

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Cristiano Wagner Sá Batista
Fernando José de Paula Almeida

RECICLAGEM NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA.

RECIFE

2016

Cristiano Wagner Sá Batista
Fernando José de Paula Almeida

RECICLAGEM NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA.

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à escola de Engenharia
da Universidade Federal de
Pernambuco para obtenção do título
de Engenheiro Civil.

Área de estudos:
ESTRADAS DE RODAGEM

Professor orientador:
Maurício Renato Pina Moreira.

Recife

2016

Catalogação na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

B333r Batista, Cristiano Wagner Sá.

Reciclagem na pavimentação asfáltica / Cristiano Wagner Sá Batista
e Fernando José de Paula Almeida.. - Recife: O Autor, 2016.
51 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Renato Pina Moreira.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Civil, 2016.

Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Reciclagem. 3. Pavimentação. 4. Asfalto. 5.
Borracha. I. Almeida, Fernando José de Paula. II. Moreira, Mauricio
Renato Pina (Orientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2016-65

Cristiano Wagner Sá Batista
Fernando José de Paula Almeida.

RECICLAGEM NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO PARA
OBTENÇÃO DA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL PELA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

Data da Defesa: **22/02/2016**

Examinado por:

Prof. Maurício Renato Pina Moreira
(Orientador)

Prof. Fernando Jordão de Vasconcelos
(Membro)

Mestranda Natália Alexandre de Holanda Cavalcanti
(Membro)

Recife
2016

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, por nos dar forças e nos acompanhar em toda a nossa jornada.

Aos nossos amados pais, Manoel Batista da Silva e Maria da Conceição de Sá Batista, Maria Marta de Paula Almeida e Cypriano Alcides Santos Almeida por estarem aos nossos lados durante todo esse tempo, e nos ajudando a tornar esse sonho possível.

As nossas irmãos e irmãs, por se fazerem tão presentes, nos incentivando a buscar mais para nossas vidas.

As nossas companheiras, por todo amor, companheirismo, amizade e incentivo.

Ao nosso Professor, Maurício Renato Pina Moreira por sua disposição, dedicação, empenho e Orientação.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil da UFPE, por todos os ensinamentos e experiências passadas a nós, contribuindo assim para nossa formação e crescimento profissional.

A todos os nossos amigos, sempre presentes em todos os momentos, fossem esses fáceis ou difíceis, tranquilos ou tensos, sempre nos apoiando e incentivando para que fossemos adiante.

E por fim, é com uma imensa alegria que compartilhamos com todos vocês a conclusão de mais esse ciclo em nossas vidas.

RESUMO

Uma das principais preocupações nos dias atuais são as reutilizações de materiais na engenharia civil como o reaproveitamento do asfalto fresado e/ou a inclusão da borracha dos pneus em asfaltos, afim de minimizar os impactos ambientais como, a extração de recursos naturais e o aumento dos depósitos de pneus de maneira irregular no meio ambiente, pois além de um elevado tempo para se degradar. Há também a questão de saúde pública, uma vez que a incorreta destinação destes pneus podem promover a proliferação de vetores de doenças, como por exemplo, o acúmulo de água para a reprodução do mosquito *Aedes Aegypti* (mosquito transmissor da dengue e atualmente duas novas doenças, Zika e Chikungunya).

Sendo assim o presente estudo tem como principal objetivo explicar a viabilidade em termos sustentáveis a função da reciclagem do asfalto, suas principais propriedades, os cuidados a ser tomado com a preparação dos elementos que irá recebê-lo, os métodos de execução e todas as etapas até a sua aplicação definitiva.

Um estudo de caso será apresentado um comparativo entre as atividades citadas, onde será analisado a melhor técnica de forma sustentável.

Palavras-chave: Reciclagem. Pavimentação. Asfalto. Borracha.

ABSTRACT

The major concern these days are the reuse of civil engineering materials, such as crushed asphalt reuse and / or the inclusion of rubber tires on asphalt in order to minimize environmental impacts, such as natural resource extraction, the increase of tire illegal deposits on the environment, as well as a high degradation time. There is also the issue of public health, since the incorrect allocation of these tires can promote the proliferation of vectors of diseases such as accumulation of water for breeding of *Aedes aegypti* (the mosquito that transmits dengue and currently two new diseases, Zika and Chikungunya).

Thus, this study aims to explain the variability in sustainable terms of the asphalt recycling function, its main properties, the care to be taken with the preparation of the elements that will receive it, the methods of application and each step until its final application.

A study of case will be presented showing a comparison between the above-mentioned activities, in which the best technique in a sustainable way will be analyzed.

Keywords: Recycling. Paving. Asphalt. Rubber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Recicladora com adição de cimento	17
Figura 2- Reaproveitamento do asfalto	18
Figura 3- Reciclagem do asfalto borracha.....	20
Figura 4- Trituração da camada betuminosa pelo cilindro.....	23
Figura 5- Reciclagem com adição de espuma asfáltica	23
Figura 6- Espargidor de cimento	24
Figura 7- Rolo compactador tipo pé de carneiro.....	27
Figura 8- Motoniveladora regularizando o material reciclado	28
Figura 9- Compactação com Rolo Pneumático	28
Figura 10- Jateamento de ar para remoção de partículas.....	29
Figura 11- Usina móvel-Reciclagem em planta.....	30
Figura 12- Aplicação da vibroacabadora.....	31
Figura 13- Perfil do pavimento executado com BSM	32
Figura 14- Ensaios de carga feitos em laboratório	32
Figura 15- Rolo Tandem dando-selamento do BSM	33
Figura 16- Produção do asfalto borracha	35
Figura 17- Aplicação do asfalto borracha.....	36
Figura 18- Compactação do asfalto borracha	36
Figura 19- Penetrômetro	37
Figura 20- Viscosímetro	38
Figura 21- Ductilímetro	38
Figura 22- Equipamento-Determinação do ponto de fulgor.....	39
Figura 23- Equipamento-Determinação do ponto amolecimento	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição granulométrica.....	26
Tabela 2- Caracterização do asfalto borracha.....	40
Tabela 3- Custo do pavimento da obra em CBUQ convencional	42
Tabela 4- Custo do pavimento da obra com asfalto barrocha	43
Tabela 5- Custo do pavimento – uso da recicladora e asfalto convencional ...	43
Tabela 6- Custo do pavimento – uso da recicladora e asfalto borracha.....	44
Tabela 7- Quadro resumo – comparativo	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. JUSTIFICATIVA	12
3. OBJETIVOS	12
3.1. Objetivos específicos	12
4. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	13
4.1. Pavimento	13
4.2. Asfalto - Petróleo.....	13
4.3. Borracha natural e o pneu.....	14
4.4. Material fresado	15
5. PROCESSOS DE RECICLAGEM	15
5.1. Asfalto reciclado.....	16
5.1.1 Reciclagem a frio in situ	16
5.1.2 Reciclagem a frio em planta (Usina Móvel)	18
5.2. Asfalto Borracha.....	19
6. PROCESSO EXECUTIVO	20
6.1. Asfalto Reciclado a frio – in situ	21
6.1.1 Condições iniciais	21
6.1.2 Reciclagem	22
6.1.3 Compactação.....	26
6.1.4 Acabamento.....	27
6.1.5 Cura	28
6.1.5 Abertura do tráfego	29

6.2. Reciclagem em planta.....	30
6.2.1 Condições iniciais	30
6.2.2 Compactação.....	33
6.2.3 Acabamento.....	33
6.2.4 Pavimentação e Abertura do tráfego	34
6.3. Asfalto Borracha.....	34
6.3.1 Produção	34
6.3.2 Aplicação	35
6.3.3 Compactação.....	36
6.3.4 Ensaio ligantes asfálticos.....	37
7. ESTUDO DE CASO	40
8. CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS.....	47
ANEXOS	48

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população, do tráfego, do comércio, faz-se necessário a expansão das vias, dos transportes e o uso desses materiais para atender sua demanda, sendo assim há uma crescente das atividades que causam impacto ambiental, gerando um desconforto aos órgãos responsáveis pela “boa vida” do meio ambiente.

A urgência na melhoria da qualidade das rodovias brasileiras e a importância da ampliação da infraestrutura de transportes, houve a demanda de investimentos na área de tecnologia de novas técnicas de pavimentação, com responsabilidade em relação ao meio ambiente, visando acompanhar a evolução da sociedade.

Baseado nisso, verificou-se a possibilidade de melhorar o revestimento asfáltico com a adição de borracha e reduzir a extração de recursos naturais com a fresagem do asfalto velho.

