

**FRESAGEM**  
*de* **PAVIMENTOS**  
**ASFÁLTICOS**



Valmir Bonfim

**FRESAGEM**  
*de* **PAVIMENTOS**  
**ASFÁLTICOS**

3ª edição

2016

**exceção**  
editorial / eventos

Copyright © 2010 by autor

*Direitos reservados. Proibida a reprodução, mesmo que parcial, e por qualquer processo, sem a autorização expressa do autor.*

*Reimpressão da 3ª Edição revisada e atualizada*

**Editora**

Suiang G. Oliveira

**Capa e projeto gráfico**

Pedro Penafiel – Curau Estúdio de Criação

**Preparação e revisão**

Suiang G. Oliveira

*Ficha Catalográfica*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro)

---

Bonfim, Valmir

Fresagem de pavimentos asfálticos / Valmir

Bonfim. – 3ª ed. rev. e atual. – São Paulo:

Exceção Editorial, 2010.

Bibliografia

ISBN 978-85-60735-00-6

1. Fresagem 2. Pavimentação – técnicas  
3. Pavimentação asfáltica 4. Pavimentos asfálticos  
I. Título

---

07-2420

CDD 625.85

Índices para catálogo sistemático

1. Fresagem : Pavimentos asfálticos :  
Engenharia civil 625.82  
2. Pavimentos asfálticos : Fresagem :  
Engenharia civil 625.82

*Dedico este livro  
aos meus pais e irmãos,  
à minha esposa Mônica e  
ao meu filho Victor*

# O conhecimento é o caminho para os milhares de quilômetros de sucesso

Competitividade • Credibilidade • Atendimento próximo e flexível  
Soluções inovadoras • Equipamentos de última geração  
Equipe técnica altamente qualificada

DVS

*Fresagem de pavimentos*



DVS

*Fresagem de pavimentos*

 [fresagem.com.br](http://fresagem.com.br)

*A DVS apoia a reimpressão desta obra.*

# Apresentação

A idade avançada de grande parte da malha viária brasileira associada ao constante aumento de solicitações impostas pelo tráfego pesado têm proporcionado uma rápida deterioração dos pavimentos.

Esse fato tem exigido atenção das autoridades competentes na busca de soluções para melhoria das condições de fluidez e de segurança no trânsito, para a redução nos custos operacionais dos veículos, bem como para a preservação do meio ambiente.

Nos últimos anos, a ênfase na construção de novas rodovias vem sendo substituída por atividades de recuperação e manutenção dos pavimentos da malha existente. Essa situação é agravada pelo constante desafio de realizar cada vez mais serviços com menos recursos.

Diante desses fatos, a alternativa de fresagem tem sido muito empregada em vista da série de vantagens técnicas e econômicas que esse procedimento pode oferecer aos trabalhos de restauração. Destacam-se, entre elas, a melhoria da planicidade superficial a baixo custo, através da eliminação das irregularidades; o tratamento da superfície contaminada pela presença de solventes e asfaltos exsudados, melhorando a textura e as condições oferecidas para o atrito entre o pneu e o pavimento; a redução da dimensão, frequência e gravidade das trincas superficiais; a possibilidade de reaproveitamento do material fresado.

Este livro tem como principal fonte de referência a dissertação do engenheiro Valmir Bonfim apresentada à Escola Politécnica da USP e nasceu do seu ideal em colocar à disposição dos técnicos, especialmente daqueles mais jovens, um material didático, bem ilustrado e prático.

O engenheiro Valmir, que há muitos anos tem atuado em um grande número de serviços de restauração com utilização da metodologia de fresagem de pavimentos, conseguiu reunir nesta obra um vasto material de extrema importância, fruto de sua dedicação acadêmica e de sua experiência profissional.

O texto apresentado transmite ao leitor de uma forma clara e objetiva uma parcela da sólida experiência do autor mesclada com seu intenso entusiasmo pelo tema.

Apesar de não ser possível explicitar todos esses conhecimentos numa mesma obra, tenho a certeza de que este texto será de extrema utilidade para os que atuam na área de reabilitação e que seu conteúdo constitui uma grande contribuição técnica à engenharia rodoviária nacional.

Apresentei a segunda edição desta obra no ano de 2001, e sinto-me novamente honrado com o privilégio de apresentar mais esta edição, revisada e atualizada.

*Prof. Dr. Carlos Yukio Suzuki  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Diretor Técnico da Planservi Engenharia Ltda.*

## Prefácio

Um pavimento é projetado e construído para propiciar viagens confortáveis, seguras e econômicas, o que é determinado pela qualidade de sua superfície. Quando o revestimento não atende mais a essa finalidade, deve-se nele intervir visando a sua restauração.

Em determinados casos, especialmente quando existem limitações quanto às cotas do pavimento acabado ou quando se pretende reciclar o material antigo, o revestimento ou parte dele deve ser removido antes da aplicação da nova camada. Essa ação é realizada com a utilização da técnica de fresagem.

Embora a fresagem de pavimentos já esteja incorporada ao cotidiano da pavimentação no Brasil, ainda são poucos os profissionais que dominam essa técnica e muito menor é o número dos que se sobressaem com experiência de longa data.

Valmir Bonfim é um engenheiro que, militando há muitos anos na área, associa, com excelentes resultados, sua longa experiência de campo a um sério estudo acadêmico correlato.

No seu currículo, já são mais de doze milhões de metros quadrados de fresagem realizados, utilizando-se das mais variadas formas de aplicação da técnica, o que lhe confere competência para discorrer com autoridade sobre o assunto.

A partir de 1995 tive o prazer de recebê-lo na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como meu orientado. Concluiu o seu mestrado de forma brilhante, com a apresentação da dissertação in-

titulada *Estudo da granulometria resultante da fresagem de revestimentos asfálticos com vistas à reciclagem in situ a frio*.

Desse trabalho resultou a presente obra que, realizada com esmero, contém informações interessantes e oportunas para os profissionais da área, para pesquisadores e alunos de graduação e de pós-graduação interessados no assunto.

Esta obra, sendo abrangente, permite proveito tanto para técnicos iniciantes quanto para profissionais experientes, o que lhe garante pleno sucesso.

*Prof. Dr. Felipe Augusto Aranha Domingues*  
*Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*

## Palavra do Autor

O livro Fresagem de Pavimentos Asfálticos foi lançado em 2000 e, para minha grata surpresa, no final daquele ano os exemplares haviam se esgotado. Em 2001 foram impressas a segunda edição e mais uma edição especial para a empresa Fresar Tecnologia de Pavimentos.

Creio que a grande procura e interesse pelo livro, além do assunto fresagem de pavimentos, em grande parte se deve ao modo como é apresentado, numa linguagem simples e direta.

A evolução tecnológica dos equipamentos nestes últimos anos tornou-os menores, mais versáteis e mais potentes. Além disso, foram introduzidos no mercado novos cilindros de fresagem, o que possibilitou uma nova classificação quanto à rugosidade resultante na pista, exigindo uma atualização nos capítulos 3, 4 e 5. Outra novidade é que nesta terceira edição apresento um livro ainda mais ilustrado.

Aproveitando este espaço, gostaria de registrar os meus agradecimentos ao Nelson Sampaio Pereira, um dos pioneiros na introdução de fresadoras e recicladoras de pavimentos asfálticos no Brasil, responsável pelo meu aprendizado e grande incentivador profissional; às empresas CIBER – Equipamentos Rodoviários, Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia e Fresar Tecnologia de Pavimentos, que estiveram presentes nas edições anteriores; ao Prof. Dr. Felipe Augusto Aranha Domingues e à Prof<sup>ª</sup>. Dra. Liedi Bariani Bernucci, da Escola Politécnica da Universidade de

São Paulo, e ao Prof. Dr. Leto Momm, da Universidade Federal de Santa Catarina, pelos ensinamentos, pela amizade e pelo grande incentivo; ao engenheiro e amigo Danilo Martinelli Pitta, que dispensou parte de seu precioso tempo na revisão técnica desta obra; aos profissionais que atuam no rodoviarismo brasileiro, pela leitura minuciosa e sugestões encaminhadas, que só vieram enriquecer o trabalho, dentre eles, o Eng.o Gualberto Pedrini e Eng.o Dultevir Guerreiro Vilar de Melo, a minha gratidão; ao amigo Andreas Marquardt, do Grupo Wirtgen, pela confiança e incentivo na publicação deste livro também em Inglês e Espanhol; e a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram na concretização desta obra; sobretudo a Deus!

