

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

JOÃO HÉLIO MONTENEGRO DE FARIAS

**ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR PNEUS
INSERVÍVEIS EM ELEMENTOS DE DRENAGEM**

**JOÃO PESSOA
2019**

JOÃO HÉLIO MONTENEGRO DE FARIAS

**ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR PNEUS
INSERVÍVEIS EM ELEMENTOS DE DRENAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial da obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Aline Flávia Nunes
Remígio Antunes

Coorientador: Prof. Dr. Clóvis Dias

**JOÃO PESSOA
2019**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F224e Farias, João Hélio Montenegro de.
ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR PNEUS
INSERVÍVEIS EM ELEMENTOS DE DRENAGEM / João Hélio
Montenegro de Farias. - João Pessoa, 2019.
59 f.

Orientação: Aline Flávia Nunes Remígio Antunes.
Coorientação: Clóvis Dias.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Pneus inservíveis. 2. Drenagem profunda. 3. Drenos.
4. Elementos drenantes. I. Antunes, Aline Flávia Nunes
Remígio. II. Dias, Clóvis. III. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOÃO HÉLIO MONTENEGRO DE FARIAS

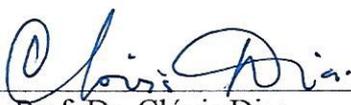
ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR PNEUS INSERVÍVEIS EM ELEMENTOS DE DRENAGEM

Trabalho de Conclusão de Curso em 25/09/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Prof.^a Dr.^a Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



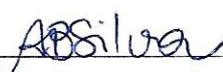
Prof. Dr. Clóvis Dias
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof.^a Dr.^a Cláudia Coutinho Nóbrega
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof.^a Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado em toda minha vida. Seu infinito amor e bondade se mostram cada dia mais presente. Sem toda proteção Divina, nada disso seria possível.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram e apoiaram, em todos os momentos. Vocês são meus maiores exemplos e me inspiram a melhorar diariamente.

A minha namorada, Beatriz Delgado, que a todo momento esteve ao meu lado, me ajudando e motivando a me tornar uma pessoa melhor. Muito obrigado por toda compreensão, companheirismo e amor.

Aos meus irmãos, Heitor e Hiago, que mesmo sendo mais novos, me ensinam muito.

Gil, que sempre facilitou meus estudos, propiciando as melhores condições para que eu não precisasse desviar meu foco.

A minha orientadora, Aline Flávia, que apesar de todos os obstáculos sempre esteve presente e, ao meu co-orientador, Clóvis Dias, que desde o meu primeiro dia na universidade é atencioso e prestativo comigo. A orientação de vocês foi fundamental, não só neste trabalho, como também na minha formação profissional e pessoal.

Aos demais queridos familiares e amigos, que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para essa conquista.

Meu muito obrigado a todos!

RESUMO

Com o crescimento da frota de veículos no Brasil e, conseqüentemente, da produção de pneus, observou-se a enorme quantidade de pneumáticos no mercado e as dificuldades para o descarte correto dos mesmos. Uma evidência disto é que quase metade dos pneus inservíveis são coprocessados, técnica que usa o material como combustível parcial em fornos, ocasionando emissão de poluentes nocivos na atmosfera. Diante desta problemática, percebeu-se a necessidade de encontrar uma técnica que conseguisse destinar adequadamente grandes quantidades do material, sendo efetivamente ambientalmente correta. Com este propósito, foi estudado o uso de pneus inservíveis como elementos drenantes em drenos profundos, e com a finalidade de certificar que seria possível empregar este método, foi feito um estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental, comparando os parâmetros dos pneus inservíveis com os do material drenante mais comumente usado, a brita. Além disso, foram avaliadas algumas obras que empregaram a metodologia proposta e obtiveram êxito. Ao final, foi possível concluir que os pneus inservíveis apresentam bons resultados e são perfeitamente aplicáveis a alguns sistemas de drenagem, principalmente àqueles em que o material não está submetido a elevadas pressões confinantes.

Palavras-chave: Pneus inservíveis, drenagem profunda, drenos, elementos drenantes.

ABSTRACT

With the increase of the vehicle fleet in Brazil and, consequently, the tire fabrication, it was observed the huge amount of tires on the market and the difficulties for their appropriate final disposal. Evidence of this fact is that nearly half of waste tires are co-processed, a technique that uses the material as partial fuel in kilns, causing harmful pollutants to be emitted on atmosphere. Stated this problem, it was realized the need to find a technique that could properly dispose large quantities of the material, being effectively environmentally friendly. For this purpose, the use of scrap tires on drainage layer in subsurface drains has been studied. In order to certify that it would be possible to employ this method, a technical, economic and environmental viable study was carried out, comparing the parameters of waste tires with the most commonly used drainage material, gravel. In addition, some works that used the proposed methodology and were successful were evaluated. In the end, it was concluded that scrap tires had good results and are perfectly applicable to some drainage systems, especially those where the material is not subjected to high all-around pressure.

Key words: Scrap tires, subsurface drainage, drains, drainage layer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo simplificado da vida útil dos pneus	7
Figura 2: Ciclo da logística reversa	9
Figura 3: Diferentes partes que compõem um pneu	10
Figura 4: Total de pneus novos produzidos e importados por cada setor de produção	11
Figura 5: Quantidade de pontos de coleta em cada Estado.	13
Figura 6: Porcentagem de pneus reciclados para cada tecnologia de destinação	14
Figura 7: Quantidade de pneus destinados de 2000 a 2007 (em mil toneladas).....	15
Figura 8: Percentual de cumprimento da meta de destinação nacional (2009 – 2017)	16
Figura 9: Esquema de drenagem urbana superficial.....	18
Figura 11: Dreno descontínuo com material drenante e furos para baixo.....	20
Figura 12: Dreno descontínuo com material drenante, com furos para cima em para terrenos altamente porosos, ou, em rocha, com fendas amplas.....	21
Figura 13: Esquema de camadas de dreno profundo com impermeabilização de fundo	21
Figura 14: Layouts de drenos espinha de peixe.....	22
Figura 15: Esquema de dreno espinha de peixe em campo de futebol.....	23
Figura 16: Seção esquemática de colchão drenante	24
Figura 17: Esquema de colchão drenante em pavimentos urbanos	24
Figura 18: Efeito da carga vertical na densidade relativa para diferentes energias de compactação	30
Figura 19: Impacto visual causado pela exploração de pedreira	32
Figura 20: Construção da camada drenante em Roma	41
Figura 21: Sistema de drenagem com tiras de pneus em Roma	41
Figura 22: Rachadura no pavimento no estudo de caso em Roma.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Coeficiente de condutividade hidráulica (k) de elementos drenantes granulares ...	27
Quadro 2: Valores de condutividade hidráulica para pneus picotados	28
Quadro 3: Custo da brita proporcional ao custo do sistema de drenagem	36

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Meta de reciclagem ou mercado de reposição de pneus	8
Equação 2: Vazão do dreno profundo	26
Equação 3: Peso da camada drenante	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 JUSTIFICATIVA	1
3 OBJETIVO	3
3.1 OBJETIVO GERAL.....	3
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	3
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4.1 PNEUS	3
4.1.1 Legislações vigentes	3
4.1.1.1 Política Nacional dos Resíduos Sólidos.....	4
4.1.1.2 Resoluções CONAMA.....	7
4.1.2 Logística reversa e reciclagem de pneus inservíveis	9
4.1.2.1 Matéria prima.....	10
4.1.2.2 Destinação.....	11
4.1.2.3 Produtos de pós-consumo	12
4.1.2.4 Coleta	12
4.1.2.5 Varejo e distribuição reversa	13
4.1.2.6 Reuso, desmanche e reciclagem industrial	13
4.2 DRENAGEM	16
4.2.1 Drenagem Superficial	16
4.2.2 Drenagem Profunda	18
4.2.2.1 Drenos profundos.....	20
4.2.2.2 Drenos espinha de peixe	22
4.2.2.3 Colchão drenante	23
4.3 UTILIZAÇÃO DE TIRAS DE PNEUS COMO ELEMENTO DRENANTE	25
4.3.1 Condutividade hidráulica dos drenos	26
4.3.2 Peso do sistema de drenagem	29
4.3.3 Durabilidade	31
4.3.4 Impactos ambientais	32
4.3.5 Custo do sistema	35
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
6 ESTUDO DE CASOS/RESULTADOS	38

6.1 ESTAÇÃO RODOVIÁRIA DE GEÓRGIA, VERMONT, EUA	38
6.2 SISTEMA DE DRENAGEM EM ROMA, ITÁLIA	39
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
8 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	43
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial a produção de bens passou a ser feita em larga escala e, com isso, surgiu a necessidade de explorar cada vez mais matéria prima. Com o passar dos anos, os níveis de industrialização foram crescendo, chegando a patamares que começaram a preocupar o mundo. Como consequência dessa realidade, um tema bastante discutido e estudado desde a década de 70 foi a questão da sustentabilidade ambiental. Em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) convocou a Conferência das Nações Unidas em Estocolmo, na Suécia, a primeira exclusiva sobre o meio ambiente, para discutir novas práticas menos agressivas, estabelecendo base para uma nova agenda ambiental global (ONU, 2011).

Nessa seara, mesmo havendo uma maior preocupação ambiental, com o crescimento da população, a qual apresenta cada vez mais uma mentalidade consumista, além das indústrias que produzem produtos com a vida útil gradativamente menor, o aumento da geração de resíduos é inevitável. Inclusive, o Banco Mundial fez um alerta em 2016: “Se a população global de fato chegar a 9,6 bilhões em 2050, serão necessários quase três planetas Terra para proporcionar os recursos naturais necessários a fim de manter o atual estilo de vida da humanidade”.

Este crescimento acelerado da produção de resíduos sólidos provoca, muitas vezes, o descarte inapropriado sem o devido tratamento, podendo causar impactos ambientais, além de representar riscos à saúde humana, mostrando que o problema não se trata apenas da esfera ambiental, como também de saúde pública. Assim sendo, é necessário cuidar do nosso planeta, tanto para agora, como para as gerações futuras. Mudanças na atuação humana são fundamentais para a promoção do bem-estar social e manutenção dos recursos naturais. Isto, portanto, não foge do âmbito da Engenharia Civil, que ainda tem processos construtivos obsoletos, que devem ser repensados, no intuito de proteger o meio ambiente, sem haver prejuízo no desempenho técnico das obras.

2 JUSTIFICATIVA

A frota de automóveis no Brasil cresce rapidamente a cada ano, pois segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotivos (SINDIPEÇAS), no ano de 2017 a frota nacional de automóveis e motos circulando no Brasil somava um total de 57.237.565 veículos. De 2012 para 2017 foi registrado um aumento de quase 16%, valor bastante expressivo para um intervalo de tempo relativamente curto.

A indústria de pneumáticos, por sua vez, acompanha o crescimento da indústria automotiva, logo, sua produção também cresce anualmente. Segundo o Relatório de Pneumáticos do IBAMA (2018), a soma dos pneus produzidos nacionalmente com os importados totalizou 1.337.924,51 toneladas, o equivalente a aproximadamente 267 milhões de pneus de carros de passeio, representando um crescimento de aproximadamente 11,71% em relação a 2012.

Os pneus são bens com vida útil determinada, e quando apresentam danos irreparáveis em sua estrutura, não se prestando mais à rodagem ou à reforma, são considerados inservíveis. Quando isso acontece, o material deve ter destinação final adequada. Esta destinação deve ser obedecida segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 416/09, que regulamenta as tecnologias permitidas para tal, com o objetivo de não prejudicar o meio ambiente e o bem estar social. As tecnologias consideradas ambientalmente sustentáveis são: coprocessamento, laminação, granulação e pirólise. (IBAMA, 2018)

Dos quatro métodos, só o coprocessamento é responsável por quase 50% do total destinado. Este é um processo que utiliza pneus inservíveis como substituto parcial de combustíveis em fornos que necessitem atingir altas temperaturas, como em cimenteiras. Pelo fato do material ser queimado, é o mais poluidor de todos, pois gera uma grande variedade de gases poluentes, incluindo NO_x, SO_x, CO, CO₂, compostos orgânicos voláteis, metais pesados, amônia e cloro (SANTI, 2003 apud MILANEZ, 2007).

Além desses poluentes, a queima de pneus libera dioxinas, substâncias que têm sido descritas como os compostos químicos mais tóxicos já produzidos pelo homem, estando entre as substâncias mais perigosas conhecidas pela ciência. No homem podem enfraquecer o sistema imunológico e causar câncer (ASSUNÇÃO e PESQUERO, 1999). As dioxinas são substâncias classificadas como poluentes orgânicos persistentes pela Convenção de Estocolmo classificou, ratificada pelo Brasil em 2004, que determinou que devam ser totalmente eliminadas.

Em consequência do aumento progressivo da quantidade de pneus inservíveis gerados, dos danos ambientais causados pelo seu descarte incorreto e, também, pelos possíveis danos causados pelo coprocessamento, vê-se a necessidade de um melhor aproveitamento do material, com o intuito de destinar, corretamente, grandes quantidades, sem que haja a necessidade de gerar poluentes. Diante disso, propõe-se usar pneu triturado, em forma de pedaços, substituindo os agregados graúdos nos sistemas de drenagem, que utilizam esses materiais como elementos drenantes.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Diante do contexto apresentado, este trabalho tem como objetivo geral mostrar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do uso de pneus inservíveis como elementos drenantes, visando uma prática ambientalmente sustentável, reduzindo os custos do processo tradicional e dando correta destinação final aos pneus.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Objetivos específicos:

- Estudar a viabilidade técnica de sistemas de drenagem com tiras de pneus inservíveis.
- Analisar a possível viabilidade econômica de projetos de drenagem utilizando esse sistema.
- Comparar o impacto ambiental causado entre o uso de agregados graúdos e pneus inservíveis, em drenos profundos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as legislações que regem o descarte dos pneumáticos, pretendendo resumir quais os procedimentos legais que devem ser adotados, não só pelas empresas, como também por toda sociedade. Também será discutido sobre a logística reversa, seus conceitos e importância no processo de destinação final dos pneus inservíveis, detalhando as principais etapas de seu ciclo.

