (2010).

Na parte superior do modelo, inseriram-se as mesmas variáveis, mas com a adição da variável RsB, que representa os resíduos de borracha de pneus. Assim, a “Calçada Proposta” e o “Bloco Proposto” seriam constituídos pelos mesmos elementos descritos no parágrafo anterior, mais os resíduos de pneus. A variável “time”, possui a função de simular os dados inseridos no modelo conforme o tempo estipulado pelo usuário. É possível por meio dessa função do software Vensim, verificar a variação dos elementos propostos neste artigo, no caso a simulação possui a duração de cinco anos. Ela está conectada nas partes superior e inferior do modelo, podendo assim obter a variação de cada um dos elementos utilizados. No Quadro 1, apresentam-se detalhadamente os procedimentos matemáticos realizados para calcular cada uma das variáveis do modelo da Figura 1.

Quadro 1 – Formulação matemática do modelo de simulação

| VARIÁVEL | FÓRMULA |
|-----------------------|---|
| 0- Bloco | RSB + Pedra + Areia + Cimento + Água |
| 1- Calçada | Calçada Base * Número de Blocos |
| 2- RSB Total | Calçada * Taxa RSB (Exposto na tabela 2) |
| 3- Pedra Total | Calçada * Taxa Pedra (Exposto na tabela 2) |
| 4- Areia Total | Calçada * Taxa Areia (Exposto na tabela 2) |
| 5- Cimento Total | Calçada * Taxa Cimento (Exposto na tabela 2) |
| 6- Água Total | Calçada * Taxa Água (Exposto na tabela 2) |
| 7- Bloco Atual | Pedra Atual + Areia Atual + Cimento Atual + Água Atual |
| 8- Calçada Atual | Média de Obras * Bloco Atual |
| 9- Pedra Utilizada | Calçada Atual * Taxa Pedra Atual (Exposto na tabela 2) |
| 10- Areia Utilizada | Calçada Atual * Taxa Areia Atual (Exposto na tabela 2) |
| 11- Cimento Utilizado | Calçada Atual * Taxa Cimento Atual (Exposto na tabela 2) |
| 12- Água Utilizada | Calçada Atual * Taxa Água Atual (Exposto na tabela 2) |
| 13- Economia Pedra | Pedra Utilizada – Pedra Total |
| 14- Economia Areia | Areia Utilizada – Areia Total |
| 15- Economia Cimento | Cimento Utilizado – Cimento Total |
| 16- Economia Água | Água Utilizada – Água Total |

Fonte: Elaborado pelos Autores (2015).

A partir da análise do Quadro 1, pode-se verificar que:

- A variável Bloco Atual é obtida a partir do somatório das variáveis Pedra, Areia, Cimento e Água. Na variável Bloco Proposto, adiciona-se apenas o elemento RsB;
- A variável Calçada (tanto a Atual quanto a Proposta) é obtida a partir da multiplicação do total de blocos de concreto necessários para construir toda a extensão de uma calçada que se queira utilizar como base de cálculo.
- As equações 3, 4, 5, 6 e 7 são compostas da multiplicação da variável Calçada Proposta pelas respectivas taxas de utilização de cada elemento para formação do bloco. Essas equações têm o objetivo de estimar o volume de cada componente utilizado na calçada com resíduos de pneus.
- As equações 10, 11, 12 e 13 são semelhantes às anteriores, mas estimam o volume utilizado de cada elemento para a constituição da variável Calçada Atual, que não é feita com resíduos de pneus.
- Por fim, as equações 14, 15, 16 e 17 foram estabelecidas com o objetivo de obter a diferença nas quantidades utilizadas de cada componente na Calçada Atual em relação à Calçada Proposta.

VALIDAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO DO MODELO

O modelo foi validado em diferentes etapas. Inicialmente foram utilizados dados retirados a partir de estudo em artigos científicos e manuais técnicos referentes à área da gestão de resíduos sólidos. Com isso fica caracterizada a validação conceitual da modelagem proposta. Na segunda fase de validação, que se refere à montagem do modelo e à implementação no simulador Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2011), contou-se com a participação de um especialista na área de simulação computacional.

Na última fase da validação, para o teste do experimento, foram utilizados dados atuais sobre a construção de calçadas em obras de uma instituição de ensino. Na Tabela 1, expõem-se a quantidade de obras efetuadas na instituição, a quantidade média de calçadas (em metros quadrados) construídas nos últimos cinco anos e a quantidade de blocos de concreto utilizados.