No ano de 1960, Estados Unidos, Charles Mc Donald, teve a idéia de adicionar borracha ao asfalto pra proporcionar maior flexibilidade ao asfalto. (3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005)

Quando comparado ao pavimento convencional, o asfalto-borracha apresenta maior durabilidade, auxilia na drenagem em dias de chuva e na redução de ruídos causado pelo fluxo de veículos, pode-se dizer então que ele proporciona um maior conforto, economia e segurança aos usuários.

Estudos demonstraram que a reciclagem de pavimento de asfalto é particularmente eficaz em termos econômicos quando realizada antes da deterioração final do pavimento. Os principais benefícios da reciclagem de revestimentos deteriorados são a reutilização dos agregados, do ligante asfáltico, a conservação de energia e do reuso de materiais antes descartados, no caso da borracha de pneus inutilizáveis, e principalmente a preservação ambiental, pois a extração de novas matérias primas será mínima, comparando-se a execução com as técnicas convencionais, em muitas regiões, esses

materiais são escassos, tornando-os mais caros para a realização do processo de reconstrução do pavimento.

2. JUSTIFICATIVA

Em um país como o Brasil, com alto índice de transporte de carga e utilização de uma gama de seus passageiros por rodovias, é de extrema importância a melhoria do sistema viário não só para aqueles que dele se utiliza, mas para todos do setor econômico e da sociedade em geral.

Paralelo a isto vem se tornando cada vez mais eminente a idéia de sustentabilidade, vários países já tem em mente essa política de reaproveitar materiais que não teriam mais serventia, ou seja, seriam meramente “lixos” que iriam impactar o meio ambiente.

Essas atividades além de ser economicamente viável, elas evitam a poluição do meio ambiente, a proliferação de mosquitos, inundações das ruas, minimizam o uso de recursos naturais, etc.

3. OBJETIVOS

Descrever todo o procedimento de execução do serviço referente a todas as etapas de produção dos asfaltos, assim como fazer um estudo de caso em que foi apresentado valores comparativos em meio a durabilidade e economia, e com isso viabilizar a necessidade de se aplicar para se evitar problemas futuros.

3.1. Objetivos específicos

- Descrever as funções de cada etapa de preparação.
- Explicar em detalhes o procedimento de execução do serviço de reciclagem asfáltica.
- Identificar através de estudo de caso soluções dos problemas para melhorar a qualidade do material que será usado.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

4.1. Pavimento

O pavimento deve ser uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem, por meio de camadas de materiais variados com diferentes características, resistência e deformabilidade, com principal função, conseguidos sob o ponto de vista da engenharia, garantir segurança e conforto aos usuários, com a máxima qualidade e o mínimo custo. Tal estrutura assim constituída apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações.

Segundo a NBR-7207/82 tem-se a seguinte definição: "O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a: a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento."

4.2. Asfalto - Petróleo

Definimos asfalto como um produto orgânico, composto por hidrocarbonetos, oriundo da derivação ou destilação fracionada do petróleo. É encontrado livre na natureza, em diversas formas seja no estado líquido ou sólido.

No Brasil, o principal processo para refino é da destilação a vácuo. Trata-se de uma atividade onde os hidrocarbonetos são separados e as impurezas são totalmente removidas. A obtenção do C.A.P. (Cimento Asfáltico de Petróleo) vem dos resíduos desse processo e também, em menor proporção, o de desfaltação por solvente.

4.3. Borracha natural e o pneu:

A borracha natural é considerada, ao lado do aço e do petróleo, um dos alicerces que sustentam o progresso da humanidade, sendo uma importante matéria-prima, essencial para a manufatura de mais de 40.000 produtos para as mais diversas aplicações, como na indústria do transporte, de produtos hospitalares e bélicos. Ela é obtida a partir da coagulação do látex (secreção esbranquiçada) de determinados espécies de vegetais, especialmente os da família das *Euphorbiaceae*; no entanto, quase toda a produção mundial provém da *Hevea brasiliensis* (Seringueira).

Segundo Oda e Junior (2001), Charles Goodyear, em 1839, descobre acidentalmente ao deixar cair enxofre em uma amostra de borracha que estava sendo aquecida, o processo para obtenção da borracha vulcanizada. Assim, temos o material fabricado utilizando o processo de vulcanização, o qual vem sendo utilizado até os dias atuais.

No Brasil o uso do material recebeu um grande impulso após a entrada em vigor da Resolução 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 26 de agosto de 1999. Essa resolução impôs às fábricas de pneus e às importadoras metas de retirada de pneus do meio ambiente. A meta inicial (aplicada em 2002) foi de um pneu inservível para cada quatro pneus fabricados ou importados pelo país. A meta atual, vigente desde 2005, é que as empresas importadoras ou fabricantes de pneus têm de dar fim a quatro pneus inservíveis para cada três novos postos no mercado.

4.4. Material fresado

Esse material consiste da fresa do asfalto velho que seria descartado na natureza pois não haveria mais utilidade, sendo que novas técnicas de reuso desse mesmo material estão sendo estudadas para uma maior viabilidade econômica e duradoura.

A realização da reciclagem, pode ser executada utilizando apenas os materiais existentes no pavimento deteriorado, fresando-o e adicionando agentes rejuvenescedores e/ou ligantes asfálticos novos, de espuma de asfalto ou de emulsões asfálticas e até de cimento Portland, ou ainda, se necessário correção granulométrica, pode ser feita a adição de agregados. A mistura reciclada pode ser executada em usina, mas preferencialmente é feita no próprio local da obra por recicladoras, *in situ*.

5. PROCESSOS DE RECICLAGEM

Há várias maneiras de se reciclar o asfalto, alguns reaproveitando o asfalto antigo, outras são com adição de elementos reciclados que chegam a modificar a sua estrutura. Tais processos consiste em determinadas formas de minimizar, melhorar ou restaurar problemas na pavimentação como fissuras, rachaduras e desgastes. Métodos como reaproveitamento do asfalto antigo por meio de fresagem ainda é pouco usado no Brasil.

Para composição da capa de revestimento do pavimento, com simples aproveitamento do desbastamento da capa de rolamento, a mistura é feita com a troca parcial do agregado convencional, em uma pequena porcentagem por material fresado, cerca de 20,0% a 30,0%, ainda que pequena a substituição, consiste em uma atividade em que reduz a quantidade de bota-fora e economiza no uso de recurso naturais. Este processo é realizado em usina convencional de asfalto.

Na reciclagem *in situ*, usa-se a Recicladora de asfalto, esta tritura o pavimento deteriorado, adicionando espuma de asfalto ou ligante betuminoso para formação de uma nova camada de base, quando necessário pode ser aplicado cimento Portland para reforço.

Na reciclagem em planta, uma usina móvel é utilizada para processar o material fresado oriundo da via com a adição de agentes estabilizantes, fornecendo um novo asfalto.

Outra atividade é a adição de borracha moída de pneus inservíveis, esse último já bem usado e testado, sendo que no Brasil ainda é pouco utilizado, são recursos que mesmo tornando o asfalto mais caro, eles dão uma maior durabilidade, resistência entre outros benefícios tanto econômico como ambiental.

5.1. Asfalto reciclado

Consiste no reaproveitamento (base, base + capa, capa) total do material que foi danificado, o mesmo passará por um processo de reabilitação, tal iniciativa possibilita em uma não utilização de novos agregados (economizar recursos naturais e evitar o bota fora), ou seja, otimizado o material antigo, onde faz-se a adição de agentes estabilizadores: cal, cimento e espuma asfáltica.

Há três métodos de reciclar o pavimento: a frio, com duas subdivisões, *in situ* (No local) e em usina especial de reciclagem a frio; E a reciclagem a quente.

5.1.1 Reciclagem a frio *in situ*

Esse método é o mais difundido no Brasil, e também o mais recomendado, pois o mesmo reaproveita a totalidade do pavimento existente para reconstrução da via. Esta técnica apresenta melhores quesitos técnicos em relação a emulsão asfáltica.

Necessita de um equipamento específico, a recicladora de asfalto. Ela possui no seu interior um cilindro especial que executa um processo de corte e reprocessamento do material existente da pista, base + camada de revestimento a medida em que aplica os agentes estabilizadores e homogeneiza-os. Estes materiais betuminosos garantem uma mistura ideal com agregado frio e úmido, transformando-os em uma base ligada não continuamente.