4.1 PNEUS

4.1.1 Legislações Vigentes

Por muito tempo o Brasil não teve legislações que tratassem especificamente dos pneumáticos, entretanto, na década de 1990 o tema despertou visibilidade política e começou a ser discutido. Nos anos seguintes surgiram leis que, com o passar dos anos, foram melhorando até chegar às versões vigentes. Atualmente, as duas legislações mais importantes para o tema

são a Política Nacional dos Resíduos Sólidos e a Resolução CONAMA nº. 416/2009, as quais serão tratadas adiante.

4.1.1.1 Política Nacional dos Resíduos Sólidos

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) começou a ser elaborada em 1991, com o Projeto de Lei nº 203/1991, o qual tratava do acondicionamento, coleta, tratamento, transporte e destinação final dos resíduos de serviços de saúde. Em 1998, entrou em vigor a Lei nº 9.605/1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Todavia, foi apenas em agosto de 2010 que a Lei nº 9.605/1998 foi substituída pela Lei nº 12.305/2010, sendo oficialmente criada a PNRS.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos visa a redução dos danos ambientais e sociais, provocados pelo descarte indevido dos resíduos. A nova legislação estabelece metas, medidas e diretrizes direcionadas aos agentes participantes do ciclo de vida dos produtos. Um de seus objetivos é fornecer aos resíduos sólidos um destino adequado, onde os impactos ao meio ambiente e à vida humana sejam reduzidos o máximo possível. (POURRE, 2016)

Os resíduos sólidos são definidos pela referida lei, em seu art. 3º, inciso XVI, como:

[...] Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Por esta definição, os pneus são considerados resíduos sólidos e, portanto, seu descarte deve obedecer a PNRS. Por este motivo, é fundamental conhecer quais os princípios básicos da Política que mais se aplicam aos pneus inservíveis.

- A prevenção e a precaução: É entendido que prevenir é muito melhor que lidar com o problema depois que ele ocorre. Depois de ocorrido, os problemas se tornam muito difíceis de serem revertidos, às vezes até mesmo inviáveis tecnicamente.
- O poluidor-pagador e o protetor-recebedor: Quem faz tudo corretamente, respeita todas as leis e sempre está trilhando o caminho certo deve ser recompensado, e isto pode ser feito com liberação de verbas, no caso dos estados e municípios ou reverter o excedente da destinação correta em créditos, na hipótese de empresas privadas.

Todavia, quem não cumprir deve ser penalizado, ocorrendo isto normalmente através de multas.

- A visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública: O desenvolvimento sustentável, procurando respeitar os padrões sustentáveis, que, segundo o art. 3º, inciso XIII, pode ser definido como a produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras.
- A ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta.
- A cooperação entre as diferentes esferas do poder público, do setor empresarial e demais segmentos da sociedade: Este princípio remete diretamente à responsabilidade compartilhada, que é um dos principais pilares dessa lei. Ela defende que todos tem uma parcela de responsabilidade no processo, sendo importante que cada um desempenhe suas funções; o poder público fiscalizando, o setor empresarial cumprindo as leis e os cidadãos tendo responsabilidade e consciência para não fazer descarte incorreto, cooperando com a esfera pública e empresarial a cumprir todas as metas.

Assim como princípios, também há objetivos, detalhados no art. 7º, que devem ser alcançados para que a Política Nacional de Resíduos Sólidos seja realmente eficaz. Dentre os principais, podem ser citados os seguintes:

- Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental.
- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.
- Estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços.
- Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais.

- Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados.
- Gestão integrada de resíduos sólidos.
- Articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos.
- Capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos.
- Prioridade nas aquisições e contratações governamentais para:
 - a) produtos reciclados e recicláveis;
 - b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
- Integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.
- Estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto.
- Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental. (BRASIL, 2010)

Fica instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, no caso, dos pneus. É responsabilidade dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e dos consumidores a disposição final correta dos resíduos. Esse sistema funciona de forma encadeada, no qual cada um tem seu papel no processo.

O ciclo da logística reversa está representado de forma simplista na Figura 1. Esse é um sistema que segundo o Art. 33 da Lei Nº 12.305/2010, obriga as empresas fabricantes e importadoras de pneus novos a estruturar e implementá-lo, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.

Figura 1: Ciclo simplificado da vida útil dos pneus



Fonte: Autor

4.1.1.2 Resoluções Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

O CONAMA também precisou determinar medidas contra o descarte irregular de pneus, uma vez que a produção já estava muito grande e ainda não havia nenhuma lei específica que contemplasse esse tema. Assim sendo, o órgão do Ministério do Ambiente criou sua primeira resolução, publicada em 2 de Dezembro de 1999, a RESOLUÇÃO CONAMA nº 258/99. Seu resumo diz que: “Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis”.

Em 2002 foram alterados alguns artigos da resolução supracitada, com a finalidade de melhorar a aplicabilidade das normas, passando a vigorar a RESOLUÇÃO CONAMA nº 301/2002. Esta ficou em vigor até 2009, quando foi revogada e substituída pela RESOLUÇÃO CONAMA nº 416/2009.

De acordo com a resolução supracitada, os fabricantes e os importadores de pneus novos, com peso unitário superior a dois quilos, ficam obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis, nas proporções descritas na Equação 1. Ainda segundo essa resolução, pneu inservível é todo aquele que apresente danos irreparáveis em sua estrutura não se prestando mais à rodagem ou à reforma. O referido normativo, ainda, define que a destinação ambientalmente adequada seria o procedimento técnico em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e que seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outra(s) técnica(s) admitida(s) pelos órgãos ambientais competentes, observando a legislação vigente e normas operacionais específicas, com o propósito de evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos. Nesta ótica, a reforma de pneus não é considerada fabricação ou destinação adequada. (BRASIL, 2009)

Ademais, os fabricantes, importadores, reformadores e os destinadores de pneus inservíveis deverão se inscrever no Cadastro Técnico Federal (CTF), junto ao Instituto

Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), sendo obrigado aos destinadores, bem como aos fabricantes e importadores de pneus novos, declararem ao IBAMA, numa periodicidade máxima de um (01) ano, por meio do CTF, a destinação adequada dos pneus inservíveis, devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente. (BRASIL, 2009)

Também é incumbência dos fabricantes e importadores de pneus novos elaborarem um plano de gerenciamento de coleta, armazenamento e destinação de pneus inservíveis (PGP), o qual deverá ser amplamente divulgado e disponibilizado aos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). (BRASIL, 2009)

As empresas têm metas a serem cumpridas, que são estabelecidas a partir da relação “1x1”, isto é, para cada um novo pneu no mercado, importadores e fabricantes são responsáveis por encaminhar um pneu inservível para o tratamento e destino adequado. Para fins de inspeção e gestão, a unidade de medida empregada é em massa (toneladas).

A quantidade final de pneus inservíveis a ser destinado é calculada com base no peso dos pneus novos, aplicando-se um fator de desgaste de 30% (trinta por cento). Portanto, a meta de reciclagem de pneus inservíveis, determinada pela lei, é calculada pela aplicação da equação 1: (BRASIL, 2009)

$$MR = [(P + I) - (E + EO) * 0,7] \quad (1)$$

Onde:

MR: Meta de Reciclagem ou Mercado de Reposição de pneus;

P: Total de pneus produzidos;

I: Total de pneus importados;

E: Total de pneus exportados;

EO: Total de pneus que equipam veículos novos;

0,7: Fator de desgaste.

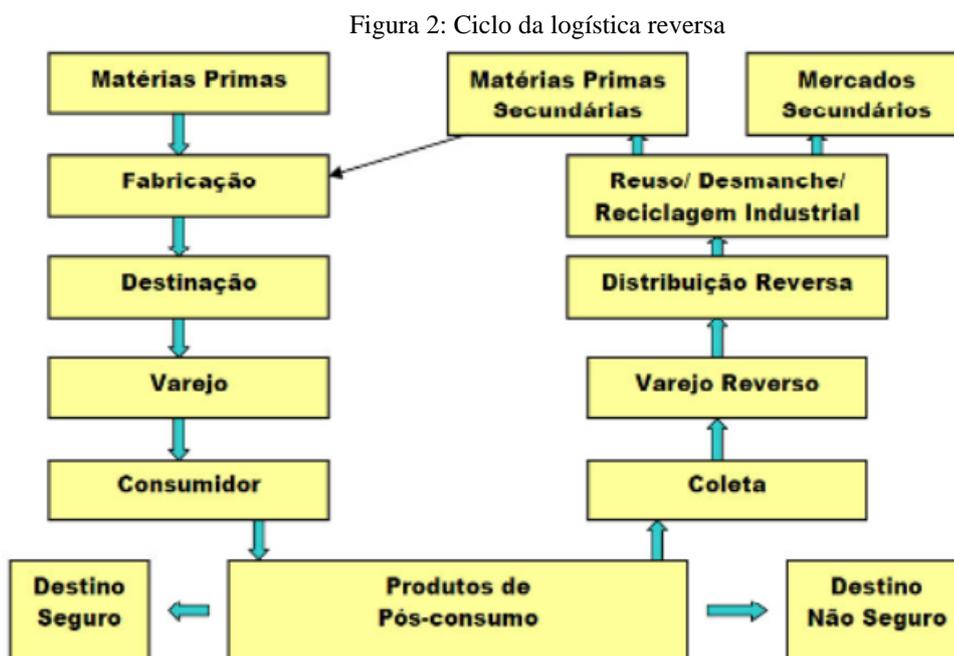
No caso de uma empresa não alcançar a meta determinada, isso não implica em sanções corretivas, porém, as obrigações são cumulativas, impondo a empresa infratora a cumprir a meta do ano seguinte mais o montante remanescente. No caso contrário a regra também é válida, se a meta for alcançada e gerar excedente, o mesmo pode ser utilizado em períodos seguintes, funcionando como um crédito. (BRASIL, 2009)

4.1.2 Logística Reversa e Reciclagem de Pneus Inservíveis

A logística reversa tem sido muito discutida nos últimos anos, e a própria sociedade tem se tornado mais consciente na questão ambiental, de modo que ser uma empresa sustentável nos dias atuais passou a ser uma obrigação e não mais um diferencial, como era antigamente. Apesar de muito comentado, este tema é pouco estudado, sendo possível notar que ainda há desinformação. A imagem do censo comum é que a logística reversa serve apenas para recolher o produto comercializado após o fim da sua vida útil, mas não funciona exatamente assim. Para entender o que é logística reversa deve-se entender primeiramente seu conceito. De acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, estabelecida pela Lei nº 12.305/2010, a Logística Reversa pode ser definida como:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Qual seja, a logística reversa não é apenas de caráter ambiental, mas também econômico e social. Ela é baseada na coleta e correta destinação dos resíduos, para que eles possam ser reinsertos na cadeia produtiva ou ganhar uma nova utilização, com destinação final ambientalmente adequada. Como uma forma ilustrativa, o ciclo da logística reversa está mostrado na Figura 2:



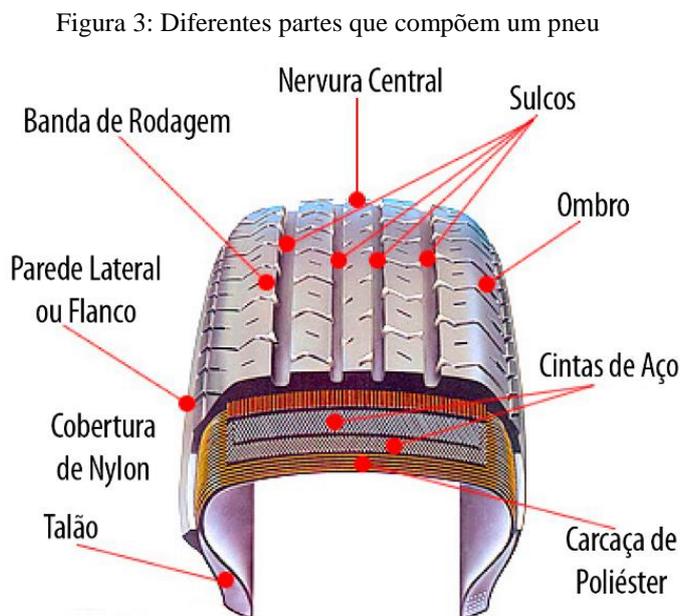
Fonte: Leite consultorias/ cadeia logística de pós-consumo, apud Mueller 2005, p. 2.

Destrinchando o fluxograma apresentado, focando especificamente na cadeia produtiva e na logística reversa dos pneus, tem-se:

- Matéria prima.
- Destinação.
- Produtos de pós-consumo.
- Coleta.
- Varejo e distribuição reversa.
- Reuso, desmanche e reciclagem industrial.

4.1.2.1 Matéria Prima

O pneu é uma estrutura formada por vários materiais, com diferentes proporções, para conseguir atender às suas funções. Ele pode ser dividido em sete partes, descritas na Figura 3: (GF PNEUS, 2019)



Fonte: GF Pneus, 2019.