Tabela 1 – Dados referentes às obras da Instituição estudada

| Ano | Nº de obras | Média das calçadas (m ²) | Qt. Blocos (Un.) |
|------|-------------|--------------------------------------|------------------|
| 2010 | 52 | 380 | 17.272 |
| 2011 | 55 | 400 | 18.181 |
| 2012 | 62 | 630 | 28.636 |
| 2013 | 53 | 340 | 15.454 |
| 2014 | 26 | 212 | 9.636 |

Fonte: Elaborada pelos Autores (2015).

Com os dados da Tabela 1, pode-se verificar a fidedignidade do modelo com o mundo real. Esse tipo de validação é reconhecido como análise de sensibilidade do modelo de simulação, visto que são utilizados dados reais para as variáveis controladas nos inputs e verificadas as suas variações nos outputs do modelo (LAW e KELTON, 1991).

CENÁRIOS SIMULADOS NO MODELO

Neste artigo foram simulados dois cenários diferentes com níveis distintos de utilização de resíduos pneumáticos na composição dos blocos de concreto. Um dos cenários refere-se à utilização de 10% de resíduos de pneus no volume total de um bloco de concreto e o outro, 15%. Esse acréscimo de resíduos de pneus nos blocos de concreto resulta na alteração das quantidades dos outros componentes utilizados na composição. Os dados utilizados para a elaboração desses cenários foram coletados da pesquisa realizada por Fioriti, Ino e Akasaki (2010), explicada anteriormente. A Tabela 2 exhibe essas variações para a composição de um bloco intertravado.

Tabela 2 – Valores de cada componente do bloco em cada um dos cenários

| Cenários | Atual (0%) | A (10%) | B (15%) |
|--------------------------|------------|------------|------------|
| Areia | 49,48 | 45,25 | 34,15 |
| Cimento | 17,18 | 15,35 | 18,28 |
| Pedra | 24,75 | 22,46 | 24,3 |
| Água | 8,59 | 6,94 | 8,27 |
| Resíduos de Pneus | 0% | 10% | 15% |

Fonte: Elaborada pelos Autores (2015).

Os volumes expostos na Tabela 2 são essenciais para auferir a quantidade utilizada de cada componente para composição das calçadas Atual e Proposta. É com base nesses valores que o simulador Vensim, por meio das equações expostas anteriormente, demonstra exatamente a variação de cada um dos componentes do bloco intertravado no modelo de simulação.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Nesta seção serão apresentados os resultados da modelagem referentes às simulações construídas neste artigo. Para melhor apresentação dos resultados, dividiu-se esta seção em sub-seções, cada uma delas com um resultado específico de acordo com o problema de pesquisa.

COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS

A primeira análise realizada foi a verificação das variações ocorridas nos elementos Cimento, Areia, Pedra e Água, e o consumo de resíduos de pneus nos cenários A e B quando comparados com o cenário atual. Para essa comparação inicial, foi utilizada como base de cálculo a média de

calçadas construídas por ano na instituição de ensino entre os anos de 2010 e 2014, conforme os dados apresentados na Tabela 1. Esses dados auxiliaram no cálculo exato da quantidade de blocos intertravados necessários por obra.

A Tabela 3 mostra os resultados dessa comparação, exibindo as quantidades necessárias de material para realização dessa obra em termos absolutos para cada um dos cenários. Na referida tabela também é apresentada a variação dos elementos desses blocos de concreto nos cenários A e B.

Tabela 3 – Materiais utilizados em uma obra

| | Cenário Atual | Cenário A (10%) | Variação em % | Cenário B (15%) | Variação em % |
|----------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Cimento (toneladas) | 44,88 | 41,83 | 6.79 | 44,53 | 0.77 |
| Areia (toneladas) | 169,29 | 161,55 | 4.57 | 109,92 | 35.06 |
| Pedra (toneladas) | 85,06 | 74,24 | 12.72 | 72,39 | 14.89 |
| Água (milhares de litros) | 19,85 | 16,73 | 15.71 | 17,98 | 9.42 |
| Resíduos (toneladas) | 0 | 8,44 | *N C | 11,41 | *N C |

*Não calculado

Fonte: Resultados do modelo (2015).