O cilindro é composto por dentes que são produzidos a base de aço e possui tungstênio na sua ponta. O avanço do equipamento dita o ritmo da trituração do conjunto (base + capa) com injeção dos aditivos criando a base estabilizada com betume, tudo isto é feito através do sistema computadorizado existente na máquina, a fim de obter os parâmetros previamente desejados.

No Brasil, está a técnica utiliza um adição de 1,00% a 3,00% de cimento em relação ao volume trabalhado, variando do tipo de material existente e da capacidade de carga que o mesmo suporta.



Figura 1 – Recicladora com adição de cimento

Fonte – Asfalto de qualidade

5.1.2 Reciclagem a frio em planta (Usina Móvel)

Neste processo, recicla-se uma camada entre 10,0 cm a 15,0 cm de material asfáltico do pavimento existente. Essa reciclagem pode ser realizada por uma fresadora de asfalto, com o transporte da “fresa” até uma usina misturadora a frio *in situ*.

Esta receberá o material transportado dos caminhões, fazendo dosagem, a adição da espuma de asfalto, água e cimento Portland à raspa de asfalto, produzindo um novo asfalto.

A reciclagem em usina possibilita que haja uma pré-seleção da parte do pavimento a ser reaproveitado, tratando-os de antemão, elevando o nível de confiabilidade do processo.

As principais vantagens resultantes do método em usina são: Controle dos insumos e a Qualidade da mistura.

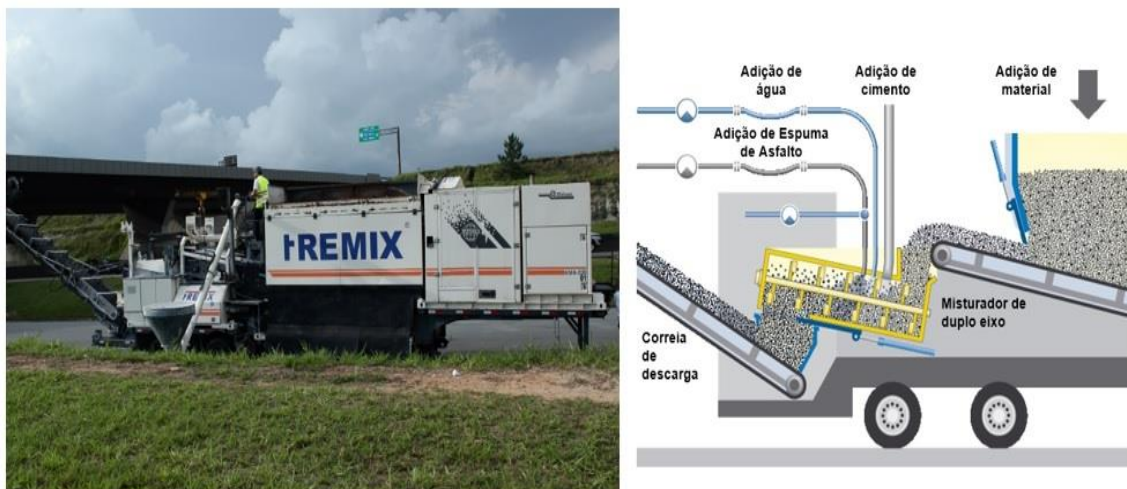


Figura 2 – Reaproveitamento do asfalto fresado na planta

Fonte – Asfalto de qualidade

5.2. Asfalto Borracha

Nesse caso o asfalto não será reutilizado, a reciclagem parte da borracha que será adicionada a ele. É adicionado ao asfalto um pó de borracha que foi extraído de pneus inservíveis, há todo um processo para essa extração pois na composição dos pneus tem-se aço que são também reaproveitados mas não na produção do asfalto. Também conhecido por Asfalto-ecológico esse elemento já é usado nos Estados Unidos desde 1960, mas no Brasil foi visto por volta do ano 2000.

Essa composição altera a estrutura do ligante asfáltico, o material tem suas propriedades modificadas como por exemplo, o asfalto torna-se mais durável e flexível, quanto maior o teor de borracha maior a eficiência do asfalto, 5 a 20 % a depender do método usado.

Estipula-se uma durabilidade entre 30 e 40% a mais que o asfalto convencional dependendo do clima do local, ele também reduz a quantidade de spray lançado pelos veículos e possui maior aderência minimizando a derrapagem. Como há um trabalho de melhoramento do asfalto há também um aumento no seu custo que pode chegar a 30% em relação ao convencional.

O uso dos pneus na produção do asfalto reduz de forma significativa o impacto ambiental, a cada 1 km são usados de 600 a 1000 pneus a depender do fabricante, assim são menos gases expelidos na incineração, menos acúmulos de águas que se tornam berçários para proliferação de insetos e menos lixo nas ruas que comprometem a drenagem urbana.

Maneiras de se aplicar borracha no asfalto: A primeira é o processo via seco, Faz-se a trituração da borracha e a adiciona como parte do agregado que compõe a mistura asfáltica. Possui restrições, pois os resultados não são tão favoráveis tornando essa atividade de baixa utilização, no entanto na segunda opção o processo via úmida que consiste da adição do pó de borracha no ligante asfáltico, dá novas características a este ligante.

A incorporação da borracha moída ocorre em reatores com elevadas temperaturas (de 180°C a 190°C), com o ligante se mantendo estável. Ao chegar

na obra, é necessário utilizar agitadores dentro do tanque de armazenamento para evitar a separação física entre ligante e borracha triturada.

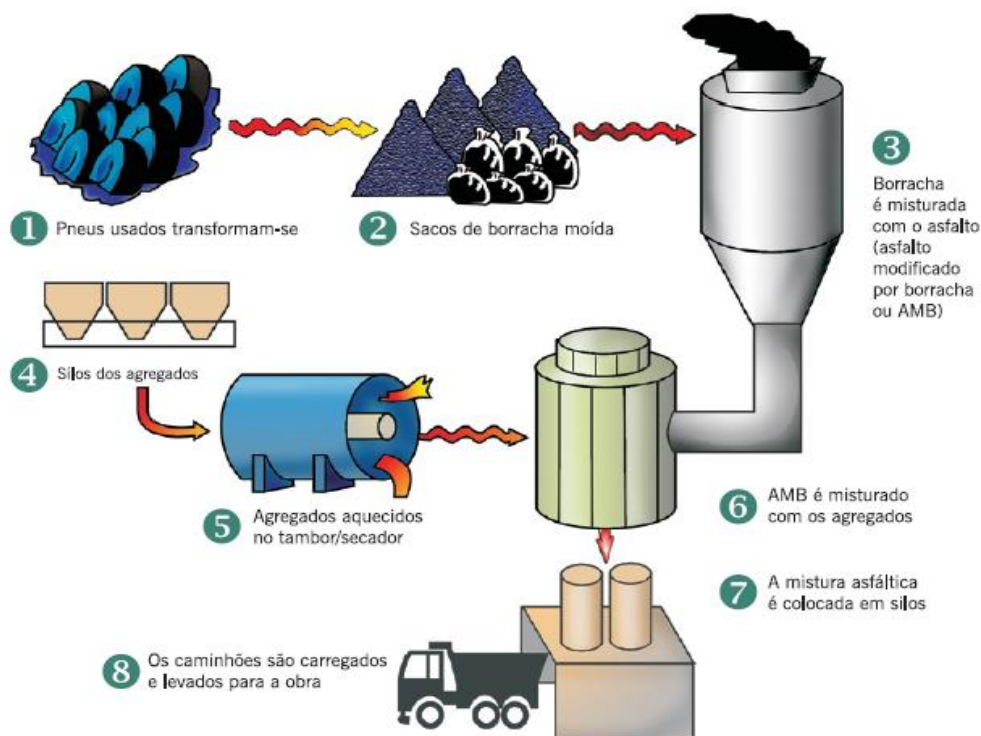


Figura 3 – Reciclagem do asfalto – borracha

Fonte – Pavimentação Asfáltica

Em alguns casos pode-se utilizar as duas técnicas para o mesmo pavimento, a primeira camada com o asfalto reciclado, e a segunda camada (faixa de rolamento) com o asfalto borracha, sendo assim dois métodos sustentáveis para tal atividade.

6. PROCESSO EXECUTIVO

Neste tópico será apresentado os materiais necessários para a execução dos pavimentos reciclados, assim como o método de execução e os cuidados a serem tomados durante o processo executivo.

