

UNIVERSIDADE BRASIL
CAMPUS DESCALVADO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Cássia Porcina de Paiva Bezerra
Gisela de Carvalho

PAVIMENTAÇÃO SUSTENTAVEL: ASFALTO COM ADIÇÃO DE BORRACHA
PROVENIENTE DE PNEUS INSERVÍVEIS.

SUSTAINABLE PAVING: ASPHALT WITH RUBBER ADDICTION FROM
INSERVABLE TIRES.

Descalvado
2017

Cássia Porcina de Paiva Bezerra
Gisela de Carvalho

PAVIMENTAÇÃO SUSTENTAVEL: ASFALTO COM ADIÇÃO DE BORRACHA
PROVENIENTE DE PNEUS INSERVIVEIS.

Orientador: Prof. Geraldo Antônio Traldi Junior

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Brasil, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Descalvado, SP
2017

Bezerra, Cássia Porcina de Paiva

B469p Pavimentação sustentável: asfalto com adição de bor-
racha proveniente de pneus inservíveis / Cássia Porcina de
Paiva Bezerra, Gisela de Carvalho. -- Descalvado: [s.n.],
2017.

54f. : il. ; 29,5cm.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso
de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Brasil,
como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Profº Geraldo Antônio Traldi Junior

1. Asfalto. 2. Asfalto borracha. 3. Pneus. I. Carvalho,
Gisela de. II. Título.

CDD 625.8

Autorizo, exclusivamente, para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial deste TCC, por processos xerográficos ou eletrônicos.

Assinatura dos alunos: *Cassia Bezerra*

Data: 30/11/2017

Assinatura dos alunos: *Gisela de Carvalho*

Data: 30/11/2017

**CÁSSIA PROCINA DE PAIVA BEZERRA
GISELA DE CARVALHO**

**PAVIMENTAÇÃO SUSTENTÁVEL: ASFALTO COM ADIÇÃO
DE BORRACHA PROVENIENTE DE PNEUS INSERVÍVEIS**

Trabalho de Conclusão apresentado como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, à Universidade Brasil, desenvolvido sob a orientação do Prof. Eng. Geraldo Antônio Traldi Júnior.

Aprovado em 31 de outubro de 2017.

Com Nota 9,30

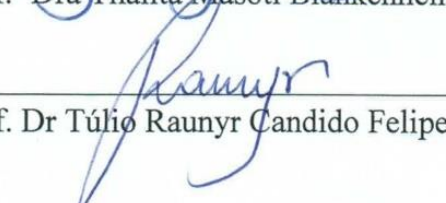
BANCA EXAMINADORA



Prof. Eng. Geraldo Antônio Traldi Júnior



Prof.^a Dra Thalita Masoti Blankenheim



Prof. Dr Túlio Raunyr Candido Felipe

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a nossos familiares e amigos, pois sem eles não conseguiríamos chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Desejamos expressar nossos agradecimentos, em primeiro lugar a Deus, ao Prof. Geraldo Antônio Traldi Junior e todos os nossos familiares, por toda a ajuda e paciência conosco nessa etapa do curso.

RESUMO

A partir de pesquisas realizadas a meados de 1960 nos Estados Unidos, e meados de 1990 aqui no Brasil, pode-se contar com uma nova ferramenta para a destinação de pneus inservíveis.

Nas primeiras pesquisas eram utilizadas borracha natural, com o passar dos anos e com o aumento no número de pneus inservíveis descartados irregularmente prejudicando assim o meio ambiente foi adotado o uso de pneus. Possuindo vantagens e desvantagens, como todo produto e visando a melhoria tanto da sociedade como do meio ambiente.

Atualmente o asfalto borracha vem ganhando espaço por ser um exemplo de sustentabilidade, e cada vez mais vem sendo aprimorado por cientistas e pesquisadores.

Palavras-Chaves: Asfalto, Asfalto borracha, Pneus.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Composição Química dos Pneus.....	26
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Tempo de degradação de alguns materiais.....	28
---	----

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Destinação final dos pneus produzidos ou importados	22
Figura 2: Caracterização e classificação de resíduos sólidos	24
Figura 3: Componentes de um Pneu	27
Figura 8: Produção de Asfalto em um estágio	37
Figura 9: Produção de Asfalto com Destilação em Dois Estágios	38
Figura 10: Mistura de Alta e Baixa Viscosidade	39
Figura 11: Rodovia Anchieta/Imigrantes.....	48
Figura 12: Usina de Itaipu.....	48
Figura 13: Rodovia Euclides da Cunha/ SP-320 - SP	49
Figura 14: Rodovia Serra da via Anchieta (km 10 ao km 40)	49

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
ARR	Agentes Rejuvenescedores Emulsionados
BND	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAP	Cimentos Asfálticos de Petróleo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNP	Conselho Nacional Do Petróleo
CR	Cura Rápida
DECEX	Departamento de Operações de Comércio Exterior
EAP	Emulsões asfálticas
EUA	Estados Unidos da América
GPL	Gás Liquefeito de Petróleo
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
LA	Lama Asfáltica
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NR	Normas Regulamentadoras
PEV	Ponto de Ebulição Verdadeiro
USP	Universidade de São Paulo
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
RNM	Ressonância Nuclear Magnética
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo	17
2	ESTUDO DE CASO	18
3	LEGISLAÇÃO	21
3.1	Resolução	21
3.1.1	Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA	22
3.1.2	Norma	23
4	PNEU	26
4.1	Início da utilização	26
4.2	Composição	26
4.3	Partes do pneu	27
4.4	Classificação	28
4.5	Tipos mais comuns de pneus	29
4.5.1	Pneu convencional	29
4.5.2	Pneu Radial	29
4.6	Ciclo de vida dos pneus	30
4.7	Destinação dos pneus inservíveis	31
4.8	Processo de Recuperação e regeneração	33
5	ASFALTO	35
5.1	Definição	35
5.2	Composição	35
5.3	Processo de produção, estocagem e manuseio	36
5.4	Tipos e utilização	39
5.5	Eficiência e Qualidade	41
6	ASFALTO BORRACHA	43
6.1	Definição	43
6.2	Processos para obtenção	43
6.2.1	Processo Úmido	43
6.2.2	Processo Seco	43
6.3	Resolução ANP nº 39, de 24.12.2008	44
6.4	Vantagens e Desvantagens do Asfalto De Borracha	44
6.4.1	Vantagens Ambientais	45
6.4.2	Vantagens Ecológicas e Sociais	45

6.4.3	Vantagens Técnicas	45
6.4.4	Desvantagens do Asfalto Borracha.....	47
6.5	Asfalto Borracha pelo mundo	47
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A quantidade de resíduos resultantes da indústria da borracha, juntamente com a falta de destino final dos pneus inservíveis resultante do tráfego rodoviário, impulsionou o desenvolvimento de estudos relacionados à reutilização desses materiais, se tratando de uma questão de poluição global. Os pneus inservíveis até pouco tempo eram um resíduo potencialmente danoso, tanto ecológico quanto social, uma vez que acarretam uma série de problemas, sendo que sua disposição em aterros se torna inviável e a sua degradação é muito lenta.

Os pneus inservíveis precisam ser armazenados em condições apropriadas para evitar proliferação de mosquitos e roedores, risco de incêndio, enchentes, poluição das águas ou poluição da atmosfera quando queimado.

Em 26 de agosto de 1999, foi aprovada a resolução Nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, que dispõe da obrigatoriedade das empresas fabricantes e importadoras de pneumáticos de coletar e dar destinação final de forma ambientalmente adequada e segura aos pneus inservíveis, relativo a quantidades fabricadas e/ou importadas. Além disso, ficou estabelecido na Portaria que a partir de 1º de Janeiro de 2005, para cada quatro pneus novos produzidos no país ou pneus novo importados, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destino a cinco pneus inservíveis, e para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas deverão dar destinação final a quatro pneus como forma de reduzir o passivo ambiental decorrente da forma inadequada do descarte desse material, sendo que a reciclagem dessa matéria prima seria solução mais satisfatória e econômica. (MMA, 1999)

Para dar conta da demanda de pneus descartados, existem somente dois setores que realmente podem fazer a diferença nessa questão e apresentam potencial para a utilização significativa de pneus inservíveis. O de energia, onde os pneus são utilizados como combustível, como é o caso das cimenteiras, e o de pavimentação, onde após a separação da borracha,

ferragem e fibra têxtil, a borracha é moída em partículas minúsculas, como um pó, que é posteriormente incorporado ao asfalto, tornando-o asfalto de borracha. Este apresenta mais elasticidade, reduz sensivelmente o nível de ruído, maior resistência a intempéries, melhor comportamento em altas e baixas temperaturas, menor tendência a deformações permanentes e maior resistência à fadiga, quando comparadas ao emprego do asfalto convencional, sendo um pavimento mais durável e de melhor qualidade.