A partir da análise da Tabela 3, o primeiro fato que pode ser observado é que, com a inserção de resíduos de pneus na composição dos blocos de concreto, há uma economia em diferentes proporções em todos os elementos utilizados. Pode-se verificar ainda a variação na quantidade de resíduos de pneus que seriam utilizados nos cenários A e B.

Nota-se, primeiramente, que no Cenário A há uma maior economia de cimento, cerca de 6,79%, enquanto o cenário B possui uma pequena economia de aproximadamente 0,77%. Esse resultado, em uma análise imediata, mostra que o uso da técnica de fabricação de blocos intertravados de concreto com resíduos de pneus poderia reduzir os custos dessa atividade, visto que o cimento é, em geral, um dos componentes mais caros para a elaboração do concreto.

Outro ponto a destacar é a economia de água nos dois cenários propostos simulados. No cenário A verifica-se uma economia de 15,71% de água, ao passo que em B essa economia é de 9,42%. Esse é um resultado também relevante da simulação realizada, seja pela diminuição de custos, seja pela preocupação que se tem com crises hídricas e, até mesmo, o fim desse recurso. Segundo a Agência Nacional de Águas (2014), desde 2012, observa-se uma gradativa e intensa redução nos índices pluviométricos em algumas regiões do Brasil, o que veio a gerar a crise hídrica no estado de São Paulo em 2014. Diante dessa realidade, a Agência revela que é fundamental a compreensão de crises hídricas que possam se apresentar, e que a valorização do recurso hídrico como bem público finito e a conscientização da necessidade de um uso mais racional e sustentável da água são essenciais para que se tenha maior garantia da oferta hídrica para os usos múltiplos. A fomentação de práticas como a que é simulada neste artigo iria ao encontro dessa conscientização.

As economias de água e cimento, bem como a utilização de resíduos de pneus, serão mais bem discutidas na sequência do artigo. Faz-se aqui, também, uma breve análise da economia de areia e pedra utilizadas nos blocos intertravados. Pode-se verificar na Tabela 3 que as economias são de 4,57% e 35,06% de areia nos cenários A e B, respectivamente; e de 12,72% e 14,89% de

pedra. Esses recursos, por mais insignificantes que possam parecer, podem causar problemas ambientais a partir de sua extração ilegal. No caso da areia, esta é com frequência retirada ilegalmente do fundo de rios causando problemas de assoreamento, o que altera os índices pluviométricos da região (PFALTZGRAFF, 1994), de poluição, devido ao uso de graxas e óleos nos equipamentos utilizados no empreendimento, entre outros (SILVA, MEDEIROS e CORDEIRO, 2012). Já no caso da retirada de pedras (a brita) gera, segundo um relatório do Ministério de Minas e Energia (2009), “impactos ambientais como ruído de máquinas e equipamentos e da quebra ou perfuração de rocha; emissão de poeira na atmosfera no processo de beneficiamento e no tráfego de caminhões dentro da área de operação ou em estradas de acesso à mineração” (p. 13).

Nesta subseção, apresentaram-se os resultados de uma comparação dos dois cenários propostos com o cenário atual com a utilização de uma única obra que será realizada na instituição de ensino onde dados foram coletados. Com os resultados expostos, pode-se ter uma noção inicial das economias de água, areia, pedra e cimento, bem como do consumo de resíduos de pneus, que podem ser obtidos com a inserção destes nos blocos de concreto.

No entanto, as dimensões se tornam ainda maiores quando se projetam esses resultados para os próximos anos. Nas subseções a seguir, serão apresentados os resultados de economia de água, cimento e consumo de resíduos de uma simulação para os próximos cinco anos com base em dados coletados na referida instituição de ensino.

ECONOMIA DE ÁGUA

O uso mais racional da água é uma discussão cada vez mais abrangente em todos os lugares do mundo. De acordo com Victorino (2007), métodos de economia e usos controlados da água deverão ser a regra básica para as populações futuras, uma vez que o problema de falta de água, neste momento, não se limita apenas às regiões desérticas.

