

Utilização de borrachas trituradas em formas granulares na compactação de solo: uma nova possibilidade para melhor destinação de resíduos

Utilizing granulated rubber in soil compression: a new possibility for better waste disposal

Uso de caucho triturado en forma granular en la compactación de suelo: una nueva posibilidad para mejorar el destino de los residuos

Recebido: 05/12/2019 | Revisado: 11/12/2019 | Aceito: 13/12/2019 | Publicado: 21/12/2019

Samuel Campelo Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4357-515X>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: samuel.c.dias@hotmail.com

Laécio Guedes do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3321-8156>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: laecioguedes25@hotmail.com

Maurício Pessoa Rosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7354-9457>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: mauriciopessoa049@gmail.com

Matheus Alves Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0716-1064>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: matheusborges.jf@gmail.com

Maria Eduarda de Sousa Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5467-3230>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: sousadudame@gmail.com

Gustavo José da Costa Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5734-5371>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: gjcfreitas21@gmail.com

Resumo

Esta pesquisa tem por objetivo apresentar um estudo realizado experimentalmente do comportamento do solo com adição de borrachas trituradas, provenientes de pneus inservíveis, no intuito de promover uma nova destinação a estes resíduos sólidos. Adicionou-se às amostras de solo compactado percentuais de borrachas granuladas resultantes da trituração de pneus, sem a parte metálica de sua estrutura. Para simular a compactação de solos em obras de infraestrutura, especificamente de estradas, realizou-se ensaios de caracterização do maciço, sendo eles: a análise granulométrica, densidade real (DR), limite de liquidez (LL), plasticidade (LP), índice de plasticidade (IP) e ensaios de compactação (massa específica seca do solo e umidade ótima). Os ensaios foram padronizados possibilitando quantificar o comportamento no sentido de destinar esses materiais mantendo a qualidade inicial dos solos de Teresina, Piauí ou quaisquer outras regiões que tenham solos com características similares em que foram produzidos solos padrão (sem adição) e em misturas com 1% a 5% de borracha. Nos resultados observou-se que ao adicionar os percentuais não houve alterações consideráveis no grau de compactação do solo havendo a possibilidade de serem descartados em solos compactados sem que haja perda no desempenho e a qualidade do maciço. Dessa forma este seria um meio de descarte sustentável de borrachas com o propósito de reduzir os impactos ambientais que esses tipos de resíduos geram para o meio ambiente.

Palavras-chave: Pneu triturado; Ensaio de compactação; Sustentabilidade.

Abstract

This research has the objective of presenting an experimental study of soil behavior that had crushed rubber from old tires added to it, in order to promote a new destination for these solid wastes. Small percentages of granulated rubber were added to the compacted soil samples from grinding old tires without the metal part of their structure. In order to simulate soil compression in infrastructure works, specifically roads, massive characterization tests were performed, namely; real density (DR), liquidity limit (LL), plasticity (LP), index plasticity (IP) and compaction assays (dry specific soil mass and optimum moisture levels). The tests were standardized to quantify the behavior towards the disposal of these materials maintaining the initial quality of the soil of Teresina, Piauí or any other region with similar characteristics where standard soil (without additives) and with mixtures with 1% to 5% of granulated tires. In the results it was observed that by adding small percentages, there were no significant changes in the degree of soil compaction and the possibility of them being discarded in compacted soils without loss in the quality of the massif. This would be a way of

sustainable disposal of rubbers with the purpose of reducing the environmental impacts that these types of waste of generate for the environment.

Keywords: Granulated tires; Compaction test; Sustainability.

