

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



PTR3521 – Avaliação e Reabilitação de Pavimentos

Relatório 1

Fresagem e reciclagem asfáltica em obras de reabilitação

Professores:

José Tadeu Balbo
Liedi Legi Bariani Bernucci

Integrantes

Nº Usp

Lucas Peduto Giangiulio Fernandes	8994689
Marcelo Toshio Otsubo	8994539
Marlon Rodrigues Ribeiro de Sousa	8628280

Resumo

O presente projeto tratou de abordar inúmeros conceitos relativos à reciclagem de pavimentos, mostrando, os processos envolvidos e os tipos de fresagem, os tipos de reciclagem, sua importância ambiental e os equipamentos envolvidos de acordo com o processo utilizado. Por fim para tentar ilustrar de modo prático propôs-se a apresentação de casos de aplicação desse tipo de tecnologia em rodovias brasileiras concessionadas. Para atender a todos esses objetivos utilizou-se embasamento teórico com artigos técnicos, obras literárias de pavimentação e monografias sobre o tema. Como resultados da pesquisa foi possível caracterizar bem o emprego da tecnologia de reciclagem utilizada no País e a sua importância ambiental, onde se pode destacar uma redução de custos tanto com agregados provenientes de jazidas, quanto com a disposição dos resíduos em locais apropriados e uma redução no emprego de matérias-primas no processo produtivo.

Palavras-chaves: Reciclagem. Fresagem. Pavimentos. Tecnologia. Ambiental.

Índice de Figuras

Figura 1: Exemplo de pavimento fresado.....	5
Figura 2: Tambores para os três tipos de fresagem.....	6
Figura 3: Fresadora em operação.....	7
Figura 5: Máquina recicladora em trabalho.....	10
Figura 6: Usina móvel para reciclagem.....	10
Figura 7: "Comboio" de reciclagem.....	12
Figura 8: Região da BR-101/RJ estudada.....	13
Figura 9: Revestimento danificado.....	14
Figura 10: Fresagem do Revestimento.....	15
Figura 11: Lançamento da camada de CBUQ.....	15
Figura 12: Lançamento do material reciclado da base.....	16
Figura 13: Aplicação da primeira camada de revestimento.....	17
Figura 14: Aplicação da camada de CBUQ.....	17
Figura 15: Rodovia Fernão Dias no trecho de estudo.....	18
Figura 16: Esquema das camadas do pavimento antes e depois da restauração.....	18
Figura 17: Aplicação do cimento após a fresagem do revestimento asfáltico.....	19
Figura 18: Compactação do solo reciclado.....	19
Figura 19: Pavimento antes e depois da restauração.....	20

Sumário

1. Fresagem Asfáltica.....	4
1.1. Introdução	4
1.2. Tipos de Fresagem	5
1.3. Execução e máquinas utilizadas na fresagem por máquinas fresadoras. 6	
2. Reciclagem de pavimentos	8
2.1. Introdução	8
2.2. Importância Ambiental	8
2.3. Tipos de reciclagem	9
2.3.1. Quanto ao local da reciclagem	9
2.3.2. Quanto à temperatura em que são executados os processos de mistura	11
2.4. Estabilizadores.....	11
2.5. Execução	11
3. Exemplos de Aplicação.....	13
3.1. BR-101/RJ da Divisa do Espírito Santo com o Rio de Janeiro até a ponte Rio/Niterói	13
3.1.1. Restauração de pavimentos	13
3.1.2. Recuperação de Pavimentos.....	15
3.2. Rodovia Fernão Dias.....	17
4. Considerações Finais	21
5. Referências Bibliográficas	22

1. Fresagem Asfáltica

1.1. Introdução

A fresagem consiste na retirada de parte (ou partes) de um pavimento asfáltico, por meio de máquinas chamadas “fresadoras”, que possuem tambores de trituração (as máquinas recicladoras de pavimento também têm capacidade de fresagem, mas como o processo é distinto, essa discussão será abordada no item 2, reciclagem de pavimentos). Ao contrário de certo senso comum de que esse processo é apenas empregado no caso de execução de novo pavimento, a fresagem pode ter várias funções, dentre as quais se destacam:

- Nivelamento do pavimento: quando há desnível na pista, seja longitudinal (como no caso de afundamento de trilha de rodas) ou transversal (como no caso de corrugação), pode-se utilizar a fresagem para nivelar a superfície do pavimento; nesse caso, a fresagem tende a ser mais superficial, em geral se faz uso da fresagem fina, melhor explicada no próximo item.
- Conferir maior aderência ao pavimento: com a retirada de parte da superfície do pavimento por meio da fresadora, consegue-se um rolamento com ranhuras, mais aderente, como mostra a imagem abaixo:

Figura 1: Exemplo de pavimento fresado.



Fonte: Página da empresa DVS¹.

Além disso, no caso de pavimento com agregados “polidos”, é possível a retirada dessa camada desgastada para que se obtenha melhor aderência. Em ambos os casos, os processos mais indicados são os de fresagem fina e microfresagem.

- Retirar antiga sinalização de pista: o processo de fresagem também é ideal para a retirada de sinalizações “gravadas” na pista, no caso de estarem desgastadas ou fora de uso.

1.2. Tipos de Fresagem

Como já evidenciado neste texto, há algumas maneiras de se executar fresagem. Em função do tamanho dos “dentes” da fresa (também chamados “bits”) e seu espaçamento, pode-se conseguir maior ou menor profundidade de fresagem, que pode variar de apenas alguns milímetros até algumas dezenas de centímetros. Abaixo se detalham os três usuais tipos de fresagem, bem como os tambores que lhe estão associados.

- Fresagem padrão: a fresagem padrão é empregada em situações em que se deseja retirar grande parte do pavimento, normalmente da ordem de 10 a 30 centímetros. O tambor para essa aplicação

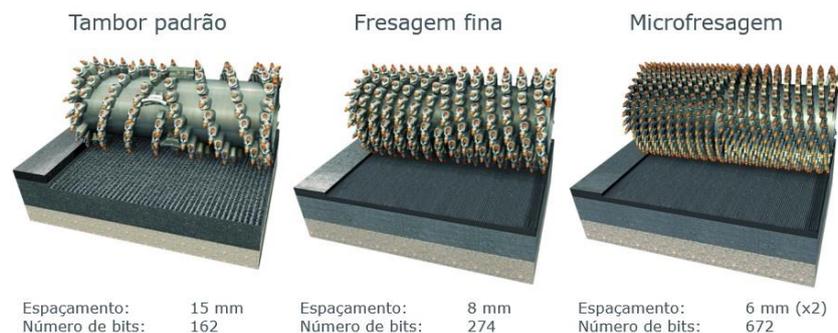
¹ Disponível em < <http://fresagem.com.br/servicos/microfresagem-de-pavimentos-2/> > , Acesso em 10/04/2018.

constuma ter um espaçamento entre bits de 15 mm. Para tambor convencional de 2m, o número de bits é de 162.

- Fresagem fina: na fresagem fina, há retirada de poucos centímetros do pavimento, em geral menos que 10 centímetros, o que é feito por um tambor com bits espaçados de 8 mm. Um tambor convencional de 2m tem 274 bits.
- Microfresagem: no processo de microfresagem, há retirada apenas superficial do pavimento, muitas vezes da ordem de milímetros. O espaçamento de bits no tambor é de apenas 6 mm e, para tambor de 2m, há numerosos 672 deles, configuração ideal para fresagem pouco espaçada e pouco profunda.

Os tambores para cada tipo de fresagem são mostrados abaixo.

Figura 2: Tambores para os três tipos de fresagem.



Fonte: Blog asfalto de qualidade².

1.3. Execução e máquinas utilizadas na fresagem por máquinas fresadoras

- Limpeza prévia. No caso de fresagem para reciclagem em usina, o pavimento é limpo com maior cuidado, considerando que parte do mesmo será usada para a execução de um novo.

