

Aproveitamento de Resíduos de Pneus na Elaboração da Camada de Base de Pavimentos Asfálticos

Claudio Rones Rocha Alves

Universidade Católica de Brasília, Brasília, Brasil, claudioronnes@gmail.com

Ivonne Alejandra Gutiérrez Góngora

Universidade Católica de Brasília, Brasília, Brasil, ivonne.gongora@ucb.br

RESUMO: A cada ano, são incorporados à cadeia de consumo cada vez mais materiais e produtos. O surgimento de novos materiais a partir do século XX, como a borracha, por exemplo, juntamente com o êxodo da população rural para as cidades, contribuiu para a grande quantidade de resíduos despejados diariamente no meio ambiente. Hoje, sabe-se que a melhor solução consiste em dar tratamento adequado ao resíduo ao invés de simplesmente descartá-lo em locais impróprios. A indústria da construção civil pode reaproveitar os resíduos de pneus e reinseri-los no mercado, reduzindo o desperdício, substituindo, ao menos em parte, a matéria prima por produtos reutilizáveis. Há farta bibliografia abordando o reaproveitamento da borracha na pavimentação asfáltica, mais especificamente na camada de revestimento. No entanto, esse trabalho se propõe a avaliar a viabilidade técnica da introdução da borracha reaproveitada nas camadas de base, composta por brita e solo, de pavimentos flexíveis. A avaliação consiste na análise laboratorial das características de uma camada de base sem adição de borracha e outra com adição. Para realizar essa comparação, executou-se os ensaios de cisalhamento direto e Índice de Suporte Califórnia (CBR). Notou-se que ao adicionar os resíduos de pneus ao solo e à brita há uma alteração no comportamento mecânico da respectiva camada de base. Os valores de CBR sofreram alterações significativas após a adição da borracha. Por exemplo, na amostra com adição de borracha, ao compará-la com a amostra sem adição, houve uma redução no valor do CBR, enquanto com relação à expansão houve um aumento substancial. Além disso, dependendo da umidade da amostra nota-se que a borracha não se agrega adequadamente à mistura, desencadeando uma série de fissuras no corpo de prova. No entanto, de acordo com os resultados obtidos a partir do ensaio de cisalhamento direto, o ângulo de atrito e a coesão de ambas as misturas apresentaram comportamentos semelhantes, indicando que, dependendo da quantidade e das dimensões dos resíduos de pneus empregados, o comportamento mecânico do solo permanece o mesmo com e sem adição de resíduos, sendo que em algumas propriedades mecânicas há uma melhora ao adicionar a borracha, segundo apontam os resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentos Flexíveis, Camada de Base, Resíduos de Pneus, Borracha.

1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial, que teve início no século XVIII, proporcionou um novo modelo de produção. As mercadorias passaram a ser fabricadas em grandes quantidades, atingindo, algumas vezes, escala industrial.

Historicamente, havia uma presunção de que

as matérias primas estavam disponíveis no ecossistema de forma infinita e abundante. Hoje, sabe-se que os recursos naturais são limitados e como consequência disso, há uma preocupação crescente com relação aos problemas ambientais. Nota-se esse fenômeno desde a Conferência de Estocolmo, realizada na Suécia em 1972. Desde então, houve vários eventos

sobre o assunto, resultando em diversos tratados e protocolos (Agenda 21, em 1992; Protocolo de Kyoto, em 1997; Carta da Terra, em 2000).

O Brasil sediou, no Rio de Janeiro, dois eventos de grande repercussão que trataram especificamente sobre a sustentabilidade: a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992) e a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, realizada em 2012.

A partir do século XX, surgiram vários materiais sintéticos e industrializados que após completar o seu ciclo de produção e consumo são despejados no meio ambiente – quase sempre de forma inadequada. O pneu ou os seus resíduos, por exemplo, considerados um combustível alternativo, podem ser reaproveitados na construção civil, na geração de energia, no asfalto modificado com borracha, entre outros.

Com o intuito de atender parte das exigências ambientais da comunidade, o CONAMA editou, entre outras, a Resolução 258/99, que discorre sobre a responsabilidade do produtor e importador pelo ciclo de vida completo dos produtos pneumáticos.