Resumen

Esta investigación tiene por objetivo presentar un estudio realizado experimentalmente sobre el comportamiento de suelo con adición de caucho triturado, proveniente de neumáticos inservibles, en sentido de promover un nuevo destino a estos residuos sólidos. Se adicionaron a las muestras de suelo compactado porcentajes de caucho granulado resultante de la trituración de neumáticos, sin la parte metálica de la estructura. Para simular la compactación del suelo en obras de infraestructura, específicamente en carreteras, se realizaron ensayos de caracterización del macizo, siendo ellos: análisis granulométrico, densidad relativa (DR), límite de liquidez (LL), plasticidad (LP), índice de plasticidad (IP) y ensayos de compactación (masa específica seca del suelo y contenido óptimo de humedad). Los ensayos fueron estandarizados posibilitando cuantificar el comportamiento en sentido de destinar esos materiales manteniendo la calidad inicial de los suelos de Teresina, Piauí o cualquier otra región que tenga suelos con características similares a las que fue producido el suelo estándar (sin adición) y en mezclas de 1% a 5% de caucho. En los resultados se observó que al agregar los porcentajes no hubo alteraciones considerables en el grado de compactación del suelo habiendo una posibilidad de ser colocados en suelos compactados sin que haya pérdida en el desempeño y la calidad del macizo. De esta forma este sería un medio de descarte sustentable de caucho con el propósito de reducir los impactos ambientales que esos tipos de residuos generan para el medio ambiente.

Palabras clave: Caucho triturado; Ensayos de compactación; Sustentabilidad.

1. Introdução

O reuso de materiais da construção civil (resíduos) é cada vez mais explorada, tendo em vista o desenvolvimento de novos materiais para utilização com o intuito de reduzir os impactos no meio ambiente geradas por estes (Canhada, Altran, Ishiki, Fidelis & Santos, 2017).

No Brasil, são destinados, para setor da construção civil, cerca de 30% dos recursos naturais extraídos por ano para a produção de concreto e argamassas, número que equivale a 220 milhões de toneladas de agregados naturais por ano (Lintz & Mello, 2008).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o Brasil teve em 2016 um crescimento de 3 milhões na sua frota em relação ao ano anterior, atingindo a marca de 93 milhões de veículos (IBGE, 2016). Com esse crescimento, um dos problemas que surge é a grande quantidade de pneus que são produzidos e descartados, tendo em vista que estes não têm destinação certa após o uso, e seu descarte feito de forma incorreta causa grandes danos ao meio ambiente, pois, segundo Scagliusi (2013), um pneu descartado de forma incorreta na natureza leva em torno de 600 anos para se decompor.

Como forma de controlar o passivo ambiental gerado pelos pneumáticos surgiram leis para regulamentar a coleta e a destinação final, ambientalmente adequada, dos pneus inservíveis, como a Resolução nº 416/09 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009).

Mais recentemente, foi instituída, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, onde foi estabelecido a logística reversa para alguns tipos de resíduos, dentro os quais encontra-se os pneus, a qual prevê ações envolvendo os agentes da cadeia produtiva, com o objetivo de facilitar o retorno dos resíduos para que sejam tratados e reaproveitados em novos produtos.

De acordo com Franco (2012), os pneus inservíveis apresentam características como a degradação lenta, cuidados especiais de armazenamento e disposição, e uma forma de dar uma adequada destinação consiste na utilização dos resíduos dos pneus, puros ou misturados com o solo, como materiais de preenchimento de aterro ou em misturas asfálticas. Ademais, tais resíduos possuem características como baixo peso específico, alta durabilidade, e não causam efeito adverso à qualidade das águas subterrâneas (Bosscher, Edil & Eldin, 1993).

Devido à essas características, o uso dos resíduos de pneus pode ser utilizado em obras de contenções, auxílio de obras de drenagem, construção de quebra-mar, pois resultados de ensaios de compressão simples sugerem que esses resíduos podem alcançar resistência suficiente para atender as exigências da capacidade de carga, podendo reduzir também os recalques de solos subjacente, devido ao baixo peso específico (Pierce & Blackwell, 2003).

Em geral resíduos de pneus possuem a propriedade de aumentar a compressibilidade e a resistência na utilização em solos tropicais, servindo como reforço, melhorando a resistência ao cisalhamento da mistura ou até dando um destino sustentável ao material que já está predestinado a ser descartado (Canhada, et al., 2017).

Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo apresentar um estudo realizado experimentalmente do comportamento do solo com adição de borrachas trituradas,

provenientes de pneus inservíveis, no intuito de promover uma nova destinação a estes resíduos sólidos.

2. Metodologia

O solo foi coletado em sua forma natural em uma jazida situada na Fazenda Real Residence, Rodovia BR 343, km 15, área localizada na cidade de Teresina, Piauí. Suas coordenadas geográficas são: 5°03'40.2''S e 42°39'01.5''W. As borrachas granulares provenientes de pneus triturados foram concedidas por uma recicladora exclusiva de pneus inservíveis localizada na cidade de Teresina, Piauí, onde são executados todos os procedimentos de reciclagem para a reutilização e reabilitação de pneus.