² Disponível em < https://4.bp.blogspot.com/-WI3oBB9pvH8/WcHEif-MV3I/AAAAAAAAABHo/N3H6tsRoT4YmAh4xLcogsy2gD41Z8jWaACLcBGAs/s1600/Tipos_tambores_fresagem.jpg > , acesso em 10/04/2018.

- Passagem da máquina fresadora, que dispõe o material fresado, por meio de correias transportadoras, em um caminhão basculante, conforme mostrado na imagem:

Figura 3: Fresadora em operação.



Fonte: Página do grupo Wirtgen³.

- Um caminhão tanque é também empregado no processo, sendo imprescindível para abastecimento de água para a máquina fresadora, que utiliza o líquido para controlar a quantidade de poeira gerada nessa atividade.
- O material fresado pode ser utilizado para reciclagem de pavimentos em uma usina ou pode ser feito o indesejável “bota-fora”, constituindo má opção do ponto de vista ambiental, sobretudo em grandes metrópoles.

³ Disponível em <<http://www.carreteras-pa.com/wp-content/uploads/2/2016/07/Fresadora-en-fr%C3%ADo-de-Wirtgen.jpg>> , acesso em 10/04/2018.

2. Reciclagem de pavimentos

2.1. Introdução

A reciclagem de pavimentos é o processo pelo qual se executa no mínimo uma parte de um novo pavimento a partir de constituintes de um antigo. O que motiva o uso dessa técnica é a deterioração de alguma parte do pavimento: no caso de a estrutura estar danificada, pode-se retirar parte dela (e evidentemente também o revestimento), e executar uma nova camada reciclada; no caso de apenas o revestimento estar danificado, pode-se apenas removê-lo e executar um novo, reciclado.

2.2. Importância Ambiental

Há muitas vantagens em se aplicar a reciclagem de pavimentos, entre elas podemos citar a reutilização dos agregados do pavimento degradado, diminuindo a demanda de novos materiais (preservando o meio ambiente, diminuindo a exploração de jazidas e a geração de resíduos passivos) e as distâncias de transporte; além disso, o ligante remanescente do revestimento degradado pode ter suas propriedades restabelecidas pela adição de asfalto novo ou de agente rejuvenescedor. Outro benefício é que as técnicas de reciclagem também podem favorecer o consumo de energia, demandando menor quantidade em relação à fabricação de revestimento asfáltico (DNIT, 2006). Em vista disso, pode-se gerar uma redução dos gastos de execução.

Ainda segundo DNIT 2006, a execução da reciclagem de pavimentos deve seguir alguns cuidados, destacando-se:

- Devem ser implantadas sinalização de alerta e de segurança de acordo com as normas pertinentes;
- Os equipamentos devem ser proibidos de trafegar fora do corpo da pista, a fim de evitar danos à vegetação à beira da estrada e prejudicar a drenagem natural;

- Os resíduos de lubrificantes ou combustíveis devem ser destinados a locais apropriados, evitando a contaminação de corpos d'água;
- As áreas destinadas a pátio de estacionamento e manutenção de equipamentos devem ser recuperadas ao fim das atividades;
- Caso haja necessidade de estocar os resíduos da fresagem, o mesmo deve ser feito de forma a garantir a drenagem da área utilizada para esse fim.

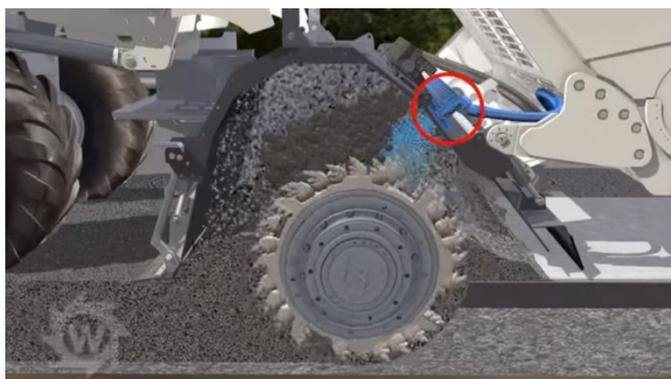
2.3. Tipos de reciclagem

Há alguns critérios para a classificação da reciclagem de pavimentos, sendo os mais importantes: local da reciclagem e temperaturas em que o processo de mistura é executado.