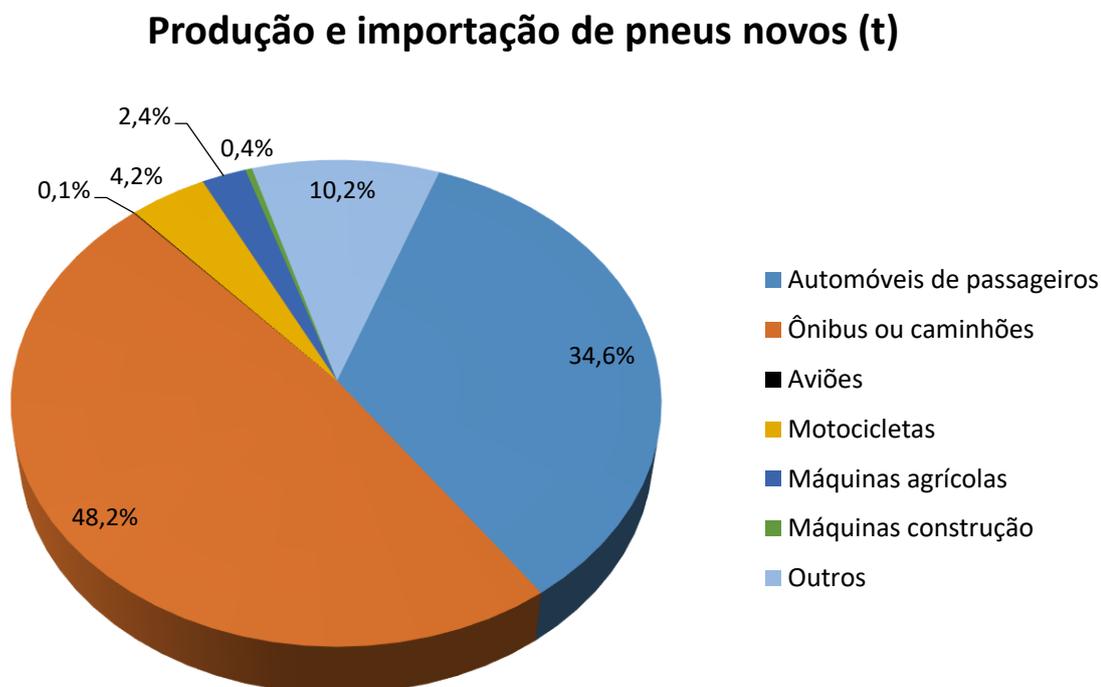
- Carcaça: parte resistente do pneu. Compõe-se de lonas de borracha, poliéster, nylon ou aço;
- Talões: constituem-se internamente de arames de aço de grande resistência, revestidos por borracha;

- Parede lateral ou flanco: são as laterais da carcaça. São revestidos por uma mistura de borracha;
- Cintas (lonas): compreende o feixe de cintas (lonas estabilizadoras). Composta por placas de fios de aço;
- Banda de rodagem: é a parte do pneu que fica em contato direto com o solo. É composta por 3 tipos de borracha, com diferentes composições;
- Ombro: é o apoio do pneu nas curvas e manobras. Tem a mesma composição da banda de rodagem;
- Nervura central: proporciona um contato “circunferencial” do pneu com o solo. Tem a mesma composição da banda de rodagem.

4.1.2.2 Destinação

Segundo o Relatório de pneumáticos do IBAMA, referente ao ano de 2018, a soma dos pneus produzidos nacionalmente com os importados totalizou 1.337.925 toneladas, sendo a produção brasileira equivalente a 80,48% do montante. Esta produção é referente a 23 setores de produção, mostrado na Figura 4:

Figura 4: Total de pneus novos produzidos e importados por cada setor de produção



Fonte: Relatório Pneumáticos IBAMA, 2018.

4.1.2.3 Produtos de Pós-consumo

Após o consumo, os pneus que ainda podem ser reutilizados são comercializados para empresas que fazem o correto beneficiamento do material. Uma das práticas mais comuns é o recapeamento dos pneus, que consiste na colocação de uma nova banda de rodagem. Isso só é possível quando as outras partes dos pneus não estão comprometidas, ou seja, sua estrutura está intacta, de forma que depois de recapeado, não apresente perdas de desempenho significativas.

Quando o pneu apresenta danos irreparáveis em sua estrutura, não sendo mais possível fazer reforma e, conseqüentemente, não prestando mais para rodagem, é considerado inservível, indo para os pontos de coletas distribuídos em todo território nacional, que serão transportados e terão uma destinação final adequada. O principal órgão de coleta e transporte de pneus inservíveis é o RECICLANIP, considerada uma das maiores iniciativas da indústria brasileira na área de responsabilidade pós-consumo. O órgão foi criado em 2007 pelos fabricantes de pneus novos Bridgestone, Goodyear, Michelin e Pirelli, mais tarde, juntando-se ao grupo as fabricantes Continental e Dunlop. (RECICLANIP, 2019)

Posteriormente ao transporte, os pneus inservíveis são destinados às empresas que farão a destinação adequada, descrita mais detalhadamente à frente.

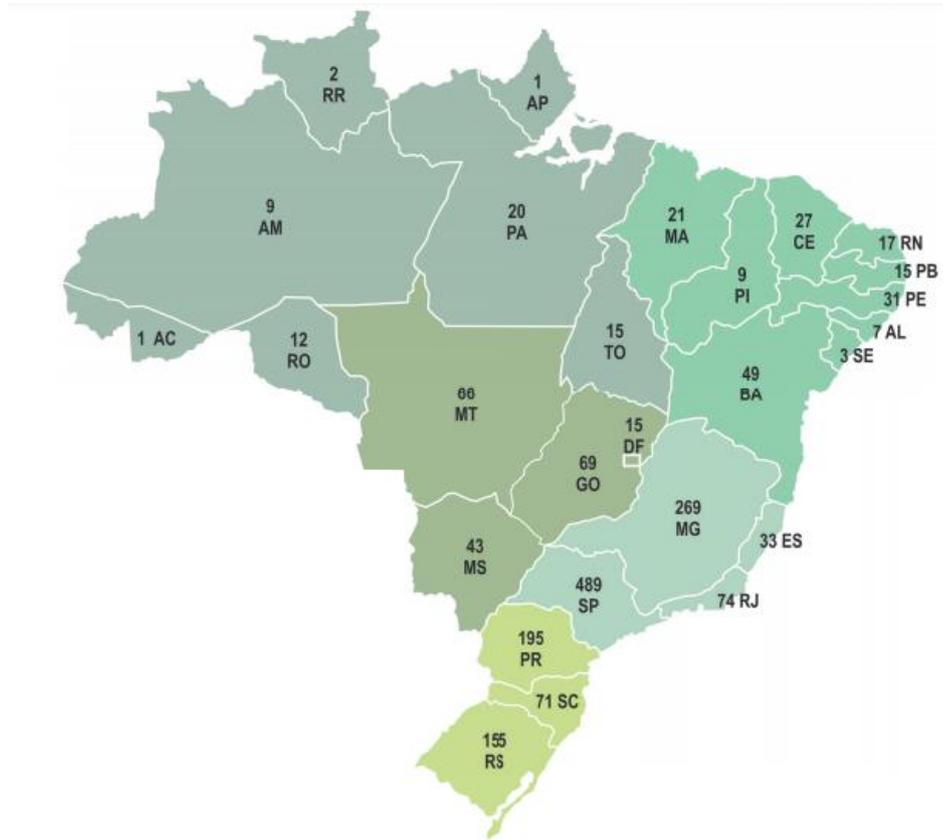
4.1.2.4 Coleta

A Resolução Conama n° 416/2009 estabelece que os fabricantes e importadores de pneus novos, com peso unitário superior a dois quilos, ficam obrigados a coletarem e destinarem adequadamente os pneus inservíveis existentes no território nacional, cumprindo a meta anual estabelecida pelo mesmo órgão, descrita pela Equação 1 no presente trabalho.

Além disso, estabelece a implantação de pontos de coleta de pneus inservíveis em todos os municípios com população superior a cem mil habitantes. Em 2017 foram cadastrados 1.718 pontos de coleta, sendo 53,84% desses pontos localizadas em cidades com mais de cem mil habitantes. No Brasil existem 12 cidades que têm pelo menos essa população, mas não tem ponto de coleta. (IBAMA, 2018).

A Figura 5 mostra no mapa a quantidade de postos de coleta disponíveis em cada estado, destacando as regiões Sul e Sudeste, que totalizam a maior quantidade de postos. Isso se deve principalmente pela frota de veículos dessas regiões e maior concentração de fábricas de pneumáticos.

Figura 5: Quantidade de pontos de coleta em cada Estado.



Fonte: Relatório pneumáticos IBAMA, 2018.

4.1.2.5 Varejo e Distribuição Reversa

Toda a logística de coleta, transporte e reciclagem dos pneus inservíveis movimenta um grande mercado. Segundo o IBAMA (2018), apenas em 2017, tiveram destinação correta 585.252,32 toneladas de pneus. A cada ano, a produção de pneus novos aumenta, de modo consequente, cresce o montante de pneus inservíveis, incrementando cada vez mais a distribuição e varejo reverso. Neste varejo estão inclusos várias atividades que serão descritas mais especificamente no próximo tópico.

4.1.2.6 Reuso, Desmanche e Reciclagem Industrial

As empresas de reciclagem de pneus inservíveis utilizam quatro tecnologias diferentes, que são legalizadas pelo IBAMA.

Coprocessamento: Processo de utilização dos pneus inservíveis em fornos como substituto parcial de combustíveis e como fonte de elementos metálicos. Esta prática tem uma série de benefícios, tais como: substituição de recursos energéticos não renováveis (carvão),

ferramenta sustentável para gestão de resíduos, preservação de jazidas, redução da pegada ambiental das atividades extrativas, destruição dos pneus velhos hospedeiros dos mosquitos da dengue e redução das emissões de CO₂. (FREITAS, Sidcléa Sousa; NÓBREGA, Cláudia Coutinho, 2014)

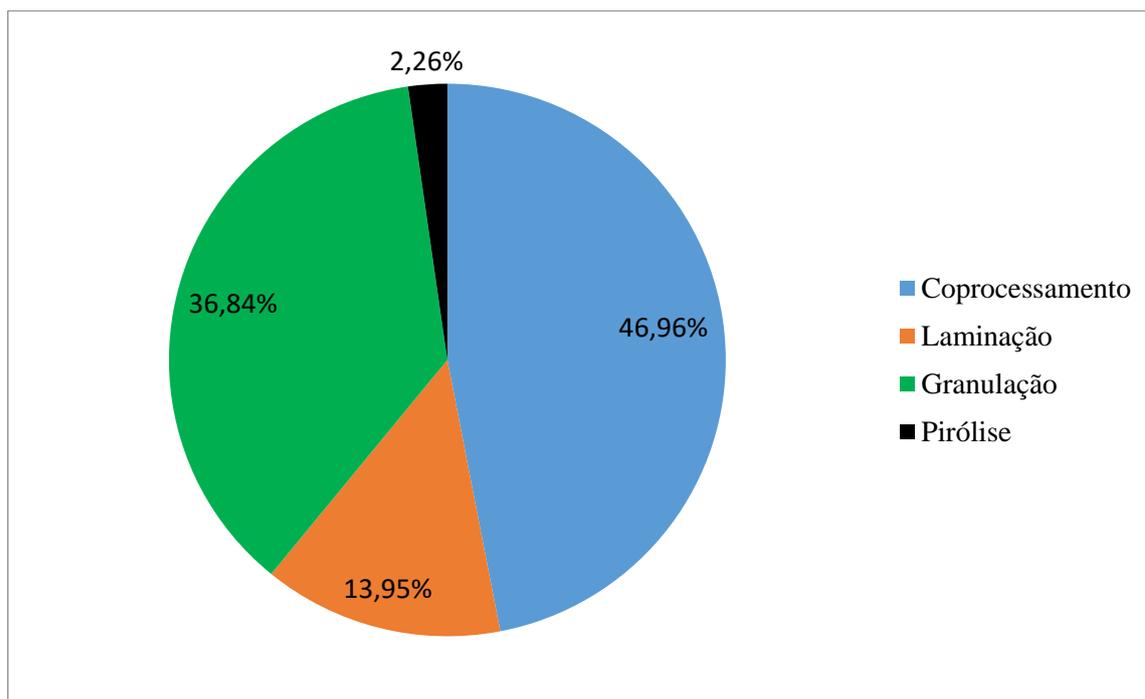
Laminação: Processo de fabricação de artefatos de borracha. É possível citar exemplos como tapetes para automóveis, pisos industriais, solado de calçados, dentre outros.

Granulação: Processo industrial de fabricação de borracha moída, em diferentes granulometrias de acordo com a necessidade do projeto, com separação e aproveitamento do aço. Alguns processos só podem ser realizados a partir da diminuição da granulometria da borracha, como, por exemplo, a incorporação da mesma para asfalto borracha, impermeabilizantes asfálticos e, no caso do estudo, como elemento de drenagem.

Pirólise: Processo de decomposição térmica da borracha conduzido na ausência de oxigênio ou em condições em que a concentração de oxigênio é suficientemente baixa para não causar combustão, com geração de óleos, aço e negro de fumo. (IBAMA, 2018)

Cada técnica tem seu custo, vantagens e mercado consumidor, parâmetros que influencia na quantidade de material processado em cada uma. No relatório de pneumáticos de IBAMA (2018), foi detalhada a porcentagem de pneus inservíveis destinado por cada uma das tecnologias comentadas. Na Figura 6 mostra o percentual de pneus reciclados para cada tecnologia de destinação:

Figura 6: Porcentagem de pneus reciclados para cada tecnologia de destinação

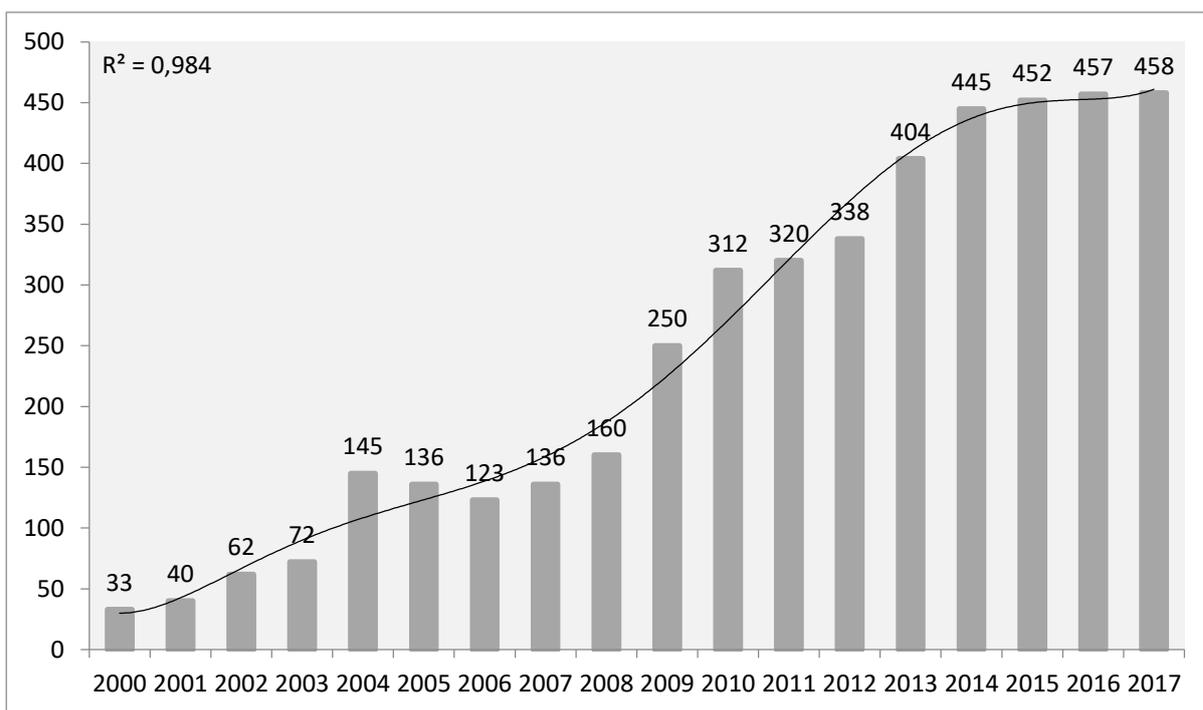


Fonte: Relatório Pneumáticos IBAMA, 2018.