Após coleta dos materiais, foram levados ao laboratório para a realização dos ensaios. Antes do início dos ensaios a amostra foi preparada conforme norma NBR 6457-2016. O solo foi colocado para secagem ao sol por 48 horas para que o mesmo atinja a umidade higroscópica, mesmo deixando a amostra secar por um longo período sempre permanecerá uma umidade residual. A umidade higroscópica foi determinada pela equação (1):

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

onde:

h – umidade higroscópica

P_h – peso do solo úmido

P_s – peso do solo seco

Logo depois de atingir a umidade higroscópica foram realizados o destorroamento no almofariz e mão de gral revestida de borracha para desagregação do solo que está em forma de torrões.

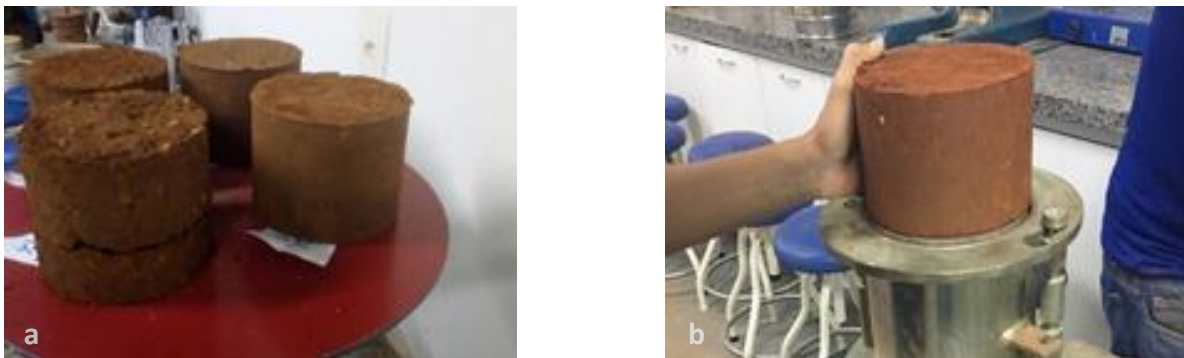
Após isso foi realizado o quarteamento do material para separação do solo para os ensaios, a fim de reduzi-lo. Foram eliminadas duas partes e selecionadas as outras duas, onde estas duas partes selecionadas foram pesadas 6 kg para o ensaio de compactação de solo sem adição de borracha, e com adições de 1% a 5% de borracha, e 1,5kg para os ensaios de granulometria, que consiste na distribuição, em percentuais, dos diversos tamanho de grãos do solo e se determina os limites das frações de solo sendo classificados como agregados graúdos os solos que ficam retidos na peneira 4,8mm e agregados miúdos os solos que passam nesta peneira, densidade real (DR) onde foram utilizados frascos de vidros, conhecidos como

picnômetros, e realizado procedimentos conforme norma DNER-ME 093/94, limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e calculado o Índice de Plasticidade (IP) verificando se o solo é fracamente plástico, estando no intervalo de 1% a 7%, medianamente plástica, entre 7% a 15% ou altamente plástica sendo maior que 15%. Os ensaios de caracterização do solo foram realizados somente para amostra sem adição de borracha triturada no intuito de verificar quais as características do solo coletado da jazida.

Logo após a execução dos ensaios de caracterização da amostra foram executados os ensaios de compactação com as adições de borracha, sendo ensaio com nenhuma adição, e outros ensaios com adição de 1% a 5%. O método utilizado para o ensaio de compactação foi estabelecido pela NBR 7182-2016 e tem como objetivo diminuir o volume de vazios entre as partículas de solo, determinando a variação das massas específicas secas em função da umidade e, com isso, determinar a curva de compactação do solo. Esta curva apresenta a massa específica aparente máxima do solo seco e a umidade ótima.

Utilizou-se nesse ensaio o cilindro (Figuras 1a e 1b) e energia de compactação intermediária (Figuras 2a e 2b), que se baseia em moldar o corpo de prova em cinco camadas sucessivas, aplicando 26 golpes com o soquete em cada camada.