# Sumário

1. Introdução .....	17
2. Definição de fresagem de pavimentos .....	19
3. Classificação dos tipos de fresagem .....	21
3.1. Quanto à espessura de corte .....	21
3.1.1. Fresagem superficial.....	21
3.1.2. Fresagem rasa.....	22
3.1.3. Fresagem profunda .....	23
3.2. Quanto à rugosidade resultante na pista .....	23
3.2.1. Fresagem padrão .....	24
3.2.2. Fresagem fina.....	24
3.2.3. Microfresagem .....	24
4. Equipamentos .....	27
4.1. Equipamentos de fresagem de pequeno porte .....	28
4.2. Equipamentos de fresagem de médio porte .....	29
4.3. Equipamentos de fresagem de grande porte .....	31
5. Principais componentes dos equipamentos .....	35
5.1. Cilindro fresador .....	35
5.1.1. Sistema de fixação dos cilindros fresadores.....	36
5.1.2. Tipos de cilindros fresadores .....	36
5.1.2.1. Cilindro para fresagem fina.....	37
5.1.2.2. Cilindro para microfresagem.....	38

5.1.3. Largura dos cilindros fresadores .....	41
5.1.4. Atuação do cilindro fresador no pavimento.....	44
5.2. Dentes de corte.....	45
5.3. Suportes dos dentes de corte .....	47
5.4. Raspadores .....	49
5.5. Correia transportadora.....	50
5.6. Sistema de controle da velocidade .....	52
5.7. Sistema de controle da profundidade de corte .....	52
5.8. Sistema de apoio dos equipamentos .....	53
5.8.1. Sobre pneus .....	53
5.8.2. Sobre esteiras.....	54
6. Serviços e equipamentos complementares e de apoio operacional .....	55
6.1. Sinalização da pista .....	55
6.2. Caminhão-pipa .....	56
6.3. Detector de metais.....	56
6.4. Arremates em locais fresados.....	57
6.4.1. Com fresadoras de pequeno porte.....	57
6.4.2. Com unidades de fresagem acopladas a outro tipo de equipamento .....	58
6.4.3. Com serra de disco e rompedores pneumáticos.....	59
6.5. Caminhões basculantes.....	60
6.6. Varrição da pista .....	60
6.6.1. Manualmente .....	61
6.6.2. Mecanicamente .....	61
6.7. Carreta apropriada para o transporte dos equipamentos.....	63
7. Aplicação da técnica de fresagem .....	65
7.1. Tipos de aplicação.....	66
7.1.1. Fresagem para correção de defeitos superficiais .....	66

7.1.2.	Fresagem de áreas descontínuas .....	67
7.1.3.	Fresagem contínua de toda a pista .....	68
7.1.4.	Fresagem em cunha .....	69
7.1.5.	Fresagem para a correção da inclinação do pavimento.....	71
7.1.6.	Fresagem de arremate.....	71
7.1.7.	Fresagem superficial para sonorização.....	72
7.2.	Aplicação da técnica de fresagem na correção de defeitos .....	73
7.2.1.	Trincamentos.....	74
7.2.2.	Deterioração de remendos .....	76
7.2.3.	Buracos .....	76
7.2.4.	Afundamento em trilha de roda.....	77
7.2.5.	Depressão .....	77
7.2.6.	Deformação plástica dos revestimentos .....	78
7.2.7.	Agregados polidos.....	78
7.2.8.	Exsudação.....	79
7.2.9.	Desestruturação do pavimento .....	80
7.2.10.	Bombeamento de finos .....	80
7.2.11.	Sobreposição de revestimentos asfálticos.....	81
7.2.12.	Desnível entre a pista e o acostamento.....	81
8.	Vantagens da utilização da técnica de fresagem.....	83
8.1.	Manutenção do greide do pavimento.....	83
8.2.	Manutenção do nivelamento nas emendas .....	84
8.3.	Correção de deformações plásticas .....	85
8.4.	Manutenção do nivelamento junto aos pertences de concessionárias.....	86
9.	Problemas que podem ocorrer por ocasião da utilização da fresagem .....	87
9.1.	Degrau na pista .....	87
9.2.	Aparecimento de buracos ou panelas .....	88

9.3. Descolamento de “placas” do revestimento betuminoso.....	89
10. Produtividade dos equipamentos de fresagem.....	91
10.1. Considerações iniciais.....	91
10.2. Exemplos de produtividade.....	92
11. Dimensionamento de reforço do pavimento contemplando a fresagem.....	97
12. Estudo da granulometria de material resultante da fresagem de revestimentos asfálticos com vistas à reciclagem.....	103
12.1. Equipamento utilizado .....	105
12.2. Revestimento existente.....	106
12.3. Coleta das amostras .....	106
12.4. Curvas granulométricas .....	108
12.5. Considerações acerca dos resultados obtidos .....	118
13. Parâmetros para execução e controle de fresagem de pavimentos asfálticos .....	121
13.1. Objetivo.....	121
13.2. Generalidades.....	121
13.3. Equipamentos.....	121
13.4. Controle da profundidade de corte .....	122
13.5. Controle da textura da superfície fresada .....	122
13.6. Estocagem do material resultante da fresagem .....	123
13.7. Limpeza da pista .....	123
13.8. Liberação ao tráfego .....	123
13.9. Medição.....	124
Bibliografia .....	125
Crédito das fotos e ilustrações .....	127

# 1. Introdução

A partir da crise do petróleo, na década de 1970, com a escassez de materiais asfálticos mais a crise econômica internacional, os técnicos rodoviários internacionais, em conjunto com os organismos de fomento, voltaram-se para a idéia de reprocessar os materiais de pavimentação de pistas deterioradas, por meio da reciclagem, de forma a restaurar as condições de trafegabilidade de vias a níveis satisfatórios, tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro.

Inicialmente, o material era extraído das pistas por meio de escarificação do pavimento e levado para processamento em usinas.

Esse procedimento era inadequado para tal aplicação, pois resultava no aparecimento de pedaços muito grandes, que necessitavam ser posteriormente quebrados, ou rebitados, para serem utilizados na mistura reciclada.

Era inerente ao processo de escarificação a retirada de toda a camada betuminosa, por se tratar de um “arrancamento” efetuado por dentes ou ponteiras de equipamentos, o que tornava impossível extrair apenas uma espessura pré-determinada em projeto.

O equipamento de fresagem foi concebido a partir da segunda metade da década de 1970, simultaneamente, tanto na Europa quanto na América do Norte, como ferramenta adequada para possibilitar e garantir o desgaste do pavimento em profundidades pré-determinadas.

Nos Estados Unidos, segundo relata Wood<sup>[1]</sup>, entre as empresas que desenvolveram tais equipamentos estão a Barber-Green, C.M.I., Barco e Rancho, além de empresas estrangeiras.

A fresagem é uma técnica relativamente nova na recuperação, manutenção e restauração de pavimentos. No Brasil, teve início no ano de 1980, com o emprego de uma fresadora americana Roto-Mill PR-525, da C.M.I., nas obras de restauração da Via Anchieta, para a DERSA – Desenvolvimento Rodoviário S.A.

A fresagem de pavimentos asfálticos é, nos dias atuais, uma técnica constantemente aplicada como parte de um processo de restauração de pavimentos deteriorados, em especial ensejando a solução de problemas tipicamente urbanos, tais como evitar o alteamento de calçadas e da drenagem pluvial, bem como visando a atenuar o efeito da propagação de trincas.

## 2. Definição de fresagem de pavimentos

A origem do termo fresagem remonta à técnica de desbaste ou corte de metais, ou outras peças, por intermédio de uma engrenagem motora constituída de um cortador giratório de ângulos diversos, ou de várias fresas, em movimento giratório contínuo.

Essa técnica originou o termo “milling machine”, aplicado aos equipamentos de fresagem de parte de uma estrutura em questão.

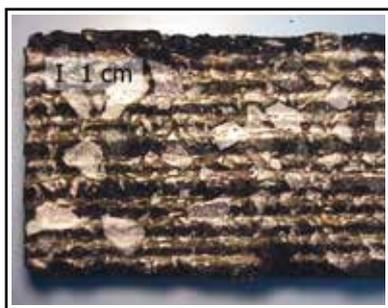
Já a fresagem direcionada à restauração de pavimentos originou dois tipos de equipamentos e processos específicos para tal: “cold milling machine”, que efetua o desbaste da estrutura por meio simples abrasivo; e processo a quente, que utiliza o pré-aquecimento da estrutura para facilitar o “desbaste” da mesma.

Desta forma, a fresagem do pavimento pode ser realizada de duas maneiras quanto à temperatura de ocorrência, ou seja, a frio ou a quente.

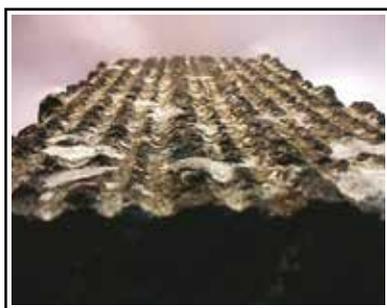
Na fresagem do pavimento a frio, o processo é realizado na temperatura ambiente, sem o pré-aquecimento do pavimento. O único tipo de aquecimento, apesar de desprezível no processo, refere-se à energia liberada pelo impacto dos dentes de corte no pavimento durante a fresagem.

Nesse tipo de fresagem, ocorre a quebra de parte dos agregados na profundidade de corte e, conseqüentemente, na alteração da curva granulométrica do material existente na pista.