2.3.1. Quanto ao local da reciclagem

- Reciclagem *in situ*: as reciclagens *in situ* acontecem não somente no local da obra como necessariamente de forma simultânea à retirada do pavimento deteriorado. Nesse caso, faz-se uso das máquinas chamadas recicladoras, que têm a capacidade de remover as camadas necessárias por técnica parecida àquela do processo de fresagem, além de promover, concomitantemente, a mistura desse material a possíveis estabilizadores, que serão discutidos posteriormente, e sua deposição à via. Os processos de remoção de material, mistura e deposição são mostrados na imagem abaixo, em que na parte da frente do cilindro dentado ocorre a remoção, enquanto que acima dele, a mistura e, atrás, a deposição.

Figura 4: Máquina recicladora em trabalho.



Fonte: Página do Youtube⁴.

- Reciclagem em usina: quando em usina, a reciclagem acontece depois do processo de fresagem, que retira o material da via, em usinas especializadas. É interessante notar, entretanto, que as usinas não são necessariamente de terceiros e afastadas do local da obra; algumas fabricantes do setor de máquinas para pavimentação oferecem produtos que servem de “usinas móveis”, ou seja, a usina termina por ser uma unidade móvel, “estacionada” nas proximidades do local da obra, como mostrado abaixo:

Figura 5: Usina móvel para reciclagem.



Fonte: Página do Youtube⁵.

⁴ Disponível em < <https://www.youtube.com/watch?v=gSvCcrnbaKs> >, acesso em 10/04/2018.

⁵ Disponível em < https://www.youtube.com/watch?v=fT_2hcEzzgE >, acesso em 10/04/2018.

2.3.2. Quanto à temperatura em que são executados os processos de mistura

- Reciclagem a quente: nesse tipo de reciclagem, há etapas em que a mistura é levadas a altas temperaturas; em geral, ocorre em usinas.
- Reciclagem a frio: quando a frio, a mistura é feita em temperatura ambiente e pode ser executada tanto *in situ* como em usinas.

2.4. Estabilizadores

Os estabilizadores, como o nome sugere, têm função de melhorar a qualidade do material retirado do pavimento, conferindo-lhe o que for necessário para incremento de desempenho. Abaixo, os principais tipos de estabilizadores e suas consequências sobre a mistura:

- Cimento: o cimento é normalmente adicionado quando se quer alcançar maior capacidade de suporte.
- Espuma de asfalto: utilizada para se conseguir melhor flexibilidade do pavimento.
- Cal hidratada (hidróxido de cálcio): talvez sendo a técnica mais antiga, capaz de alterar capacidade de suporte e reduzir expansão/contração do solo.

Em geral, os estabilizadores mais utilizados são o cimento e espuma de asfalto, inclusive usados simultaneamente.

2.5. Execução

Como o método de reciclagem *in situ* a frio é o mais utilizado no país, abaixo se detalha a execução desse processo, no caso em que se usam, como

estabilizadores, cimento e espuma de asfalto, o que também configura alternativa usual.

- Espargimento de cimento: um espargidor de cimento distribui o cimento na via, que será introduzido na recicladora após sua passagem sobre a pista.
- Passagem da recicladora: a recicladora passa sobre a pista, retirando a quantidade de pavimento necessária, bem como o cimento que estava por cima, ao mesmo tempo em que faz mistura desses materiais com espuma de asfalto e água, numa câmara interna. Após mistura, o material é depositado na pista.
- Compactação: rolos compactadores passam sobre a via, do tipo cilindro liso para material predominantemente granular ou do tipo “pé de carneiro” para misturas em maior parte argilosas.
- Nivelamento: passagem de motoniveladoras para acabamento final.