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP, atualmente há 20 fábricas de pneumáticos no Brasil e, somente em 2015, foram comercializados, pelas empresas associadas à ANIP, 71,9 milhões de pneumáticos (ANIP, 2016).

Estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) sobre a comercialização, destinação e depósitos dos pneus em 2005, estipulou que, do chamado mercado de reposição (que incluem pneus novos, pneus reformados e pneus meia vida), 54,1% dos pneus vendidos foram considerados servíveis e 44,7% inservíveis (IPT, 2006).

Há farta bibliografia sobre o reaproveitamento da borracha e a sua utilização na pavimentação, mais especificamente na camada de revestimento (Oda e Fernandes Júnior 2001, Martins 2004 e Fioriti 2007, por exemplo). Diferentemente, há poucos que avaliam o comportamento de uma camada de base com adição de resíduos de borracha.

Segundo Chrusciak (2013), na literatura

estrangeira é possível encontrar trabalhos publicados que abrangem o comportamento de solos com adição de borracha. No entanto, há um déficit de pesquisas sobre essa adição e as suas consequências em solos tropicais.

Franco (2012), analisando o comportamento de um solo tropical com adição de desbastes de pneus em diferentes proporções, chegou à conclusão, por meio de ensaios laboratoriais, que a presença de desbastes de pneus proporciona um aumento na resistência ao cisalhamento da mistura. Além disso, constatou que a máxima resistência ao cisalhamento é aferida em um solo com 40% de adição de resíduos.

No Brasil há poucas pesquisas, como a supracitada, que abordam essa problemática e as existentes são muito recentes.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo propor uma alternativa tecnológica a ser utilizada na indústria da construção civil. Se dispõe a avaliar a utilização de resíduos de pneus inservíveis em combinação com solo e brita para uso como material de base em pavimentos asfálticos. Nessa pesquisa, serão examinados os efeitos das propriedades geomecânicas do solo laterítico, comum em Brasília, ao ser misturado com brita e resíduos de pneus. Ao final, com base nos resultados obtidos, espera-se aferir a viabilidade técnica e econômica de se empregar tal solução.

2 MATERIAIS EMPREGADOS

2.1 Solo laterítico

O solo utilizado na pesquisa é o laterítico, que é comum em regiões tropicais úmidas, como é o caso de Brasília. Esses solos ocupam as camadas mais superficiais e são encontrados com facilidade em áreas bem drenadas (acima do lençol freático). Devido aos minerais constituintes, a coloração típica desse solo é vermelha, amarela e marrom (NOGAMI E VILLIBOR, 1983).

A Figura 1 apresenta a curva de distribuição granulométrica do solo, enquanto a Tabela 1 lista algumas propriedades do mesmo.

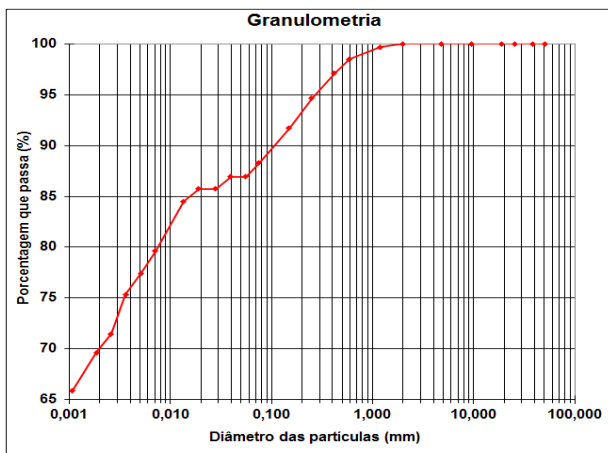


Figura 1. Curva granulométrica do solo.

De acordo com a classificação SUCS, um solo com esses parâmetros é um silte de baixa compressibilidade (ML).

Tabela 1. Características do solo laterítico utilizado

Parâmetro	Valor
Massa Específica dos Grãos (g/cm^3)	2,61
LL (%)	48
IP (%)	17
Umidade Ótima (%)	27
Coesão (KPa)	45,62
Ângulo de Atrito ($^\circ$)	26

2.2 Brita

A brita adotada é de origem calcária (Figura 2), amplamente utilizada no Distrito Federal. Comercialmente é conhecida como “brita 0”. A Figura 3 evidencia a distribuição granulométrica da brita utilizada nos ensaios. Nota-se que esse material possui granulometria relativamente uniforme.