As Figuras 1 e 2 ilustram uma superfície fresada, onde se pode observar a ocorrência da quebra de agregados situados na “linha” de corte.



**Figura 1:** Superfície de uma placa fresada



**Figura 2:** Corte transversal de uma placa fresada

Já na fresagem a quente, utilizada como parte do processo de reciclagem “in situ” a quente, é efetuado o pré-aquecimento do revestimento e, nesse caso, a fresagem é similar. Trata-se, porém, de uma escarificação como forma de desbaste da camada, pois a mesma oferece pouca resistência ao corte pelo fato da estrutura estar aquecida. Nesse tipo de fresagem, não ocorre uma alteração significativa da granulometria do material, tendo em conta gerar apenas a desagregação do mesmo, possibilitando, assim, promover a mistura com o material novo proveniente de usina de asfalto.

ODNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, em seu Glossário de Termos Técnicos Rodoviários<sup>[2]</sup>, define a fresagem de pavimentos como sendo o “desbastamento a quente ou a frio de superfície asfáltica, como parte de um processo de reciclagem de pavimento asfáltico”.

A técnica pode também ser aplicada em pavimentos de cimento Portland no desbaste de espessuras delgadas, para a regularização em pistas de concreto ou em galpões industriais para posterior colocação de novo revestimento.

Com base no exposto, com maior abrangência, pode-se conceituar a fresagem de pavimentos como sendo o “corte ou desbaste de uma ou mais camadas do pavimento, com espessura pré-determinada, por meio de processo mecânico realizado a quente ou a frio, empregado como intervenção visando a restauração de pavimentos”.

## 3. Classificação dos tipos de fresagem

Vários autores divergem quanto à classificação dos tipos de fresagem e suas aplicações; mas, de maneira resumida, pode-se classificar a fresagem de pavimentos quanto à espessura de corte e à rugosidade resultante na pista.

### 3.1. Quanto à espessura de corte

Podem-se classificar os tipos de fresagem quanto à espessura de corte como sendo superficial, rasa e profunda.

#### 3.1.1. Fresagem superficial

Também conhecida como fresagem de regularização, essa fresagem é destinada apenas à correção de defeitos existentes na superfície do pavimento.

Sendo assim, pode ser dispensado o posterior recapeamento da pista, uma vez que a textura obtida permite o rolamento de forma segura, porém não muito confortável, excetuando-se em pontos específicos onde a desagregação do revestimento remanescente acarrete a formação de buracos.

Cumprindo observar que alguns equipamentos utilizados em intervenções que visem à melhoria das condições de aderência pneu-pavimento permitem a troca do cilindro fresador por outro de maior densidade

de dentes de corte, possibilitando gerar superfícies mais confortáveis ao rolamento.

O DNER<sup>[3]</sup>, em seu curso de reciclagem de pavimentos, afirma que a maioria das operações de fresagem melhora a textura da superfície da rodovia (macrotextura) e da superfície exposta do agregado (microtextura), favorecendo a resistência à derrapagem.

Da mesma forma, defeitos do tipo exsudação e deformações plásticas são tratados com o emprego dessa técnica para melhorar as condições de trafegabilidade.

### 3.1.2. Fresagem rasa

A fresagem rasa atinge normalmente as camadas superiores do pavimento, podendo chegar, em alguns casos, à camada de ligação. Na maioria dos serviços, esse tipo de intervenção tem uma profundidade média de corte em torno de 5 cm.

Esse procedimento é utilizado na correção de defeitos funcionais e em remendos superficiais. É aplicado, principalmente, em vias urbanas, onde se deseja manter o greide do pavimento com relação aos dispositivos de drenagem superficial e obras de arte correntes.

Conforme relata o curso de reciclagem de pavimentos do DNER, a textura resultante da fresagem aumenta a ligação ou resistência ao cisalhamento entre o antigo pavimento e a nova camada de revestimento.

Nos últimos anos, tendo em conta os aspectos monetários restritivos das intervenções em pavimentos rodoviários, em especial naqueles das redes estaduais e federal, os técnicos rodoviários têm se utilizado dessa ferramenta como forma de garantir a qualidade ao rolamento para os usuários das vias, em níveis econômicos satisfatórios, oportunizando o restabelecimento de condições funcionais aos pavimentos, à medida que os agentes financiadores se preocupem com os benefícios socioambientais de tais intervenções.

### 3.1.3. Fresagem profunda

A fresagem profunda é aquela em que o corte atinge níveis consideráveis, podendo alcançar, além da camada de revestimento, as camadas de ligação, de base e até de sub-base do pavimento.

Esse é um procedimento geralmente utilizado em intervenções objetivando o aspecto estrutural, seja por recomposição da estrutura do pavimento ou mesmo por reciclagem e incorporação do revestimento à base.

Já ensejando o aspecto funcional, principalmente visando a segurança e o restabelecimento das condições “ideais” de atuação dos dispositivos de drenagem superficial, utiliza-se esta técnica para corrigir o greide original das vias.

É um procedimento também muito indicado na execução de serviços de pequenos remendos e para requadramento de buracos.

Para a fresagem superficial, tanto rasa quanto profunda, pode-se utilizar qualquer tipo de cilindro quanto à rugosidade, como veremos a seguir, porém, para os casos em que se deseja apenas a aplicação de nova camada de revestimento, utiliza-se o cilindro para fresagem padrão. Os demais se tornam inviáveis pelo maior consumo de dentes de corte.

## **3.2. Quanto à rugosidade resultante na pista**

Podem-se classificar os tipos de fresagem quanto à rugosidade resultante na pista como fresagem padrão, fresagem fina e microfresagem.

A rugosidade resultante na pista depende do tipo de cilindro utilizado na execução da fresagem, além da velocidade de operação. A evolução dos cilindros fresadores possibilitou maior aplicabilidade dos equipamentos de fresagem. Hoje existem cilindros diferenciados disponíveis no mercado, com menor espaçamento entre os dentes de corte. Posteriormente serão apresentados vários tipos de cilindros fresadores e exemplos de aplicação.

### 3.2.1. Fresagem padrão

Introduzida inicialmente no mercado, classificou-se como fresagem padrão (*standard*) a fresagem resultante do cilindro originalmente oferecido nos equipamentos. A distância lateral entre os dentes de corte é de aproximadamente 15 mm. Utiliza-se este tipo de fresagem para o desbaste de camada especificada em projeto visando posterior aplicação de nova camada de revestimento.

### 3.2.2. Fresagem fina

A fresagem fina (*fine milling*) foi introduzida posteriormente, como resultado da aplicação de cilindros fresadores com a distância lateral entre os dentes de corte de aproximadamente 8 mm, resultando sulcos menores e menor rugosidade na pista, o que possibilitou esta nova classificação.

Esta técnica é muito utilizada na regularização das vias, por possibilitar melhores condições de trafegabilidade aos usuários. Em alguns casos, neste tipo de aplicação, pode-se dispensar o posterior recapeamento da pista.

### 3.2.3. Microfresagem

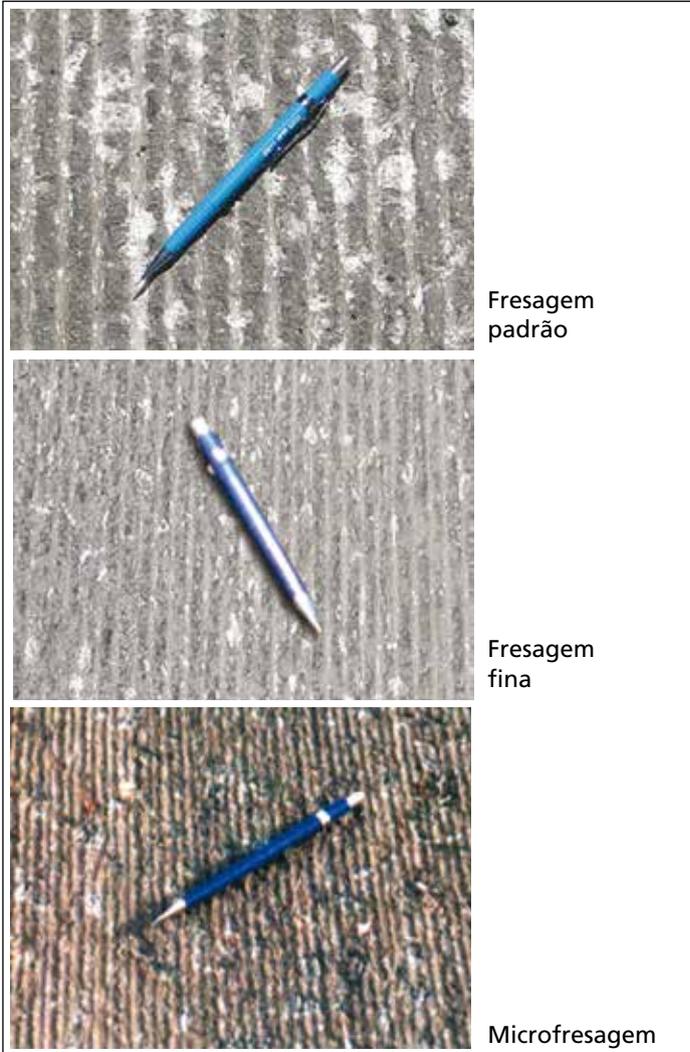
A microfresagem é resultante da fresagem com cilindro dotado de dentes de corte posicionados lateralmente na distância de aproximadamente 2 a 3 mm.