Abaixo, figura esquemática desse “comboio” de reciclagem:

Figura 6: “Comboio” de reciclagem.



Fonte: Blog [asfaltodequalidade](https://asfaltodequalidade.blogspot.com.br/2014/02/o-que-e-reciclagem-de-asfalto.html)⁶.

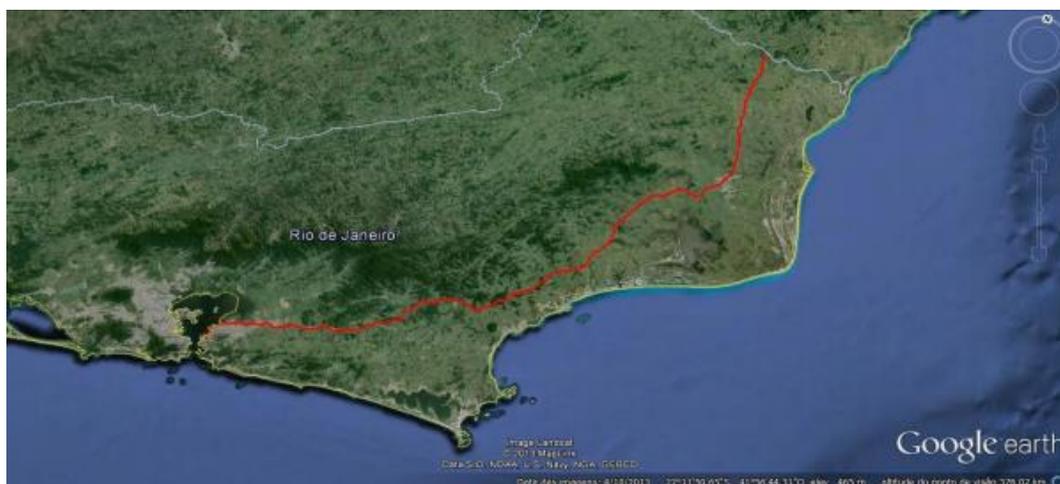
⁶ Disponível em < <https://asfaltodequalidade.blogspot.com.br/2014/02/o-que-e-reciclagem-de-asfalto.html> > , acesso em 10/04/2018.

3. Exemplos de Aplicação

3.1. BR-101/RJ da Divisa do Espírito Santo com o Rio de Janeiro até a ponte Rio/Niterói

A região da BR-101/RJ da Divisa do Espírito Santo com o Rio de Janeiro até a ponte Rio/Niterói está sobre a responsabilidade da empresa Autopista Fluminense, que pertence ao grupo ARTERIS, segundo uma concessão assinada em 2008 com prazo de validade de 25 anos.

Figura 7: Região da BR-101/RJ estudada.



Fonte: Google earth

Esse grupo apresentou uma série de obras nessa região utilizando os aspectos de reciclagem tanto em obras de restauração, quanto em obras de recuperação e reconstrução.

3.1.1. Restauração de pavimentos

Em regiões onde houve fissuração ou desgaste do material do revestimento sem indícios de atingir a base do pavimento, o processo é feito da seguinte forma:

- Fresagem de parte da camada do revestimento – algo em torno de 8 centímetros dos 10 da camada existente - que é levado para a usina fixa onde é misturado com agregado virgem, asfalto ou agente rejuvenescedor.
- Os 2 centímetros remanescentes são descartados.
- Quando o material chega à usina ele é peneirado para respeitar os limites de granulometria de projeto.
- O material reciclado é levado lançado na pista onde é utilizado como um revestimento primário.
- Em cima da camada de revestimento primário é feito uma segunda camada de revestimento com material não reciclado, o Cimento Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ.
- Compactação do revestimento.