Desde a aprovação da Resolução CONAMA nº 258/99, que fixou metas e obrigou os fabricantes e importadores a darem destinação final aos pneus inservíveis, o cenário nacional de reciclagem de pneus mudou radicalmente. Antes da aprovação da legislação brasileira, somente 10% dos pneus eram reciclados (LAGARINHOS, Carlos; TENÓRIO, Jorge, 2012), já em 2017 este número subiu para 99,55% (IBAMA,2018). Em 2018, foram 92 empresas destinadoras cadastradas no IBAMA para a reutilização, reciclagem e a valorização energética dos pneus, muito mais do que apenas as 4 empresas que existiam antes de 1999. (IBAMA, 2018)

De 1999 a 2017 foram recolhidos e destinados adequadamente 4,5 milhões de toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 916 milhões de pneus de carros de passeio. (RECICLANIP, 2018). Na Figura 7 mostra a quantidade de pneus inservíveis destinados desde 2000, até o ano de 2017.

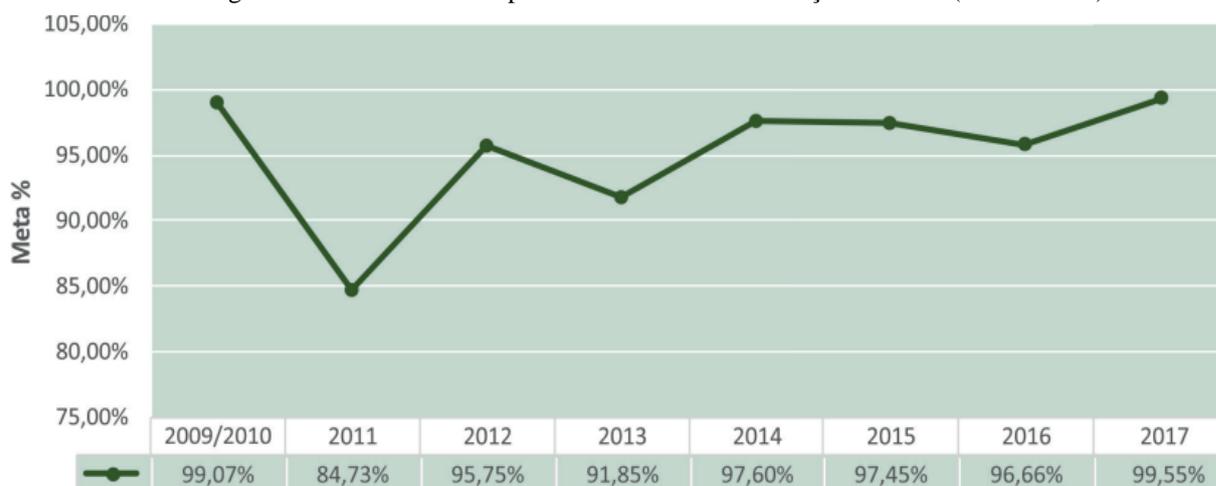
Figura 7: Quantidade de pneus destinados de 2000 a 2017 (em mil toneladas)



Fonte: RECICLANIP, 2019.

Mesmo com o volume crescente de resíduos, a meta de destinação nacional mostrou acompanhar tal crescimento, alcançando números bastante positivos. No ano de 2017 tal meta chegou em 99,55%, maior número desde o início da vigência da resolução, mostrando que as fiscalizações estão funcionando muito bem, como mostra a Figura 8, com a evolução das metas desde o ano de 2009.

Figura 8: Percentual de cumprimento da meta de destinação nacional (2009 – 2017)



Fonte: Relatório Pneumáticos IBAMA, 2018.

4.2 DRENAGEM

Na engenharia, muito comumente busca-se evitar o contato permanente da água com as estruturas, visto que esse contato é responsável por uma série de patologias, a exemplo de recalques do terreno e/ou das edificações, fissuras, corrosão de armaduras, percolação em barragens, deterioração de pavimentos, entre outros inúmeros problemas, os quais, a curto, médio ou longo prazo podem diminuir a vida útil do empreendimento, comprometer o desempenho do mesmo e até, em casos extremos, provocar sua ruína. Para evitar essas patologias e garantir o correto desempenho das estruturas ao longo de suas vidas úteis, projetos eficientes de drenagem são de suma importância. Esses têm como principal finalidade interceptar e captar águas, conduzindo-a ao desague seguro. (DNIT, 2006).

A drenagem pode ser dividida em dois grandes grupos, a superficial e a profunda. A classificação é feita de acordo com o local onde os drenos serão empregados e como eles irão desempenhar a função drenante.

4.2.1 Drenagem Superficial

A drenagem é classificada como superficial quando os elementos de drenagem estão na superfície e são responsáveis pela captação e condução de águas provenientes de escoamentos superficiais, sendo elas proveniente do escoamento superficial das águas pluviais nas rodovias, de águas pluviais captadas pelas edificações, entre outros. Este tipo de drenagem é empregado em várias áreas da engenharia civil, como, por exemplo:

- Drenagem de rodovias.
- Pé e crista de taludes.
- Cobertura de aterros sanitários.
- Drenagem urbana.

Para ser possível executar um sistema de drenagem eficiente são usados alguns dispositivos drenantes. Cada um deles possui funções próprias e são destinados para um objetivo específico. Todavia, mesmo existindo vários dispositivos, pode haver projetos que seja necessário empregar mais de um deles, permitindo que funcionem como drenos complementares. Podem-se citar alguns exemplos de dispositivos usados neste tipo de drenagem: (DNIT, 2006)

- Valetas.
- Sarjetas.
- Bueiros.
- Sarjetas.
- Descidas d'água.
- Corta-rios.
- Manilhas.

Alguns dispositivos como as manilhas podem estar enterrados, possibilitando uma confusão de definição. Pelo fato do nome da drenagem ser superficial, não significa que ele deve estar obrigatoriamente na superfície. O principal objetivo desse dreno é captar e destinar de forma segura e correta as águas oriundas do escoamento superficial. Mesmo que um dispositivo esteja abaixo da superfície ele ainda estará desempenhando a função de drenagem superficial.

Como já comentado, às vezes é necessário mais de um dispositivo para ter um sistema de drenagem eficiente. Especificamente nos casos das manilhas, elas irão funcionar como elemento de transporte, precisando haver outro elemento que faça a captação e assim, juntos formarão o sistema de drenagem superficial.

A título de exemplo, a Figura 9 mostra um esquema de drenagem urbana superficial, que é composto por mais de um dispositivo, que juntos compõem o sistema. O funcionamento desse sistema é da seguinte forma: a água da chuva quando cair no pavimento, será conduzida para a sarjeta, a qual tem como função captar essas águas e conduzir até a próxima boca de lobo, que por sua vez irá desaguar em um ramal de ligação, para finalmente chegar às manilhas e estas conduzirão as águas até o destino final.

Figura 9: Esquema de drenagem urbana superficial



Fonte: Matheus M. Sousa, 2011.

4.2.2 Drenagem Profunda

A drenagem profunda, igualmente conhecida como subsuperficial, fica localizada abaixo da superfície, podendo estar a uma pequena ou grande profundidade. Ela tem como principal objetivo drenar a água em excesso do terreno e fazer sua correta destinação. Esse método também pode ser adaptado para outras situações, como drenagem de fundo em aterros sanitários, que irá drenar chorume do maciço de lixo, embora a função principal continue sendo a mesma.

A drenagem pode ser de águas que infiltraram no solo proveniente das chuvas, de águas ascendentes devido à capilaridade, para rebaixar o lençol freático temporariamente ou permanentemente, entre outras situações.

Os drenos profundos são empregados em várias vertentes da engenharia, citam-se:

- Fundações de pontes.
- Fundações de edificações.
- Fundações de barragens.
- Obras de infraestrutura, como rede de esgoto e água.

- Rebaixamento do lençol freático em pavimentos.
- Drenagem de chorume em aterros sanitários.

Assim como na drenagem superficial, a drenagem profunda utiliza alguns dispositivos para ser possível dimensionar um bom sistema drenante. Geralmente mais de um dispositivo atende às necessidades de um projeto, porém cabe ao projetista escolher qual deles será mais eficiente para cada situação. São modelos de dispositivos de drenagem profunda: (DNIT, 2006)

- Drenos profundos.
- Drenos espinha de peixe.
- Colchão drenante.
- Drenos horizontais profundos.
- Drenos verticais de areia.

Cada dispositivo tem uma técnica de execução e uma função, mas de forma geral, este tipo de drenagem é formada por três elementos básicos: (DNIT, 2006)

Tubos: tem a função de coletar e conduzir o líquido até o destino final. Podem ser dos tipos: tubos de concreto (porosos ou perfurados), cerâmicos (perfurados), de fibro-cimento, de materiais plásticos (corrugados, flexíveis perfurados, ranhurados) e metálicos.

Material filtrante: tem a finalidade de permitir o escoamento da água sem carrear finos e conseqüentemente evitar o entupimento dos tubos. Geralmente são feitos de areia, agregados britados ou geotêxtil.

Material drenante: seu papel é de captar e ao mesmo tempo conduzir as águas a serem drenadas, devendo apresentar uma granulometria adequada à vazão escoada. Os materiais mais tradicionais utilizados são as britas, seixos rolado e cascalho grosso lavado.

Uma característica importante nesses drenos é que todos os dispositivos têm material drenante e, na grande maioria das vezes, o material utilizado é a brita do tipo 1 ou 2. Por este motivo, o estudo dos drenos profundos será mais detalhado, dando ênfase principalmente nos elementos drenantes, uma vez que o objetivo do trabalho é comparar o desempenho do elemento drenante tradicional (brita) com o elemento drenante proposto, as tiras de pneus inservíveis.

Antes de fazer uma comparação entre os dois materiais, é interessante explicar como funcionam os drenos profundos, mostrar suas principais características, possíveis configurações, melhores situações para serem empregados e seus métodos de execução. Para isso, foram escolhidos três tipos de dispositivos de drenagem profunda, que são os mais populares nacionalmente.

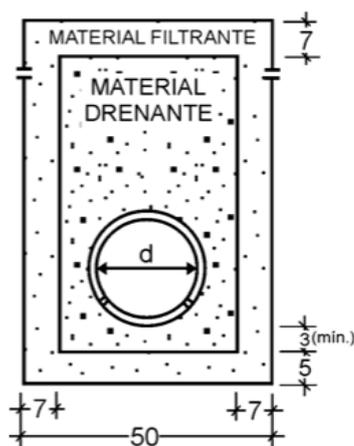
4.2.2.1 Drenos profundos

Os drenos profundos têm por objetivo principal interceptar o fluxo de águas subterrâneas profundas. Em consequência disso são instalados, preferencialmente, em profundidades da ordem de 1,50 a 2,00m, podendo variar a profundidade de acordo com cada projeto. Estes drenos podem funcionar tanto para captar e direcionar o fluxo ascendente, provindo do lençol freático, quanto o fluxo descendente, ocasionado pelas águas pluviais infiltradas no terreno. (DNIT, 2006)

Os drenos profundos são constituídos por vala, materiais drenante e filtrante, podendo apresentar tubos-dreno, juntas, caixas de inspeção e estruturas de deságue. No caso de drenos com tubos podem ser utilizados envoltórios drenantes ou filtrantes constituídos de materiais naturais ou sintéticos. (DNIT, 2006)

Este tipo de dreno pode ser executado de formas diferentes de acordo com o sentido do fluxo. Se ele for ascendente, em casos de ascensão por capilaridade ou rebaixamento do lençol freático, o dreno é todo envolto por material filtrante e drenante e o tubo-dreno terá furos para baixo, para poder captar a água no sentido correto, de baixo para cima, como mostra a Figura 11. Pode-se citar exemplo da aplicação deste dispositivo no rebaixamento de lençol freático de rodovias, para evitar que a água entre em contato com o subleito, tendo como finalidade proteger o corpo estradal.

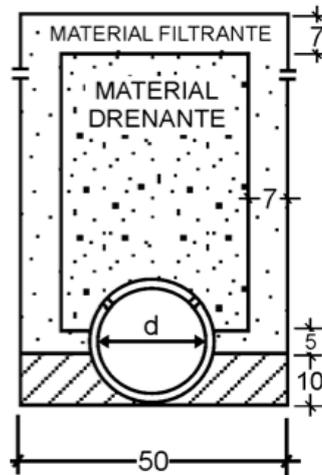
Figura 10: Dreno descontínuo com material drenante e furos para baixo



Fonte: DNIT, Manual de Drenagem, 2006

Em contrapartida, quando o fluxo for descendente, os furos do tubo-dreno são para cima, sendo possível ser feita uma impermeabilização no fundo do dreno, como mostra a Figura 12.