Conforme exposto anteriormente, o uso de resíduos pneumáticos em blocos de concreto permite a redução da quantidade de água para sua constituição. Para apresentar valores sobre a economia desse recurso em longo prazo, fez-se uma projeção para cinco anos, tendo como base de cálculo a média de metros quadrados de calçadas construídas na instituição estudada nos últimos cinco anos (dados apresentados na Tabela 1). A Tabela 4 apresenta os valores totais utilizados na modelagem computacional; a variável “Água Utilizada” representa o composto sem a mistura da borracha para sua composição, já a variável “Água Total” é a representação do concreto utilizando borracha em sua composição.

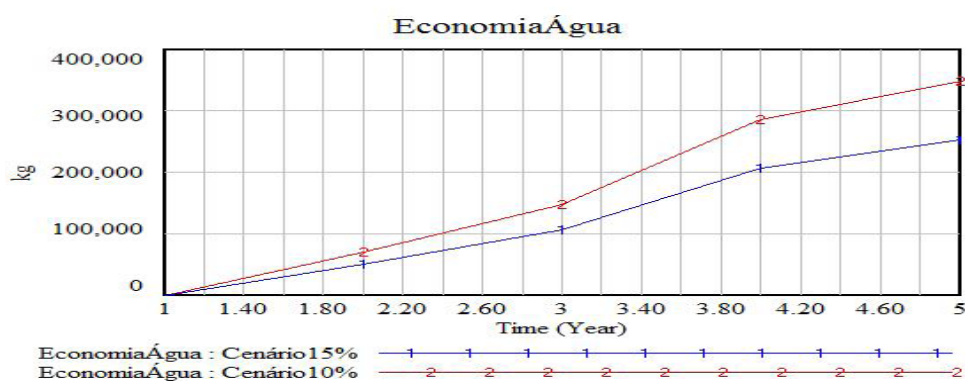
Tabela 4 – Projeção de economia de água para cinco anos

| | Água Utilizada (Milhares de litros) | Água Total (Milhares de litros) |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Cenário 15% | 3.456 | 2.839 |
| Cenário 10% | 3.456 | 2.605 |

Fonte: Resultados do modelo (2015).

Para melhor visualizar os resultados dessa projeção, foi elaborada a Figura 2, na qual são apresentados os valores de economia de água ao longo dos cinco anos simulados.

Figura 2 – Economia de água durante cinco anos



Fonte: Resultados do modelo (2015).

Pela análise da Figura 2, pode-se verificar que o cenário A apresenta resultados de economia mais satisfatórios, chegando a uma diferença na economia de água de quase 350 mil litros no final de cinco anos. O cenário B apresenta uma economia de aproximadamente 250 mil de litros no final de cinco anos, quando comparado ao cenário atual. De qualquer forma, em qualquer um dos dois cenários pode-se verificar o quanto essa prática de inserção de resíduos de pneus em blocos de concreto poderia se tornar uma maneira de economizar esse recurso importante para o planeta e que vem gerando cada vez maiores preocupações.

A constatação desse resultado é relevante, pois a água é um recurso que está se tornando cada vez mais escasso, principalmente por fatores como o mau uso, desperdício, desconhecimento ou falta de aplicação de práticas alternativas para economia de água e alterações climáticas que tornam as chuvas irregulares. Para a Agência Nacional de Águas (2014, p. 5), “apoiar e aprimorar técnicas de reuso da água, reduzir o desperdício pelos diferentes setores usuários (na irrigação, na indústria, na distribuição e no consumo residencial, por exemplo), [...] são medidas, entre outras, que devem ser priorizadas e fomentadas”. Diante disso, avaliar meios de como economizar água, como o deste artigo, torna-se um aspecto de suma relevância.

ECONOMIA DE CIMENTO

O cimento é um dos componentes estudados mais especificamente neste artigo devido ao seu custo mais elevado comparado com os outros materiais. Nesse sentido, a Tabela 5 apresenta os resultados de uma simulação computacional realizada para cinco anos na qual pretende-se verificar a economia de cimento com o uso dos resíduos de pneus. A variável “Cimento Utilizado” apresenta o total de cimento utilizado até o quinto ano, sem a mistura de borracha na sua composição. Já a variável “Cimento Total” é a que representa o composto de concreto com inserção dos resíduos na sua composição.