6.1. Asfalto Reciclado a frio – *in situ*

6.1.1 Condições iniciais

Para iniciar com a reciclagem, o profissional deve primeiramente ter em suas mãos os documentos e materiais necessários para tomar como referência o serviço e o maquinário adequado, estes itens são:

- Agentes estabilizadores / Rejuvenescedores
- Cimento Portland
- Recicladora de pavimento
- Usina misturadora de asfalto a frio
- Rolos compactadores
- Motoniveladora
- Caminhão pipa
- Espargido de cimento ou emulsão asfáltica
- Mesa vibroacabadora
- Memoriais descritivos
- Especificações técnicas

Primeiramente faz-se o corte e a trituração do pavimento deteriorado, em seguida é feito o reprocessamento, com a mistura de todo este material e a adição de emulsão asfáltica ou espuma de asfalto, tornando-o homogêneo. Estes estabilizantes garantem uma mistura ideal com agregado frio e úmido. Precisa de apenas uma passada da recicladora, tornando assim o serviço altamente produtivo.

O material produzido é do tipo granular ligado não continuamente, que constituirá uma camada intermediária do novo pavimento, o que elimina a propagação de trincas. Isto faz com que haja uma proteção também para a capa asfáltica de rolamento em relação a problemas oriundos da base.

Algumas das normas que devem ser utilizadas como base e respeitadas na execução dos serviços são:

- **NR-18** “Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção”, que é a norma regulamentadora do ministério do trabalho.
- **Resolução CONAMA nº. 416/2009-Relatório de Pneumáticos:** inserido no Cadastro Técnico Federal/CTF, a ser preenchido pelos fabricantes e importadores de pneus novos, bem como pelas empresas destinadoras de pneumáticos inservíveis.
- **LEI Nº 14.015, DE 28 DE JUNHO DE 2005** para a execução dos serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos **resíduos de misturas asfálticas extraídas do pavimento urbano**.
- **Artigo nº 2 da RESOLUÇÃO 258/99 DO CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente** Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis.
- **Norma DNIT 031/2006 – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço**
- **NORMA DNIT 167/2013-ES – Pavimentação – Reciclagem profunda de pavimentos “in situ” com adição de cimento Portland – Especificação de Serviço**
- **NORMA DNIT 166/2013-ES - Pavimentação – Reciclagem de pavimento a frio “in situ” com adição de espuma de asfalto – Especificação de serviço**

6.1.2 Reciclagem

Na operação de fresagem, devem ser verificados previamente as condições de funcionamento dos equipamentos envolvidos nesta etapa, pois eles quem vão ditar o ritmo da obra.

A trituração do revestimento existente, com incorporação do cimento, espuma de asfalto, agregados e água ocorrem simultaneamente.

Quando fizer o uso da recicladora, esta mistura é processada no interior da recicladora e em seguida espalhada e compactada.

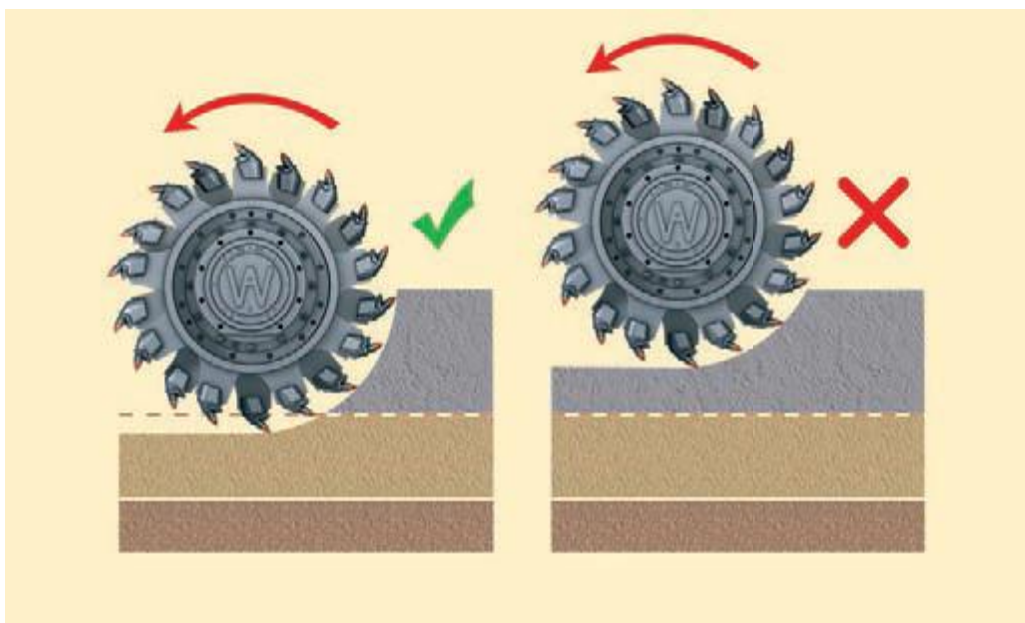


Figura 4 – Trituração de toda camada betuminosa pelo cilindro de forma ascendente.

Fonte: Tecnologia de reciclagem a frio – Wirtgen

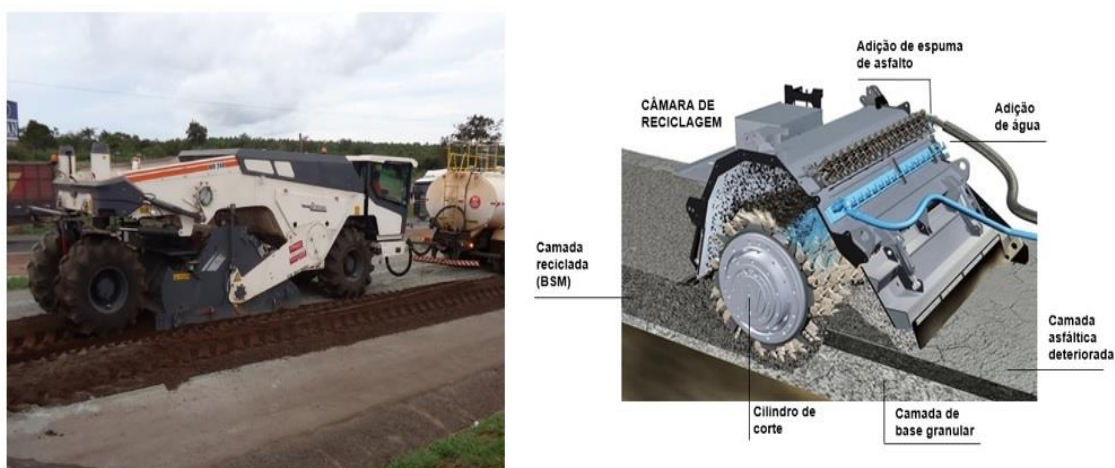


Figura 5 – Reciclagem da camada betuminosa + base com adição de espuma de asfalto.

Fonte: Tecnologia de reciclagem a frio - Wirtgen

A adição do agregado adicional e do cimento ou outro aglomerante hidráulico deve ser feita na seguinte sequência:

a) nos casos em que houver necessidade de incorporação de agregados adicionais estes devem ser espalhados sobre a pista a ser reciclada, com emprego do distribuidor de agregado, na quantidade necessária, de forma a garantir a taxa prevista no projeto (DER/SP-ET-DE-P00/033).

b) espalhamento do aglomerante hidráulico sobre o pavimento existente, no teor indicado no projeto da mistura reciclada, sobre a parte superior da camada de rolamento existente antes da reciclagem com emprego de distribuidor, de forma a garantir a taxa prevista no projeto (DER/SP-ET-DE-P00/033).

c) o cilindro gira para cima e, à medida que a máquina avança, o material do pavimento in situ é pulverizado pelas ferramentas e suspenso até a câmara de mistura que envolve cilindro (DER/PR-ES-P 33/05).



Figura 6 – Espargido de cimento para reciclagem

Fonte: Tecnologia de reciclagem a frio – Wirtgen

A reciclagem deve ser executada na seção e espessura de corte indicada em projeto, cortando todo material betuminoso, incorporando-se o aglomerante

hidráulico e o agregado adicional, se requerido, com a concomitante adição de água e espuma de asfalto, nas quantidades fixadas, de acordo com o projeto de dosagem elaborado para o segmento homogêneo de materiais (DER/PR-ES-P 33/05).

Imediatamente após atuação da recicladora, atua o rolo compactador, seguido da motoniveladora, de modo a compactar e conformar a camada reciclada aos perfis transversais e longitudinais de projeto, em sequência teremos o processo de compactação final e acabamento, que utiliza rolos compactadores vibratórios e de pneu junto com um caminhão-pipa (DER/PR-ES-P 33/05).