A aplicação do asfalto de borracha tem sido realizada em geral com muito sucesso e em diversos países com diferentes condições de tráfego e clima, podendo ser aplicado em qualquer tipo de estrada, e nas mais diversas situações: pátios de estacionamento, estradas secundárias e vicinais e vias urbanas. Nas estradas que possuem um tráfego maior é possível reduzir de forma significativa o custo pela redução da espessura, e nas estradas de médio e leve, onde a espessura já é mínima, aumenta-se a vida útil do pavimento com uma pequena elevação no seu custo de aplicação. Cada tonelada de asfalto de borracha contém aproximadamente 140 pneus, sendo que 1 quilometro necessita de 33 toneladas, consumindo aproximadamente 4.600 pneus inservíveis. As trincas no pavimento surgem somente após dez anos de uso, enquanto no asfalto convencional, ocorre em apenas três anos, tornando-se uma opção mais viável e econômica. (BERTOLLO, S. A. M. e FERNANDES JR. J. L, 2002).

Apesar de aplicável em qualquer tipo de pavimento, é mais comum sua utilização em vias de maior tráfego, que estão sujeitas a maiores esforços.

É necessário o investimento em infraestrutura de rodovias bem como a manutenção das que já existem, portanto, há bastante espaço para a exploração dessa técnica, que vem sendo a cada dia mais aprimorada por meio de estudos realizados por empresas e universidades e que, a longo prazo, gera economia, minimiza transtornos com recuperação e proporciona ao usuário segurança e conforto, além de dar destino a milhares de pneus, que trariam tantos problemas, sendo uma forma eficaz de se conseguir um pavimento com ótimas características de uma forma responsável ao meio ambiente e junto à sociedade.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é demonstrar por meio de revisão de literatura, como é possível inserir o pó de borracha na massa asfáltica, originado de pneus inservíveis, de modo a minimizar os impactos ambientais decorrentes da destinação inadequada dos mesmos, além disso, abordar de maneira sustentável as vantagens econômicas e funcionais de utilizar o asfalto borracha.

2 ESTUDO DE CASO

A falta de recursos para o controle da disposição final dos pneus inservíveis e para o estudo de alternativas ambientalmente e economicamente viável para a reutilização é diretamente proporcional a falta de interesse político. Em outras palavras, o problema está nos critérios para priorização da utilização dos recursos existentes.

Na Europa, dois milhões de toneladas de pneus chegam ao fim da sua vida útil a cada ano. No Canadá, este número chega a 30 milhões ao ano (ZANZOTTO, L. KENNEPOHL, G; J 1996). Só nos Estados Unidos, estima-se que 188 milhões pneus ao ano são enviados para aterros ou dispostos ilegalmente (HEITZMAN, M. 1992).

Segundo a reportagem publicada no jornal O Estado de São Paulo (PAIVA, U. 1998), em apenas dois meses de dragagem foram retirados do Rio Tiete cerca de 2.500 pneus. Este fato tem sido constantemente mencionado nos principais jornais do Estado de São Paulo (PAIVA, U. 1998; PAIVA, U. 1999). O descarte anual é de cerca de 35 milhões de carcaças de pneus, e existem mais de 100 milhões já descartados de forma errônea, encontrados em todo o país (SATO, S. 1999).

Do ponto de vista ambiental, a reciclagem dessas matérias-primas seria a solução mais satisfatória, com a condição de poder recuperar materiais de qualidade a um custo energético mínimo. Mas o pneu, no sentido exato do termo, não é verdadeiramente reciclável. Isso porque o seu caráter compósito, bem como a irreversibilidade da reação de vulcanização, tornam impossível reobter as matérias-primas iniciais. No entanto, é possível recuperar e reutilizar parte deles. Os pneus são cortados e triturados, em várias operações de separação, que permitem a recuperação dos materiais, obtendo-se borracha pulverizada ou granulada. (BERTOLLO, S. A. M.; 2002).

Para o pesquisador José Leomar Fernandes Júnior, da Universidade de São Paulo (USP), de São Carlos, o termo "asfalto ecológico" está sendo usado e divulgado erroneamente, segundo ele, para se referir ao asfalto borracha. Sendo que quanto maior a temperatura de usinagem das misturas asfálticas, pior é a poluição atmosférica por produtos presentes nos asfaltos, uma vez que a produção do asfalto borracha exige maiores temperaturas para

mistura da borracha com o asfalto convencional e gera mais poluição atmosférica. Em outras palavras, ajuda no problema de disposição inadequada dos pneus e em contra partida causa poluição na atmosfera. (GIULIO, G. D.; 2007).

Já o pesquisador Luciano Pivoto Specht, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), concorda que o asfalto borracha deve ser aquecido a temperaturas maiores, contudo não faz mal à saúde dos operários nem polui mais que o asfalto convencional, desde que os cuidados tradicionais sejam tomados. Ainda segundo o pesquisador todas as usinas de asfalto, via de regra, possuem filtros que evitam que a fumaça do combustível e o pó de pedra sejam lançados na atmosfera e, para funcionarem, precisam de licença ambiental. (GIULIO, G. D.; 2007).

Segundo o pesquisador *Luciano Specht*, assim que o primeiro impacto positivo no uso de borracha em misturas asfálticas está no ambiente, pois a restauração de pavimento com esse tipo de asfalto pode usar até mil pneus por quilômetro, o que reduz o depósito desse material em aterros ou fora deles. (HIRSCH, F; ROZEK, T. M; SPECHT, L. P. 2006).

No entanto, outras vantagens ainda superam o ganho ambiental, aumento da vida útil do pavimento, menor susceptibilidade térmica, melhor resistência à tração e ao cisalhamento, maior resistência ao envelhecimento precoce por oxidação do cimento asfáltico de petróleo e às intempéries, maior viscosidade, menor resistência ao envelhecimento, menor elasticidade, e ainda, maior resistência às deformações plásticas, evitando assim, trilhas de rodas indesejáveis. Estas são algumas das qualidades do produto elencadas pelo engenheiro José Roberto Ometto, diretor de engenharia da Concessionária Colinas, empresa que implantou a restauração com esse tipo de asfalto, em regime experimental, em dois trechos das rodovias que administra. E como desvantagens, temos o custo mais elevado, o risco de instabilidade na estocagem e a possibilidade de uma massa heterogênea (EDEL, G. 2002).

A pavimentação asfáltica, com os conceitos atuais, foi iniciada em 1829 em Lyon, França, quando se utilizou um mastique asfáltico, que consiste de um mineral graduado com cimento asfáltico e agentes plastificadores, para melhorar as condições de rodagem (SANTANA, H, 1989). A partir daí o uso de

asfalto na construção de estradas é crescente e está presente em mais de 97% das estradas pavimentadas no Brasil. (BENEVIDES, C. 2003).

O pneu apresenta uma estrutura complexa, formada por diversos materiais tais como: estrutura em aço, náilon, fibra de aramida, rayon, fibra de vidro e/ou poliéster, borracha natural e sintética, incorporando centenas de tipos diferentes de polímeros naturais e sintéticos, reforçadores químico como negro fumo, sílica e resinas, antidegradante como: ceras de parafina antioxidantes e inibidoras da ação do gás ozônio, promotores de adesão como: sais de cobalto, banhos metálicos nos arames e resinas), agentes de cura (aceleradores de cura e ativadores e produtos auxiliares no processamento dos pneus, como óleos (PIRELLI BRAZIL, 2000).

Nas misturas asfálticas existem dois processos de incorporação dos pneus: úmido e seco. No processo úmido também denominado como wetprocess, são adicionadas partículas finas de borracha ao cimento asfáltico, produzindo um novo tipo de ligante denominado "asfalto borracha". Já no processo seco conhecido como dryprocess, partículas maiores de borracha substituem parte dos agregados pétreos, que após a adição do ligante, formam um produto denominado "concreto asfáltico modificado com adição de borracha" (MMA,2013).

3 LEGISLAÇÃO

3.1 Resolução

RESOLUÇÃO Nº 258, DE 26 DE AGOSTO DE 1999, em 26 de agosto de 1999, foi aprovada a resolução Nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto no 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, considera que os pneus ou pneumáticos inservíveis são aqueles que não mais se prestam ao processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

Devido os pneus inservíveis serem abandonados ou dispostos inadequadamente constitui passivo ambiental, o que acaba resultando em um sério risco ao meio ambiente e à saúde pública, levando em consideração que não há possibilidade de reaproveitamento desses pneus inservíveis para uso veicular e nem para processos de reforma, tais como recapagem, recauchutagem e remoldagem e a necessidade de dar uma destinação final e ambientalmente adequada e segura, aos pneumáticos inservíveis, dispõe da obrigatoriedade das empresas fabricantes e importadoras de pneumáticos de coletar e dar destinação final de forma ambientalmente adequada e segura aos pneus inservíveis, relativo a quantidades fabricadas e/ou importadas, existentes no território nacional.

A resolução estabelece os prazos e quantidades para a coleta e a destinação final, que a partir de 1º de Janeiro de 2005 para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus novos importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis; e para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a 4 pneus inservíveis, o que não se aplica aos pneus exportados ou aos que equipam veículos exportados pelo país.

3.1.1 Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

O CONAMA, órgão consultivo deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, possui a finalidade de dar assistência profissional ou técnica, e propor diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e que resolve as normas e padrões compatíveis com o meio ambiente. (MMA, 2010; Brasil, 1990), foi instituído em 1981, pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

Em relação à destinação final, o CONAMA iniciou as regulamentações há pouco mais de uma década, após ser aprovada a resolução nº 258/99, que determina a obrigação, por parte das empresas fabricantes e das importadoras de pneumáticos, de coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis.