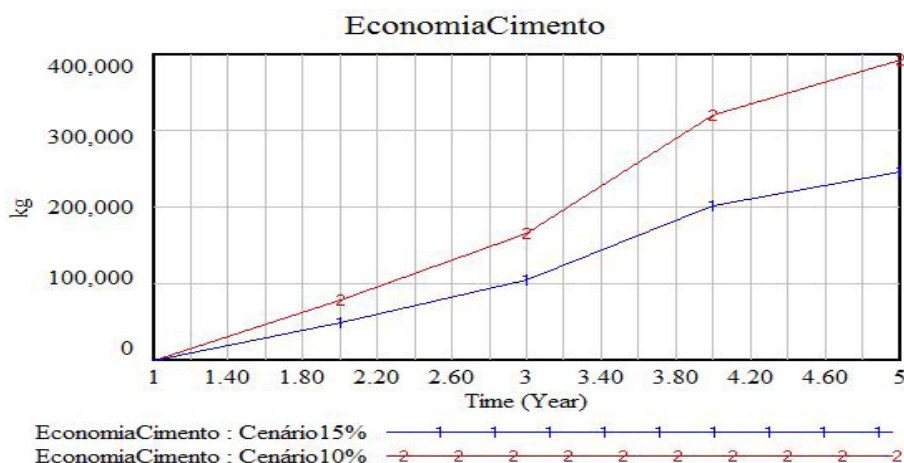
Tabela 5 – Projeção de economia de cimento para cinco anos

| | Cimento Utilizado (Toneladas) | Cimento Total (Toneladas) |
|-------------|----------------------------------|------------------------------|
| Cenário 10% | 6.912 | 5.955 |
| Cenário 15% | 6.912 | 6.309 |

Fonte: Resultados do modelo (2015).

Para melhor visualização dessa simulação, elaborou-se a Figura 3.

Figura 3 – Economia de cimento durante cinco anos



Nota: os resultados da coluna vertical estão apresentados em milhares de quilogramas.

Fonte: Resultados do modelo (2015).

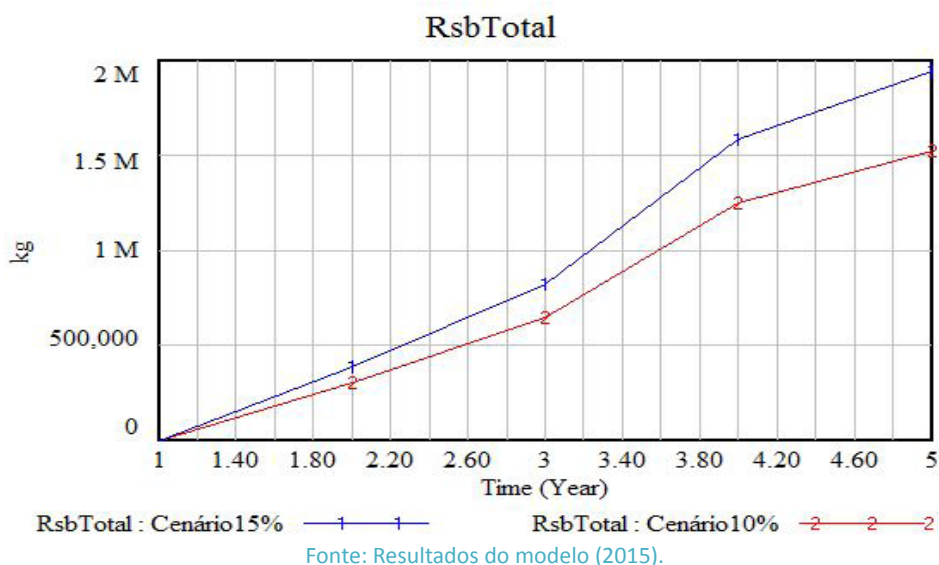
A Figura 3 permite visualizar que o cenário mais positivo é o cenário A que possui uma diferença de cerca de 13,84% entre o que seria utilizado no cenário com 0% de resíduos de pneus e o cenário com 10% (aproximadamente 397 toneladas). No cenário B, a diferença chega a 8,72% (aproximadamente 240 toneladas). Ressalta-se que o impacto desses resultados de economia de cimento não se dá somente em relação à redução de custos das obras, mas também em relação à energia e outros recursos gastos para a fabricação do cimento, bem como a questão da emissão de gases poluentes. De acordo com Wills e La Rovere (2013), as operações da indústria de cimento requerem grandes quantidades de energia e de matérias-primas, bem como de combustíveis fósseis, principalmente de carvão, óleo combustível e gás natural para os fornos. Segundo eles, a quantidade de energia necessária, por exemplo, varia conforme as diferentes tecnologias, mas, em geral, a demanda por eletricidade gira em torno de 20% de todo o consumo energético do empreendimento.