Figura 1 – (a) Processo de compactação com cilindro (b) e amostras compactadas com adições de pneu triturado



Fonte: Autor, 2018.

Figura 2 – (a) e (b) Compactação manual por camadas



Fonte: Autor, 2018

Após cada compactação, foi determinada a massa específica aparente do solo seco de acordo com a equação (2) abaixo:

$$\gamma_s = \frac{P_{hc} \times 100}{V_u (100 + hc)} \quad \text{Eq. (2)}$$

onde:

γ_s – massa específica aparente seca

P_{hc} – peso úmido do solo compactado

V_u – volume útil do molde cilíndrico

hc – teor de umidade do solo compactado, em %

3. Resultados e discussões

De início obteve-se os resultados dos ensaios de caracterização do solo somente para a amostra sem adição de borracha triturada, conforme mostrados na tabela 1, onde indicam os parâmetros ensaiados para a caracterização seguidos de seus resultados e suas normas regulamentadoras.

Tabela 1 – Ensaios de caracterização do solo em estudo

| Parâmetros | Resultados | Normas |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Percentual retido na P200 | 56% | NBR 7181-2016 |
| Densidade real do solo | 2,581 g/cm ³ | DNER-ME 093/94 |
| Limite de Liquidez | 31,00% | NBR 6459-2016 |
| Limite de Plasticidade | 16,90% | NBR 7180-2016 |
| Índice de Plasticidade | 14,10% (Medianamente plástica) | NBR 7180-2016 |
| Densidade máxima do solo | 2,028 g/cm ³ | NBR 7182-2016 |
| Umidade ótima na compactação do solo | 10,20% | NBR 7182-2016 |
| Tipo de material | Solo argiloso | IPR-DNIT-719 2006 |
| Classificação do solo | A-6 | IPR-DNIT-719 2006 |

Fonte: Autor, 2018

Para a definição do tipo de material e classificação do solo foi utilizado a tabela TRB (*Transportation Research Board*) do DNIT 719/06 conforme mostrado no Quadro 1, mostrando que os resultados experimentais corroboram com a tabela pré-definida por norma. Os itens destacados de amarelo referem-se ao material estudado.

Quadro 1 – Tabela TRB (*Transportation Research Board*)

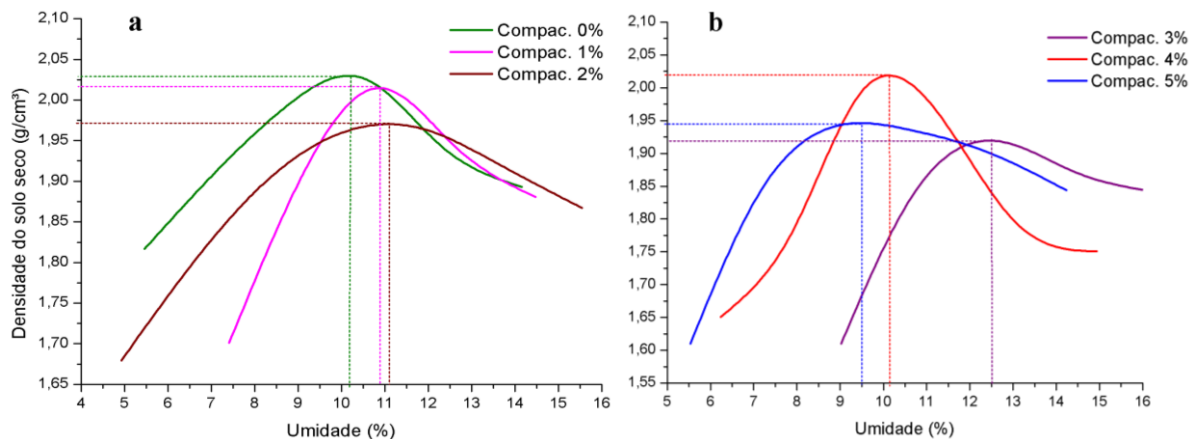
| Classificação Geral | SOLOS GRANULARES (P200 < 35 %) | | | | | | | SOLOS SILTO-ARGILOSOS (P200 > 35%) | | | |
|---|---|-------|------------|--|-------|---------------|-------|-------------------------------------|------|-----------------|----------------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| Subgrupos | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | A-7-5 A-7-6 |
| P10 | < 50 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P40 | < 30 | < 50 | > 50 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P200 | < 15 | < 25 | < 10 | < 35 | < 35 | < 35 | < 35 | > 35 | > 35 | > 35 | > 35 |
| LL | - | - | - | < 40 | > 40 | < 40 | > 40 | < 40 | > 40 | < 40 | > 40 |
| IP | < 6 | < 6 | NP | < 10 | < 10 | > 10 | > 10 | < 10 | < 10 | > 10 | > 10 |
| Índice de grupo (IG) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | < 4 | < 4 | < 8 | < 12 | < 16 | < 20 |
| Tipos de material | Fragmentos de pedra, pedregulho e areia | | areia fina | Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas | | | | Solos siltosos | | Solos argilosos | |
| Classificação como sub- leito | Excelente a bom | | | | | Regular a mau | | | | | |
| Podemos acrescentar à estes o tipo A-8: solos orgânicos/turfas, imprestáveis como bases de pavimentos | | | | | | | | | | | |