Em 2002, suas disposições são alteradas com a resolução 301/2002. No final de 2009, a matéria passou a ser regida pela Resolução 416/2009, que anula as Resoluções anteriores e dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, conforme descrito abaixo:

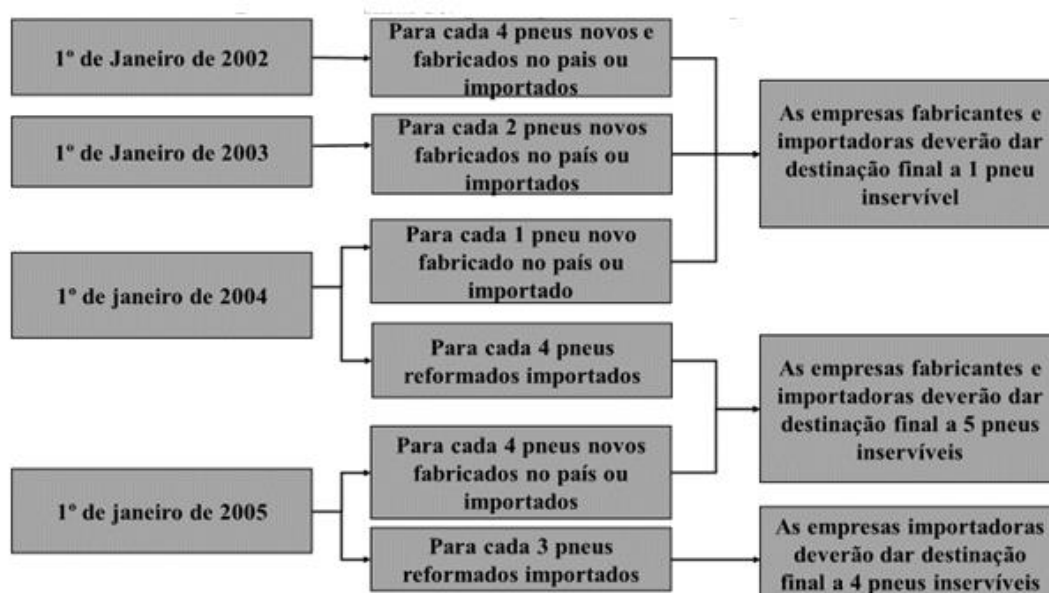


Figura 1: Destinação final dos pneus produzidos ou importados
Fonte: Elaborado a partir da Resolução CONAMA 258/199

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, é uma autarquia federal dotada de personalidade jurídica de direito público, autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente – MMA.

O IBAMA, exerce poder de polícia ambiental; executa ações das políticas nacionais de meio ambiente, referentes às atribuições federais, relativas ao licenciamento ambiental, ao controle da qualidade ambiental, à autorização de uso dos recursos naturais e a fiscalização, monitoramento e controle ambiental; e executar as ações supletivas de competência da União de conformidade com a legislação ambiental vigente (IBAMA, 2010).

As empresas importadoras devem comprovar previamente junto aos embarques no exterior, a destinação final das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas de forma ambientalmente adequada, para efeitos de liberação de importação junto ao Departamento de Operações de Comércio Exterior- DECEX, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, e anualmente, a destinação final das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas.

Os fabricantes e os importadores podem criar centrais de recepção de pneus inservíveis, a serem localizadas e instaladas de acordo com as normas ambientais e demais normas vigentes, para armazenamento temporário e posterior destinação final ambientalmente segura e adequada.

O descumprimento do disposto nesta Resolução implicará as sanções estabelecidas na Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, regulamentada pelo Decreto no 3.179, de 21 de setembro de 1999.

3.1.2 Norma

No Brasil, a classificação dos resíduos é regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da norma NBR 10004/ 87- Resíduos Sólidos, a classificação dos resíduos sólidos (Figura 2) envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente

é conhecido, para que sejam manuseados e destinados adequadamente (ABNT, NBR 10004/87).

A norma estabelece que todo resíduo que apresenta um certo grau de periculosidade em função das suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagioso, o que pode causar risco a saúde pública, quando o destino ou manuseio é feito de forma inadequada, provocando de forma significativa um aumento de mortalidade ou incidência de doenças, além de causar grande risco ao meio ambiente.

Os resíduos perigosos classificados pelas suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade são codificados:

D001: qualifica o resíduo como inflamável;

D002: qualifica o resíduo como corrosivo;

D003: qualifica o resíduo como reativo;

D004: qualifica o resíduo como patogênico.

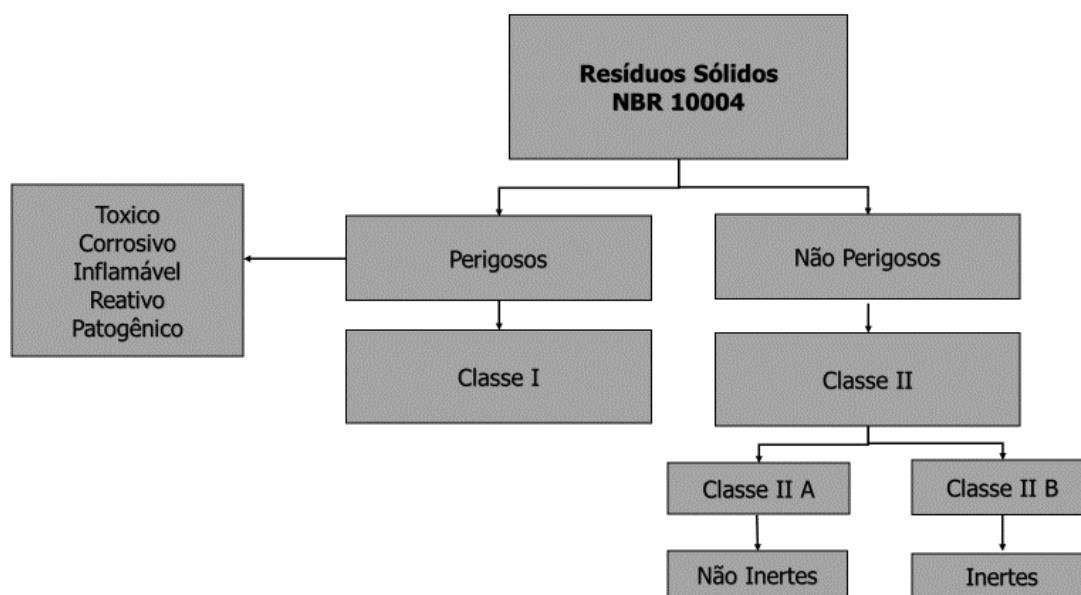


Figura 2: Caracterização e classificação de resíduos sólidos
Fonte: Elaborado a partir ABNT NBR 10.004:2004

Quanto à periculosidade, as classes de resíduos adotadas no Brasil são as seguintes:

- Resíduos classe I (Perigosos): Apresentam periculosidade ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade,

toxicidade e patogenicidade, como por exemplo, baterias, produtos químicos;

- Resíduos classe II (Não inertes): Não se enquadram como resíduos classe I - Perigosos ou resíduos classe III - Inertes e podem ter as seguintes propriedades: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, como por exemplo, matéria orgânica e papel;
- Resíduos classe III (Inertes): Não têm constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade de águas, como por exemplo, rochas, tijolos, vidros, certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

A questão trata dos resíduos sólidos urbanos, no caso dos resíduos gerados pela indústria outros processos envolvem seu tratamento e destinação final.

Já no caso dos resíduos sólidos industriais, por serem muito variados, pois se originam de diversos ramos da indústria metalurgia, química, petroquímica, alimentícia, dentre outras, a responsabilidade da disposição final dos mesmos é do gerador do resíduo, pois a grande maioria deles se classifica como resíduos classe I – perigosos. Estes resíduos industriais, que é o caso dos pneus inservíveis, objeto principal de estudo deste trabalho, requer das empresas o gerenciamento e diretrizes para a disposição final ou tentativa de diminuição da emissão dos mesmos (LORA, E. S. 2000).

4 PNEU

4.1 Início da utilização

Em meados de 1839, Charles Goodyear descobriu acidentalmente que a borracha cozida em altas temperaturas com enxofre, mantinha-se estável em várias temperaturas, e a este processo deu-se o nome de vulcanização.

Após essa descoberta, em 1844, Robert W Thompson, criou o pneu de borracha, colocando uma câmara cheia de ar dentro dos pneus de borracha maciça, e deu a eles a forma mais parecida que conhecemos hoje (ANIP 2009).

Durante décadas foram feitas diversas experiências realizadas para o melhoramento das propriedades da borracha natural. A partir da Primeira Guerra Mundial, na Alemanha foi criada uma nova tecnologia para a fabricação da borracha sintética, uma vez que até este período os pneus dependiam em sua totalidade da matéria prima borracha natural para sua confecção. (RAMOS FILHO, L. S. N, 2005).