Além disso, no setor de construção civil, outro desafio a ser vencido no caso da quantidade de cimento utilizada em obras, consiste na redução da emissão de gases de efeito estufa emitidos na produção desse material. O processo de fabricação do cimento causa a emissão significativa de óxidos de nitrogênio (NOx), de dióxido de enxofre (SO₂) e, principalmente, de gás carbônico. Conforme estimativas do WBCSD (2009), a indústria de cimento gera aproximadamente 5% das emissões de gás carbônico do mundo. Aliado a isso, outra razão para a aplicação de práticas e métodos de economia de cimento é que, conforme cenários simulados por Szabo *et al.* (2006), as emissões globais de CO₂ pela indústria de cimento deve aumentar mais de 50% até o ano de 2030.

CONSUMO DE RESÍDUOS DE PNEUS

Finalizando os resultados, analisou-se a quantidade de resíduos de pneus que seria utilizada em ambos os cenários, caso ela fosse utilizada nas obras da instituição. A projeção foi realizada considerando a média de metros quadrados construídos de calçadas anualmente na instituição estudada. Na Figura 4 são exibidos os resultados para ambos os cenários.

Figura 4 – Proporção de uso dos resíduos de pneus durante cinco anos



A partir da análise da Figura 4, pode-se verificar que no cenário B, no qual há maior utilização de resíduos de pneus, há um consumo de 473 toneladas de resíduos, enquanto no cenário A esse consumo é de aproximadamente 372 toneladas, uma diferença de 21,35% (101 toneladas). Especificamente, esse resultado da quantidade de resíduos de pneus consumidos nas obras dessa simulação mostra o quanto essa prática ajudaria a retirar esse tipo de material da natureza.

Conforme discutido no referencial teórico, há uma necessidade de se criar formas e métodos de reutilização de pneus inservíveis. Nesse sentido, Kumaran, Mushule e Lakshmiathy (2008) também explicam que há uma necessidade de identificar pontos alternativos para utilizar pneus inservíveis, com ênfase na reciclagem do resíduo de pneu, e seu uso no concreto é uma excelente opção pois é um material estrutural considerado como essencial para a civilização moderna e para a sociedade humana. Além disso, no entendimento de Mavroulidou e Figueiredo (2010), essa prática tem a vantagem adicional de economizar os agregados naturais utilizados na produção de concreto que estão se tornando cada vez mais escassos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Encontrar maneiras de reduzir a quantidade de resíduos sólidos no mundo tem sido cada vez mais objeto de estudo de pesquisadores. A pesquisa acerca desse tema não se dá somente pelo fato dos resíduos gerarem poluição nos locais onde são colocados, mas também por poderem ser utilizados como componentes de outros produtos. Neste artigo, trabalhou-se especificamente com resíduos de borracha de pneus inservíveis e teve-se por objetivo elaborar um modelo de simulação computacional para avaliar os possíveis benefícios da reutilização de pneus para composição de blocos intertravados de concreto. Para atingir tal objetivo, elaborou-se um modelo que integra, de forma abrangente, os principais elementos constituintes dos blocos intertravados de concreto, são eles: cimento, água, areia e pedra (brita). Adicionalmente, integrou-se ao modelo os resíduos de pneus inservíveis em duas quantidades diferentes para simular as variações nos outros elementos mencionados.

Os resultados das simulações realizadas com o modelo denotam que há economias de água e cimento com a inserção de resíduos de pneus na constituição desses blocos. Na análise realizada sobre a economia de cimento, foi apontado o Cenário A como a melhor economia, chegando em uma economia de aproximadamente 197 toneladas de cimento no final do quinto ano. Para o comparativo realizado entre o uso de água, nota-se o Cenário B com uma economia de aproximadamente 70 mil de litros de água ao ano, chegando a um potencial de redução de aproximadamente 350 milhares de litros de água no final do quinto ano. Este mesmo Cenário apresenta uma economia de aproximadamente 40 toneladas de cimento ao ano, chegando em 240 toneladas no final do quinto ano.