Consiste na remoção de uma camada muito delgada do revestimento, visando a adequação do perfil longitudinal ou retirada de faixas de sinalização horizontal das pistas, para alteração do layout viário.

Inicialmente os cilindros de microfresagem eram disponíveis apenas para equipamentos de pequeno porte, como o modelo W 350, da fabricante Wirtgen, e os dentes de corte eram de menores dimensões se comparados com os dentes utilizados nos outros tipos de fresagem.

Neste tipo de aplicação, a posterior aplicação de nova camada de revestimento é totalmente dispensada.

A Figura 3 apresentada a seguir mostra uma comparação entre os tipos de fresagem, quanto à rugosidade resultante na pista, ou seja, fresagem padrão, fresagem fina e microfresagem.



**Figura 3:** Comparação entre os tipos de fresagem quanto à rugosidade resultante na pista



## 4. Equipamentos

**E**xistem muitos fabricantes de equipamentos de fresagem em todo o mundo. Além dos já citados na introdução, estão a Bitelli (hoje da Caterpillar Company), Caterpillar, Ciber, Dynapac, Ingersoll Rand, Marini, Roadtec, Stravostroj, Sakai, Weber, Wirtgen entre outros.

Hoje, no Brasil, existem muitos equipamentos de fresagem de diversos fabricantes, de vários tamanhos e modelos, capazes de atender a todas as necessidades do mercado, com alguns deles sendo fabricados no País há alguns anos.

Os equipamentos de fresagem podem ser subdivididos quanto ao seu tamanho como de pequeno, médio e grande porte.

Para exemplificar, serão citados alguns modelos de equipamentos seguidos do nome do fabricante, mas nem todos estão disponíveis ainda no mercado brasileiro.

Freqüentemente, a nomenclatura do modelo do equipamento faz referência à largura do cilindro fresador. Alguns fabricantes referem-se à largura em centímetros ou milímetros, não existindo nenhuma convenção quanto a isso.

Alguns dos novos modelos da Wirtgen, que antes se referia à largura do cilindro em milímetro, agora em suas novas séries, passou a adotar o centímetro, como é o caso do modelo W 1000 F, que apresenta sua nova versão como W 100 F.

## 4.1. Equipamentos de fresagem de pequeno porte

São equipamentos destinados à fresagem de arremates junto às diversas interferências existentes nos pavimentos.

Anteriormente, uma das grandes dificuldades nos serviços de fresagem era executar esses tipos de arremates. Hoje, para facilitar essa tarefa, foram introduzidos os equipamentos de pequeno porte.

São utilizados principalmente para execução de pequenas intervenções, em pontos localizados, como remendos, acabamentos ao redor de tampões de ferro, junto a sarjetões, entre outros, uma vez que os mesmos, devido ao seu tamanho, são muito mais versáteis.

Mesmo os equipamentos de pequeno porte geralmente possuem correia transportadora para carregamento do material fresado simultaneamente em caminhões basculante, com exceção dos modelos com cilindro na largura de 350 mm.

A seguir estão relacionados alguns equipamentos de pequeno porte:

- BM 500/15 (Bomag)
- PL 350 S (Dynapac)
- MW 500 (Volvo)
- SF 515 (Weber)
- W 35 (Wirtgen)
- W 35 DC (Wirtgen)
- W 50 (Wirtgen)
- W 50 DC (Wirtgen)
- W 60 (Wirtgen)



**Figura 4:** Fresadora W 35 DC, da Wirtgen, sobre três rodas

O equipamento apresentado na Figura 4 possui cilindro com largura de fresagem de 350 mm e capacidade de corte de até 100 mm em uma única passada, enquanto o equipamento apresentado na Figura 5 possui cilindro com largura de fresagem de 500 mm e capacidade de corte de 160 mm em uma única passada.



**Figura 5:** Fresadora W 50, da Wirtgen

Os equipamentos W 35 e W 50 são os novos lançamentos da fabricante Wirtgen e substituíram os modelos W 350 e W 500, respectivamente.

#### **4.2. Equipamentos de fresagem de médio porte**

Os equipamentos de fresagem de médio porte são destinados à execução de fresagem tanto de pequenas quanto de grandes áreas.

Em termos de produtividade, quando da fresagem de grandes áreas, os modelos anteriores, como o modelo 1000 C, da Wirtgen, e o SF 100 T4, da Bitelli, tinham um desempenho modesto e não apropriado para a execução de arremates. Os novos equipamentos, com cilindros de mesma largura, como os modelos W 1000 L, W 1000, W 100, W 1000 F e W 100 F, apesar de também não apropriados para a execução de arremates, apresentam um bom desempenho quando a frente de serviço oferece boas condições

para a execução da fresagem, sem muitas interrupções, e também quando utilizado em ruas estreitas, por apresentarem maior versatilidade nas manobras.

Possuem correia transportadora para o carregamento do material fresado em caminhões basculantes simultaneamente à execução da fresagem.

A seguir estão relacionados alguns equipamentos de médio porte:

- Volpe SF 100 T4 (Bitelli – Caterpillar Company)
- Lince SF 150 (Bitelli – Caterpillar Company)
- PM 102 (Caterpillar Company)
- PRT-225 (C.M.I.)
- PL 1000 RS (Dynapac)
- SFS 100 (Stavostroj)
- 1000 C (Wirtgen)
- W 1000 (Wirtgen)
- W 1000 L (Wirtgen)
- W 1000 F (Wirtgen)
- W 100 F (Wirtgen)
- W 1200 F (Wirtgen)
- W 120 F (Wirtgen)
- W 1300 F (Wirtgen)
- W 130 F (Wirtgen)
- 1300 DC (Wirtgen)
- 1500 DC (Wirtgen)
- W 1500 (Wirtgen)

Alguns dos modelos citados, apesar de ainda encontrarmos em trabalho, já não são mais oferecidos pelos fabricantes.

Todos os equipamentos apresentados na Figura 6 possuem cilindros com largura de 1000 mm. Quanto à capacidade de corte, a W 1000 pode atingir 250 mm em uma única passada do equipamento; o modelo PL 1000 RS, da Dynapac, 250 mm;



Fresadora W 1000, da Wirtgen



Fresadora PL 1000 RS, da Dynapac



Fresadora PRT-225, da C.M.I.



Fresadora PM 102, da Caterpillar

**Figura 6:** Modelos de equipamentos com cilindros com largura de fresagem de 1000 mm

o modelo PRT-225, da C.M.I., com carregamento frontal, 200 mm; e, finalmente, o modelo PM 102, da Caterpillar, também com carregamento frontal, 305 mm.

### **4.3. Equipamentos de fresagem de grande porte**

São destinados à fresagem de grandes áreas, por tratar-se de equipamentos com cilindro fresador com larguras maiores que as dos citados anteriormente.

São indicados para locais que oferecem boas condições para o perfeito desenvolvimento dos trabalhos, sem muita interferência, como em ruas largas, grandes avenidas e, principalmente, em rodovias.

Em função do seu tamanho, deve-se evitar a realização de muitas manobras com o equipamento, o que seria prejudicial tanto do ponto de vista da produtividade quanto dos problemas que ele pode vir a causar ao trânsito local, apesar da evolução dos mesmos quanto ao sistema de manobras.

A seguir são relacionados alguns equipamentos de grande porte:

- BM 2000/60 (Bomag)
- PM-200 (Caterpillar)
- PM-465 (Caterpillar)
- PM-565 (Caterpillar)
- PL 2000 S (Dynapac)



Fresadora PM-465,  
da Caterpillar



Fresadora MP 2000, da Marini



Fresadora PL 2000 S,  
da Dynapac



Fresadora W 1900, da Wirtgen

**Figura 7:** Modelos de equipamentos com cilindros com largura de fresagem de 2000 mm

- MT 2000 (Ingersoll Rand)
- MP 2000 (Marini)
- RX 45 (Roadtec)
- RX 700 (Roadtec)
- W 1900 (Wirtgen)
- 2000 DC (Wirtgen)
- W 200 (Wirtgen)
- 2100 DC (Wirtgen)
- W 210 (Wirtgen)
- W 2000 (Wirtgen)
- W 2100 (Wirtgen)
- W 2200 (Wirtgen)

Os equipamentos apresentados na Figura 7 são similares e com cilindros na largura de 1900 a 2000 mm. Quanto à capacidade de corte dos equipamentos apresentados, a fresadora PM-465, da Caterpillar, pode atingir até 305 mm em uma única passada; a fresadora MP 2000, da Marini, 320 mm; a fresadora PL 2000 S, da Dynapac, 320 mm; e a fresadora W 1900, da Wirtgen, até 320 mm.