Figura 2. Brita utilizada na pesquisa.

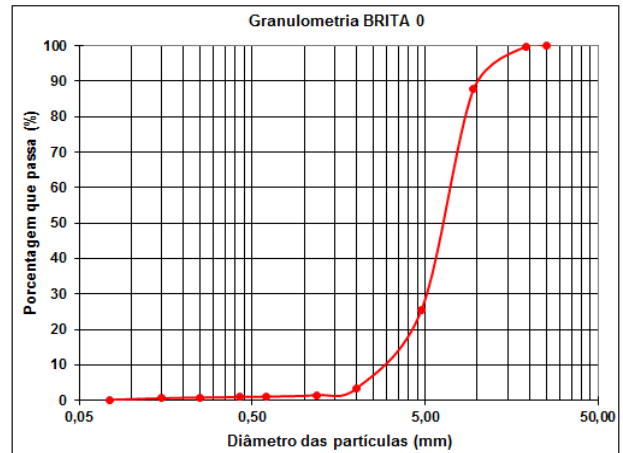


Figura 3. Curva granulométrica da brita adotada.

2.3 Resíduos de Pneus

Utilizou-se, nesse estudo, resíduos de pneus inservíveis moídos de granulometria particularmente uniforme, como fica evidente na Figura 4. De acordo com a Figura 4, pode-se depreender que as partículas de borracha triturada utilizadas possuem, praticamente em sua totalidade, um diâmetro entre 1 mm e 1,2 mm.

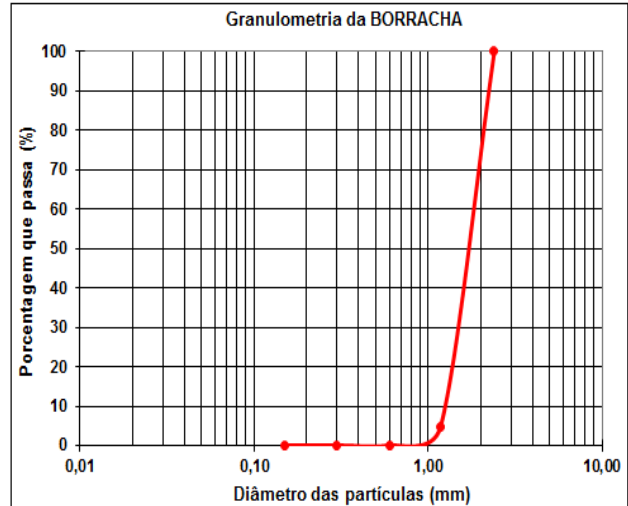


Figura 4. Curva granulométrica do resíduo de pneus.

3 METODOLOGIA

Para avaliar a possibilidade de adicionar resíduos de pneus em uma camada de base para pavimentação, analisaram-se duas dosagens distintas de materiais. Na primeira, denominada Amostra 1, que serviu como referência, foi

empregado uma mistura composta apenas por solo e brita. A segunda (Amostra 2) recebeu adição de borracha, além dos materiais já mencionados.

Para definir a proporção dos materiais em cada amostra, consultou-se a Norma DNIT 098/2007 que elenca as especificações de serviço para uma base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico.

Para satisfazer os requisitos dos diâmetros das partículas estipulados na norma, concluiu-se que seria necessário trabalhar, na Amostra 1, com 70% da amostra constituída por material granular, que no caso é a brita e 30% de solo laterítico, em massa. A Amostra 2 foi constituída seguindo as seguintes proporções entre os materiais, em massa: 30% de brita, 25% de solo laterítico e 5% de resíduos de pneus. A Figura 5 retrata a proporção entre os materiais que constituem a Amostra 2, ficando visível cada um deles.



Figura 5. Dosagem da mistura com adição de resíduos de pneus.

3.1 Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR)

Para fins de comparação, realizou-se o ensaio de CBR nas energias normais, intermediária e modificada, após 4 dias, das Amostras 1 e 2.