Devem ser tomadas todas as precauções a fim de serem evitados os processos que levem a segregação da mistura reciclada (DER/PR-ES-P 33/05).

Segundo a norma do DNIT166/2013 são necessários tomar os seguintes procedimentos para garantir a qualidade da reciclagem:

a) Deve ser feito um poço de sondagem a cada 500 metros de extensão de pista, para verificação de:

- espessura das camadas existentes;
- granulometria e teor de umidade do conjunto revestimento + base;
- teor de betume do revestimento.

b) A composição final da mistura reciclada deve satisfazer aos requisitos do projeto e ao estabelecido a seguir:

- apresentar o valor mínimo de 0,25 MPa para a resistência à tração indireta seca e de 0,15 MPa para a resistência à tração indireta saturada, a 25 °C;
- possuir composição granulométrica satisfazendo à faixa da Tabela 1.

Tabela 1- Composição granulométrica

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em massa (%)	Tolerância da faixa de projeto (%)
ABNT	Abertura (mm)		
2"	50,8	100	- 7
1 ½"	38,1	88 - 100	± 7
1"	25,4	75 - 100	± 7
¾"	19,1	66 - 99	± 7
½"	12,7	55 - 87	± 7
3/8"	9,5	49 - 74	± 7
¼"	6,3	40 - 62	± 7
Nº 4	4,75	35 - 56	± 5
Nº 8	2,36	25 - 42	± 5
Nº 16	1,18	18 - 33	± 5
Nº 30	0,600	14 - 28	± 5
Nº 40	0,425	12 - 26	± 5
Nº 50	0,300	10 - 24	± 5
Nº 100	0,150	7 - 17	± 2
Nº 200	0,075	5 - 20	± 2

Fonte: DNIT166/2003

6.1.3 Compactação

A compactação é uma etapa crucial neste procedimento. Caso não seja atingida a densidade máxima da camada estabilizada com asfalto em toda a sua espessura, o projeto estará comprometido.

Após conformação da mistura reciclada, deve-se iniciar imediatamente as operações de compactação. A compactação deve começar das bordas para o eixo, nos segmentos em tangente, e da borda interna para a borda externa, isto é, do lado mais baixo para o mais alto, nos segmentos em curva. Os rolos compactadores devem cobrir uniformemente, em cada passada, pelo menos a metade da largura coberta na passagem anterior (DER/PR-ES-P 33/05).

A compactação deve ser conduzida de modo que a espessura de cada camada compactada final seja de no máximo 20 cm, e nunca inferior a 12 cm (DER/PR-ES-P 33/05).

O teor de umidade da mistura, quando da compactação, deve estar compreendido no intervalo de -2 % a +1 % em relação à umidade ótima obtida no ensaio de compactação na energia modificada ou na especificada no projeto, conforme NBR 7182. A compactação deve evoluir até que se obtenha o grau de compactação mínimo de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima (DER/PR-ES-P 33/05).

Há presença de rolos compactadores mais pesados, de 20 toneladas, é imprescindível, para que haja efetividade na compactação, uma vez que a Recicladora é uma máquina de alto desempenho, não permitindo assim uma possível queda de produção diária.



Figura 7 – Rolo compactador tipo “pé de carneiro”

Fonte: - Site do DEINFRA – Governo do estado de Santa Catarina

6.1.4 Acabamento

O acabamento é executado mediante o emprego de motoniveladora, atuando exclusivamente em operação de regularização do nível do material. Não é permitida a correção de depressões pela adição de material. A superfície da base deve ser compactada até que se apresente lisa e isenta de partes soltas ou sulcadas (DER/PR-ES-P 33/05). Após este processo usa-se o rolo vibratório liso tandem e rolo pneumático para a compactação final da camada com o objetivo de melhorar o selamento superficial.



Figura 8 – Motoniveladora regularizando o nível do material reciclado.

Fonte: - CBReC BRASVIAS - Avaliação Do Desempenho Da Reciclagem Do Pavimento Da Rodovia SC 303



Figura 9 – Rolo pneumático compactando a reciclagem asfáltica.

Fonte: - Asfalto de Qualidade.

No final desta operação é necessário a limpeza da superfície compactada, com a aplicação de um jato de ar comprimido para limpeza e remoção de

pequenos agregados sobre a superfície da camada aplicada, que podem prejudicar a pavimentação a seguir.



Figura 10 –Jateamento de ar para remoção de partículas.

Fonte: - Asfalto de Qualidade.

6.1.5 Cura

A superfície da base reciclada com espuma de asfalto deve ser protegida contra a evaporação da água por meio de imprimação. A película protetora deve ser aplicada em quantidade suficiente para construir uma membrana contínua. Este procedimento deve ser executado imediatamente após o término da compactação (DER/PR-ES-P 33/05).

No caso de emprego de material betuminoso, este deve ser usado de acordo com a especificação de imprimação betuminosa impermeabilizante ou ligante do DER/SP, não devendo ser aberto ao tráfego até que a imprimação esteja completamente curada (DER/PR-ES-P 33/05).

6.1.6 Abertura ao Tráfego

A base reciclada com espuma de asfalto deve ser submetida à ação do tráfego, somente após a cura da imprimação, por período de 3 ao no máximo 7 dias, de forma que eventuais deficiências que a base venha apresentar sejam sanadas antes da aplicação da camada final (DER/PR-ES-P 33/05).

6.2. Reciclagem em planta

6.2.1 Condições iniciais

Neste processo de reciclagem, consiste na composição do BSM (Bitumen Stabilized Material), que significa camada estabilizada com betume.

Ocorre a fresagem do revestimento existente, então este é transportado por caçambas até a recicladora em planta, onde está deverá processar a fresa, com a incorporação do cimento, espuma de asfalto, agregados e água ocorrem simultaneamente produzindo o BSM.

A grande qualidade do BSM é a significativa melhoria das características físicas dos materiais granulares já existentes na pista, adicionando espuma de asfalto e cimento em pequenas quantidades.



Figura 11– Usina Móvel - Reciclagem em Planta.

Fonte: - Asfalto de Qualidade.

Após a fabricação do BSM, este é levado e aplicado na via com auxílio da vibroacabadora de asfalto, esta deverá distribuir o produto produzido nas proporções especificadas no projeto, configurando assim a camada contemplada com este melhoramento.



Figura 12 – Aplicação da vibroacabadora.

Fonte: - Asfalto de Qualidade

Eliminar a propagação de trincas típicas é uma vantagem deste tipo de componente em relação a outros tipos de camada de base, fazendo com que haja uma proteção também para a capa asfáltica de rolamento em relação a problemas oriundos da base. Tudo isto resulta numa maior vida útil do pavimento.



Figura 13 – Perfil do pavimento executado com camada BSM.

Fonte: - Asfalto de Qualidade

Já houve relatos de experimentos em laboratórios em que o material produzido obteve resultados com um acréscimo no valor de coesão na razão de 6 vezes, consequentemente melhorando também sua resistência ao cisalhamento.



Figura 14 – Ensaio de carga feitos em laboratório.

Fonte: - Asfalto de Qualidade

6.2.2 Compactação

Após espalhamento do BSM, entram em ação os equipamentos de compactação utilizados na execução da nova capa de rolamento, com 3 centímetros de espessura, feita em asfalto convencional, do tipo SMA ou asfalto com adição de borracha moída.

A compactação deve atender os requisitos da NBR 7182. O uso de rolos compactadores mais pesados deve ser aplicado a esta técnica, com equipamento pneumático de 20 toneladas, é imprescindível, para que haja efetividade na compactação, seguido de um rolo tandem liso para obter o melhor acabamento e fechamento de poros, selando a superfície.



Figura 15 – Rolo tandem dando o selamento ao BSM.

Fonte: - Asfalto de Qualidade

6.2.3 Acabamento

A superfície da base deve ser compactada até que se apresente lisa e isenta de partes soltas. Nesta operação, assim como feito no uso da recicladora, se faz necessário a limpeza da superfície compactada, completando o ciclo de

reciclagem, com a aplicação de um jato de ar comprimido para limpeza e remoção de micro partículas sobre a superfície da camada aplicada, que podem prejudicar a pavimentação a seguir.

6.2.4 Pavimentação e abertura do tráfego.

Primeiramente realizamos a pintura asfáltica com aplicação mecânica, de emulsão catiônica RR-1C, com taxa de 0,5litro/m² na superfície reciclada, através do espargido, esta técnica será a “cola” entre a base e a capa asfáltica.