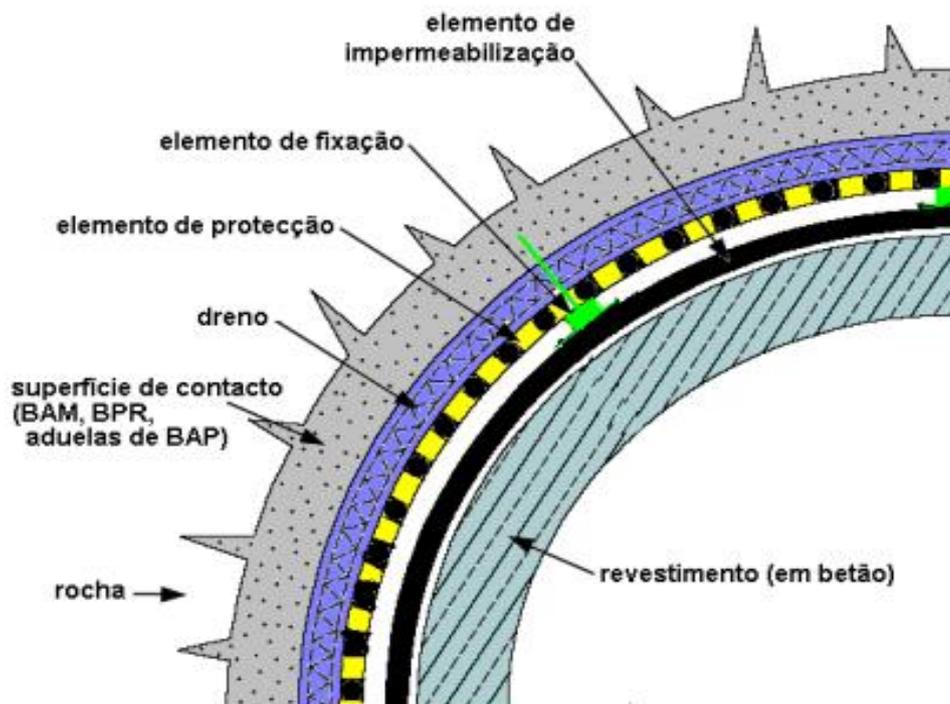
Figura 11: Dreno descontínuo com material drenante, com furos para cima em para terrenos altamente porosos, ou, em rocha, com fendas amplas



Fonte: DNIT, Manual de Drenagem de Rodovias, 2006

Esse tipo de dreno, com impermeabilização no fundo, é empregado geralmente em situações que não é permitido a passagem do fluxo descendente para as camadas inferiores. Um tipo de obra que utiliza essa metodologia é na construção de túneis. A Figura 13 mostra um esquema de como é feita a disposição dos elementos em cada camada.

Figura 12: Esquema de camadas de dreno profundo com impermeabilização de fundo



Fonte: Sistemas de Impermeabilização e Drenagem de Túneis em Escavação: instalação e controlo de qualidade, 2007.

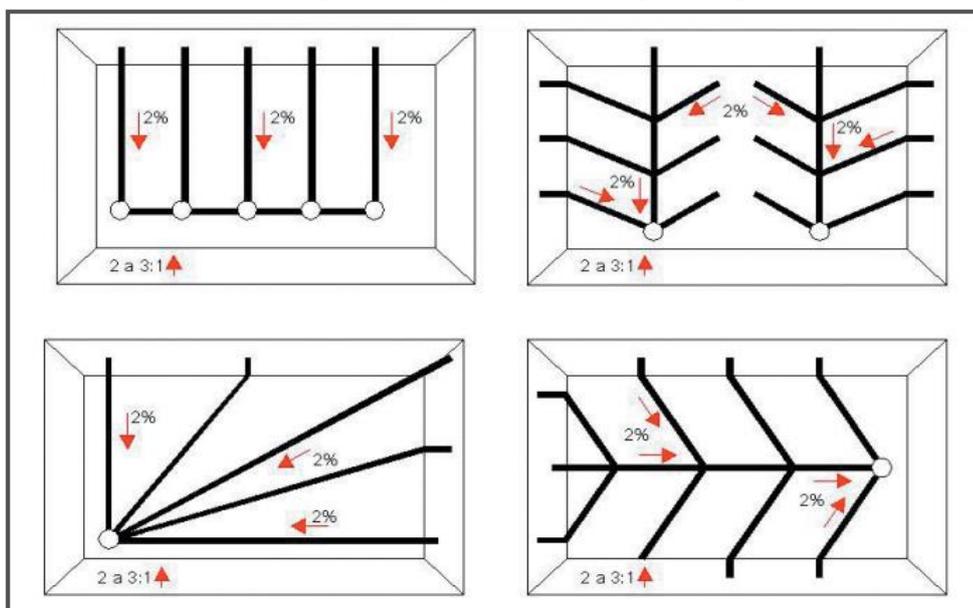
4.2.2.2 Drenos espinha de peixe

São dispositivos que tem como principal característica serem usados para drenagem de grandes áreas. Sua função predominante é a captação de águas pluviais, por isso geralmente são instalados a uma pequena profundidade, de aproximadamente 50 centímetros da superfície. Contudo, eles também podem ser empregados para rebaixamento de lençol freático quando ele está muito próximo da superfície e, nesses casos, os drenos podem ser executados com uma profundidade um pouco maior. (DNIT, 2006)

Os drenos espinha de peixe utilizam elementos padrões de drenagem como valas de baixa profundidade, materiais drenante e filtrante, podendo apresentar tubos-dreno e estruturas de deságue. Cada obra tem suas peculiaridades para execução, proteção do dreno, vida útil, facilidade de manutenção, entre outros, mas, a técnica usada é bastante semelhante aos drenos profundos. (DNIT, 2006)

Existem várias configurações dos drenos, como mostra a Figura 14, porém o objetivo é conduzir toda a água dos sub-ramais para um ramal principal, que fará o transporte das águas até o destino final. Fatores como inclinação e layout dos ramais e sub-ramais são critérios de projeto e devem ser analisadas para cada projeto especificamente.

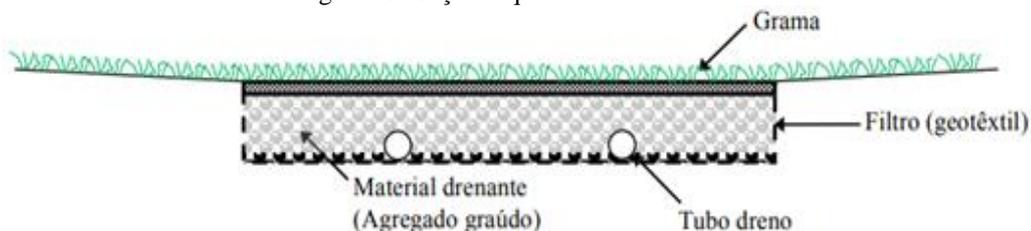
Figura 13: Layouts de drenos espinha de peixe



Fonte: NUCASE, Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários, nível 2.

Os drenos espinha de peixe são mais usados quando há a necessidade de drenar grandes áreas. Em vista disso, são empregados com maior frequência na drenagem de aterros sanitários,

Figura 15: Seção esquemática de colchão drenante



Fonte: Confeção de colchão drenante como estruturas superficiais de infiltração utilizando garrafa PET, 2014

A disposição dos tubos, espessura da camada drenante, profundidade do dreno, entre outros fatores, são critérios de projeto e devem ser todos dimensionados corretamente para que o sistema funcione corretamente.

Estes dispositivos podem ser empregados em bases dos aterros onde houver água livre próximo ao terreno natural, em aterros constituídos sobre terrenos impermeáveis (naturalmente ou artificialmente), em bases de muros de arrimo, na drenagem de telhados verdes, ou em qualquer situação que não é recomendado o acúmulo de água no local, sendo necessária uma rápida drenagem de toda água, independente do volume.

Uma vertente da engenharia civil que está usando cada vez mais este tipo de dispositivo é na drenagem urbana das grandes cidades. Atualmente, com o adensamento populacional e o aumento da impermeabilização dos solos nas cidades, a diminuição da taxa de infiltração de águas pluviais é bastante perceptível, gerando um aumento do volume de escoamento superficial, provocando transtornos em tempos de chuva, como alagamentos. Para solucionar esse problema, estão sendo empregados colchões drenantes em áreas críticas de acúmulo dessas águas. A Figura 17 mostra como funciona esse dispositivo nas áreas urbanas.

Figura 16: Esquema de colchão drenante em pavimentos urbanos



Fonte: NTC Brasil, 2019.

A quantidade de água capaz de infiltrar no solo é bem inferior à capacidade desses drenos, então para conseguir captar mesmos volumes, são necessárias áreas bem menores, o que é muito conveniente, já que não existe grande disponibilidade de área permeável. Mesmo sendo em áreas pequenas, esses colchões drenantes são capazes de captar e conduzir grandes volumes de água, não permitindo que ela se acumule na superfície e cause transtornos na região. Geralmente esses drenos são usados quando o sistema de drenagem superficial das cidades não é suficiente, por isso, é importante haver harmonia entre todos os sistemas de drenagem urbana.

4.3 UTILIZAÇÃO DE TIRAS DE PNEUS COMO ELEMENTO DRENANTE

Analisando toda quantidade de pneus novos fabricados, a necessidade de destinação correta dos pneus inservíveis e a possível desoneração do processo construtivo dos drenos profundos, sem perder eficiência, a solução proposta é a substituição do agregado graúdo por tiras de pneus inservíveis. Para que essa substituição seja considerada viável técnica e economicamente, serão analisados e comparados alguns parâmetros dos dois materiais. Foram escolhidos os principais parâmetros julgados importantes que qualquer sistema de drenagem profunda eficiente deva ter.

Os parâmetros que serão analisados neste capítulo são:

- Condutividade hidráulica.
- Peso do sistema.
- Durabilidade.
- Impactos ambientais.
- Custo do sistema.

De maneira geral, a execução dos drenos com pneus é muito parecida com a dos drenos tradicionais, aqueles que usam brita como elemento drenante. As etapas construtivas são as mesmas que as tradicionais para os drenos profundos, espinha de peixe e colchões drenantes, apenas substituindo a brita pelas tiras de pneus. As diferenças estão na forma que o pneu será usado nas valas e nas condições que o elemento drenante estará submetido no dreno. Já foram feitos alguns testes experimentais com este material, variando o tamanho dos pedaços, carga atuante no sistema, densidade da camada drenante, temperatura, entre outros critérios, para saber em quais condições os pneus apresentam o melhor desempenho e quais fatores podem diminuir-lo. Todas estas variáveis serão abordadas detalhadamente na análise dos parâmetros, nos capítulos posteriores.

Este novo modelo apresenta benefícios e limitações, que serão discutidos após a apresentação de todos os parâmetros. Ademais, deve-se tomar a devida cautela, pois cada obra

tem suas particularidades que devem ser analisadas para que o sistema de drenagem possa desempenhar sua função com máxima eficiência, respeitando os parâmetros de projeto.

4.3.1 Condutividade Hidráulica dos Drenos

Para mensurar a eficiência hidráulica de um sistema de drenagem são analisados alguns parâmetros e, o mais importante deles é a condutividade hidráulica, que tem como propósito determinar a taxa de água que é conduzida pelos drenos. Cada material apresenta uma condutividade hidráulica diferente, o que influencia na sua escolha e no tipo de sistema de drenagem que será utilizado.

A capacidade de drenagem está diretamente ligada a esse parâmetro, pois a vazão máxima suportada pelo sistema é calculada através dele. A fórmula empregada é a de Darcy, representada pela Equação 2: (DNIT, 2006)

$$Q = K \times I \times A \quad (2)$$

Onde:

Q = vazão do dreno profundo;

K = Coeficiente de condutividade hidráulica (m/s);

A = área da seção transversal do dreno (m²);

I = gradiente hidráulico (m/m);

Esta fórmula pode ser adaptada para cada dispositivo, mas sempre obedecendo a fórmula de Darcy.

O coeficiente de condutividade ou a condutividade hidráulica do sistema de drenagem é determinado pela condutividade hidráulica do material drenante. Nos sistemas tradicionais, os materiais mais utilizados são os granulares, normalmente as britas 1 e 2 para elementos drenantes e, para os elementos filtrantes, as areias. Isso não é uma regra e cada projeto pode usar um material diferente para atender suas necessidades. Assim sendo, no Quadro 1 estão representando todos os coeficientes hidráulicos dos materiais granulares mais usados em obras de drenagem:

Quadro1: Coeficientes de condutividade hidráulica (k) de elementos drenantes granulares

Tipo do material	Granulometria (cm)	K (cm/s)
Brita 5	7,5 a 10,0	100
Brita 4	5,0 a 7,5	80
Brita 3	2,5 a 5,0	45
Brita 2	2,0 a 2,5	25
Brita 1	1,0 a 2,0	15
Brita 0	0,5 a 1,0	5
Areia grossa	0,2 a 0,5	1×10^1
Areia fina	0,005 a 0,04	1×10^{-3}

Fonte: Manual de drenagem de rodovias DNIT 2006

Como os materiais drenantes mais usados são as britas do tipo 1 e 2, a condutividade hidráulica desses materiais serão adotadas como modelos, servindo de parâmetro comparativo. O K destes materiais são respectivamente 15 cm/s e 25 cm/s, definidos no Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT. Serão esses os valores que as tiras de pneus deverão ter para ser considerado um material drenante tão eficiente quanto a brita.

Para conhecer o K das tiras de pneus não é tão simples quanto para as britas, pois é preciso analisar alguns fatores que influenciam nos resultados. Existe uma grande faixa de condutividade hidráulica, sendo os valores mais facilmente alterados pelo tamanho dos pedaços de borracha, densidade, gradientes hidráulicos e pressão confinante nas condições de estudo. (DONOVAN et al. 1996; HUMPHREY, 1996b apud Edeskär, T. , 2004). A densidade, por sua vez, tem uma relação direta com a carga aplicada no sistema de drenagem, pois como as tiras de pneu são um material bastante deformável, quando submetido a cargas tem a tendência de diminuir a quantidade de vazios, ficando com a densidade cada vez maior. Desta maneira é importante investigar o comportamento do material quando comprimido, na ocasião deste ser usado em condições de altas cargas, como em drenagem do fundo de aterros sanitários.

Fazendo testes com várias combinações diferentes desses fatores, alterando-os para vários cenários, foi possível achar uma faixa de valores da condutividade hidráulica que consegue representar bem o material. Concluiu-se que o valor de condutividade hidráulica para pneus inservíveis está no intervalo entre 0,6 a 24 cm/s para pedaços com tamanhos entre 12 mm e 75 mm (HUMPHREY, 1997 apud Edeskär, T. , 2004).