A partir desta inovação e descoberta dos pneus de borracha, em virtude da resistência, durabilidade e conforto para transporte de cargas e pessoas, a fabricação e venda de pneus no mundo foram crescendo, uma vez que o novo processo incorporou qualidades e propriedades mais atrativas à borracha, tais como, resistência à abrasão, elasticidade, durabilidade, entre outras (RAMOS FILHO, L. S. N, 2005).

4.2 Composição

Os pneus não são compostos apenas por borracha, ele conta com diversos materiais que possibilitam sua fabricação, eficiência e durabilidade, tais como, estrutura em aço, náilon, fibra de aramide, rayon, fibra de vidro/poliéster; borracha natural e sintética, além de diversos tipos de polímeros; reforçados químicos como carbono preto, sílica e resinas; antidegradantes, como ceras de parafina antioxidantes e inibidoras da ação do gás ozônio; promotores de adesão, tais como sais de cobalto, banhos metálicos nos arames e resinas e agentes de cura (PIRELLI BRASIL, 2007).

4.3 Partes do pneu

Para que se tenha um bom aproveitamento dos pneus, os mesmos são estruturados para que se possa ter estabilidade, economia, segurança, entre outros. Cada parte é pensada para que também seja viável a comercialização do pneu.

Abaixo figura 3, com as indicações das principais partes do pneu.



Figura 3: Componentes de um Pneu
Fonte: Pneus Moretto

- Banda de rodagem: É a parte do pneu que faz contato com o solo, tendo como características principais evitar cortes, perfurações e resistir ao atrito.
- Carcaça: É a estrutura do pneu, confeccionada com fios revestidos com borracha que vão de talão a talão, tendo como principal função manter o pneu inflado e permitir reformas. É essa estrutura que determina a resistência e os índices de carga e velocidade, além do formato do pneu.
- Estanque: É o forro interno do pneu.
- Talão: Localizados nas duas extremidades, eles são fios de aço cobertos por cobre, que sua função é fixar o pneu na roda.
- Lateral: Alguns chamam esta área de flanco ou de costado e, como o próprio nome diz, são as duas paredes laterais que, junto com a banda de rodagem, constituem o revestimento externo da estrutura da carcaça. É também a parte flexível do pneu e responsável por absorver as ondulações e deformações provenientes das irregularidades do piso.

- Cintas Estabilizadoras: Confeccionadas com materiais altamente resistentes com fios em diagonal sobrepostos, tendo como principal função manter a dirigibilidade do veículo.
- Ombros: Os ombros do pneu estão localizados na extremidade da banda e da lateral. Possuem uma quantidade extra de borracha e sua característica principal é a de suportar a transferência de carga no momento de curva.

4.4 Classificação

Os pneus podem ainda ser classificados de acordo com sua carcaça, dividindo-se em dois grupos, radiais e convencionais (ou diagonais). Grandes partes dos pneus utilizados em carrocerias de caminhões são os radiais porque aliado aos reforços estruturais e novos desenhos da banda de rodagem oferecem maior resistência, durabilidade, aderência e estabilidade que os convencionais. Em função disso, mesmo com um custo superior ao tradicional, os pneus radiais representam 97% da produção mundial de pneus de passeio, e 45% de participação na produção de pneus de caminhões e ônibus. (BNDES, 1998, p. 3).

Segundo dados da pesquisa publicada pelo BNDES, os percentuais de materiais utilizados na composição de um pneu são apresentados a seguir:

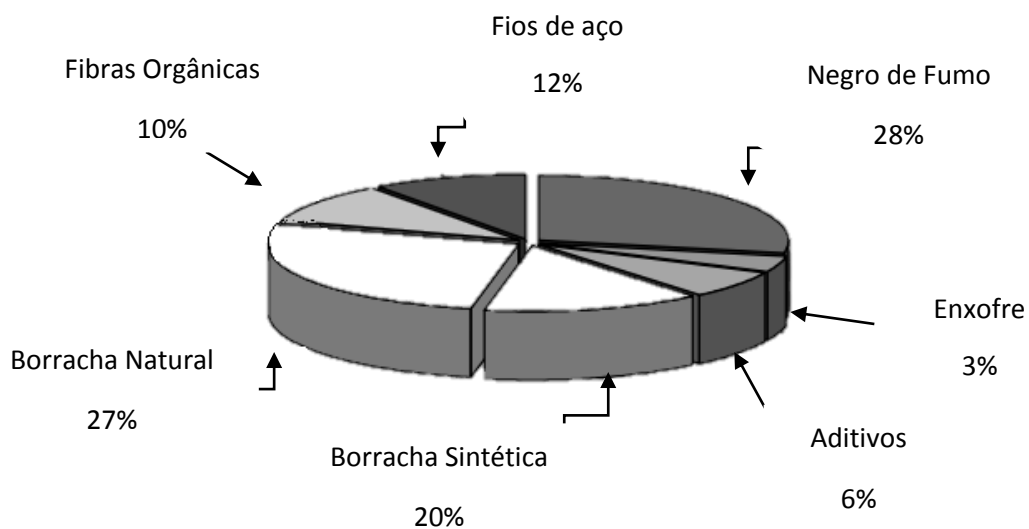


Gráfico 1: Composição química dos pneus
Fonte: Brazil Trucks, 2015.

4.5 Tipos mais comuns de pneus

4.5.1 Pneu convencional

O pneu convencional é formado por lonas cruzadas e sobrepostas umas sobre as outras, diferentemente dos pneus radiais, esse tipo não apresenta facilmente os defeitos apresentados pelo veículo, pelo fato de sua construção, sua flexibilidade e seus componentes em uma curva fazem com que o pneu perca totalmente o contato com o solo, e sem aderência os acidentes serão inevitáveis.

Duas características básicas diferenciam esse tipo de pneu, o fato de fazer com que o consumo de combustíveis seja mais elevado se comparado com o pneu radial, e um desgaste muito mais rápido da banda de rodagem.

4.5.2 Pneu Radial

Esse tipo de pneu é formado por cordéis de aço colocados paralelamente uns com os outros, qualquer defeito apresentado pelo veículo é facilmente identificado, pelo fato de ter uma flexibilidade maior em caso de uma curva, o pneu não perde o contato com o solo. Pode-se notar caso o veículo esteja com algum problema no freio, suspensão, montagem incorreta ou desalinhada. Os sinais mais comuns para a identificação de problemas são a direção trepidando e veículo puxando acentuadamente para os lados.

As principais características desse pneu para o convencional são: menor consumo de combustível, melhor controle em curvas, menor espaço de frenagem, maior resistência a furos, menos desgaste e resposta mais rápida ao volante.

4.6 Ciclo de vida dos pneus

A destinação final dos pneus inservíveis gera um grande problema para o mundo inteiro, pois o consumo ainda é muito maior do que a reciclagem, como consequência do descarte indevido em rios e lagos, os impactos ambientais são visíveis como o assoreamento e enchentes.

Se comparado a alguns outros tipos de materiais a degradação das matérias do pneu são muito lentas, como mostra o quadro a seguir:

Material	Tempo de degradação
Aço	Mais de 100 anos
Alumínio	200 a 500 anos
Chicletes	5 anos
Cordas nylon	Mais de 100 anos
Isopor	Indeterminado
Papel e papelão	6 meses
Pneus	Indeterminado
Sacos e sacolas plásticas	Mais de 100 anos
Vidros	Indeterminado

Quadro1: Tempo de degradação de alguns materiais

Fonte: Elaboração a partir <http://www.fec.unicamp.br>

O descarte de pneus em aterros sanitários está proibido desde o ano de 1999; a diretiva sobre aterros da comunidade europeia proíbe terminantemente aos países que são membros, a disposição dos pneus inteiros em aterros desde 2003 e de pneus cortados desde 2006.

Os pneus tem uma vida útil bem duradoura, sua durabilidade varia para cada forma de utilização, o ciclo de vida é o mesmo (figura 4), modificando apenas o tempo de desgaste.