O emprego deste material betuminoso, deve estar de acordo com a especificação do DER/SP, não devendo ser aberto ao tráfego até que a imprimação esteja completamente curada.

Após a execução da pavimentação, ocorre a compactação da capa de rolamento através do compactador de 20 toneladas e do rolo tandem duplo liso, respectivamente, para acabamento da superfície.

Finalizando o processo, se dá abertura da via após os procedimentos de verificação da diminuição da temperatura do asfalto, o que evitará uma possível deformação da capa de rolamento, e remoção dos equipamentos da via.

6.3. Asfalto Borracha

6.3.1 Produção

Após a borracha ser triturada fazemos a adição ao ligante asfáltico convencional, sua granulometria deve apresentar entre 1,5 e 3 mm antes de ser transportada até um reator industrial onde haverá a mistura final.

De acordo com Oda e Fernandes Jr. (2000), Quando é feita a mistura entre o CAP e a borracha moída, a uma temperatura de aproximadamente 200°C em um determinado intervalo que pode chegar a 2 horas a depender da composição (tipo de pneu moído, granulometria, porcentagem de borracha, uso de diluentes, etc.) formamos o composto asfalto-borracha.



Figura 16 – Produção do asfalto – borracha

Fonte: - Asfalto de Qualidade

6.3.2 Aplicação

Levando se em consideração que o terreno foi preparado pra receber o asfalto (subleito, sub-base, base e a imprimação já prontos; igualmente ao método do asfalto convencional), deve-se tomar cuidado com a aplicação do material asfáltico pois ele é mais viscoso que o convencional, é recomendável usar a vibroacabadora de esteira e não de pneus porque necessita-se de mais força e tração para aplicação do asfalto.



Figura 17 – Aplicação do asfalto - borracha

Fonte: - Asfalto de Qualidade

6.3.3 Compactação

Quanto à compactação, a restrição deve ocorrer em função da curva granulométrica da mistura. Devemos utilizar rolos de pneus, operando apenas com o rolo tandem duplo liso vibratório.



Figura 18 – Compactação do asfalto – borracha

Fonte: - Asfalto de Qualidade

6.3.4 Ensaios Ligante Asfáltico

Ensaios são feitos pra certificar o desempenho dos tipos de asfaltos, tais análises são baseadas em experiências práticas para termos as propriedades físicas e químicas afim de uma maior segurança quanto a melhoria das misturas. Os mais importantes utilizados são descritos a seguir. (ODA, 2000)

- DNER-ME 003/94 - Determinação da penetração em materiais betuminosos (ABNT/MB-107/1971-NBR 6576/1998 apud REZENDE et al., 200 e ODA, 2000)

Serve para determinar a viscosidade do material asfáltico por penetração em condições específicas (temperatura(°C), carga(g), tempo(s)), (Figura x).



Figura 19 – Penetrômetro

Fonte: - Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros

- DNER-ME 004/94 - Determinação da viscosidade Saybolt-Furol de materiais betuminosos (ANT/IBP/P-MB-517 apud REZENDE et al., 2000 e ODA, 2000)

Nesse ensaio mede-se o escoamento de 60ml de material em segundos a uma determinada condição de temperatura (Figura 20).

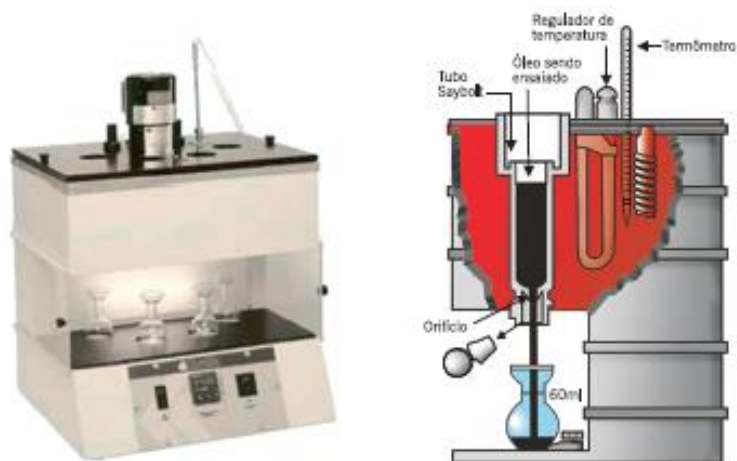


Figura 20 – Viscosímetro

Fonte: - Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros

- DNER-ME 163/94 – Ductilidade (ABNT/MB/-167/1971; ASTM/D-113 apud ODA, 2000)

O ensaio de ductilidade mede a deformação de um corpo de prova que sofre tração até ser rompido (Figura 21).

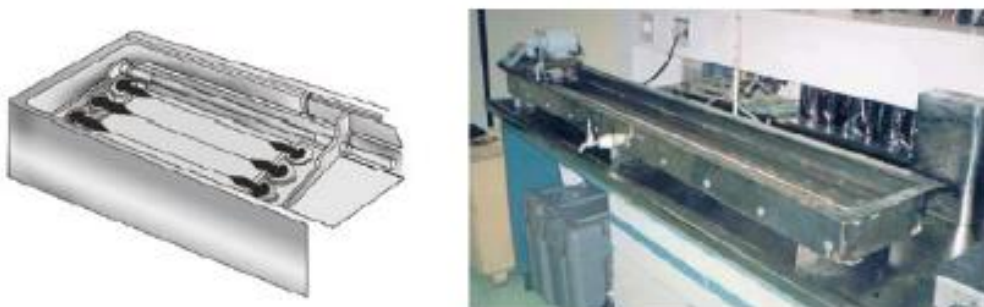


Figura 21 – Ductilímetro

Fonte: - Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros

- DNER-ME 148/98 – Determinação do ponto de fulgor (ABNT/MB-50/1972 – NBR 11341/1990 apud REZENDE et al., 2000 e ODA, 2000)

É a temperatura mínima para que um combustível, sólido ou líquido desprenda vapores ou gases inflamáveis que, combinados com o oxigênio do ar e em contato com uma chama, começam a se queimar (Figura 22).



Figura 22 – Equipamento utilizado na determinação do ponto de fulgor

Fonte: - Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros

- ABNT NBR 6560 – Determinação do ponto de amolecimento (ABNT/MB-50/1972 – NBR 11341/1990 apud REZENDE et al., 2000 e ODA, 2000)

O ponto de amolecimento de um material betuminoso é quando a consistência de um ligante asfáltico que foi condicionado a uma variação de temperatura apresenta uma alteração do estado plástico para o estado líquido (Figura 23).



Figura 23 – Equipamento utilizado na determinação do ponto de amolecimento

Fonte: - Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros

Tabela 2 – Caracterização do asfalto - borracha

Ensaio	Faixa	Método
Penetração, (100g, 25°C, 5s) 0,1mm	35–70	ASTM D-5
Ponto de amolecimento, °C mín.	55	ASTM D-36
Viscosidade Brookfield a 175°C, cP	1.500–4.000	ASTM D-4402
Recuperação elástica, dutilômetro a 25°C, % mín.	50	DNER 382/99

7. ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso irá relatar uma atividade em que se utilizou asfalto convencional, onde será feita uma análise comparativa referente ao reaproveitamento do material fresado e do uso da borracha moída baseando-se na reciclagem de pneus. Será analisado a produção em termos de tempo, a qualidade do material, a economia da empresa e a minimização do impacto ambiental. Será feita uma comparação do que foi executado com as reciclagens, baseando-se em valores encontrados nos arquivos no qual pesquisamos, serão estimativas.

O projeto consiste em duas obras executadas no município de Olinda, Pernambuco, através de convênios junto ao governo do estado de Pernambuco.

O objeto de estudo é: RECAPEAMENTO ASFÁLTICO, DRENAGEM E SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO DOS PRINCIPAIS CORREDORES DE

TRANSPORTE, NOS BAIRROS DE RIO DOCE, BAIRRO NOVO, SALGADINHO, OURO PRETO E ÁGUAS COMPRIDAS – OLINDA/PE, **onde analisaremos apenas o asfalto trabalhado.**

A executora da obra foi a Novatec Construções e Empreendimentos Ltda.