No total aproveita-se algo em torno de 75% do material do revestimento antigo, o que evita um grande uso de recursos naturais, reduz o consumo de energia e evita descartes inapropriados desse material em bota-foras. Além disso, o uso da manutenção preventiva aumenta a vida útil do pavimento, aumenta o conforto para o usuário, evita que as trincas sejam propagadas para a base do revestimento e evita a infiltração de água.

Figura 8: Revestimento danificado.



Fonte: Autopista Fluminense.

Figura 9: Fresagem do Revestimento.



Fonte: Autopista Fluminense.

Figura 10: Lançamento da camada de CBUQ.



Fonte: Autopista Fluminense.

3.1.2. Recuperação de Pavimentos

Quando o dano no pavimento atinge a sua base é necessário fazer a recuperação dele. Nesse sentido, os processos envolvidos são:

- Fresagem do revestimento até 8 centímetros de profundidade, que será levado para uma usina fixa, onde é misturado com agregado virgem, asfalto ou agente rejuvenescedor.;
- Descarte de parte do revestimento remanescente (2cm);

- Fresagem da base até uma profundidade pré-determinada, que será levado para uma usina móvel, onde é misturado com emulsão asfáltica e cimento;
- Aplicação da camada de base reciclada;
- Compactação da base;
- Espera da cura do cimento;
- Aplicação da material reciclado do revestimento na espessura de 8cm;
- Aplicação de ligante para receber a segunda camada de revestimento;
- Aplicação de uma camada de CBUQ com 5 cm de espessura
- Compactação das camadas do revestimento de modo que a espessura final seja de 10 centímetros – redução de 3 centímetros na compactação.

O emprego de cimento e emulsão asfáltica na camada da base melhora as propriedades mecânicas da estrutura em curto prazo e mantém a sua flexibilidade em longo prazo.

Outro ponto em destaque é a redução dos custos de transporte do material fresado da base com o emprego de usinas móveis.

Figura 11: Lançamento do material reciclado da base.



Fonte: Autopista Fluminense.

Figura 12: Aplicação da primeira camada de revestimento.



Fonte: Autopista Fluminense.

Figura 13: Aplicação da camada de CBUQ.



Fonte: Autopista Fluminense.

3.2. Rodovia Fernão Dias

A região da BR-381, rodovia Fernão Dias, que liga as cidades de Contagem/MG e Guarulhos/SP está sobre a responsabilidade da empresa

Autopista Fernão Dias, que pertence ao grupo ARTERIS, segundo uma concessão assinada em 2008 com prazo de validade de 25 anos.

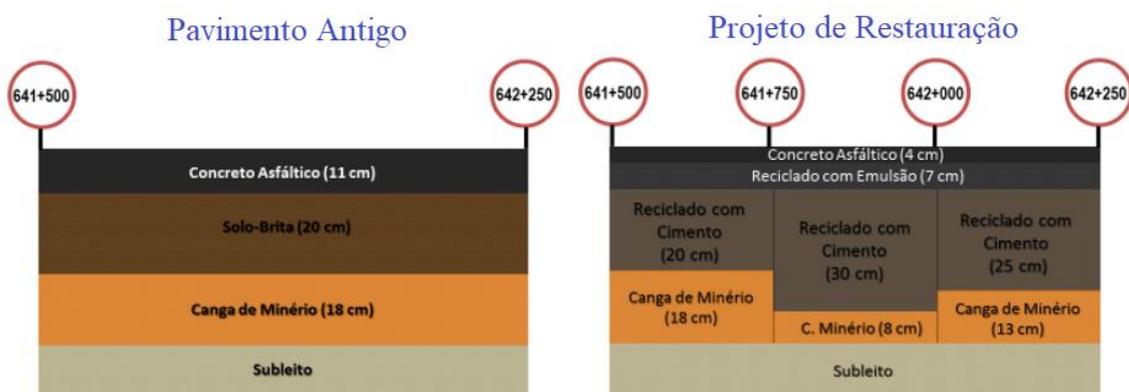
Conforme as diretrizes do contrato de concessão o grupo é responsável por obras de restauração, recuperação e reconstrução. Nesse sentido será abordada a obra feita entre o km 641,5 e km 642,3 no sentido de São Paulo, onde houve o uso de reciclagem profunda no processo de recuperação de um pavimento.