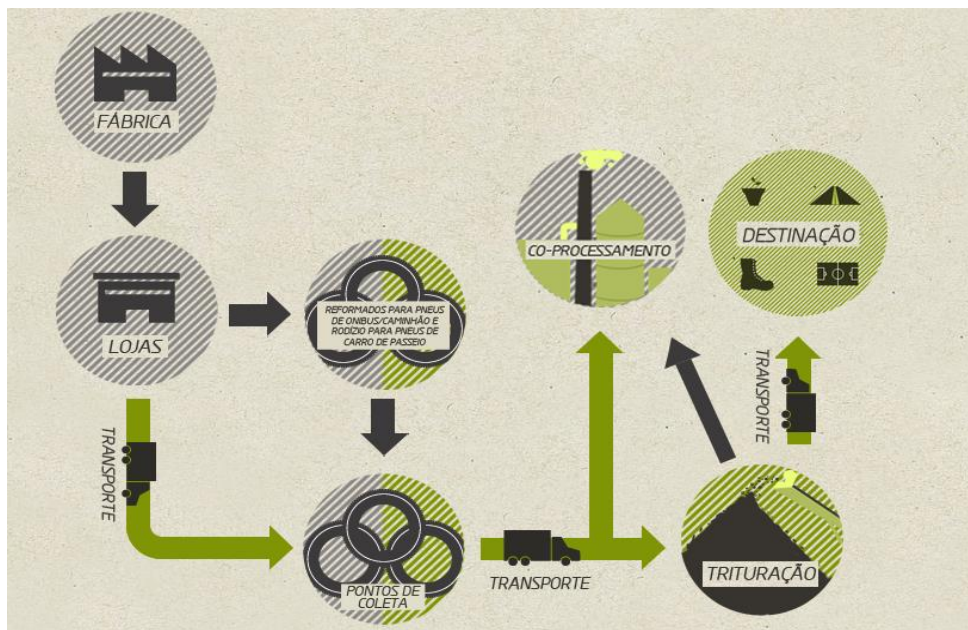


Figura 4: Ciclo de vida dos pneus
 Fonte: Reciclanip 2016

4.7 Destinação dos pneus inservíveis

Os pneus inservíveis são reaproveitados em diversas atividades comerciais e industriais. Dentre as principais:

- **Co-processamento:** Os pneus inservíveis por ter alto poder calorífico, são largamente utilizados como combustível alternativo em fornos de cimenteiras, em substituição ao coque de petróleo.
- **Asfalto Borracha:** Adição à massa asfáltica de pó de borracha oriundo da trituração de pneus inservíveis.
- **Laminação:** Processo em que os pneus não radiais são cortados em lâminas e que servem para a fabricação de percintas (indústrias moveleiras), solas de calçados, dutos de águas pluviais etc.
- **Artefatos De Borracha:** A borracha retirada dos pneus inservíveis dá origem a diversos artefatos, entre os quais: tapetes para automóveis, pisos industriais, artesanatos, pisos para quadras poliesportivas, e artigos para jardinagem.
- **Artesanato de Borracha:** Após a separação dos componentes do pneu e com criatividade é possível elaborar artesanatos de diversos tipos, veja abaixo imagens de alguns exemplos de utilização:



Figura 5: Sofá confeccionado de pneus inservíveis
Fonte: Artesanato Brasil 2015



Figura 6: Artesanato a partir de pneus inservíveis
Fonte: Artesanato Brasil 2015



Figura 7: Lixeira feita com pneus inservíveis
Fonte: Artesanato Brasil 2016

4.8 Processo de Recuperação e regeneração

O processo de recuperação e regeneração dos pneus inservíveis exige a separação da borracha vulcanizada de outros componentes, como metais e tecidos. O processo consiste nas seguintes etapas de execução:

- 1º - Os pneus são cortados em lascas;
- 2º - Após cortados, são colocados em um tanque com solvente para que inche a borracha e se torne quebradiça;
- 3º - Os pedaços de borracha são pressionados para que se desprendam da malha de aço e do tecido de nylon;
- 4º - Um sistema de eletroímãs é acionado e permite a separação da borracha, do aço e do nylon;
- 5º - A borracha então é moída e separada por um sistema de peneiras e bombas de alta pressão;
- 6º - Passam para um reator ou autoclave onde ocorre a desvulcanização da borracha, recuperando em torno de 75% de suas propriedades originais;
- 7º - Esta borracha vai para um tanque de secagem para recuperação do solvente que retorna ao processo. (RT Serviço De Respostas Técnicas, 2006).

A desvulcanização ou regeneração da borracha modifica os resíduos, tornando-os mais plásticos e prontos para receber um novo processo de vulcanização.

5 ASFALTO

5.1 Definição

O asfalto é a mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo de forma natural ou por destilação com elevada viscosidade, tendo como componente principal o betume, podendo conter outros materiais em pequenas proporções, tais como: oxigênio, nitrogênio e enxofre. A baixa reatividade química a muitos agentes não evita que esse material possa sofrer um processo de envelhecimento por oxidação pelo contato com o ar e a água, obtidos por refinação de petróleo, podendo ser encontrados na natureza como depósito natural ou associados à matéria mineral. Podendo ser considerado um dos mais antigos e versáteis materiais utilizados na construção civil pelo ser humano.

Em grande parte dos países a principal forma de revestimento de estradas é a massa asfáltica. No Brasil cerca de 95% das estradas utilizam esse pavimento, além de ser utilizado em grande parte nas ruas das cidades, esse pavimento tem como principal função, em agir como ligante, permitindo uma flexibilidade controlável, impermeável, resistência à ação de vários tipos de ácidos, pode ser utilizado tanto aquecido como emulsificado, pode ser utilizado com ou sem aditivos, entre outras características.

Esses materiais contem características de viscosidade; essa característica se manifesta no comportamento mecânico, sendo sucessível a velocidade, ao tempo e a intensidade de carregamento e a temperatura do serviço.

5.2 Composição

Sua composição é bastante complexa pois o número de átomos de carbono varia de 20 a 120, podendo variar também de acordo com o tipo de fracionamento ao qual o mesmo é submetido, atualmente o método mais empregado, e normatizado pela ASTM D 4124-01, o método que fraciona de seguinte forma: asfaltenos, saturados, polar-aromático e nafteno-aromáticos. Na Europa é utilizado um método similar conhecido como SARA (S de

saturados, A de aromáticos, R de resinas e A de asfaltenos), a separação dos constituintes é realizada por cromatografia de camada fina com detecção por ionização de chama (LEITE, 1999).

A massa molar é obtida por osmometria de pressão de vapor (VPO), sendo utilizado o tolueno como solvente. O carbono aromático é obtido a partir do espectro integrável de experimentos em ressonância nuclear magnética (RNM), considerado Carbono 13.

5.3 Processo de produção, estocagem e manuseio

A maioria dos asfaltos em uso atualmente é obtido pelo processamento de petróleo bruto em plantas especiais conhecidas como refinarias. Que estão localizadas próximas a locais de transporte por água, ou são transportadas por dutos a partir de terminais marítimos.

A escolha de um bom petróleo resulta em um asfalto dentro das especificações para que possa ser usado em pavimentos, essa escolha é feita através de uma avaliação de resíduos de vácuo de petróleos, pelo menos cinco resíduos de vácuo correspondem a diferentes temperaturas de corte obtidas em unidades PEV (ponto de ebulição verdadeiro), os resíduos são classificados segundo as especificações tanto brasileiras como europeias e americanas, após os resultados, podemos estimar as características dos resíduos leves, intermediários ou pesados. Depois é feita uma comparação dos resultados com as especificações e critérios internos da Petrobras, onde indica se o petróleo está ou não adequado para que possa produzir cimentos asfálticos e ainda a seleção das temperaturas apropriadas.

Existem vários processos de refino, que nada mais é do que o conjunto de processos de separação e/ou transformação dos constituintes do petróleo. Um dos mais antigos é processo de destilação direta, podendo ser realizada em um ou dois estágios.

Também existe asfalto de base não asfáltica, como por exemplo os leves: Kuwait, Árabe Leve e Safaniya Kirkuk, fazendo-se assim necessário dois estágios de destilação a vácuo e a atmosférica.

Esse produto é armazenado de forma geral em tanques nas refinarias, podendo ser mantidos a elevadas temperaturas por tempo razoável,

sem que sejam afetados, pois caso seja submetido a temperaturas elevadas (> 150°C), mesmo que seja por períodos relativamente curtos pode-se causar um envelhecimento elevado no ligante desde que haja presença de ar e uma espessura muito fina de asfalto, ou seja, se for submetido a uma temperatura elevada por um período de tempo maior que 1 minuto, o envelhecimento dessa massa será mais elevada e para que possa evitar esse tipo de problemas, os tanques de armazenamento devem conter sensores de temperaturas localizados na região onde se encontram os aquecedores e devem ser removíveis para que possam passar por manutenções frequentes, conforme demonstrado na imagem a seguir:

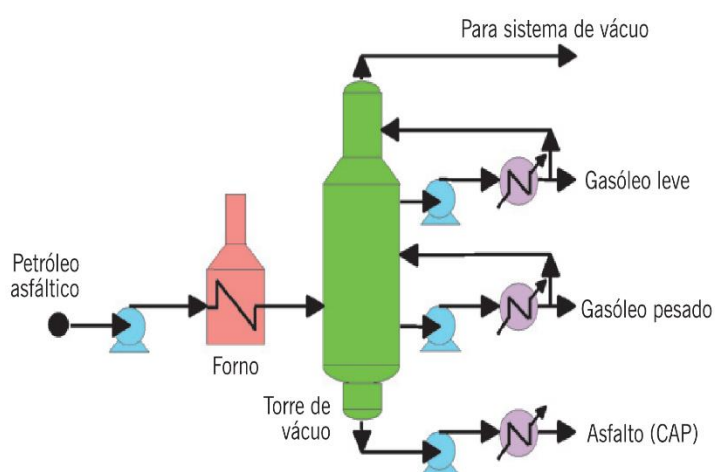


Figura 84: Produção de Asfalto em um estágio
Fonte: Pinto, 1998

Nesse processo o petróleo asfáltico é aspirado e comprimido na bomba de carga principal, logo após é colocado no seu respectivo forno e aquecido a temperaturas abaixo de 150°C; na torre os vácuos ligeiros elevam-se para o topo da torre passando pelas perfurações dos pratos, pela mesma, os mais pesados vão de prato em prato até chegarem ao fundo, onde é extraído o asfalto, logo após esse processo, ele é condensado e armazenado.