A fresadora W 2200, da Wirtgen, com cilindro na largura de 2,20 m e podendo chegar a 4,20 m como opcional, atinge até 350 mm em uma única passada do equipamento.



## 5. Principais componentes dos equipamentos

Neste capítulo serão apresentados os principais componentes dos equipamentos de fresagem, descrevendo suas funções e importância na operação.

### 5.1. Cilindro fresador

O cilindro fresador (*milling drum*) é um tambor rígido construído em aço especial, no qual os dentes de corte são fixados, o que varia para cada fabricante. É também conhecido como rolo fresador ou tambor fresador.

O sistema de corte do equipamento é basicamente o mesmo para todos os modelos. Os equipamentos possuem o cilindro fresador que gira em alta rotação e, quando colocado para cortar, inicia o desbaste de espessura do pavimento.

Os cilindros fresadores são acionados por intermédio de correntes, correias ou motores hidráulicos, dependendo do modelo e do fabricante.

A maioria dos cilindros possui os dentes de corte dispostos em forma de “V”, resultado do desenho formado por dois helicóides a partir da parte mediana do cilindro. Isso faz com que o material fresado, em função do giro, seja conduzido para o centro da caixa do cilindro fresador, facilitando seu lançamento na correia transportadora por ocasião da fresagem, ou o aleiramento, quando da reciclagem “in situ” a frio, entre as sapatas traseiras do equipamento.

Alguns modelos possuem cilindros formados por um único helicóide, fazendo com que o material fresado seja direcionado para o lado e para que seja lançado na correia transportadora, como a fresadora PRT-225, da C.M.I.

#### 5.1.1. Sistema de fixação dos cilindros fresadores

Os cilindros fresadores podem ser classificados em função do tipo de fixação dos suportes dos dentes de corte:

- i) **Sistema fixo:** trata-se de um sistema helicoidal em que os suportes são soldados diretamente no cilindro fresador. Tal sistema foi usado inicialmente e caiu em desuso em função das dificuldades de manutenção do mesmo.
- ii) **Sistema segmentado:** trata-se de um sistema helicoidal formado por segmentos parafusados diretamente no cilindro fresador. Cada segmento é formado por uma base calandrada conforme a curvatura do cilindro e pelos suportes dos dentes de corte. Apesar de significativa evolução se comparado ao sistema fixo, a manutenção ainda depende de serviços de solda quando necessária a substituição do suporte do dente de corte durante a execução da fresagem.
- iii) **Sistema de troca rápida:** o helicóide é formado por blocos soldados no cilindro fresador e em cada bloco é montado um suporte de dente especial que é parafusado no próprio bloco. Esse tipo de cilindro é muito prático quando há necessidade de reparos no mesmo, permitindo a troca do suporte do dente de corte em poucos minutos, sem necessitar de serviços de solda.

#### 5.1.2. Tipos de cilindros fresadores

Inicialmente as fresadoras apresentavam somente um tipo de cilindro quanto à rugosidade resultante na pista, o modelo para fresagem padrão (*standard*).

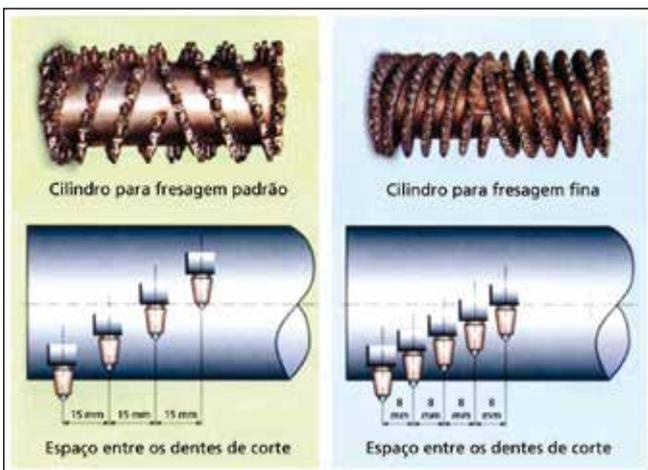
Certamente o cilindro fresador foi o componente que mais evoluiu nos equipamentos de fresagem, haja vista a evolução no sistema de fixação e troca dos suportes (*holders*) e o número de cilindros com menor espaçamento entre os dentes de corte, diminuindo a profundidade dos sulcos e melhorando a textura resultante na pista.

### 5.1.2.1. Cilindro para fresagem fina

A fresagem fina foi introduzida com o objetivo de reduzir a rugosidade resultante na pista, principalmente para aplicação nos locais onde se pretende deixar a superfície fresada exposta ao tráfego, como nos serviços de regularização superficial do pavimento e melhoria da aderência pneu-pavimento.

O cilindro fresador é composto de maior número de dentes de corte, ou seja, mais denso.

A Figura 8 ilustra dois cilindros fresadores, para fresagem padrão e fresagem fina, e apresenta esquematicamente, a posição de ataque dos dentes de corte, de 15 mm e 8 mm, respectivamente.



**Figura 8:** Comparação entre os cilindros de fresagem padrão e fresagem fina

A fresagem fina, se deixada exposta ao tráfego, além de proporcionar um maior conforto ao rolamento se comparado à fresagem padrão, traz outras vantagens, como quando da aplicação de microconcreto asfáltico polimerizado, reduzindo a espessura necessária de material, por apresentar uma superfície menos rugosa.

A Wirtgen tem disponível no mercado cilindros para fresagem fina para equipamentos de pequeno, médio e grande porte.

Existem ainda no mercado cilindros de fresagem fina com maior número de dentes, como o modelo 6 mm x 2, da Wirtgen. O cilindro com largura de 2000 mm possui 672 dentes de corte e pode ser instalado nos modelos W 1900 e W 2000.

#### 5.1.2.2. Cilindro para microfresagem

Na microfresagem, o espaçamento entre os dentes de corte é ainda menor se comparado à fresagem fina, podendo chegar a 2 e 3 mm.

Existem dois tipos de cilindros de microfresagem, diferenciando-se nas dimensões dos dentes de corte e, conseqüentemente, dos porta-dentes.

Inicialmente, foi introduzido o cilindro para equipamento de pequeno porte e com dentes de corte com dimensões inferiores aos usados nos cilindros de fresagem padrão e fresagem fina.



**Figura 9:** Cilindro de microfresagem – possui dentes de corte menores que o padrão

A Figura 9 apresenta um cilindro específico para a realização de microfresagem e a Figura 10, uma comparação entre o dente de corte utilizado para fresagem padrão e o dente de corte para microfresagem, para esse tipo específico de cilindro.



**Figura 10:** Comparação entre os dentes de fresagem padrão e microfresagem

Uma das aplicações dessa técnica é a remoção de faixas de sinalização horizontal das pistas, visando alterar o layout viário, conforme pode-se observar na Figura 11. Para alteração do layout viário são recomendados os equipamentos de pequeno porte, em função de seu tamanho e versatilidade na execução.



**Figura 11:** Layout viário alterado utilizando a microfresagem do revestimento

Entre outras aplicações da microfresagem estão a correção do perfil longitudinal das vias sem a necessidade de aplicação de nova camada de revestimento. Neste enfoque, foi introduzido na Alemanha um cilindro para microfresagem e instalado em um equipamento de grande porte, o modelo Wirtgen W 2000, com cilindro na largura de 2000 mm, dotado de 1.080 dentes, conforme ilustra a Figura 12.



**Figura 12:** Cilindro especial de microfresagem dotado de 1.080 dentes

Em trechos de pista onde a velocidade de tráfego não é controlada, é de suma importância que o perfil longitudinal esteja dentro dos limites exigidos em projeto. Esse tipo de cilindro possibilita a correção do perfil longitudinal apenas com a execução da microfresagem, com a rugosidade resultante na pista dispensando a aplicação de qualquer tipo de material sobre a mesma.

Dentre aproximadamente 600 tipos de cilindros que são disponibilizados no mercado pelo fabricante Wirtgen, este foi idealizado para a execução de microfresagem, oferecendo a possibilidade de correção da pista, minimizando os custos para adequação aos parâmetros exigidos pelo órgão responsável, além da diminuição do tempo necessário para a solução, minimizando também os transtornos aos usuários.

Comparativamente, em um cilindro de mesma largura para fresagem padrão, o número de dentes é de aproximadamente 180 e para fresagem fina 280, dependendo do fabricante.



**Figura 13:** Execução de microfresagem para correção do perfil longitudinal da pista

Observando a Figura 13, parte da faixa de sinalização horizontal não foi fresada, e nota-se que ao lado da mesma a textura resultante na pista é praticamente a mesma do revestimento existente. Nesse caso, o perfil longitudinal foi adequado aos limites exigidos pelo órgão sem a necessidade da fresagem convencional e posterior recapeamento.