Figura 14: Rodovia Fernão Dias no trecho de estudo.



Fonte: Google Maps.

Figura 15: Esquema das camadas do pavimento antes e depois da restauração.



Fonte: Savasini, 2016

Dessa forma, o processo utilizado na região foi o seguinte:

- Fresagem do revestimento deteriorado;
- Mistura do revestimento fresado com cimento, água e emulsão modificada por polímero em usina fixa próxima ao local de obras;
- Adição de cimento na superfície do solo;
- Ajuste da umidade ótima;
- Mistura e compactação do solo;
- Espera do tempo de cura. Algo em torno de 3 dias;
- Aplicação da primeira camada de revestimento com material reciclado;
- Aplicação da camada de Concreto asfáltico;
- Compactação da camada de revestimento.

Figura 16: Aplicação do cimento após a fresagem do revestimento asfáltico.



Fonte: Savasini, 2016

Figura 17: Compactação do solo reciclado.



Fonte: Savasini, 2016

Figura 18: Pavimento antes e depois da restauração.



Fonte: Savasini, 2016

4. Considerações Finais

Quanto aos processos discutidos, de fresagem e reciclagem, ressalta-se sua importância nos métodos executivos das vias brasileiras, sendo dos mais utilizados na atualidade, sobretudo no caso da reciclagem *in situ* com utilização de usina móvel, conforme mostrado nos casos de aplicação.

Em termos ambientais foi possível perceber uma redução maciça do emprego de matérias primas com o uso da reciclagem do pavimento deteriorado, o que reduz a exploração de jazidas, o custo de transporte de materiais e pode ser vantajoso financeiramente para a empresa responsável pelas obras de reabilitação da via.

Com relação à eficiência do processo, mostrou-se com um estudo prático a redução de 75% de matéria prima nova no processo de restauração de um pavimento. Por outro lado houve uma pequena desvantagem do uso de cimento em obras de recuperação pelo fato de a via ficar interditada para que o material de base reciclada com cimento passe por um processo de cura para melhorar suas propriedades mecânicas.

Por fim, vale salientar que todas as propriedades mecânicas do pavimento reciclado estão em conformidade com quesitos de resistência, condições de rolamento, deformabilidade e afins e que essa tecnologia está cada vez mais vantajosa, tanto economicamente, quanto em termos de eficiência no emprego do material deteriorado no processo de reciclagem, o que também atende exigências ambientais. Dessa forma, espera-se que o emprego dessa solução tenha um aumento substancial nos próximos anos.

5. Referências Bibliográficas

Batista, R.S. **Reciclagem do Resíduo Pela Fresagem do Concreto Asfáltico**. Trabalho de Conclusão de curso (especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da universidade federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. p.24-34 .2016

BERNUCCI, L.B. *et al.* **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER). **Fresagem de pavimento asfáltico**. São Paulo, SP. 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT), **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**, Rio de Janeiro, 2006.

GUIMARÃES, J. E. P. **Como construir: Solo-cal**. Disponível em <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/solo-cal-86743-1.aspx>. [Consultado dia 10/04/2018].

Savasini, K.V. **Sustentabilidade e Reciclagem de Materiais em Pavimentação**. 27 de Março de 2018. 18 slides. Material apresentado para a disciplina de Transporte e Meio Ambiente da POLI-USP.

Técnica de reciclagem com espuma de asfalto é implantada com perfeição na recuperação da Rodovia Ayrton Senna SP-070. Disponível em https://www.ciber.com.br/pt/noticias-e-eventos/maquinas-em-campo/jr_ayrtonsenna_ci.html. [Consultado dia 10/04/2018]