Olinda, Patrimônio Cultural da Humanidade, integra a Região Metropolitana do Recife-RMR e apresenta uma imensa conurbação com os municípios vizinhos do Recife e Paulista. Possui a menor superfície territorial (40,83 Km²) entre os quatorze municípios da RMR e é o terceiro mais populoso, com altíssima densidade populacional de 9.586,90hab/Km², a maior do Estado e a quinta maior do país. Na área urbana que corresponde a 84,32% do território, a densidade populacional chega a 11.141,56hab/Km². Estes dados caracterizam uma grande ocupação do solo, com todos os problemas advindos do uso intensivo das redes de infraestrutura e da malha viária. Essa questão da sobrecarga agrava-se pelo fato de Olinda ser um município de passagem para a área norte da RMR, sobretudo para as praias desta região, comportando, portanto não só o tráfego local, mas outros fluxos que se destinam e originam fora dos limites municipais.

Talvez tenha-se a necessitasse de um asfalto mais duradouro pois as vias consistem de tráfego intenso com topografias desfavoráveis com pequenos trechos de encostas e morros íngremes com cotas as vezes abaixo do nível do mar.

Dentro do objeto de estudo, foram executadas recuperação em 23 vias, contempladas com os serviços de fresagem, imprimação, regularização e a camada betuminosa para a pista de rolamento.

Como podemos observar que o procedimento adotado nestas intervenções consistiu na execução da camada em asfalto após terem sido feito os serviços de fresa, imprimação e regularização, sendo que na composição do material utilizado na nova capa de rolamento usa-se agregados novos.

No intuito de comparar a técnica adotada com a sugerida, com reciclagem, teremos atividades semelhantes, diferenciando na diminuição de transporte e no reuso dos agregados que serão reciclados, o que levaríamos a

uma economia, maior produtividade e teríamos uma considerável redução da extração de recursos naturais.

Comparado ao asfalto convencional, o asfalto borracha torna-se mais caro em sua produção consiste na adição da borracha moída como agregado tornando-o assim economicamente inviável, porém o material é mais resistente e duradouro sendo lucrativo a longo prazo.

Obviamente essa é uma atividade que deve ser analisada de uma forma diferente partindo do pressuposto que estamos contribuindo com o meio ambiente, ou seja, uma medida socioambiental.

Tabela 3 – Custo de recuperação do pavimento da obra em CBUQ convencional.

Serviço	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor final
Fresagem Continua de revestimento betuminoso, em uma espessura de 3 cm.	m ³	3.220,00	R\$ 112,25	R\$ 361.445,00
Pintura asfáltica com aplicação mecânica, emulsão catiônica RR-1C, taxa 0,5 litro/m ²	m ²	282.720,00	R\$ 1,57	R\$ 443.870,40
Concreto Betuminoso Usinado a Quente, para camada de rolamento, 6% CAP em média, inclusive aplicação e compactação.	m ³	14.736,00	R\$ 551,82	R\$ 8.131.619,52
Total				R\$ 8.936.934,92

Tabela 4 – Custo de recuperação do pavimento da obra com o uso do asfalto borracha.

Serviço	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor final
Fresagem Continua de revestimento betuminoso, em uma espessura de 3 cm.	m ³	3220	R\$ 112,25	R\$ 361.445,00
Pintura asfáltica com aplicação mecânica, emulsão catiônica RR-1C, taxa 0,5 litro/m ²	m ²	282720	R\$ 1,57	R\$ 443.870,40
Concreto Betuminoso Usinado a Quente com asfalto borracha sem areia	m ³	14.736,00	R\$ 664,88	R\$ 9.797.671,68
Total				R\$ 10.602.987,08

Tabela 5 – Custo de recuperação do pavimento da obra com o uso da recicladora e asfalto convencional.

Serviço	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor final
Fresagem Continua de revestimento betuminoso, em uma espessura de 3 cm.	m ³	0	R\$ 112,25	R\$ -
Pintura asfáltica com aplicação mecânica, emulsão catiônica RR-1C, taxa 0,5 litro/m ²	m ²	282720	R\$ 1,57	R\$ 443.870,40
RECICLAGEM PAVIMENTO C/ADIÇÃO ESPUMA ASFALTO E CIMENTO (ESP= 0,10 a 0,17m) - inclusive mat e transporte e exclusive asfalto	m ³	29.472,00	R\$ 72,81	R\$ 2.145.856,32
Concreto Betuminoso Usinado a Quente, para camada de rolamento, 6% CAP em média, inclusive aplicação e compactação.	m ³	11.788,80	R\$ 551,82	R\$ 6.505.295,62
Total				R\$ 9.095.022,34

Tabela 6 – Custo de recuperação do pavimento da obra, uso da recicladora com asfalto borracha.

Serviço	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor final
Fresagem Continua de revestimento betuminoso, em uma espessura de 3 cm.	m ³	0	R\$ 112,25	R\$ -
Pintura asfáltica com aplicação mecânica, emulsão catiônica RR-1C, taxa 0,5 litro/m ²	m ²	282720	R\$ 1,57	R\$ 443.870,40
RECICLAGEM PAVIMENTO C/ADIÇÃO ESPUMA ASFALTO E CIMENTO (ESP= 0,10 a 0,17m) - inclusive mat e transporte e exclusive asfalto	m ³	29.472,00	R\$ 72,81	R\$ 2.145.856,32
Concreto Betuminoso Usinado a Quente com asfalto borracha sem areia	m ³	11788,8	664,88	R\$ 7.838.137,34
Total				R\$ 10.427.864,06

Tabela 7 – Quadro resumo, comparativo com diferentes camadas.

Processo	Espessura da capa de rolamento	Custo do serviço de pavimentação
Asfalto convencional	5 cm	R\$ 8.936.934,92
Asfalto com adição de borracha moída	5 cm	R\$ 10.602.987,08
Asfalto com adição de borracha moída	4 cm	R\$ 8.643.452,74
Asfalto reciclado (BSM) + asfalto convencional	5 cm	R\$ 10.721.346,24
Asfalto reciclado (BSM) + asfalto convencional	4 cm	R\$ 9.095.022,34
Asfalto reciclado (BSM) + asfalto convencional	3 cm	R\$ 7.468.698,43
Asfalto reciclado (BSM) + asfalto borracha	5 cm	R\$ 12.387.398,40
Asfalto reciclado (BSM) + asfalto borracha	4 cm	R\$ 10.427.864,06
Asfalto reciclado (BSM) + asfalto borracha	3 cm	R\$ 8.468.329,73

No serviço de reciclagem in situ – uso da Recicladora, eliminamos o serviço de fresagem tradicional, pois o material antigo é triturado e homogeneizado com um agente estabilizador e em seguida já assentado. Assim temos uma atividade totalmente adversa das demais tornando-a mais lucrativa.

Ainda teríamos o ganho em remoção, limpeza e transporte do material não reaproveitado. Lembrando também que esta modalidade é uma valiosa aliada do meio ambiente, pois há descarte de inutilizáveis no mesmo.

8. CONCLUSÃO

O Presente estudo buscou detalhar as principais etapas de uma reciclagem na pavimentação asfáltica, citando os materiais e métodos comumente utilizados, os requisitos aceitos pela norma e os detalhes construtivos.

Através de um estudo de caso foi mostrado o comparativo entre a técnica que foi executada e as possíveis situações se tivéssemos utilizado os processos de reciclagem abordados neste documento, os asfalto borracha mesmo sendo mais caro ele possui vantagens importantes como o reuso de pneus que seriam descartados no meio ambiente de forma errônea, dão mais aderência aos veículos, minimizam o spray que saem dos pneus, maior durabilidade e flexibilidade.

Já a recicladora mostrou-se um custo benefício atrativo, onde os resíduos que outrora seriam removidos necessitariam de uma destinação final controlada serão reaproveitados na própria obra, além da não utilização de novos agregados causando assim uma menor degradação de jazidas, juntamente a uma menor transtorno por conta da sua boa velocidade de execução.

Foram feitas simulações com os tipos de procedimentos e possíveis espessuras de camadas que seriam reconstituídas, afim de obter o melhor custo benefício.

Como não houveram ensaio, o objetivo do estudo foi uma comparação para identificar qual procedimento seria o mais vantajoso na intervenção desejada, mantendo os parâmetros das vias inalterados, ou seja, supondo que ao final do processo as mesmas não teriam decréscimos nas suas características à quais foram projetadas inicialmente.

Mediante as análises, podemos observar que há maneiras de todas as partes envolvidas serem beneficiadas, são elas: a sociedade, a empresa contratada e meio ambiente, pois há medidas socioambientais e educativas por partes dos executores.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR-11341: Produtos de petróleo – determinação do ponto de fulgor e combustão em vaso aberto de Cleveland. Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. Resolução no 416. Brasília, DF: CONAMA, 30/09/2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acessado em 13 de fevereiro de 2016.