### 5.1.3. Largura dos cilindros fresadores

A largura do cilindro fresador geralmente está relacionada ao tamanho do equipamento, porém, existem equipamentos que possibilitam

a troca do cilindro com larguras diferentes, inclusive para execução de fresagem fina.

Alguns equipamentos são montados sobre chassis idênticos, nos quais os modelos variam de acordo com a largura do cilindro fresador instalado e a potência do motor.

São encontrados cilindros fresadores de diversas larguras, tais como: 350, 500, 600, 900, 1000, 1200, 1300, 1500, 1900, 2000, 2100 mm etc., entre outras.

Existe ainda um equipamento que possui a particularidade de permitir variar a largura de fresagem em múltiplos de 250 mm, assim: 250, 500, 750 e 1000 mm, a fresadora 1000 C, da Wirtgen, conforme ilustram as Figuras 14 e 15.

Para tanto, retiram-se os segmentos desejados e para que não haja danos no cilindro durante o processo de fresagem, colocam-se os segmentos lisos nos locais antes ocupados por segmentos dentados.



**Figura 14:** Cilindro fresador com sistema segmentado



**Figura 15:** Fresadora SF 1000 C adaptada para execução de fresagem na largura de 500 mm

Apesar de ainda encontrarmos vários equipamentos em operação, este modelo não é mais oferecido pelo fabricante.

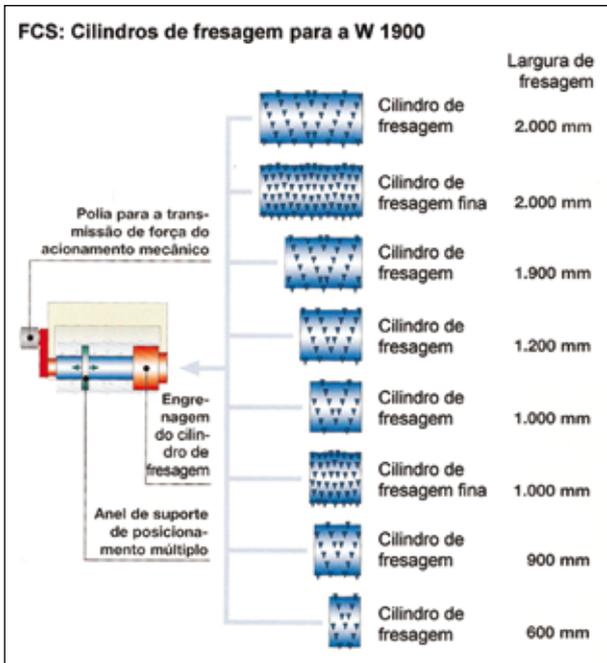
O cilindro apresentado na Figura 16, de troca rápida, é componente da fresadora Wirtgen 1900, com largura total de fresagem de 2000 mm.



**Figura 16:** Cilindro fresador do modelo W 1900 com sistema de troca rápida

Observa-se ainda na Figura 16 a presença de ejetores dispostos na parte central, cuja finalidade é auxiliar o carregamento do material fresado do interior da caixa do cilindro para a correia transportadora.

A fresadora modelo W 1900, da Wirtgen, possui uma particularidade muito interessante: permite a substituição do cilindro fresador, oferecendo cilindros nas larguras de 600, 900, 1000, 1200, 1900 e



**Figura 17:** Cilindros disponíveis para a fresadora modelo W 1900, da Wirtgen

2000 mm para fresagem padrão e cilindros nas larguras de 1000 e 2000 mm para fresagem fina.

Trata-se do sistema FCS, também disponível para outros modelos de equipamentos do fabricante.

São necessárias apenas duas a três horas de trabalho mecânico para a substituição de cada cilindro, tornando o equipamento muito mais versátil e possibilitando maior aplicação do mesmo.

Existem ainda alguns acessórios que podem ser acoplados aos equipamentos de fresagem, estando entre eles o anel de corte para valas, conforme ilustram as Figuras 18 e 19.



**Figura 18:** Anel de corte acoplado diretamente no cilindro fresador



**Figura 19:** Anel de corte acoplado externamente ao equipamento

#### 5.1.4. Atuação do cilindro fresador no pavimento

A atuação do cilindro fresador no pavimento se dá no sentido anti-horário, conforme ilustra a Figura 20.



**Figura 20:** Sentido de giro do cilindro fresador

A velocidade de operação altera a granulometria do material resultante do processo de fresagem, principalmente em relação ao tamanho dos grumos<sup>1</sup>, conforme apresentado no Capítulo 12 deste livro.

## 5.2. Dentes de corte

Os dentes de corte, ou ferramentas de corte (*cutting tools*), são as pontas de ataque que agem diretamente no pavimento, responsáveis pelo desbaste do mesmo.

Essas peças são constituídas por corpo forjado em aço, com ponta de material mais duro, de carboneto de tungstênio e cobalto.

Os dentes de corte possuem um anel cilíndrico que envolve sua base para que os mesmos sejam fixados sob pressão no interior do suporte, possibilitando girarem livremente durante o processo de fresagem, de forma a desgastá-los por igual. No Brasil, essas peças são também conhecidas por bits.

A aplicação dos dentes de corte não se limita aos equipamentos de fresagem, podendo ser utilizados em perfuratrizes ou acoplados ao longo da lâmina de motoniveladoras, entre outras aplicações.

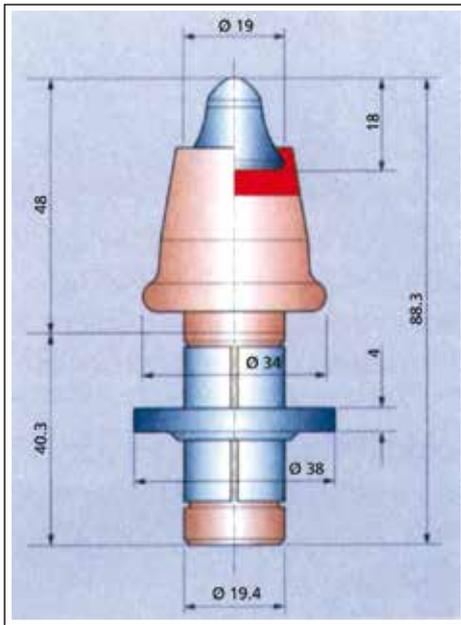
A Figura 21 apresenta um desenho esquemático do dente de corte utilizado para a fresagem padrão das fresadoras a frio.

O desgaste dos dentes de corte depende, principalmente, do tipo de aplicação a que se destina e da qualidade dos mesmos. No entanto, outros fatores podem diminuir a vida útil dessas peças, como a temperatura ambiente, sendo que, quanto menor a temperatura, maior o desgaste.

Os equipamentos de fresagem possuem reservatório de água, cuja principal função é espargir a água sobre o cilindro fresador, evitando

---

<sup>1</sup> GRUMOS: são pedaços de pavimento constituídos de um ou mais agregados, envoltos por material fino e Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), resultantes do processo de fresagem e a ele inerentes.



**Figura 21:** Dimensões (em mm) do dente de corte para fresagem padrão das fresadoras a frio

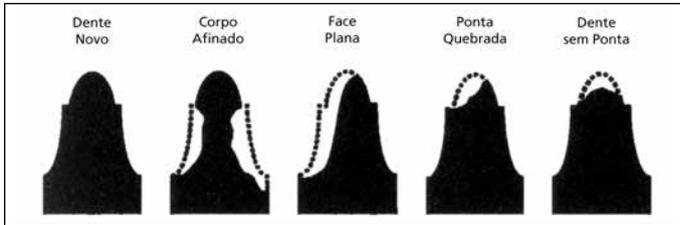
o travamento do dente de corte no anel cilíndrico, que ocasionaria sua troca antecipada por resultar desgaste desigual na peça, além de reduzir o nível de poeira decorrente da operação.

O consumo dos dentes de corte é variável e entre os fatores intervenientes estão a dureza e a qualidade dos materiais, tanto agregados quanto ligante betuminoso, a espessura de corte, a temperatura ambiente e, principalmente, o estado de degradação do pavimento.

O desgaste nos dentes de corte pode ocorrer de diversas maneiras e, segundo o Manual da Caterpillar<sup>[4]</sup>, os mesmos devem ser substituídos quando:

- a) o corpo do dente está afinado ao redor da ponta;
- b) surge uma face plana, em consequência do desgaste localizado, num dos lados do dente, indicando que o dente não está girando em seu suporte;

- c) a ponta do dente se quebra;
- d) a ponta do dente está sem corte.