No topo da torre sai a fração mais ligeira (os gases), que são enviados para o sistema de vácuo. Nas laterais são obtidas as frações leves e pesadas, as mesmas são pré-aquecidas e divididas em dois circuitos, sendo um para ser reinjetado na torre de vácuo e o outro circuito é enviado para os respectivos armazenamentos.

Na imagem a seguir temos a produção de asfalto com destilação em dois estágios:

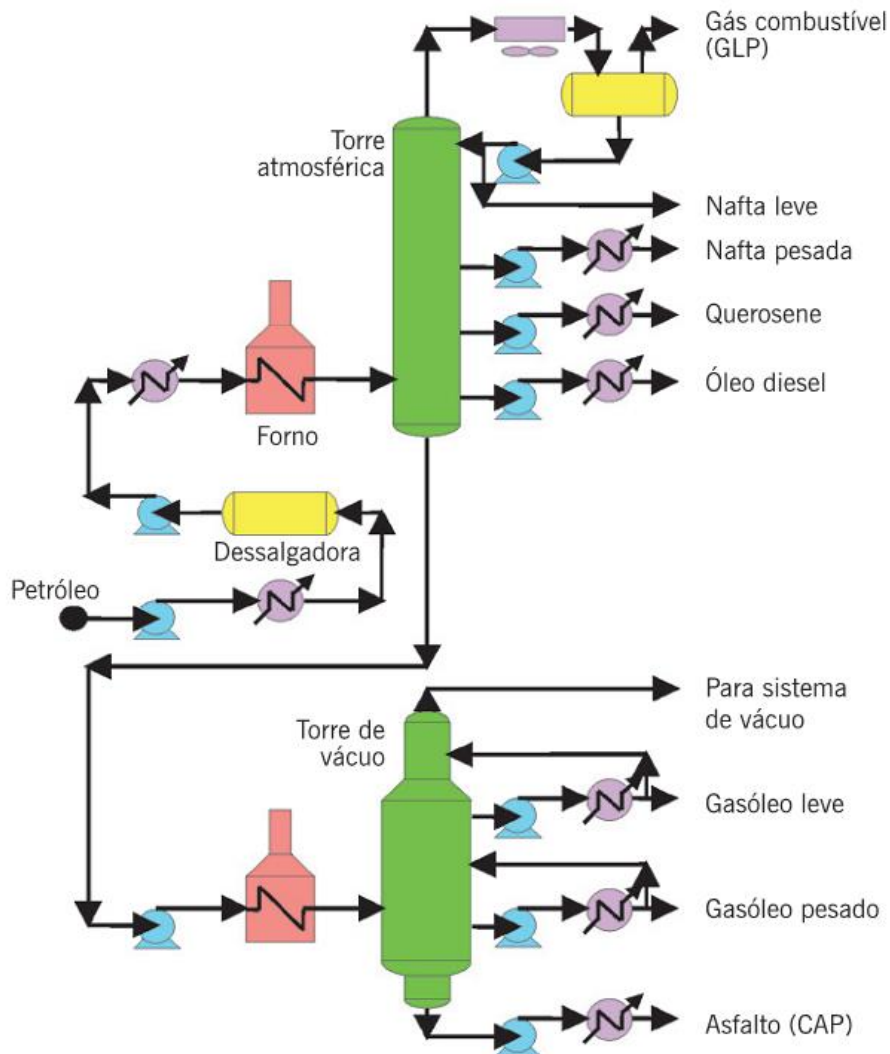


Figura 95: Produção de Asfalto com Destilação em Dois Estágios
Fonte: Pinto, 1998

Nesse processo o petróleo é aspirado e comprimido pela bomba principal e pré-aquecido pelo permutador antes de ir para o balão do dessalgador, depois de sair do dessalgador o petróleo é pré-aquecido novamente pelo permutador e enviado para a fornalha, onde vai ser aquecido a uma temperatura inferior a 150°C antes de poder passar para o próximo estágio que é a torre atmosférica, onde forma a mistura binária (óleo-gás).

As partículas mais pesadas vão para o fundo da torre, são mais leves vão para o topo, onde são condensados antes de poder ir para o balão

separador, no topo do separador é extraído o gás combustível (GPL), enquanto no fundo do separador sai a nafta leve que se divide em dois circuitos, uma parte vai para a parte superior da torre do segundo prato e a outra vai para o armazenamento.

Nas usinas de fabricação de misturas asfálticas, os tanques de estocagem devem conter um controle automático para o nível de estocagem, sendo que antes de colocar o ligante adicional no tanque, é necessário e precisa também se certificar de que o tipo adicionado seja o mesmo que já está estocado. Para ser estocado, deve-se manusear essa matéria prima a temperaturas baixas, considerando a viscosidade adequada para a operacionalidade dos processos de mistura em linha ou transferência para os sistemas de transportes.

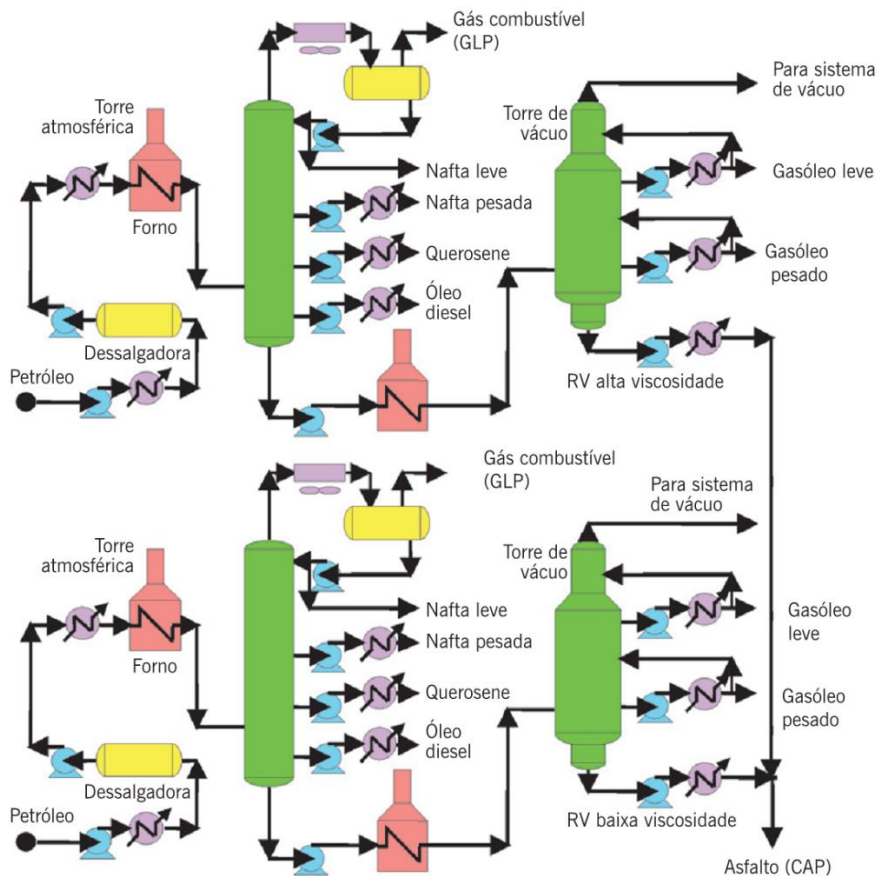


Figura 60: Mistura de Alta e Baixa Viscosidade
 Fonte: Pinto, 1998

5.4 Tipos e utilização

No Brasil, se utiliza Cimentos Asfálticos de Petróleo – CAP, para designar ligantes semissólidos a temperaturas baixas, visco elásticos a

temperatura ambiente, líquidos a altas temperaturas, e que se enquadram em limites de consistência para determinadas temperaturas de modo a distingui-los dos asfaltos utilizados na construção civil e para finalidade industriais.

O CAP, são materiais caracterizados segundo as normas brasileiras ABNT NBR e especificados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP.

Atualmente há quatro tipos de CAP, podendo ser classificados por penetração, CAP 30/45, CAP 50/70, CAP85/100 e CAP 150/200, constituindo-se em produtos básicos para a produção de outros materiais asfálticos. Por conter aplicações diversas e considerando que a sua principal aplicação é a pavimentação, o asfalto se subdivide em:

- Cimento asfáltico de petróleo (CAP): muito viscoso, semissólidos ou sólidos em temperatura ambiente, apresenta um comportamento termoplástico, se tornando líquidos quando aquecidos e após resfriado volta a sua forma original; Especificação ANP Resolução n°19, de 11 de julho de 2005 e anexo Regulamento Técnico n°3/2005;
- Asfaltos diluídos: nada mais é do que a mistura de CAPs com solventes, sendo obtido asfaltos de cura rápida (CR), isso dependendo do solvente utilizado, essa mistura é realizada para aumentar a fluidez do CAP, logo após a aplicação os solventes evaporam deixando o CAPs rígido; Especificação ANP Resolução n°30, de 09 de outubro de 2007 e anexo Regulamento Técnico n°2/2007;
- Emulsões asfálticas (EAP): constituem pequenas partículas ou glóbulos de CAP, sendo suspensos em água e contendo um agente emulsificante, Após serem aplicadas elas se depositam sobre as britas do leito rodoviário, causando a ruptura da emulsão e se separando da água, resultando assim em uma camada de CAP rígido. São classificadas como: de ruptura rápida, de ruptura media e de ruptura lenta, proposta de especificação da Comissão de Asfalto do IBP-ABNT;
- Asfaltos modificados: são modificações que são realizadas no CAP com a adição de asfaltos naturais como gilsonita (EUA), asfáltica (Argentina), e asfalto de Trinidad, podendo também conter cal, cimento, sílica, fibras de vidro, fibras de celulose, fibras poliméricas entre outros.; Emulsões para

Lama Asfáltica (LA) -178º Sessão Extraordinária de 20/02/73 do Ministério de Minas e Energia-Conselho Nacional do Petróleo-Resolução 01/73 com a Norma CNP-17 e publicadas no Diário Oficial da União em 08/05/73. Proposta de Especificação da Comissão de Asfalto do IBP.