Fonte: Adaptado IPR-DNIT 719/06, 2018.

Verifica-se que o percentual retido pela peneira 200 foi de 56% e comparando com a tabela TRB - *Transportation Research Board* podemos definir que o solo em estudo é do tipo argiloso e que pode ser utilizado como base e sub-base em obras de terraplanagem. O índice de plasticidade de 14,10%, definido pela NBR 7180-2016, indica que o material coletado na jazida é medianamente plástico, pois se encontra no intervalo entre 7% a 15%.

Posteriormente foi realizado o ensaio de compactação para a amostra sem adição de borracha. Na sequência, procedeu-se o ensaio de compactação para as amostras com adição de borracha, com percentuais de 1%, a 5%, respectivamente, conforme demonstrado nas figuras 3a e 3b.

Figure 3 – Curva de compactação do solo, em (a) sem adição e com adições de 1 e 2% de borracha triturada e em (b) com adições de 3, 4 e 5% de borracha triturada



Fonte: Autor, 2018.

Para o ensaio de compactação para a amostra sem adição de borracha (solo natural) foi obtido uma umidade ótima de 10,2% e densidade máxima de 2,028 g/cm³. Já para o ensaio de compactação da amostra com percentual de borracha de 1%, teve umidade ótima de 10,9% e densidade máxima de 2,018 g/cm³. Em sequência foi realizado com a adição de 2% obtendo uma umidade ótima de 11,1% e densidade máxima de 1,972 g/cm³.

O ensaio de compactação da amostra com percentual de borracha de 3%, teve umidade ótima de 12,5% e densidade máxima de 1,923 g/cm³, e notável que a curva gerada é menos acentuada que as demais curvas, mostrando um pouco mais de estabilidade ao aumentar sua umidade. Para o ensaio de compactação da amostra com percentual de borracha de 4%, teve umidade ótima de 10,1% e densidade máxima de 2,017 g/cm³ e em sua curva percebe-se uma transição brusca após o pico máximo onde se encontra a umidade ótima. Para a amostra com o maior percentual de borracha adicionado, 5%, o ensaio de compactação teve umidade ótima de 9,5% e densidade máxima de 1,940 g/cm³.

Após a realização dos ensaios de compactação das amostras, foi possível realizar o comparativo entre os resultados obtidos, conforme Tabela 2, evidenciando que os valores da umidade ótima e densidade máxima das amostras com adição de borracha apresentam valores próximos a amostra inicial, sem adição de borracha.

Tabela 2 – Comparativo entre resultados obtidos nos ensaios de compactação

| Amostra | Umidade ótima (%) | Densidade máxima (g/cm³) |
|--------------------------|--------------------------|--|
| Sem adição de borracha | 10,20 | 2,028 |
| Adição de 1% de borracha | 10,90 | 2,018 |
| Adição de 2% de borracha | 11,10 | 1,972 |
| Adição de 3% de borracha | 12,50 | 1,923 |
| Adição de 4% de borracha | 10,10 | 2,017 |
| Adição de 5% de borracha | 9,50 | 1,940 |

Fonte: Autor, 2018.