No entanto, apenas para a Amostra 2, foi realizado o ensaio de CBR para 4, 14, 28 e 56 dias. Para cada prazo supracitado foram preparados três cilindros compactados apenas

na energia modificada para, ao final, obter uma média. Optou-se por realizar esse experimento em tempos de cura ou imersão diferentes. Isso com a finalidade de avaliar se existe um incremento no CBR ou ainda, se haverá uma variação substancial na expansão das amostras. Ou seja, para conseguir determinar qual será o comportamento da mistura no transcorrer dos dias.

3.2 Ensaio de Cisalhamento Direto

No ensaio de cisalhamento, para cada dosagem (com e sem adição de borracha), foram preparados quatro corpos de prova, sendo um para cada tensão normal. As tensões normais de ensaio foram: 200 KPa, 400KPa, 600KPa e 800KPa. O ensaio foi realizado, para todos os corpos de prova, na condição saturada.

Os corpos de prova utilizados no ensaio de cisalhamento direto foram talhados a partir de uma amostra compactada no cilindro grande, na energia modificada e umidade ótima. Para esse ensaio, as amostras utilizadas foram de pequenas dimensões, possuindo um formato quadrado, com lados de 5,11 cm e altura total de 1,97 cm.

A máquina de cisalhamento direto utilizada nesse estudo é a apresentada na Figura 6.



Figura 6. Máquina de cisalhamento direto utilizada nos ensaios.

4 RESULTADOS

4.1 Ensaio de CBR das Amostras 1 e 2

A Figura 7 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de CBR, após 4 dias, das Amostras 1 e 2, sem adição de borracha e com adição, respectivamente. Ao adicionar resíduos de pneus inservíveis ao solo e à brita para compor a camada de base de pavimentação, percebe-se que houve uma redução considerável nos valores do Índice de Suporte Califórnia (CBR).

Sendo assim, pode-se inferir que os resíduos de pneus, na quantidade adotada, não contribuem para um aumento no valor do CBR. Inclusive, nota-se que a amostra que contém resíduos de borracha obteve um comportamento oposto, apresentando um desempenho pior ou pouco satisfatório, se comparado com a amostra que contém apenas o solo natural e a brita.

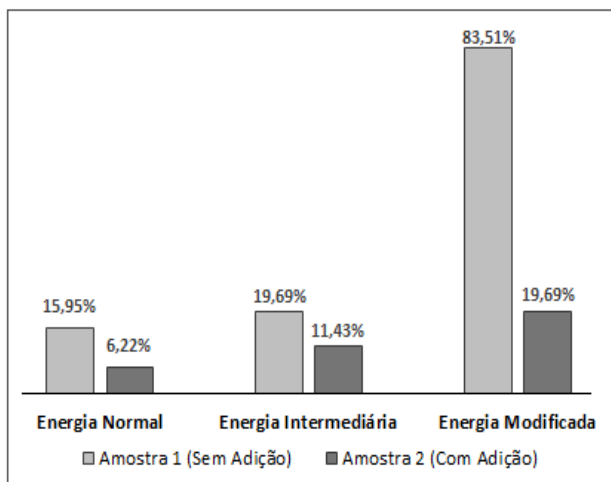


Figura 7. CBR das amostras com e sem adição de resíduos de pneus, após 4 dias de imersão.

Diferentemente do que foi observado nos valores de CBR, com relação à expansão houve um incremento nos valores ao adicionar a borracha. Na Tabela 2 são listados os valores aferidos de expansão para as diferentes energias de compactação atingidos após o período de imersão de 4 dias. Nota-se claramente um aumento significativo na expansão da amostra contendo adição de resíduos de pneus em relação à amostra sem adição dos mesmos. A única exceção é com relação às amostras compactadas na energia modificada, em que a expansão foi praticamente a mesma em ambas dosagens.

Tabela 2. Expansão das amostras 1 e 2 nas diferentes energias de compactação após 4 dias de imersão.

Dosagem	Expansão (mm)		
	Energia Normal	Energia Intermediária	Energia Modificada
Amostra 1	0,05	0,16	0,08
Amostra 2	0,25	0,67	0,06

4.2 Ensaio de CBR da Amostra com Adição de Borracha para os Tempos de Imersão de 4, 14, 28 e 56 dias

Analisando isoladamente a composição solo, brita e resíduos de pneus em diferentes tempos de imersão, nota-se que essa mistura tende a apresentar características expansivas com o decorrer dos dias, de acordo com os valores apontados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de CBR e expansão nos diferentes tempos de imersão.