Para tentar recriar uma faixa de K, Tommy Edeskar (2006), em sua tese de Doutorado, elaborou um quadro que relaciona o tamanho dos pedaços, suas densidades com a

condutividade hidráulica, usando um compilado dos estudos que foram feitos até o ano da publicação do trabalho. Esses resultados estão mostrados na Quadro 2:

Quadro 2: Valores de condutividade hidráulica para pneus picotados

Tamanho (mm)	Densidade (kg/m ³)	Condutividade hidráulica K (cm/s)	Referência
25 - 64	469	5,3 - 23,5	Bresette (1994)
25 - 64	608	2,9 - 10,9	Bresette (1994)
5 - 51	470	4,9 - 59,3	Bresette (1994)
5 - 51	610	3,8 - 22	Bresette (1994)
5 - 51	644	7,7	Humphrey et al. (1992)
5 - 51	833	2,1	Humphrey et al. (1992)
20 - 76	601	15,4	Humphrey et al. (1992)
20 - 76	803	4,8	Humphrey et al. (1992)
10 - 38	622	6,9	Humphrey et al. (1992)
10 - 38	808	1,5	Humphrey et al. (1992)
10 - 38	-	0,58	Ahmed (1993)
38	-	1,4 - 2,6	Humphrey (1996)
19	-	0,8 - 2,6	Humphrey (1996)
25	-	0,54 - 0,65	Ahmed and Lovel (1993)
38	-	2,07	Ahmed and Lovel (1993)
19	-	1,93	Ahmed and Lovel (1993)

Fonte: Use of Tire Shreds in Civil Engineering Applications, Technical and Environmental Properties, 2006.

Analisando os resultados obtidos, o pneu apresentou comportamento muito satisfatório quanto a condutividade hidráulica, chegando a valores maiores que a condutividade hidráulica da brita 2 nos melhores cenários. Entretanto, cada obra tem suas particularidades e devem ser analisadas as características do material. A situação mais crítica, e que requer mais cuidado, é quando o dreno estiver submetido a grandes pressões, mas para usos como drenagem de pavimentos, drenagem em campos de futebol ou drenagem da cobertura de aterros sanitários - situações que não exigem do material grande capacidade de resistência e baixa deformabilidade quando comprimidos – podem desempenhar bem sua função.

4.3.2 Peso do Sistema de Drenagem

Ao utilizar pneus no sistema de drenagem, existem algumas maneiras diferentes de execução. O que pode mudar neles é a forma de colocação do material na vala e como ele irá ser exigido às cargas em longo prazo.

O material drenante pode trabalhar não compactado, devendo esta condição permanecer ao longo da sua vida útil, isto é, não haverá cargas suficientemente grandes capazes de adensar as tiras de pneus no dreno. Nesta situação, a densidade do dreno será menor, pois as tiras estarão dispostas de maneira espaçada, com mais vazios. Por outro lado, o dreno pode ser previamente compactado ou estar submetido a cargas que compactem os pedaços de pneus, aumentando sua densidade.

Como a densidade do material está diretamente relacionada com as cargas aplicadas, Humphrey definiu uma faixa de valores que pudesse representar bem o comportamento do material drenante nas condições da maioria dos casos práticos, adotando um intervalo de pressão confinante de 0 a 400 kPa. Foi adotado este valor máximo porque mesmo para pressões maiores, a condutividade hidráulica não será menor que 0,6 cm/s, isto é, existe um limite de adensamento do material, não alterando significante a densidade e a condutividade hidráulica. (HUMPRHEY et al. 1992; BRESETTE, 1994 apud EDESKÄR, T. , 2004).

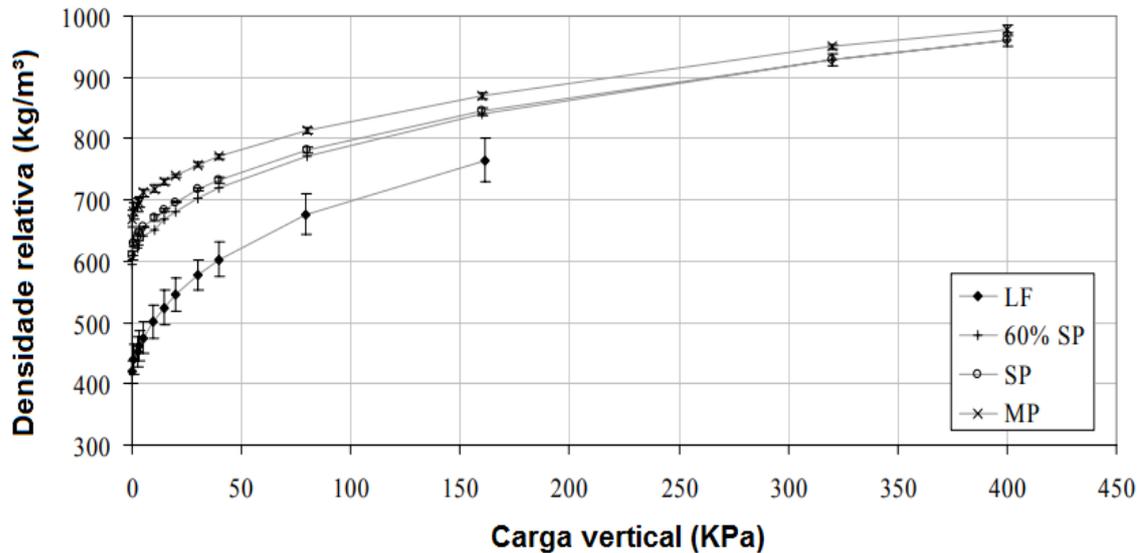
Para essa faixa de carga, estudos mostraram que a densidade varia de 450 a 990 kg/m³(HUMPHREYET al. 1992; WESTERBERGAND, 2001 apud EDESKÄR, T. , 2004). Como esse era o único estudo até então, realizado sobre isso, em 2006 foram feitos novos testes por Tommy Edeskäre Westerberg, para saber se essas densidades realmente estavam representativas e foram achados valores muito próximos por ele, que variaram de 420 kg/m³ a 980 kg/m³, comprovando que essa faixa de densidade de fato explica bem a relação “Carga x Densidade”.

Os tamanhos das tiras de pneus também influenciam nos resultados. Quanto menor os pedaços, maior facilidade o material tem de ser compactado, mas, quanto maior, menor o desempenho hidráulico do dreno. Os ensaios concluíram que as tiras com tamanho entre 50 e 75 mm tiveram uma densidade aparente cerca de 10% maior que pedaços com tamanhos entre 100 e 300 mm (Moo-Young et al. 2003 apud Edeskär, T. , 2004), provando que quanto maior as tiras mais difícil é de serem adensadas. Os melhores tamanhos achados foram valores médios, variando aproximadamente de 20 a 75 mm.

Nos ensaios de Tommy Edeskär, foi feita uma relação entre a carga aplicada e a densidade para quatro situações diferentes. Como o objetivo do estudo era apenas a relação

entre carga e densidade, o tamanho das tiras foi uniformizado para 50×50 mm², para que essa variável não alterasse os resultados. Os valores obtidos estão mostrados na Figura 18.

Figura 17: Efeito da carga vertical na densidade relativa para diferentes energias de compactação



Fonte: Edeskär, T. (2004). Technical and Environmental Properties of Tyre Shreds Focusing on Ground Engineering Applications

Onde:

- LF: Material solto
- SP: Teste de compactação Proctor padrão, o mesmo usado no ensaio de solos
- MP: Teste Proctor modificado

Com a densidade do material drenante, será possível calcular o peso da camada drenante, através da Equação 3:

$$P = d \times V \quad (3)$$

Onde:

P: Peso (kg)

d: Densidade (kg/m³)

V: Volume de material usado (m³)

Conhecer o peso do sistema de drenagem é muito importante quando é necessário executar um sistema leve. São exemplos de drenos leves os de jardins em lajes, telhados verdes, drenos leves para rodovias, etc. A solução com pneus se torna muito mais viável que com brita, pois geralmente esse tipo de drenagem não está submetido a grandes cargas, e,

consequentemente, não ficará muito compactado, diminuindo sua densidade, que ficará abaixo dos 1000 kg/m³, enquanto que a brita apresenta densidade com material solto na ordem de 1500 kg/m³ (DNIT, 2003). Além do mais, com uma densidade reduzida, o material drenante terá uma ótima condutividade hidráulica, tão boa quanto se fosse usado britas 1 ou 2, podendo chegar a 24 cm/s, como mostrado no Quadro 1.

4.3.3 Durabilidade

Os pneus são projetados para suportar altas pressões e grandes faixas de variação de temperatura, tendo que resistir bem às solicitações exigidas pelo meio. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, o tempo de vida útil dos pneus é indeterminado, contudo existem alguns fatores que afetam a borracha a longo prazo, comprometendo suas propriedades físico-químicas, podendo acelerar o processo de degradação. Os principais fatores que são conhecidos por afetar a borracha do pneu são oxidação, degradação causada por ultra radiação violeta (UV) e calor. (BHOWMICK e WHIT, 2002 apud EDESKÄR, T. , 2004)

Foram testadas as condições físicas de vulcanização da borracha submersa em 24 m de água do mar por um período de 42 anos. As condições in loco podem ser descritas como ligeiramente alcalina e oxidante. A conclusão da investigação foi que não houve deterioração grave da borracha, nenhuma propriedade mecânica do pneu foi alterada e não houve nenhuma indicação visível ou química de biodegradação do material. (AB-MALEK e STEVENSSON, 1986 apud EDESKÄR, T. , 2004)

Foram realizados testes para avaliar as mudanças químicas que ocorreriam sob condições extremas de acidez em aplicações de aterro. Nos ensaios foi medida a porcentagem de resíduo insolúvel, ou seja, a fração de material que não reage com os produtos ácidos. Para ser possível fazer uma comparação do valor obtido, também foram ensaiadas 5 amostras de solo nas mesmas condições. Os resultados obtidos foram que o pneu tem 96,4% de sólidos insolúveis, em comparação com 40 a 70% para os solos. (REDDY e SAICHEK, 1998 apud EDESKÄR, T. , 2004).

Mesmo os pneus sendo projetados para suportar uma grande variação de temperaturas, como a matéria prima principal é a borracha, mesmo ela sendo vulcanizada, chega uma certa temperatura que o material entra em combustão, que é a partir de 322 °C. Para camadas espessas, mais que 3 metros, existe risco de combustão espontânea, sendo tal possibilidade diminuída em 50% caso o material seja misturado com solo (Krzysztoł et al., 1998 apud SILVA, Cássio André, 2007)

Como, de maneira geral os drenos profundos estão localizados a uma profundidade de até 3 metros no solo, as temperaturas são menores que a de combustão, o pH não costuma ser muito ácido ou básico, a borracha não ficará em contato direto com os raios UV e o material não é biodegradável, pode-se concluir que as condições padrões são bastante favoráveis para que os drenos tenham uma longa vida útil, sendo importante ter cuidado nos casos que essas condições não forem respeitadas. Caso isso aconteça não significa que o uso será inviabilizado, mas sim que poderá ser necessário tomar algumas medidas preventivas.

4.3.4 Impactos Ambientais

A utilização de tiras de pneus em drenos pode causar menos impactos ambientais que nas técnicas tradicionais, pois reaproveitam materiais que poderiam servir de combustível na co-incineração e substituem materiais granulares, que apresentam uma série de problemas ambientais na sua exploração, podendo-se citar: (GUIMARÃES, 1996)

Impacto visual: As maiorias das pedreiras brasileiras são a céu aberto e, devido à exploração da rocha e ao movimento de terra no local, geralmente são feitas grandes crateras no terreno que não são cobertas, causando um impacto visual permanente da região (Figura 19).

Figura 19: Impacto visual causado pela exploração de pedreira



Fonte: Joana Zannoto, 2018.

Além do mais, na maioria dos casos é necessário haver desmatamento da área, para ser possível a movimentação das grandes máquinas que este tipo de atividade precisa para transportar o material explorado.

Vibrações e ruídos: A forma mais comum de exploração é através de explosivos, assim como é feito o desmonte de rocha em rodovias. São feitas detonações sequenciadas para quebrar o maciço rochoso, transformando-o em grandes blocos, que são quebrados e britados. Estas explosões geram grandes vibrações e barulho no entorno. Caso haja vizinhança perto, com certeza será sentido. Segundo pesquisa efetuada junto às comunidades por técnicos responsáveis pela elaboração do EIA (1989), este tipo de impacto é fortemente apontado como sendo uma das maiores preocupações dos moradores em virtude do “receio da casa cair” (EIA, 1989).

Além das detonações, os maquinários geram muito ruído e são contínuos. Esses maquinários são as próprias máquinas de exploração, como o britador, bem como os caminhões que trafegam na região.

Lançamento de fragmentos: No momento da detonação pedaços de rochas podem voar desordenadamente por centenas de metros, o que pode causar acidentes e vários transtornos. Em caso de áreas isoladas esse problema é amenizado, mas ainda assim é perigoso, até mesmo para os animais, caso haja criação no entorno.

Resíduos sólidos: São gerados com o desmatamento da área, com o decapeamento¹ e resíduos domésticos que serão produzidos pelos trabalhadores. Quanto mais isolada a área mais difícil o controle da geração de resíduos.

Resíduos líquidos: A grande quantidade de máquinas e o trabalho pesado exige constante manutenção, em vista disso são usados grandes volumes de óleo e outros fluidos possíveis contaminantes. Caso não haja o controle adequado, esses fluidos podem infiltrar no solo contaminando os corpos hídricos subterrâneos ou podem ser carregados pelas chuvas, contaminando os efluentes.

Resíduos atmosféricos: Ocorrem na forma de gases e pós, por obra das detonações. Os gases são provenientes dos explosivos (queima de pólvora) e os pós, da fragmentação da própria rocha. O sistema de britagem também é responsável pelo lançamento de resíduos atmosféricos, pois gera muita poeira, principalmente nos britadores, peneiras e transferências de correias transportadoras. Importante destacar que o sistema é contínuo durante todo o período de operação, sempre existindo o contínuo lançamento.