A relevância disso não se limita apenas à criação de uma alternativa para a utilização mais consciente de água e cimento, mas também ao fato de se ter uma alternativa para o uso de pneus inservíveis para rodagem. A água, conforme descrito anteriormente, é um recurso que necessita ser cada vez mais racionalmente utilizado, visto que sua quantidade útil disponível diminui a cada ano. O cimento, além de ser um recurso de alto custo para as obras, emite grande quantidade de gases poluentes durante sua fabricação. Por fim, ao retirar pneus inservíveis de lixões e aterros, reduz-se a poluição e a contaminação de solos e água e, até mesmo, a geração de problemas, como a geração de terrenos férteis para proliferação de mosquitos e outras pragas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA – ANA. **Encarte Especial sobre a Crise Hídrica**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – SPR, Brasília – DF, 2014.

AKASAKI, J. L. Comportamento estrutural de lajes treliçadas com adição de resíduos de borracha de pneu. FAPESP: Edital Universal, 2007.

AMARI, T.; THEMELIS, N. J.; WERNICK, I. K. Resource recovery from used rubber tires. **Resources Policy**, v. 25, p. 179 – 188, 1999.

ANDRADE, H. S. **Pneus inservíveis: alternativas possíveis de reutilização**. Monografia submetida ao Departamento de Ciências Econômicas. Universidade Federal de Santa Catarina – Santa Catarina, SC, Brasil, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Pavimento Intertravado**: Passeio Público. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2010. 36p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS – ANIP. **Produção de pneus registra queda em 2014**. 2014. Disponível em: <http://www.anip.com.br/index.php?cont=detalhes_noticias&id_noticia=727&area=43&titulo_pagina=%DAltimas%20Not%EDcias>. Acesso em: 25 set. 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS – ANIP. **Dados de Produção**. 2010. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

BARONI, M.; SPECHT, L. P.; PINHEIRO, R. J. B. Construção de estruturas de contenção utilizando pneus inservíveis: análise numérica e caso de obra. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 65, n. 4, p. 449-457, 2012.

CANOVA, J. A. *et al.* Comparative analysis of the properties of composite mortar with addition of rubber powder from worn tires. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 257-267, 2012.

- CHAVES, G. L. D.; BATALHA, M. O. Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da Logística Reversa em uma rede de hipermercados. **Gestão & Produção**, v. 13, n. 3, p. 432-424, 2006.
- FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L. Fabricação de blocos estruturais de concreto com resíduos de borraça de pneus. *Holosenvironment*, v. 4, n. 2, p. 145 – 156, 2004.
- FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 3, p. 237-244, 2010.
- FREITAS, S. S.; NÓBREGA, C. C. Os benefícios do coprocessamento de pneus inservíveis para a indústria cimenteira. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.19, n. 3, p. 293-300, 2014.
- GANIRON Jr. T. U. Effects of Human Hair Additives in Compressive Strength of Asphalt Cement Mixture. **International Journal of Advanced Science and Technology**, v. 67, p. 11-22, 2014.
- GUO, X. *et al.* Production of recycled cellulose fibers from waste paper via ultrasonic wave processing. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 132, n. 19, p. 1-9, 2014.
- HIROSE, S. Waste management technologies in Japanese cement industry – from manufacturing to ecofacturing. **Journal of Water and Environment Technology**, v. 2, n. 1, p. 31-36, 2004.
- HUANG, B. *et al.* Investigation into waste tire rubber-filled concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 16, n. 3, 187-194, 2004.
- JUSLI, E. *et al.* A Review of Double Layer Rubberized Concrete Paving Blocks. **Journal of Engineering Research and Technology**, v. 2, n. 2, p. 136-140, 2015.
- KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Florianópolis-SC. 128 p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2002.
- KUMARAN, G. S.; MUSHULE, N.; LAKSHMIPATHY, M. A Review on Construction Technologies that Enables Environmental Protection: Rubberized Concrete. **American Journal of Engineering and Applied Science**, v. 1, n. 1, p. 40-44, 2008.
- 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.
- LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Logística Reversa dos Pneus Usados no Brasil. **Polímeros**, v. 23, n. 1, p. 49-58, 2013.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. 2nd ed. McGraw-Hill, 1991.
- MACEDO, D. C. B.; TUBINO, R. M. C. Comportamento térmico e acústico de placas pré-moldadas com borracha de pneu. In: **Anais – Primeiro encontro nacional de pesquisa projeto produção em concreto pré-moldado**, São Carlos-SP, 2005;
- MASCARENHAS, M. P.; SILVA W. A. C. Triple Bottom Line da Sustentabilidade: Uma análise em empresas nacionais produtoras de óleos e gordura. **Reunir**, v. 3, n 1, p. 62-79, 2013.
- MASTRAL. A. M.; CALLEN. M. S.; GARCIA. T. Fluidized bed combustion (FBC) of fossil and nonfossil fuels. A comparative study. **Energy Fuel**, v. 14, p. 275–281, 2000.
- MATTIOLI, L. M. L.; MONTEIRO, M. A.; FERREIRA, R. H. Plano de gerenciamento integrado de resíduos pneumáticos. **PGIRPN**, Belo Horizonte, 2009.