Tempos de Imersão	Expansão (mm)
4 Dias	0,06
14 Dias	0,38
28 Dias	0,51
56 Dias	0,76

Com relação aos valores de CBR nota-se que entre os tempos de imersão de 4 e 28 dias houve um acréscimo notável, segundo fica evidente na Figura 8. O incremento foi de aproximadamente 122% nesse intervalo de tempo. Porém, a partir dos 28 dias, é possível constatar que não existiu acréscimo. Inclusive, no prazo compreendido entre 28 e 56 dias há até mesmo um decréscimo de cerca de 12% no Índice de Suporte Califórnia. Diferentemente do que ocorre com o valor do CBR, nesse prazo, há um aumento na expansão da amostra da ordem de aproximadamente 49%, segundo a Tabela 3.

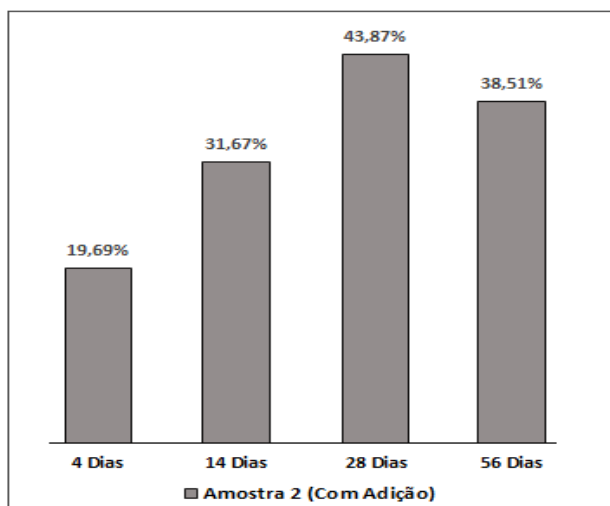


Figura 8. CBR da amostra com adição de borracha em diferentes tempos de imersão.

4.3 Ensaio de Cisalhamento Direto

A Figura 9 apresenta os resultados do ângulo de atrito das amostras sem adição de resíduos de pneus e com adição obtidos no ensaio de cisalhamento direto. Conforme fica evidente, o ângulo de atrito das diferentes amostras foi idêntico, não apresentando alterações após a adição de borracha.

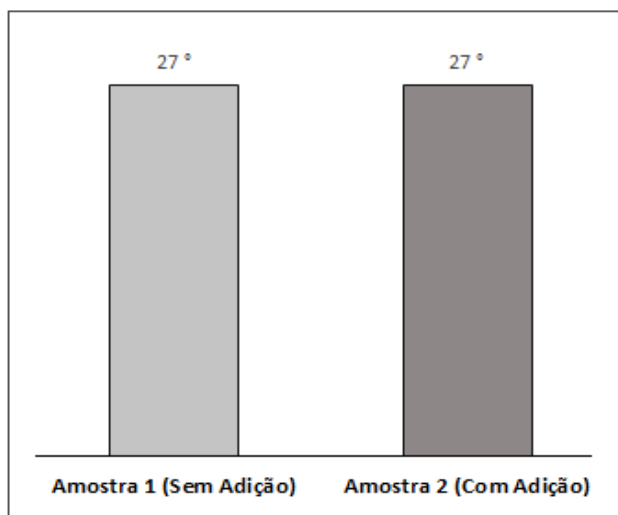


Figura 9. Ângulo de atrito das amostras 1 e 2.

Já nos valores da coesão houve uma variação 12 KPa, sendo que a amostra com adição de resíduos de pneus apresentou uma coesão maior em relação à amostra sem adição, conforme indica a Figura 10.