¹Retirada da camada de terra depositada sobre a rocha para a exposição da mesma.

Além disso, é importante considerar a grande quantidade de gás CO₂ gerado na queima dos combustíveis das máquinas, que na generalidade são movidas a diesel, que é um dos combustíveis mais poluentes. Além das modificações ocorridas no tráfego local, que normalmente são veículos de carga de médio e grande porte (caminhões com capacidade de transporte entre 5 e 26 m³ de britas).

Além do impacto ambiental causado pela exploração da brita, existe o impacto causado pela destinação dos pneus inservíveis. As principais tecnologias utilizadas para sua correta destinação são: coprocessamento, laminação, granulação e a pirólise. Dos quatro métodos o mais utilizado é o coprocessamento, com quase 50% do total destinado. (IBAMA,2018)

Este último método é justamente o mais poluidor de todos, pois são utilizados como combustível em fornos que precisam chegar a grandes temperaturas, sendo necessário uma grande quantidade de material para ser queimado. Já os outros métodos reaproveitam a matéria prima, no caso da laminação e granulação ou acelera a decomposição do material, para a pirólise.

Pelo fato do coprocessamento ser a tecnologia mais empregada no Brasil e ser a mais poluidora, será o único método discutido neste capítulo.

A forma mais comum de co-incineração é em fornos de cimento, e esta técnica tem uma série de problemas ambientais, em razão de gerar uma grande variedade de emissões atmosféricas, incluindo NO_x, SO_x, CO, CO₂, compostos orgânicos voláteis, metais pesados, amônia e cloro (SANTI, 2003 apud MILANEZ, 2007). De acordo com Milanez (2007), durante o coprocessamento desses resíduos, os metais pesados são redistribuídos, sendo os mais voláteis (tais como Hg e Tl) emitidos juntamente com os gases pela chaminé, os semivoláteis (Cd, Pb, Sb, e Se) e os não voláteis (As, Cr, Cu, Ni), normalmente, são incorporados ao clínquer.

Além desses poluentes, a queima de pneus libera dioxinas, substâncias que têm sido descritas como os compostos químicos mais tóxicos já produzidos pelo homem, estando entre as substâncias mais perigosas conhecidas pela ciência. No homem podem enfraquecer o sistema imunológico e causar câncer (ASSUNÇÃO e PESQUERO, 1999). As dioxinas são substâncias que a Convenção de Estocolmo classificou como poluentes orgânicos persistentes, ratificada pelo Brasil em 2004, determina que devam ser totalmente eliminadas.

Mesmo com todos esses passivos ambientes, o IBAMA, órgão que regulamenta e fiscaliza o cumprimento das metas e a correta destinação dos pneus inservíveis, considera esta técnica como ambientalmente correta. Desde 2012 o Brasil tem cumprido pelo menos 95% da meta anual de destinação correta de pneus inservíveis, como mostra a Figura 8, mas usando o

coprocessamento como principal tecnologia, enquanto existem outras, que podem ser menos ofensivas para o meio ambiente, como a sugestão feita no presente trabalho.

4.3.5 Custo do Sistema

A viabilidade econômica é a fase de avaliação da exequibilidade do projeto, considerando recursos tecnológicos disponíveis e a relação custo-benefício a ser obtida quando da utilização do projeto a ser executado. (LIMMER, 1997 apud TAVES 2014)

Em qualquer obra de engenharia civil é necessário fazer um estudo econômico, mesmo que de maneira preliminar, para justificar financeiramente sua execução. Nas obras de drenagem não é diferente, existem vários dispositivos que podem ser usados para um mesmo projeto, tornando-se necessário saber qual a melhor relação técnica financeira para definir qual a solução mais adequada. Atender apenas aos parâmetros técnicos não é suficiente para ter um sistema de drenagem eficiente.

Tendo isto em vista, para saber qual sistema tem melhor viabilidade econômica, deve ser feito um detalhado estudo de custos, comparando os drenos que se planeja usar. Todavia, esse estudo é muito complexo, pelo fato de envolver inúmeras variáveis, base de dados confiável e experiência do profissional que fará o estudo, devendo ser feita caso a caso. Por esses motivos este trabalho realizou apenas um rápido comparativo dos custos dos elementos drenantes, sendo feitas as devidas ressalvas, com finalidade de mostrar que a substituição de materiais pode ser viável. Para tal, a metodologia utilizada foi analisar o custo da brita em vários sistemas de drenagem, e compará-los com o possível custo dos pneus inservíveis.

O custo da brita é mais simples de estipular porque já existem inúmeras obras executadas e, conseqüentemente, várias fontes de dados com as médias de valores de cada sistema de drenagem. Para este trabalho, serão utilizados como fonte de dados as tabelas do SINAPI e do DER-ES (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Espírito Santo), que são ferramentas de orçamento usadas em todo Brasil. Nestas ferramentas, os serviços são detalhados analiticamente, dividindo-os em valor de materiais e mão de obra. Posto que, o que interessa nesse estudo é exclusivamente o valor da brita, para otimizar as referências, a Quadro 3 mostra apenas o custo e valor total do serviço, sendo possível fazer a relação de quanto equivale o custo do material drenante tradicional em relação ao valor total do serviço.

Quadro 3: Custo da brita proporcional ao custo do sistema de drenagem

Referência	Código	Serviço	Custo da brita	Valor total	% custo da brita
DER-ES (10/2018)	40716	Colchão drenante de brita 1 inclusive fornecimento, espalhamento, compactação e transporte da brita	R\$69,25	R\$73,90	93,71%
DER-ES (10/2018)	41107	Dreno profundo para corte em solo, com enchimento em brita revestido com geotêxtil não tecido RT 16 kn/m, inclusive transporte da brita	R\$31,97	R\$98,84	32,35%
DER-ES (10/2018)	40143	Colchão drenante de brita 1, inclusive fornecimento, espalhamento, compactação e transporte da brita	R\$69,25	R\$75,25	92,03%
SINAPI (PB 07/2019)	73883/2	Execução de dreno francês com brita num 2	R\$75,90	R\$100,60	75,45%
SINAPI (PB 07/2019)	83682	Camada vertical drenante c/ pedra britada números 1 e 2	R\$72,60	R\$103,47	70,17%

Fonte: SINAPI, 2019; DER-ES, 2018.

Pelo Quadro 3, pode-se analisar que em sistemas de drenagem tradicional, boa parte do custo total do serviço é referente ao custo do material e, caso haja redução do seu preço, o valor final do serviço certamente irá ser reduzido.

Para analisar os custos do pneu inservível é mais complexo, uma vez que quase não existem obras executadas com este material e muito menos uma base de dados confiável com o detalhamento dos custos. Por esses motivos, informar valores precisos dos custos para a drenagem com pneus seria imprudente, sendo necessário que houvesse mais estudos nessa área para recolher mais informação. Mesmo não sendo possível detalhá-los, existem alguns fatores que permitem estipulá-los.

Os custos dos pneus inservíveis considerados serão os de aquisição da matéria prima e do beneficiamento do material. Não será ponderado transporte, logística, armazenamento, e

outros, pois nas ferramentas orçamentárias usadas para o cálculo do custo da brita também não inclui essas despesas.

Uma boa maneira de conseguir a matéria prima é através da RECICLANIP, atualmente a maior iniciativa da América Latina na área de responsabilidade pós-consumo de pneus. É um sub grupo da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), responsável pela correta destinação dos pneus inservíveis das empresas produtoras de pneus novos. Este grupo trabalha sem fins lucrativos, funcionando como empresa intermediadora entre os produtores de pneus novos e empresas recicladoras de pneus inservíveis, fazendo a coleta nas primeiras e repassando sem custo para as segundas, sendo responsabilidade destas a contratação do transporte, e conseqüentemente, seu custo. Também é responsável por fiscalizar o processo, para garantir que a destinação final seja feita de maneira ambientalmente correta. Desta forma as empresas produtoras cumprem sua obrigação legal de reciclagem e as recicladoras tem acesso a matéria prima de baixo custo. (RECICLANIP, 2019)

Já quanto ao custo do beneficiamento do material, para chegar ao tamanho necessário de projeto, foi feito um estudo de custo por Souza e D'agosto (2013), que analisaram os custos envolvidos no processo de beneficiamento de pneus para pedaços de 50 mm, que seriam usados no coprocessamento em fornos de cimento. Como os pneus usados nos fornos são os mesmos que para os sistemas de drenagem, foi considerado que os custos seriam os mesmos. Analisando apenas o processamento do pneu inteiro para pedaços de 50 mm, chegaram a um valor de R\$ 0,34/tonelada.

Quando comparado o preço da tonelada de pneu com o da brita, que é de R\$ 44,00/tonelada (SINAPI PB 07/2019), fica claro a existência da possível economia. Evidentemente, foram feitas considerações para chegar nesses valores e que não são aplicáveis a todos os projetos, mas, a solução apresentada mostra uma provável viabilidade econômica.

5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Como metodologia, foi utilizado de pesquisa apoiada em uma revisão bibliográfica de artigos acadêmicos, teses de mestrado e doutorado e *websites* de órgãos governamentais e entidades ligadas ao meio ambiente, bem como resoluções, leis e relatórios de instituições federais.

6 ESTUDO DE CASOS/RESULTADOS

Analisando apenas os resultados dos parâmetros estudados, o pneu se mostra um material que poderia substituir facilmente as britas para algumas situações. Mas, as vezes, mesmo apresentando bons resultados teóricos, o material pode não se comportar bem em casos práticos, por estar exposto a fatores que não foram considerados em laboratório. Para garantir que essa solução poderia funcionar bem na prática, foram feitas algumas obras experimentais, para testar quão bom o material pode desempenhar a função drenante.

6.1 ESTAÇÃO RODOVIÁRIA DE GEÓRGIA, VERMONT, EUA

Na estação rodoviária de Geórgia, a agência de transportes de Vermont (VAT) fez uma estrada com base de 60 centímetros de brita e sub-base de areia siltosa. Devido à passagem de centenas de veículos diariamente e o lençol freático alto, os finos eram carregados para a cama de base por causa da capilaridade, o que impediu o bom funcionamento da camada drenante de brita. Por consequência, a água aflorava na rodovia, acumulando muita lama, sendo impossível de transitar veículos no local em períodos chuvosos. (VAT, 1991)

Em virtude dos problemas de drenagem, em 1990 foi executado um trecho experimental de 100 metros de extensão, substituindo a brita por uma camada drenante de pneu. Foram utilizados aproximadamente 260 m³ de pneu triturado, com densidade média do material solto de 270 kg/m³, dividido em duas granulometrias; $\frac{3}{4}$ do material constituído por pedaços pequenos, com cerca de 25 mm e $\frac{1}{4}$ com pedaços maiores, passando dos 150 mm.

Na execução, como a camada de brita estava entupida, foi totalmente removida e também mais 15 centímetros do subleito. Os pedaços de pneus foram espalhados por todo comprimento com uma espessura entre 22 e 30 cm e depois coberta por uma camada de brita de 50 cm, deixando a função de drenagem apenas para os pneus. Não foi medida a compressão sofrida pela camada de pneus com o peso da brita, nem sua densidade final, mas a camada drenante após receber a camada compactada de brita ficou com 15 a 20 cm de espessura.

Após um ano foram feitas observações no mesmo período chuvoso e foi constatado que a seção teste estava completamente seca, sem apresentar nenhum recalque do pavimento pela passagem de veículos e equipamentos pesados. Também não foram observados sulcos nas áreas de passagem dos pneus, apenas pequenas fissuras no pavimento, mas menores e em menor quantidade que no pavimento original, sem alteração de drenagem. Neste, foram observados sulcos na área de passagem das rodas, muitas fissuras e estava superfície visivelmente molhada.

Na construção foram instalados tubos de PVC para monitorar o nível do lençol freático, e foi constatado que ele estava de 30 a 50 cm abaixo do nível da camada de pneus, sendo possível concluir que o dreno se mostrou eficiente em impedir a ascensão das águas por capilaridade, apresentando resultado superior aos drenos de brita.

O custo da camada drenante foi estimado em US \$ 0,77 / m³, enquanto que se o serviço fosse realizado só com brita custaria US \$ 2,96 / m³, aproximadamente 385% mais caro.

Devido ao bom desempenho apresentado pelo dreno de pneus e menor custo de execução, toda a rodovia foi refeita usando a metodologia, em uma obra que teve duração de três anos. No relatório publicado pela Agência de Transportes de Vermont (1991) consta que se qualquer problema futuro aparecesse com o método adotado, iria ser publicado um novo, com informações significativas. Porém, como não se teve registro de nenhum relatório posterior, conclui-se que a solução adotada apresentou bom desempenho nos anos seguintes e conseguiu substituir bem a camada drenante de brita.

6.2 SISTEMA DE DRENAGEM NA CIDADE DE ROMA, ITÁLIA

Nos anos 2000 foi construído um sistema de drenagem usando tiras de pneus de uma rodovia de aproximadamente 1340 metros em Roma, Itália. Nesse projeto não fizeram nenhuma seção de teste, pois já conheciam outros sistemas de drenagem que funcionaram e, por isso, esta solução foi adotada como definitiva, com a condição de que seria constantemente monitorada, para garantir que todas as condições de projeto fossem atendidas ao longo da vida útil da rodovia.

A construção desse sistema tinha duas funções. A primeira era de captar e conduzir a água no escoamento superficial, pois quando aconteciam tempestades, o volume na pista era grande e o mesmo precisava ser conduzido para um lugar correto. A outra, era destinar corretamente toda água captada da superfície, bem como a subterrânea, para não haver acúmulo no pé do talude, ao lado do acostamento.

Para isso, o dispositivo empregado foi um dreno profundo, que servirá para os dois objetivos, conduzindo toda água captada para bueiros que estão distribuídos ao longo da extensão da rodovia, os quais terão a função de fazer o deságue correto.

À vista disso, o processo executivo destes drenos foi o seguinte:

- Revestimento da vala com geotêxtil não tecido: No projeto foi definido que toda camada drenante deveria ficar envolta por geotêxtil não tecido, o qual precisava atender a todos os parâmetros especificados. Isto foi necessário para evitar que finos

fossem carregados para o dreno, provocando sua colmatção física. Então, o geossintético foi aberto no fundo da vala e, depois de colocado todo o elemento drenante, foi enrolado em volta dele, atestando que a camada drenante estaria coberta em todas as direções.