MAVROLIDOU, M.; FIGUEIREDO, J. Discarded tyre rubber as concrete aggregate: a possible outlet for used tyres. **Global Nest Journal**, v. 12, n. 4, p. 359-367, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Agregados para Construção Civil – Perfil de brita para construção civil**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, Brasil, 2009.

NENO, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production. **Materials Research**, v. 17, n. 1, p. 168-177, 2014.

PEDRO, D.; BRITO, J.; VEIGA, R. Mortars Made with Fine Granulate from Shredded Tires. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 25, p. 519-529, 2013.

PFALTZGRAFF, P. A. S. **Aspectos ambientais da lavra de areia, exemplo da área produtora do Rio São João**. Dissertação de Mestrado, Geologia de Engenharia Ambiental – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1994.

RECICLANIP. **Reciclanip Coletou e Destinou mais de 114,5 mil toneladas de Pneus Inservíveis no 1º trimestre de 2015**. 2015. Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/v3/releases/reciclanip-coletou-e-destinou-mais-de-1145-mil-toneladas-de-pneus-inserviveis-no-1o-trimestre-de-2015/79/20150427/>>. Acessado em: 13 jul. 2015.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 258/1999 – **Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequadas aos pneus inservíveis**. – Data da legislação: 30/06/1999 – Publicação DOU nº 230, de 02/12/1999, p. 039

RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION – RMA. **Scrap Tire Markets**. 2013. Disponível em: <<http://www.rma.org/scrap-tire/scrap-tire-markets/>>. Acesso em: 15 set. 2015.

SANDRONI, M.; PACHECO, E. B. A. V. **O destino dos pneus inservíveis**. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, NIED – Núcleo Interdisciplinar de Estudos Ambientais e Desenvolvimento, 2006.

SANTOS, A. C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. Maceió-AL. 135 p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Alagoas, 2005.

SILVA, L. M.; MEDEIROS, F. A.; CORDEIRO, N. R. Avaliação de impacto ambiental na atividade de extração de areia do Engenho Baité – Barreiros – PE. **Anais...** 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves – RS, Brasil, 2012.

SZABO, L. *et al.* CO2 emission trading within the European Union and Annex B countries: the cement industry case. **Energy Policy**, n. 34, p. 72–87, 2006.

TOPÇU, I. B.; DEMIR, A. Durability of Rubberized Mortar and Concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v.19, p. 173-178, 2007.

UYGUNOGLU, T.; TOPÇU, I. B. The role of scrap rubber particles on the drying shrinkage e mechanical properties of self-consolidating mortars. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 7, p. 1141-1150, 2010.

VENSIM – VENTANA SIMULATIONS. **Vensim simulation software**. 2014. Disponível em: <<http://www.vensim.com>>, 2014. Acessado em: Dez. 2014.



VICTORINO, C. J. A. [Org.] **Planeta água morrendo de sede**. Porto Alegre: Edipucrs, 231 p, 2007.

XIAO, F.; AMIRKHANIAN, S. N.; JUANG, C. H. Rutting resistance of rubberized asphalt concrete pavements containing reclaimed asphalt pavement mixtures. **ASCE Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 19, n. 6, p. 475-483, 2007.

WILLS, W.; LA ROVERE, E. L. **Estudo 61: Indústria de Cimento**. Projeto Perspectiva dos Investimentos Sociais no Brasil. CEDEPLAR, UFMG, Belo Horizonte, 2011.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. **Cement Industry Energy and CO2 Performance: Getting the Numbers Right**. The Cement Sustainability Initiative. 2009. Disponível em: <www.wbcd.org>. Acesso em: 07 dez. 2015.