- Asfaltos Modificados por polímeros, especificação ANP - Resolução N°- 31, de 9 de outubro de 2007 e Regulamento Técnico No 03/2007;
- Cimentos asfálticos de petróleo modificados por borracha moída de Pneus (AMB) - Especificação ANP -Resolução N°- 39, de 24 de dezembro de 2008.

5.5 Eficiência e Qualidade

Para que possa ser comercializado, o asfalto precisa passar por alguns testes que comprovem a sua eficiência e qualidade, sendo estes:

- Consistência e dureza: O método de ensaio para essa característica é a penetração em uma amostra do material em condições similares ao meio em que vai ser aplicado, nesse ensaio se determina a consistência ou dureza do cimento asfáltico;
- Ductibilidade: nada mais é do que a capacidade do material se alongar, do som que ele rompa, sendo medida pela distância em centímetros, sendo que esse material pode ter suas extremidades alongadas com velocidade e temperaturas definidas. Onde o leito rodoviário é sujeito a vibrações e a grandes mudanças de temperatura, é de grande importância que sejam utilizados asfaltos com uma ductilidade elevada;
Durabilidade: o método de ensaio aplicado é o do calor e do ar, onde são determinadas a perda de penetração, ductilidade, massa e o aumento no ponto de amolecimento do asfalto;
- Suscetibilidade térmica: é a capacidade de suportar variações de temperatura sem perder a consistência e a ductibilidade. Em estradas é importante conhecer as condições de temperatura, com a finalidade de evitar surgimento de fissuras devido a mudanças das mesmas, para esse ensaio utiliza-se um índice que se dá por uma equação unindo os ensaios de ponto de amolecimento e penetração;

- Viscoelasticidade e termoplasticidade: o asfalto deve conter duas características principais a elasticidade e a viscosidade para que se possibilite o manuseio em sua aplicação em pavimentos, as características viscoelásticas se fazem necessárias.

6 ASFALTO BORRACHA

6.1 Definição

Asfalto-Borracha é o nome que se dá ao asfalto acrescido de borracha proveniente de pneus inservíveis, resolvendo assim uma pequena parcela do grande problema ecológico atual. Os pneus inservíveis são triturados em pedaços bem finos, e esse pó feito de borracha é misturado a massa asfáltica e submetido a altas temperaturas, onde posteriormente são adicionadas as britas e se transformando no asfalto-borracha.

A obtenção da matéria prima para o mesmo pode ser dada através de dois processos, sendo eles: úmido (wet process) ou seco (dry process).

6.2 Processos para obtenção

6.2.1 Processo Úmido

A borracha moída é adicionada em partículas finas de borracha ao cimento asfáltico, produzindo um novo tipo de ligante denominado asfalto-borracha (BERTOLLO, 2000).

Nesse processo ocorre a transferência mais efetiva das características de elasticidade e resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico original.

No processo, a borracha moída representa cerca de 5 a 25% do peso total do ligante, e é incorporada ao ligante asfáltico antes de ser adicionado o agregado asfalto-borracha (KAMIMURA, 2000).

6.2.2 Processo Seco

Processo onde as partículas maiores de borracha substituem parte dos agregados pétreos, após a adição do ligante, formam um produto denominado concreto asfáltico modificado com adição de borracha (BERTOLLO, 2000).

Nesse processo a borracha moída representa cerca de 1% a 3% do peso total da mistura, e é incorporada ao agregado-borracha antes de se adicionar o ligante asfáltico que faz a substituição a uma pequena parte dos agregados finos (KAMIMURA, 2000).

6.3 Resolução ANP nº 39, de 24.12.2008

A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), tem como finalidade estabelecer as especificações, regulamentar e fiscalizar atividades econômicas integrantes da indústria dos derivados de petróleo, gás natural e seus derivados e dos biocombustíveis,

Havendo a necessidade de normatizar os cimentos asfálticos de petróleo modificados por borracha moída (AMB) provenientes de pneus inservíveis, foi estabelecida a Resolução ANP nº 39, de 24.12.2008, e anexo Regulamento Técnico nº 05/2008, onde foram estipuladas as especificações e classificações do AMB, designados como asfaltos Borracha, padrões a serem seguidos para se obter certificado da qualidade, que devem estar de acordo com as especificações estabelecidas por este Regulamento Técnico.

6.4 Vantagens e Desvantagens do Asfalto De Borracha

A reciclagem de borracha por meio de pavimentação asfáltica é uma tecnologia muito promissora. Os processos que utilizam borracha no pavimento asfáltico consomem uma média de um milhão de pneus por ano e tanto o processo úmido como o processo seco são considerados potencialmente em expansão. (Leite, P.R., 2003)

O reaproveitamento da borracha de pneus, com o objetivo de incorporá-la ao pavimento asfáltico, possui dentro da infraestrutura viária uma posição de destaque.

Tendo em vista que o petróleo e, por consequência o asfalto, é uma fonte de energia não renovável, as consequências ecológicas, econômicas e sociais aliadas ao benefício técnico do novo ligante asfáltico criado com a

borracha reciclada são muito interessantes e compõe um cenário muito benéfico para a sociedade.

6.4.1 Vantagens Ambientais

Quando se adiciona borracha de pneus inservíveis na pavimentação, esta proporciona melhorias para o meio ambiente, uma vez que se existe o descarte adequado do material, inibe os focos de criação de insetos prejudiciais à saúde e até letais ao ser humano; diminui o número de pneus usados em depósitos, com a conseqüente redução do risco de incêndios incontroláveis, diminuição da poluição de rios e lagos que são em parte causados pelo descarte de pneus.

6.4.2 Vantagens Ecológicas e Sociais

Com o surgimento e fortalecimento de empresas especializadas na reciclagem de pneus para convertê-los em asfalto borracha ficaram visíveis os benefícios diretos ao setor público pela criação de novas fontes de tributos a incorporar no cofre público, e com isso serem criados novos empregos diretos nas empresas recicladoras e indiretos ligados ao processo de angariação e movimentação de pneus inservíveis, auxiliando com isso na redução da poluição visual causada pelo descarte indevido.

Outro fator a ser considerado é a redução da demanda de petróleo, devido à substituição de parte do asfalto por borracha moída de pneus inservíveis e também pela maior durabilidade que será alcançada na vida útil do asfalto nas vias públicas.

6.4.3 Vantagens Técnicas

Os pneus também são compostos de borracha sintética, que possui excelentes propriedades físicas e ótima estabilidade química para ser incorporado ao asfalto, quando a borracha é incorporada ao asfalto acontece o efeito de emborrachamento do pavimento, com melhor impermeabilização,

gerando proteção para as diversas camadas do pavimento e diminuindo sensivelmente o problema do envelhecimento do asfalto.

O emborrachamento melhora as condições de aderência dos pneus dos veículos, beneficiando a segurança dos usuários, e é mais resistente a ação química de combustíveis e óleos lubrificantes eventualmente derramados.

Nessas circunstâncias, pode-se dizer que o asfalto de borracha possui as seguintes vantagens:

- Maior poder impermeabilizante;
- Inexistência de fissuras;
- Durabilidade;
- Insensibilidade às variações extremas de temperatura (de 40°C à camadas de neve);
- Maior adesividade aos agregados;
- Retardamento da reflexão de trincas precoces por fadiga, surgindo em até três vezes mais tempo para aparecer na superfície, devido à resistência em tração;
- Redução do ruído provocado pelo tráfego entre 65 e 85%;
- Conforto para os usuários em função da melhor aderência pneu-pavimento;
- Redução da distância de frenagem, mesmo com a ocorrência de chuvas;
- Redução de acidentes provocados por derrapagens;
- Maior resistência ao envelhecimento do pavimento;
- Requer manutenção reduzida;
- Permite redução em até 50% da espessura do pavimento;
- Redução do risco de ocorrência de danos por deformação plástica nas trilhas de roda, devido à maior viscosidade e maior temperatura do ponto de amolecimento;
- Por ter a mesma origem do asfalto (petróleo), a borracha de pneu não apresentará problemas de compatibilidade química com o pavimento betuminoso, nem causará problemas de corrosão nos equipamentos construtivos rodoviários;

- É um material homogêneo que permite a determinação das suas características de comportamento com mínima variação;
- Melhor conservação dos agregados e do cimento asfáltico, podendo dobrar o tempo de vida útil do produto;
- Mistura final altamente resistente ao envelhecimento devido à incorporação de antioxidantes e inibidores de raios ultravioleta existentes na borracha de pneu.