- Posicionamento dos tubos de monitoramento do nível d'água: Como citado acima, a equipe técnica queria fazer o monitoramento contínuo do desempenho hidráulico dos drenos e, para isso, instalaram três tubos de PVC com aberturas, para medir o nível d'água dentro dos drenos. Foram posicionados ao longo da rodovia, ficando um no topo, onde se espera que a vazão seja a mínima, um no final, sendo prevista a vazão máxima, e um no meio, supondo uma vazão média entre os das extremidades. A Figura 21 mostra o posicionamento de um dos tubos de inspeção, pensado para ficar dentro da camada drenante.
- Colocação e compactação das tiras de pneus: Depois da vala ser forrada, o material drenante foi posto, respeitando as dimensões especificadas no projeto. Foram padronizadas dimensões máximas de 100 mm e todo o material deveria passar por um conjunto de peneiras, para garantir a granulometria ideal, resultando no tamanho médio de aproximadamente 15 mm a 75 mm. Após serem colocadas, as tiras foram compactadas e cobertas pelo geotêxtil. O artigo não especificou a energia de compactação utilizada, nem a densidade final do material. A Figura 22 mostra as tiras sendo compactadas pela retroescavadeira e, ao fundo, os trechos já compactados, envolto pelo geotêxtil.
- Colocação de camada de pedra de mão: Com a camada drenante pronta, foi colocada uma camada solo, para proteger o geossintéticos de rasgas e por cima desta, uma camada de pedras de mão. Havia dois motivos para esta camada de pedra; um de proteger fisicamente o dreno e outro de diminuir as velocidades do escoamento superficial, otimizando a captação e por consequência a eficiência da drenagem.

A Figura 20 mostra todas as etapas supracitadas. É possível visualizar o geotêxtil não tecido na cor preta, embaixo de todos os materiais, o tubo de inspeção no canto inferior direito, as tiras de pneus recém-compactadas a céu aberto, esperando o fechamento da proteção do geossintético. No fundo se nota que a camada drenante já foi envolta pelo geotêxtil, colocada uma camada de solo e, acima desta, uma de pedra de mão, finalizando todo o processo construtivo. (Transportation Research Division Bureau of Planning, 2001)

Figura 20: Construção da camada drenante em Roma



Fonte: Use of Tyre Shreds in Civil Engineering Application, 2006.

Após a conclusão de todas as etapas, o resultado final está representado na Figura 21. Em alguns trechos da rodovia, todo o sistema ficou protegido pelas pedras de mão, inclusive o talude ao lado do acostamento.

Figura 21: Sistema de drenagem com tiras de pneus em Roma



Fonte: Use of Tyre Shreds in Civil Engineering Application, 2006.

Foram feitos relatórios com um e três anos após a construção do dreno e asseguraram que teve excelente desempenho no período. No primeiro ano o volume drenado foi bom, não foi visto nenhum sinal de afloramento de águas subterrâneas, não houve congelamento da água no solo, não foi verificado recalques na pista ou qualquer outra patologia que poderia acontecer. (Transportation Research Division Bureau of Planning, 2001)

No terceiro ano o dreno também teve ótimo desempenho, porém apareceram dois problemas. O primeiro foi uma rachadura no pavimento, como mostra a Figura 22, porém aconteceu em um trecho pequeno. Não se sabe a causa, mas pensa-se que não há ligação com o sistema de drenagem, já que foi um problema isolado e em toda extensão da rodovia não apareceu nenhuma patologia semelhante. (Transportation Research Division Bureau of Planning, 2003)

Figura 182: Rachadura no pavimento no estudo de caso em Roma



Fonte: Use of Tyre Shreds in Civil Engineering Application, 2006.

O segundo foi a detecção da presença de ferrobactérias no solo. Esse evento pode ocasionar a colmatção do geotêxtil, provocar mudança da coloração da água drenada e possível alteração da sua qualidade. Depois de construído é muito difícil achar uma solução de intervenção, contudo esse problema pode ser facilmente evitado em projetos futuros, usando apenas a borracha dos pneus, sem os arames. Desta maneira, mesmo que haja presença de tais bactérias, o sistema de drenagem não apresentará patologias.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fazer a comparação dos parâmetros estudados para os dois materiais é evidente o bom desempenho do pneu como elemento de drenagem. Este fato fica ainda mais evidente com os casos práticos usando o material mostrando ótimos resultados. Pode-se concluir que tiras de pneus inservíveis podem substituir a brita para a maioria dos casos de drenos profundos, sem que haja nenhuma perda de desempenho.

Não obstante, é sensato considerar que em algumas situações o desempenho hidráulico pode ser comprometido. As situações mais críticas são em obras que o sistema de drenagem esteja submetido a elevadas cargas e em obras que não seja admitido recalques da estrutura.

Na primeira, os ensaios mostraram que a condutividade hidráulica é inversamente proporcional a carga aplicada, desta forma, se o dreno trabalhar nessas condições, poderá não funcionar como projetado. Para essa situação, pode ser citado o exemplo de drenagem em aterros sanitários. Essas obras requerem uma alta confiabilidade do sistema de drenagem e, pela falta de estudos, não pode-se considerar o dreno pesquisado assim. Então, em obras como essa, não vale a pena correr riscos, sendo recomendada a escolha de outras soluções, mais confiáveis e que garantam o bom funcionamento nas condições impostas.

Já para o segundo caso, o material se mostrou muito compressível e existe a possibilidade de acontecer recalques na superestrutura. Algumas obras de drenagem como a de barragens de terra, não permitem recalques, pois poderia provocar graves consequências. Assim, como no caso dos aterros sanitários, é mais prudente escolher sistemas de drenagem mais confiáveis.

Contudo, em situações que a drenagem não tenha tanta rigorosidade de desempenho, esta solução é extremamente viável. Sistemas de drenagem de lajes de telhado verde, jardins, pavimentos, valas de infiltração em drenagem urbana, campos de futebol, entre outras várias aplicações, são ocasiões que o sistema vai desempenhar perfeitamente sua função, trazendo todos os benefícios já comentados no trabalho.

8 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Ao estudar as bibliografias existentes do assunto, é facilmente percebida a carência de informações em algumas áreas. Em face disso, abaixo estão algumas sugestões para pesquisas futuras:

- Estudo de durabilidade, a longo prazo, de pneus inservíveis aplicados a sistemas de drenagem experimentais.

- Estudo de custo detalhado do uso de pneus e sua viabilidade econômica em sistemas de drenagem.
- Realização de obras experimentais, para testar o desempenho do material na prática.
- Estudo da quantidade de passivos ambientais que poderiam ser evitados, caso todos os pneus destinados ao coprocessamento fossem usados como elementos drenantes.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSUNÇÃO, João V; PESQUERO, Célia R. **Dioxinas e furanos: origens e riscos.** Revista de Saúde Pública, São Paulo, v. 5, n. 33, p.523-530, out. 1999.

BRASIL, Organizações das Nações Unidas. **Banco Mundial: serão necessários 3 planetas para manter atual estilo de vida da humanidade.** 2016. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/banco-mundial-serao-necessarios-3-planet-as-para-manter-atual-estilo-de-vida-da-humanidade/>>. Acesso em: 10 jun. 2019

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de drenagem de Rodovias. - 2. ed.** - Rio de Janeiro, 2006. 333p. (IPR. Publ., 724).

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria Geral. **Manual de custos rodoviários. 3. ed.** - Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes - DNIT. Manual de Custos Rodoviários. Vol 4, Tomo 1 – Rio de Janeiro, 2006. 333p.

BRASIL. Organizações das Nações Unidas Brasil. Organizações das Nações Unidas. **A ONU e o meio ambiente.** Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

BRASÍLIA. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei PL 12.305/2010.** Dispõe sobre as sanções da Lei nº 12.305/10, sobre a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/internet/SitaqWeb/TextoHTML.asp?etapa=5&nuSessao=174.4.53.O&nuQuarto=116&nuOrador=1&nuInsercao=51&dtHorarioQuarto=13:46&sgFaseSessao=BC&Data=17/08/2010>> . Acesso em: 17 jun. 2019. Texto Original.

BRASÍLIA. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei PL 9.605/1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1998/lei-9605-12-fevereiro-1998-365397-norma-pl.html>> . Acesso em: 17 jun. 2019. Texto Original.

BRASÍLIA. Congresso Nacional. **Projeto de Lei PL 203/1991.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=15158>> . Acesso em: 17 jun. 2019. Texto Original.

BRASÍLIA. Diário Oficial da União. **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. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=258>> . Acesso em: 25 jun. 2019. Texto Original.

BRASÍLIA. Diário Oficial da União. **Resolução CONAMA n° 416/2009**. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>> . Acesso em: 27 jun. 2019. Texto Original.

Departamento de Estrada e Rodagem – Espírito Santo (DER/ES). **Tabela Referência de Preços e Composições de Custos Unitários Out/2018**. Disponível em: <<https://der.es.gov.br/tabela-referencia-de-precos-e-composicoes-de-custos-unitarios#collapse-2914>>. Acesso em 24 ago 2019.

EDESKÄR, T. (2004). **Technical and Environmental Properties of Tyre Shreds Focusing on Ground Engineering Applications, Technical report**. 2004:05, Luleå University of Technology.

FREITAS, Sidcléa Sousa; NÓBREGA, Cláudia Coutinho. **Os benefícios do coprocessamento de pneus inservíveis para a indústria cimenteira**. Rio de Janeiro: Eng. Sanit. Ambient., 2014. 8 p. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v19n3/1413-4152-esa-19-03-00293.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

GF PNEUS. **SAIBA DO QUE UM PNEU É COMPOSTO**. Disponível em: <<http://www.gfpneus.com.br/blog/saiba-do-que-um-pneu-e-composto/>>. Acesso em: 07 jul. 2019.

GUIMARÃES, Alexandre B. (Coord.). **Estudos de Impacto Ambiental - EIA**. São José, 1989.

GUIMARÃES, Sílvia. **EXPLORAÇÃO DE PEDREIRAS PARA A PRODUÇÃO DE BRITAS NA REGIÃO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS: ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS E SOCIAIS**. 1996. 82 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/110170/CNM0463-M.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 18 ago. 2019.

Humphrey, D. N., and Sandford, T. C., (1993). **Tire chips as lightweight subgrade fill and retaining wall backfill**. Proc. Recycling ahead. October 19-22, Denver. Disponível em: <http://www.asphaltrubber.org/ARTIC/Reports/RPA_A1404.pdf>. Acesso em: 15 Ago. 2019.

HUMPHREY, Dana N.. **Civil Engineering Application of Tire Shreds**. Hilton Head: The Tire Industry Conference Hilton Head, 1999. 16 p.

LAGARINHOS, Carlos A. F.; TENÓRIO, Jorge A. S.. **Logística reversa dos pneus usados no Brasil**. Polímeros, São Carlos, p.49-58, 11 out. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v23n1/aop_0849.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2019

MILANEZ, Bruno. **Co-Incinerção de Resíduos Industriais em Fornos De Cimento: Problemas e Desafios**. Curitiba: Ix Engema - Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2007. 17 p

Ministério do Meio Ambiente – MMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **Relatório de Pneumáticos 2017 Resolução CONAMA N° 416/09**. 2017. 80p. Disponível em:

<<http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatorio-pneumaticos-2017-nov.pdf>>. 15 jun. 2019.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **Relatório de Pneumáticos 2018 Resolução CONAMA N° 416/09**. 2018. 76p. Disponível em:

<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatorio-pneumaticos-2018_atualizado_em_novembro_2018.pdf>. 17 jun. 2019.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **Relatório de Pneumáticos 2018 Resolução CONAMA N° 416/09**. 2013. 20p. Disponível em:

<<http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatorio-pneumaticos-2013.pdf>>. 05 set. 2019.

POURRE, Ohana Vitor. **O DESTINO DOS PNEUS DESCARTADOS: Leis Vigentes e Tecnologias Utilizadas no Brasil**. 2016. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em:

<<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/1428/1/OVPourre.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

RECICLANIP. Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

SILVA, Cássio André. **Ensaio de transmissibilidade em geocompostos para drenagem**. [Distrito Federal] 2007. xx, 103 p, Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil

SINAPI. **Índices da Construção Civil Paraíba Jul/2019**. Disponível em:

<http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-pb/SINAPI_ref_Insumos_Sindicato_Nacional_da_Idustria_de_Componentes_para_Veiculos_Automotores_-_Composicoes_PB_07a122009_v_PDF.zip>. Acesso em 24 ago 2019.

SINDIPEÇAS; Associação Brasileira da Indústria de Autopeças – ABIPEÇAS. **Relatório da Frota Circulante 2019**. 2019. 13 p. Disponível em:

<https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2019/RelatorioFrotaCirculante_Maio_2019.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2019.

SOUZA, Cristiane Duarte Ribeiro de; D'AGOSTO, Márcio de Almeida. **Análise dos Custos Logísticos Aplicada à Cadeia Logística Reversa do Pneu Inservível**. Transportes, Cidade, v. 21, n. 2, p.38-47, 06 ago. 2013. Disponível em:

<<https://revistatransportes.org.br/anpet/article/view/649>>. Acesso em: 24 ago. 2019.

TAVES, Guilherme Gazzoni. **ENGENHARIA DE CUSTOS APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2014. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011477.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2019.

Transportation Research Division Bureau of Planning. **Experimental Utilization Of Tire Shreds To Enhance Highway Drainage.** Rome: 2001. 14 p.

Transportation Research Division Bureau of Planning. **Experimental Construction Report ME 00-20 First Year Interim Report on Experimental Utilization of Tire Shreds to Enhance Highway Drainage.** Rome: 2001. 7 p.

Transportation Research Division Bureau of Planning. **Experimental Construction Project ME 00-20 Third Year Interim Report on Experimental Utilization of Tire Shreds to Enhance Highway Drainage.** Rome: 2003. 14 p.

VAT (1991), **Use of Tire Chips in a Georgia Vermont Town Highway Base.** Vermont Agency of Transportation, Research Update Number U91-06,5 p.