Podemos observar nos resultados que os valores da umidade ótima e densidade máxima, ao adicionar os percentuais de pneus triturados, estão bem similares à amostra inicial, com isso pode-se afirmar que este material inservível tem como ser utilizado na compactação de solos argilosos nas proporções demonstradas nesta pesquisa sem que alterem a qualidade do maciço.

4. Considerações finais

Os pneus inservíveis podem ser reutilizados na execução de estradas, especificamente em serviços de compactação de solos argilosos sem que sejam alterados o desempenho e a qualidade do maciço, pois foi demonstrado que quando adicionado borracha triturada em teores de 1 a 5% houve pequena alteração na umidade ótima para atingir a densidade máxima do solo, sendo a menor densidade para amostra de 3%, não alterando significativamente em comparação com a amostra padrão. Sendo assim, a análise dos resultados, por meio do ensaio de compactação, evidenciou que há possibilidades da utilização de borrachas de pneus triturados em formas granulares em execução de grande escala podendo ser dado um destino sustentável a este tipo de material com o propósito de reduzir os impactos ambientais que esses tipos de resíduos geram para o meio ambiente.

Não foi avaliado o comportamento do solo quanto ao ensaio de CBR (Índice de Suporte Califórnia), que determina a expansão do solo submerso em água por 96 horas e a sua resistência a penetração em mm/minuto do pistão no solo realizado na prensa de CBR,

ficando assim, a pesquisa limitada somente aos ensaios de compactação e caracterização do solo, podendo ser mostrado à possibilidade de seu uso.

Recomenda-se, de forma complementar, que sejam realizados mais estudos para determinar às propriedades mecânicas do solo, após a adição de borracha, analisando assim, a resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, resistência ao impacto e resistência à flexão. A partir disso, será possível verificar a aplicação desse tipo de material em obras de pavimentação, aterros, dentre outras. Portanto, cabe a todo conjunto de pesquisadores e fornecedores o desenvolvimento e aplicação de projetos sustentáveis para minimizar os impactos ambientais que esse material tem causado atualmente.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). *NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 12p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). *NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 6p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). *NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 7p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). *NBR 7181: Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 2016, 16p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). *NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 2016, 9p.

Brasil. (2009). *Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA: Resolução nº 416*. From <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>

Brasil. IBGE. (2016). *Brasil em síntese*, de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/0?ano=2016>

Brasil. (2006). Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra Estrutura e Transportes. IPR-719: *Manual de Pavimentação*. (3), 274p.

Bosscher, P. J., Edil, T. B., & Eldin, N. (1993). Construction and performance of a shredded waste tire test embankment. *Transportation Research Record*, 99 (1345), 44-52. Retrieved from <http://trid.trb.org/view/370717>

Canhada, J. C. S., Altran, D. A., Ishiki, H. M., Fidelis, G. N. S., & Santos, R. J. (2017). Caracterização física e morfológica de compósitos de concreto com resíduos de borracha vulcanizada. *Colloquium Exactarum*, 9 (3), 65-75. doi: 10.5747/ce.2017.v09.n3.e205

Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. (1994). *DNER-ME 093/94: Solos – Determinação da densidade real*, 4p.

Franco, K. L. B. (2012). *Caracterização do comportamento geotécnico de misturas de resíduo de pneus e solo laterítico*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 139p.

Lintz, R. C. C., & Mello, M. Y. C. (2008). Estudo das propriedades mecânicas de compósitos de cimento com borracha de pneus inservíveis. In: Congresso brasileiro de engenharia e ciência dos materiais., 18. *Anais...* Porto de Galinhas, 213-229.

Pierce, C. E., & Blackwell, M. C. (2003). Potential os scrap tire rubber as light weight aggregate in flowable fill. *Waste Management*, 23 (3), 197-208. doi:10.1016/s0956-053x(02)00160-5

Scagliusi, S. R. (2013). *Recuperação/reciclagem de compostos de borrachas butílica e halobutílica por meio de radiação ionizante*. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleare – IPEN – USP. São Paulo, 207p.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Samuel Campelo Dias – 30%

Laécio Guedes do Nascimento – 30%

Maurício Pessoa Rosa – 15%

Matheus Alves Borges – 15%

Maria Eduarda de Sousa Santos – 5%

Gustavo José da Costa Freitas – 5%