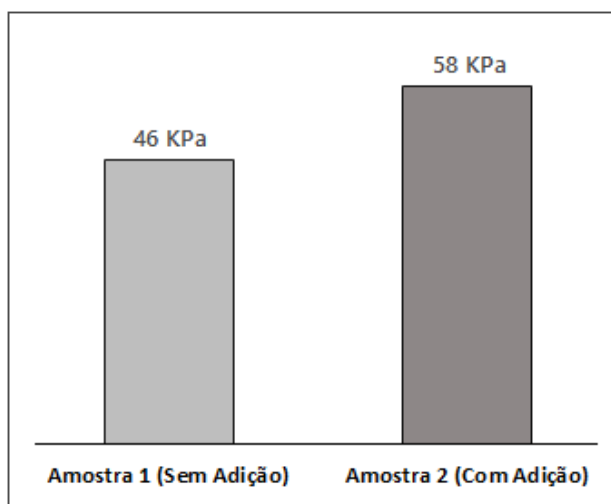


Figura 10. Valores de coesão para as amostras 1 e 2.

5 CONCLUSÕES

Nesse estudo, analisou-se o comportamento de uma camada de base de pavimentação ao adicionar resíduos de pneus inservíveis. É importante ressaltar, de acordo com os resultados obtidos que, ao realizar a dosagem dos materiais com relação ao peso, a borracha, por possuir uma densidade menor em relação aos demais materiais, é incorporada à camada de base em grandes quantidades (se for considerado o volume).

Quando se adiciona a borracha, os valores de coesão e ângulo de atrito se mantêm praticamente constantes ou até mesmo há um acréscimo, ao comparar as amostras com e sem adição de resíduos de pneus. Diferentemente do que ocorre com a coesão, o valor de CBR sofre uma significativa redução com a inclusão da borracha, enquanto na expansão da amostra há um aumento considerável.

Notou-se que a camada de base com adição de borracha tende a apresentar um comportamento expansivo no transcorrer dos dias, provocando um aumento em seu volume inicial. Além disso, existe um incremento no Índice de Suporte Califórnia das amostras com adição de resíduos, para os diferentes tempos de imersão, atingindo o valor máximo aos 28 dias. A partir dos 28 dias em que a amostra estava em imersão, a mesma continuou apresentando um comportamento expansivo, porém, constatou-se que houve um decréscimo no valor do CBR.

Ao adicionar resíduos de pneus à camada de base, algumas propriedades apresentaram uma significativa melhora, o que leva a acreditar que seria possível adicionar borracha à camada de base e obter um desempenho satisfatório, dependendo da quantidade de resíduos de pneus a ser adicionado, bem como da sua densidade e granulometria.

Pesquisas adicionais são necessárias para determinar um panorama mais claro, acerca da viabilidade de se empregar resíduos de pneus inservíveis na camada de base de pavimentação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Católica de Brasília pela disponibilização da sua infraestrutura para a execução desse trabalho, bem como ao Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ANIP (2016). Produção e Vendas 2015. Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/producao_vendas.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2016
- Brasil (1999). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 258, de 26 de agosto de 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>>. Acesso em: 16 nov. 2015.
- Chrusciak, M.R. (2013). *Análise da Melhoria de Solos Utilizando Fragmentos de Borracha*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 91 p.
- DNIT (2007). Norma 098/2007 – ES: Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente com Utilização de Solo Laterítico – Especificação de Serviço. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 7 p.
- Fioriti, C.F. (2007). *Pavimentos Intertravados de Concreto utilizando Resíduos de Pneus como Material Alternativo*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, 202 p.
- Franco, K.L.B (2012). *Caracterização do comportamento geotécnico de misturas de resíduo de pneus e solo laterítico*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Departamento de Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 120 p.
- IPT (2006). *Relatório Técnico n° 91136-205: Quantitativos de Fluxos de Pneus no Brasil*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 114 p.
- Martins, H.A.F. (2004). *A utilização da borracha de pneus na pavimentação asfáltica*. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Anhembi Morumbi, 101 p.
- Nogami, J.S. e Villibor, D.F. (1983). Os solos tropicais lateríticos e saprolítico e a pavimentação. In: *18° Reunião anual de Pavimentação*, Porto Alegre, RS, Brasil, 21 p.
- Oda, S. e Fernandes Júnior, J.L. (2001). Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em pavimentações. *Acta Scientiarum*, Maringá, PR, Brasil, Vol. 23, n. 6, p. 1589-1599.