DECRETO Nº 48.075, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2006 Dispõe sobre a obrigatoriedade da utilização de agregados reciclados, oriundos de resíduos sólidos da constr. civil, em obras e serviços de pavimentação das vias públicas

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **DER/SP ET-DE-P00/033**. Pavimentação: Reciclagem de pavimento “in situ” com espuma de asfalto. São Paulo, 2006.

LEI Nº 14.015, DE 28 DE JUNHO DE 2005 para a execução dos serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos de misturas asfálticas extraídas do pavimento urbano.

NR-18 “Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção”, que é a norma regulamentadora do ministério do trabalho.

Norma DNIT 031/2006 – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço.

NBR 14756: Materiais betuminosos - determinação da viscosidade cinemática. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 11p, 2001.

NBR 6576: Materiais betuminosos – determinação da penetração. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 7p, 2007.

ODA, S.: FERNANDES JUNIOR, J.L. *Borrachas de pneu como modificador de cimentos asfálticos para o uso em obras de pavimentação*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá. São Carlos 2001.

Oda S. Análise da Viabilidade Técnica do Uso de Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP-251p. 2000.

Pavimentação Asfáltica para – Formação Básica para engenheiros. Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos; 2007 Liedi Bariani Bernucci, Laura Maria Goretti da Motta, Jorge Augusto Pereira Ceratti e Jorge Barbosa Soares.

ANEXOS

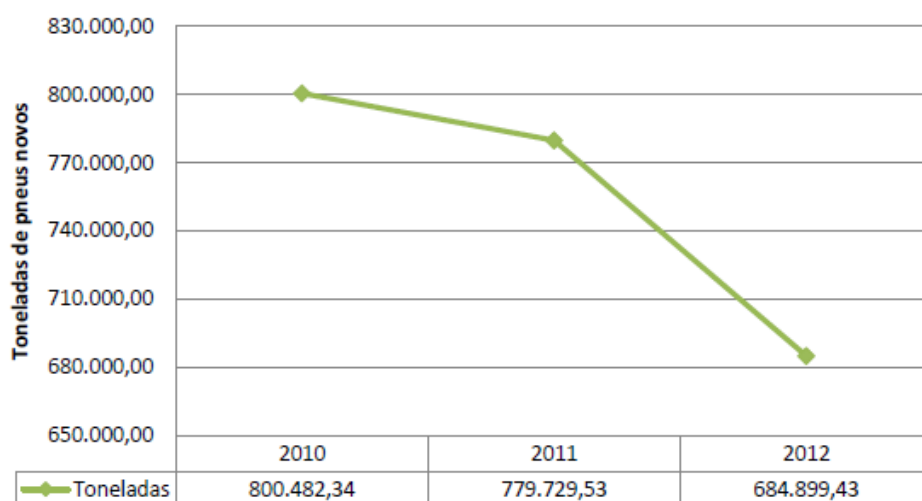
ANEXO A – Tecnologia de destinação final e quantidade final de pneus inservíveis destinados por região brasileira.

REGIÃO NORDESTE		
UF	Empresa Destinadora	Percentual País
PB	CCB - CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA	2,36%
PI	BOMFIM BORRACHAS LTDA.	1,94%
BA	CCB - CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL	1,61%
AL	CCB - CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA.	0,53%
CE	VOTORANTIM CIMENTOS N/NE S.A	0,22%
PB	CBL COMÉRCIO E RECICLAGEM DE BORRACHAS LTDA	0,05%
SE	VOTORANTIM CIMENTO N/NE S/A	0,02%
BA	CBL COMÉRCIO E RECICLAGEM DE BORRACHAS LTDA.	0,01%
		6,74%

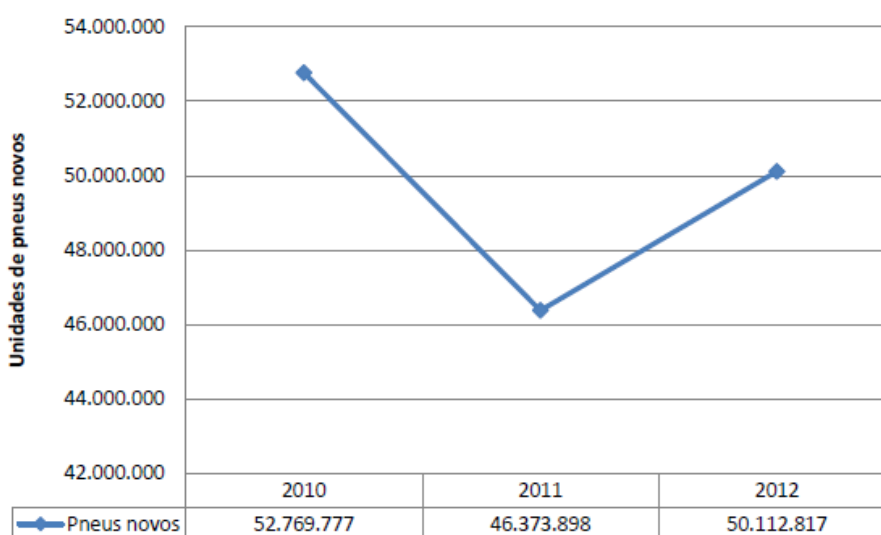
Região	Destinação (t)	Percentual País
Sudeste	278.571,82	60,69%
Sul	103.182,64	22,48%
Centro-Oeste	36.850,83	8,03%
Nordeste	30.926,25	6,74%
Norte	9.498,65	2,07%
Total	459.030,19	100%

Tecnologia	Destinação (t)	Percentual País
Coprocessoamento	219.269,09	47,77%
Granulação	168.499,14	36,71%
Laminação	61.115,93	13,31%
Industrialização do xisto	9.810,00	2,14%
Pirólise	336,03	0,07%
Total	459.030,19	100%

ANEXO B – Evolução do mercado de reposição (em toneladas).



ANEXO C – Evolução do mercado de reposição (unidades de pneus novos).



ANEXO C – Quantidade total de pneus produzidos e importados (2012).

Descrição	Fabricado (t)	Importado (t)	Enviado à montadora (t)	Exportado (t)
pneus novos para automóveis de passageiros	240.007,52	129.957,80	103.376,10	71.107,85
pneus novos para ônibus ou caminhões, medida = 11,00-24	100.566,38	2.917,72	27.735,24	4.323,54
outros pneus novos para ônibus ou caminhões	402.309,61	93.585,77	106.477,89	84.894,70
pneus novos para aviões	782,64348	4484,65733	32,03	488,88
pneus novos para motocicletas	55.246,95	7.235,67	11.653,16	18.621,99
pneus novos, p/veics, maqs. agrícolas/florestais	48.042,77	15.617,51	32.404,93	7.825,42
pneus novos, p/veics, maqs. constr./ind. aro ≤ 61cm	7.461,79	2.138,82	2.763,12	1.551,88
pneus radiais, novos, p/"dumpers", aro ≥ 1448mm	12,412	1.823,40	0	12,18
outs. pneus novos, p/veics. Constr. Aro ≥ 1143mm	0	122,02256	0	0
outs. pneus novos, p/veic. Constr. Aro ≥ 61cm, espin	21.318,15	2.171,45	841,34	16.797,44
outs. pneus novos, de borracha, band. Espin. Peixe. Aro ≥ 1143mm	0	4,57211	0	0
outs. pneus novos, de borracha, band. Espin. Peixe	0	52,20273	0	15,34
outs. pneus novos, p/veic. Agric. Med: 4,00-15, etc	670,83	2.240,21	251,49	387,10
outs. pneus novos, p/veics. Maqs. Agric. Florest.	2.684,93	458,27927	1.111,53	425,87
outs. pneus novos, p/veics. Constr. Aro ≤ 61cm	459,41	1.925,63	10,45	723,00
outs. pneus radiais, novos, "dumpers", aro ≥ 1448	0	3.036,10	0	0
outs. pneus novos, p/veics. Constr. Aro ≥ 1143mm	0	386,40157	0	0
outs. pneus novos, p/veics. Constr. Aro ≥ 61cm	17.109,18	8.055,21	2.797,35	15.758,83
pneus novos, p/tratores/implement. Agrícolas, divs. Medidas	134,59756	235,5364	40,27	0,70
outros pneus novos de borracha	3.092,44	21.304,76	143,63	180,64
Total Geral	899.899,61	297.753,73	289.638,53	223.115,38

Fonte: CTF/IBAMA