6.4.4 Desvantagens do Asfalto Borracha

- Acréscimo de aproximadamente 20% do custo do asfalto comum;
- Menor trabalhabilidade da mistura asfáltica em baixas temperaturas;
- Exige maior temperatura na mistura e compactação que a mistura convencional, ocasionando um aumento no consumo de energia;
- Maior emissão de gases poluentes e nocivos à saúde humana;
- Exposição dos colaboradores aos efeitos dos gases e partículas provenientes das misturas asfálticas que utilizam borrachas de pneus são mais danosas à saúde ocupacional do que as misturas que utilizam asfaltos convencionais

6.5 Asfalto Borracha pelo mundo

A primeira tentativa de inclusão de borracha a massa asfáltica se deu em meados de 1898 na Inglaterra, depois disso muitos outros países adotaram esse processo, tais como:

- *Austrália, Canada e Portugal* esse processo vem sendo utilizado desde os anos 70;
- Nos *EUA*, mais precisamente nos estados da *Florida, Califórnia e Arizona*, possuem atualmente uma grande concentração de pavimentos que utilizam o asfalto-borracha, somente no estado do Arizona 3.300 Km de estradas foram feitos com esse tipo de pavimento.
- No *Brasil*, a primeira aplicação do asfalto-borracha foi em meados de 1995 na Av. Washington Soares em *Fortaleza*.

A seguir alguns exemplos de utilização desse ligante no Brasil, figuras 11, 12, 13 e 14.



Figura 71: Rodovia Anchieta/Imigrantes
Fonte: Greca Asfalto, 2006



Figura 82: Usina de Itaipu
Fonte: Greca Asfalto, 2011



Figura 93: Rodovia Euclides da Cunha/ SP-320 - SP
Fonte: Greca Asfalto, 2013



Figura 1410: Rodovia Serra da via Anchieta (km 10 ao km 40)
Fonte: PINI, 2006

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É visível a necessidade de investimento na infraestrutura das rodovias, bem como as reformas das mesmas já existentes no Brasil, uma vez que o país depende basicamente de suas rodovias para transportar suas riquezas naturais ou escoar sua produção. Neste caso, há bastante espaço para a exploração da técnica do asfalto de borracha, que vem sendo cada dia mais aprimorada por meio de estudos realizados por empresas e universidades, e que, a longo prazo gera economia, minimiza transtornos com recuperação e proporciona ao usuário segurança e conforto, além de dar destino a milhares de pneus inservíveis, que trariam tantos problemas social e ambiental à população.

Mesmo o asfalto borracha tendo um custo mais elevado de produção se comparado ao asfalto convencional, ele é ecologicamente correto, pois colabora com a diminuição de resíduos ambientais; o investimento inicial embora seja mais alto, é perceptível o benefício dessa aplicação uma vez que sua manutenção é em longo prazo passa a ter uma maior durabilidade.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.C. *Reciclagem de Pneus Automotivos*. In: 55º CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, ABM, Anais..., p.2015- 2922, Rio de Janeiro/RJ, jul. 2000.

AMBIENTE BRASIL. *Boletim Informativo da Bolsa de Reciclagem*. São Paulo, 2001. Boletim Sistema FIEP: Ano I, N. 3, jul./ago

ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gas Natural e Biocombustíveis) (2004). Estudo sistemático da utilização de borracha e de seus resíduos para modificação de asfaltos oriundos de petróleos brasileiros
Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em 15 de outubro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: set. 1987.

ANIP. **Associação Nacional Da Indústria De Pneumáticos**. Disponível em: <www.anip.com.br >. Acesso em: 04 Janeiro 2017.

ARTESANATO DO BRAISIL

Disponível em: <<http://artesanatobrasil.net/>>. Acesso em: 09 de Janeiro de 2017.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 09 de Janeiro de 2017.

BERTOLLO, Sandra Aparecida Margarido (2000). **Pavimentação asfáltica: Uma Alternativa Para a Reutilização de Pneus Usados**. Janeiro 200. Disponível em: <<http://www.lixo.com.br/index2>>. Acesso em: 09 de Janeiro de 2017.

BENEVIDES, C. 2003. *Levantamento da Confederação Nacional do Transporte (CNT)*, Pesquisa Rodoviária CNT (03 Dez.)

BERTOLLO, S. A. M.; FERNANDES JR, J.L. *Benefícios da Incorporação de Borracha de Pneus em Pavimentos Asfálticos*. In: XXVIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL.2002, Cacun. Anais...Cancun, México. 2002. P. 01-08.

BRAZIL TRUCKS (2015). Conhecendo um pouco mais sobre os pneus industriais
Disponível em: <<http://blog.braziltrucks.com.br>>. Acesso em: 11 de Outubro de 2017

CNT (2001). *Pesquisa Rodoviária CNT. Confederação Nacional dos Transportes*. Disponível em:< <http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 09 de Janeiro de 2017.

D'ALMEIDA, M.L.O & SENA, L.B.R. *Reciclagem de Outras Matérias. Manual de Gerenciamento Integrado*, IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas / CEMPRE, Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2ª ed. São Paulo/SP, Publicação IPT 2.622- ISBN 85-09-00113-8. 2000.

EDEL, G. *Pneus Inservíveis e asfalto: União que beneficia estradas e meio ambiente*, 2º Simpósio sobre Obras Rodoviárias, São Paulo, 23 a 25 setembro de 2002, p.10.

GIULIO, G. D. (2007) *Vantagens Ambientais e Econômicas no Uso de Borracha em Asfalto*, Inovação Uniemp, Campinas, mai/jun. 2007, v.3 n.3.

GRECA ASFALTOS. Disponível em: <<http://www.grecaasfaltos.com.br>>. Acesso em: 09 de Janeiro de 2017.

HEITZMAN, M. (1992). *Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber Modifier*. *Transportation Research Record 1339*, p. 1-8.

HIRSCH, F; ROZEK, T. M; SPECHT, L. P. Importância da temperatura da água na pesagem hidrostática de concretos asfálticos e seu impacto nos parâmetros de dosagem volumétrica. *XVIII Salão de Iniciação Científica, XV Feira de Iniciação Científica* – UFRGS, 2006, Porto Alegre.

IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: <www.ibama.gov.br>. Acesso em: 09 de Janeiro de 2017.

JARDIM, N.S. Lixo Municipal. Manual de Gerenciamento Integrado, 1ª ed. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT/Compromisso Empresarial para Reciclagem, CEMPRE, Publicação IPT 2.163 – ISBN 85-09-00106-5. 1995.

KAMIMURA, Eliane. Potencial dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil. 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis.

LEITE, Paulo Roberto. Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LORA, Electo Silva. Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte. Brasília (DF): ANEEL, 2000.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 09 de Janeiro de 2017.

PAIVA, U. (1998). Rio Tietê transforma-se em depósito de pneus. O Estado de São Paulo, São Paulo, 23 abr. Cidades, p.12.

PAIVA, U. (1999). Impasse cria risco de grandes enchentes em SP. O Estado de São Paulo, São Paulo, 16 jan. Cidades, p.1.

PINI – Informação e atualização profissional na construção

Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br>> Acesso em: 09 de Janeiro de 2017.

PINTO, S. *Materiais Betuminosos* (Conceituação, especificações e utilização). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 1998.

PIRELLI BRASIL. Informações Técnicas.

Disponível em: <<http://www.pirelli.com.br>> Acesso em: 11 de Janeiro de 2017.

Pneus Moretto

Disponível em: <www.pneusmoretto.com.br> Acesso em: 11 de Janeiro de 2017

RECICLANIP. Site Oficial.

Disponível em: <<http://www.reciclanip.com.br>> Acesso em: 11 de Janeiro de 2017.

RECICLOTECA. Centro de Informações sobre reciclagem e meio ambiente. <<http://www.recicloteca.org.br>> Acesso em: 11 de Janeiro de 2017.

RAMOS FILHO, Leonardo Sohn Nogueira. A logística Reversa de Pneus Inservíveis: O problema da Localização dos Pontos de Coleta. Dissertação de Mestrado. 2005, 99 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis.

RESOLUÇÃO DO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA Nº 258, de 26 de agosto de 1999, Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 09 de Janeiro de 2017.

RT SISTEMA BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. Ministério da Ciência e Tecnologia.

Disponível em: <<http://www.ibict.br>>. Acesso em: 09 de Janeiro de 2017.

SANTANA, H. *Manual do Asfalto*, 1989, São Luís. Anais. p. 22-5.

SATO, S. (1999) Fabricantes e importadores de pneus terão de destruir produtos usados. O Estado de São Paulo, São Paulo, 27 agos., p.18.

ZANZOTTO, L; KENNEPOHL, G.J (1996). *Development of Rubber and Asphalt Binders by Depolymerization na Devulcanization of Sdrap Tires in Asphalt*. Transportation Research Record 530. TRB.