**Figura 22:** Identificação do desgaste nos dentes de corte

### 5.3. Suportes dos dentes de corte

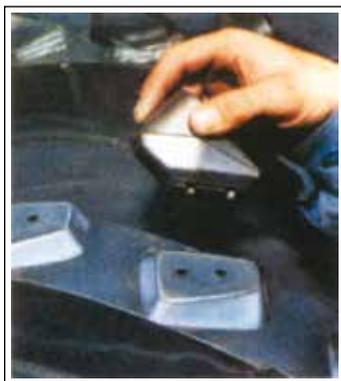
Os suportes dos dentes de corte (*holders*) são as peças nas quais os mesmos são fixados. Têm posições e ângulos de ataque definidos de forma a resultar, no pavimento, uma superfície de textura rugosa, porém plana e sem desníveis, com a distância e profundidade dos sulcos regulares.

A durabilidade desses suportes está diretamente relacionada ao estado em que se apresentam os dentes de corte do equipamento. Quando o dente de corte se apresenta com muito desgaste, esse fato, além de reduzir a velocidade de trabalho do equipamento, possibilita que, durante os serviços, os suportes sofram um desgaste superior ao normal.

Com base no exposto no item 5.1.1., dependendo do tipo de cilindro, uns suportes são soldados diretamente no cilindro fresador, outros, nos segmentos e parafusados no cilindro fresador; finalmente existem os suportes que são parafusados em componentes soldados no cilindro fresador.

Para a realização da solda do suporte, alguns possuem guias de orientação e outros não.

Exemplificando: no cilindro da fresadora Wirtgen 1000 C, equipamento muito comum no Brasil, os suportes não possuem essas guias e, nesse caso, a única orientação refere-se à altura dos mesmos no

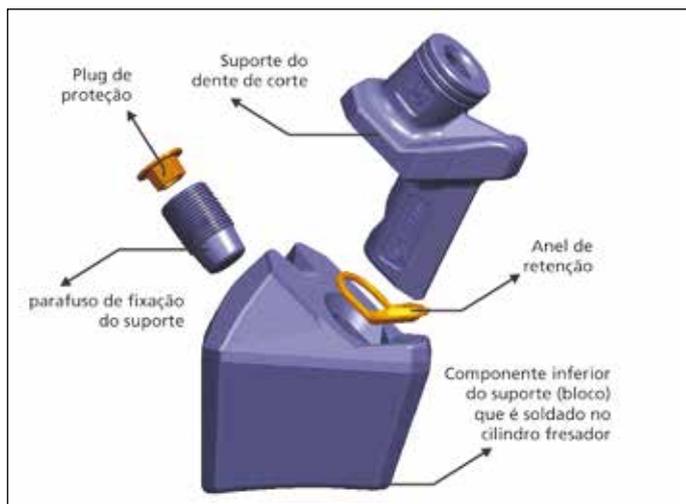


**Figura 23:** Suporte do dente de corte com guias

cilindro. Com relação ao ângulo de ataque, fica por conta da habilidade do soldador quando da necessidade de substituição.

Na fresadora Wirtgen W 50, os suportes possuem guias que orientam quanto à altura e quanto ao ângulo de fixação dos mesmos, garantindo a manutenção de uma superfície regular após o reparo.

Interferências existentes no pavimento, como um tampão de ferro “encoberto” por camada de revestimento asfáltico, podem ocasionar a quebra de dentes e até de suportes do cilindro fresador e, dependendo



**Figura 24:** Detalhe da fixação do porta-dente do sistema de troca rápida

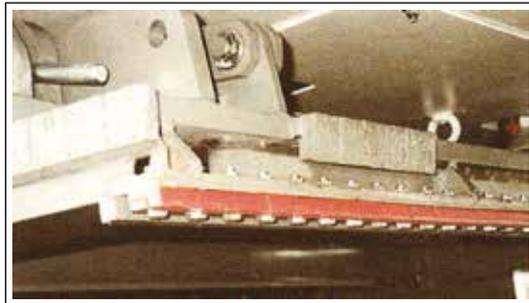
da gravidade do problema, determinar a paralisação da obra até que os mesmos sejam substituídos.

O sistema de fixação apresentado na Figura 24 permite a troca do suporte danificado apenas com a remoção do parafuso situado no componente inferior do mesmo, dispensando qualquer serviço de solda necessário aos outros tipos de cilindros.

#### 5.4. Raspadores

Os raspadores (*scrapers*) são forjados em aço e metal duro e fixados com parafusos na parte inferior da tampa da caixa do cilindro fresador, ao longo da mesma.

No mercado são encontradas peças unitárias (um raspador), triplas ou em larguras superiores, dependendo do fabricante.



**Figura 25:** Detalhe em vermelho dos raspadores

Os equipamentos de fresagem não possuem sistema para aspiração e coleta do material fresado. Como dito anteriormente, o material é “lançado” na correia transportadora, a partir do momento em que a caixa do cilindro fresador estiver com um volume de material suficiente para isso.

Para tanto, durante a fresagem, a tampa da caixa do cilindro deve ficar fechada e os raspadores têm como função atuar sobre a superfície com certa pressão para deixar o mínimo de material granular e pó de fresagem sobre a superfície.

A realização da fresagem com a tampa do scraper levantada resulta em uma superfície de textura mais rugosa. Prova disso é que em um cilindro fresador danificado, apesar desse problema provocar uma alteração do nivelamento dos sulcos (resultando sulcos diferenciados na superfície fresada), os raspadores atuam minimizando o problema.

Raspadores danificados ou a falta de alguma unidade podem ser responsáveis por uma superfície de fresagem irregular. Quando em perfeitas condições, o problema certamente refere-se ao cilindro, por uso de porta-dentes e dentes de tamanhos diversos (provenientes de diferentes fabricantes), ou ainda pelo desgaste natural do mesmo, deixando-o irregular.

## **5.5. Correia transportadora**

A correia transportadora é a parte do equipamento utilizada para a elevação do material e lançamento, simultaneamente à operação de fresagem, em caminhões basculantes para transporte ao local determinado para depósito.

Quase todos os equipamentos de fresagem possuem correia transportadora, com exceção de alguns equipamentos de pequeno porte, em que o material fresado é deixado na própria pista.

Alguns equipamentos possuem carregamento pela parte traseira, geralmente os de pequeno e médio porte, fazendo com que os caminhões acompanhem o carregamento do material fresado locomovendo-se de marcha à ré.

Geralmente, os equipamentos de grande porte possuem carregamento frontal e, nesses casos, com os caminhões basculantes acompanhando os serviços à frente dos equipamentos.

Não há nenhum critério definido por parte dos fabricantes quanto ao tipo de carregamento ser frontal ou traseiro em função do tamanho ou modelo do equipamento.

A tendência é o carregamento frontal e, a propósito, alguns fabricantes desenvolveram novos equipamentos, similares aos anteriores, optando por este tipo de carregamento.

Neste enfoque, a fabricante Wirtgen lançou a fresadora W 1000 F, um equipamento de médio porte, como ilustra a Figura 26, e recentemente as fresadoras W 100 F, W 120 F e W 130 F, todas com carregamento frontal e capacidade de corte de até 320 mm em uma única passada.



**Figura 26:** Fresadora W 1000 F, da Wirtgen, com carregamento frontal

A Figura 27 ilustra outro equipamento considerado de médio porte, a fresadora W 130 F, da Wirtgen.



**Figura 27:** Fresadora W 130 F, da Wirtgen, com carregamento frontal

Em termos práticos, a correia transportadora traseira faz com que necessariamente os caminhões basculantes tenham que manobrar ao término do carregamento, quando o equipamento está trabalhando em pista de mão única e posicionado na direção do fluxo.

Em vias estreitas, nos grandes centros urbanos, a correia transportadora pode atrapalhar quando existir a necessidade de realizar manobras com o equipamento, tendo em conta obstáculos como postes e placas de sinalização situados muito próximos aos locais de trabalho. Alguns equipamentos possuem hoje a correia transportadora dobrável, facilitando, inclusive, no transporte do equipamento em carretas.

## **5.6. Sistema de controle da velocidade**

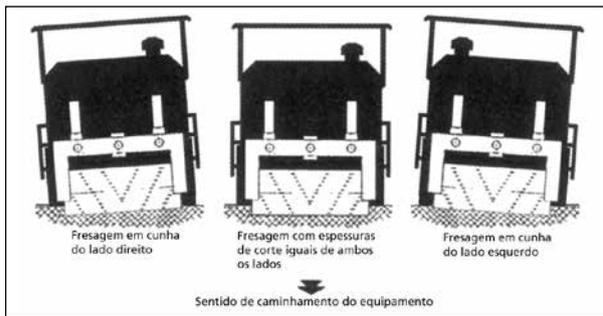
A velocidade de deslocamento do equipamento é controlada por meio de alavancas, que são acionadas manualmente.

Existem dois tipos de velocidade: a de deslocamento e a efetiva de trabalho. Esta é menor e varia em função do tipo de equipamento, da espessura de corte, do grau de oxidação e degradação do pavimento, dentre outros e, portanto, só pode ser determinada com medidas reais em campo.

## **5.7. Sistema de controle da profundidade de corte**

Os equipamentos de fresagem proporcionam a condição de realizar o corte do pavimento com diferentes espessuras, com espessuras iguais de ambos lados e com espessuras diferentes de cada lado do equipamento, possibilitando realizar o corte inclinando-se o equipamento para a direita ou para a esquerda, conforme desenho esquemático apresentado na Figura 28.

A profundidade de corte é aferida manual ou eletronicamente, dependendo do modelo, tendo como referência as cotas da superfície do pavimento onde os esquis do equipamento são apoiados.



**Figura 28:** Inclinações do equipamento de fresagem

No sistema manual, o operador ajusta a profundidade de corte girando as manivelas existentes de ambos os lados do equipamento e fazendo a leitura na régua situada de cada lado. No outro, é ajustada eletronicamente, com as informações enviadas pelos sensores ópticos direcionados à superfície de referência.

## 5.8. Sistema de apoio dos equipamentos

Os equipamentos de fresagem são apoiados sobre pneus maciços ou esteiras.

### 5.8.1. Sobre pneus

A maioria dos equipamentos de fresagem de pequeno e médio porte é apoiada sobre pneus, conforme ilustra a Figura 29.



**Figura 29:** Fresadora W 100 F, da Wirtgen, apoiada sobre pneus

### 5.8.2. Sobre esteiras

A maioria dos equipamentos de grande porte é apoiada sobre esteiras, por se tratar de equipamento mais pesado, visando melhor distribuição do próprio peso na superfície de apoio.

As esteiras são revestidas com material do tipo poliuretano, para que as mesmas não danifiquem ou deixem marcada a superfície do pavimento em recapeamento executado recentemente.



**Figura 30:** Fresadora W 100 F,  
da Wirtgen, apoiada sobre esteiras

Conforme ilustrado nas Figuras 29 e 30, alguns equipamentos de médio porte são oferecidos tanto apoiados sobre pneus quanto sobre esteiras.

## 6. Serviços e equipamentos complementares e de apoio operacional

Aqui são abordados os principais equipamentos e serviços de apoio operacional necessários para a realização da fresagem, além de equipamentos complementares.

### 6.1. Sinalização da pista

Para a execução dos serviços de fresagem, é necessária uma sinalização dos locais de trabalho incluindo placas e faixas indicativas alertando sobre a realização dos mesmos.

É um item de muita importância em função da segurança dos funcionários da obra e dos usuários da via.

Para os serviços realizados no período noturno, recomenda-se um bom aparato de placas, setas e barreiras com material reflexível suficiente para promover a canalização segura dos veículos. Nessas condições, os condutores dos veículos perceberão e reduzirão a velocidade a tempo para os níveis



indicados, não oferecendo risco a eles e aos funcionários que trabalham na obra.

**Figura 31:** Sinalização da pista para canalização do tráfego

O aparato necessário para sinalização da pista, visando a canalização dos veículos para o isolamento de faixa de tráfego, depende do tipo de via, além da faixa em questão a ser isolada.

Em pistas com mais de duas faixas de rolamento, para isolamento da faixa central, o recomendado é isolar também um dos lados, salvaguardando, enquanto possível, os acessos à via. Deve-se evitar trabalhar com veículos trafegando simultaneamente nas faixas laterais, visando o aspecto da segurança no trabalho.

## **6.2. Caminhão-pipa**

Segundo exposto anteriormente, é necessário espargir água sobre o cilindro fresador para diminuir o desgaste dos dentes de corte e minimizar o nível de poeira durante os serviços de fresagem. Para isso, é necessário um caminhão-pipa para o abastecimento dos reservatórios de água das fresadoras.

Os equipamentos possuem reservatórios de água de acordo com seu tamanho e aplicabilidade. Alguns modelos, com reservatórios de maior capacidade, dispensam o reabastecimento durante uma jornada de trabalho.

Outros modelos, com reservatórios de menor capacidade, necessitam de um caminhão-pipa ou equipamento similar para reabastecimento durante a realização do serviço.

## **6.3. Detector de metais**

O detector de metais é um equipamento manual utilizado, nesses casos, para verificação da presença de material metálico situado sob a camada de revestimento. Executa-se a detecção passando o aparelho sobre a superfície a ser fresada.

Principalmente nos grandes centros urbanos, é comum encontrar materiais metálicos sob a camada de revestimento asfáltico, onde o

recapeamento foi executado diretamente sobre esses elementos, sendo um deles os trilhos dos antigos bondes.

Também é muito comum encontrar tampões de ferro sob revestimentos onde foram executados os recapeamentos sem o levantamento dos mesmos.

O emprego do detector de metais pode evitar a danificação do equipamento e a paralisação dos serviços.

## **6.4. Arremates em locais fresados**

Após a fresagem, devem-se executar os devidos arremates nos locais fresados, tanto em torno de tampões de ferro, quanto junto a sarjetões ou transversalmente ao sentido de corte, para uma perfeita ancoragem da nova camada de revestimento.

A fresagem transversalmente ao sentido de percurso do equipamento se faz necessária tanto no início quanto no final de cada local fresado, em função do formato do cilindro.

### 6.4.1. Com fresadoras de pequeno porte

Em algumas obras, a experiência tem mostrado que, para melhor rendimento dos serviços, é mais apropriado trabalhar com equipamento de pequeno porte complementando os serviços de equipamentos maiores.

Essa é uma solução freqüente em pavimentos urbanos, onde são encontradas várias interferências, como os pertences das concessionárias de serviços públicos.

Enquanto o equipamento maior executa a fresagem das áreas contínuas, o equipamento menor executa concomitantemente os arremates junto a essas interferências, junto a sarjetões de concreto e em locais de difícil acesso para os equipamentos maiores.



**Figura 32:** Fresadoras de pequeno e grande porte trabalhando juntas

#### 6.4.2. Com unidades de fresagem acopladas a outro tipo de equipamento

Os arremates junto aos diversos pertences de concessionárias também podem ser executados com unidades de fresagem acopladas a outro tipo de equipamento, do tipo bobcat ou similar, conforme ilustra a Figura 33.



**Figura 33:** Unidades de fresagem acopladas aos equipamentos

Vale ressaltar que não se trata propriamente de equipamento de fresagem e, sim, de acessório adaptado hidráulicamente, ficando a produtividade muito aquém se comparada a um equipamento específico de fresagem.

### 6.4.3. Com serra de disco e rompedores pneumáticos

Na falta de equipamento apropriado, é comum utilizar serra de disco e/ou rompedor pneumático para execução dos arremates e viabilização de um corte perpendicular no início e final dos trechos fresados, proporcionando uma melhor ancoragem da camada asfáltica.

A Figura 34 ilustra as etapas necessárias para o arremate, utilizando serra de disco e rompedor pneumático.



**Figura 34:** Procedimento para arremate no início e final dos cortes, para melhor ancoragem da camada asfáltica

O procedimento mostrado na Figura 35 também é muito comum, executando-se o arremate apenas com o rompedor pneumático para o corte perpendicular.



**Figura 35:** Arremate com rompedor pneumático

## 6.5. Caminhões basculantes

Durante a realização da fresagem, são utilizados caminhões basculantes para o transporte do material fresado e coleta do material excedente que fica na pista.

A quantidade necessária e o tipo de caminhão devem ser determinados em campo, em função das condições de trânsito e da distância do “bota-fora”.

Como ordem de grandeza, é recomendado, para uma distância média de ida e volta de 10 quilômetros, o seguinte:

- Para máquina 1000: 3 caminhões basculantes (toco);
- Para máquina 1500: 5 caminhões basculantes (trucado);
- Para máquina 2000: 7 caminhões basculantes (trucado).

## 6.6. Varrição da pista

Segundo Balbo<sup>[5]</sup>, após a fresagem, naturalmente sobre a superfície restante do pavimento ficam presentes materiais soltos, finos ou granulares que, em caso de liberação da pista ao tráfego, tendem a ser levantados pela ação dos veículos, formando uma cortina de pó sobre o leito estradal, ou mesmo a ser lançados por ação de forças horizontais entre pneus de veículos e superfície de pavimentos, além de atuarem desfavoravelmente aos veículos em casos de frenagem brusca.

Isto posto, após a realização da fresagem e para liberação ao tráfego, deve ser procedida a varrição da pista para a retirada desses materiais soltos sobre a superfície fresada. Tal procedimento pode ser realizado manual ou mecanicamente.

O material resultante da fresagem é muito rico em ligante, haja vista que, em serviços de reciclagem “in situ” a frio, a média percentual – em peso – de emulsão que é incorporada fica em torno de apenas 1,5%. Para evitar que o material fresado comece a se agregar sobre a superfície fresada, a varrição deve ser realizada concomitantemente à realização dos serviços.

#### 6.6.1. Manualmente

Quando da introdução dos equipamentos de fresagem no Brasil, a varrição da pista era executada apenas manualmente, necessitando-se de muitos homens com vassourões, pás e carrinhos de mão para a realização dos serviços.

A varrição manual não é muito eficaz, pois é muito difícil só com ela retirar todo o material fino depositado sobre uma superfície rugosa.

Em locais onde a pista fresada deva ser liberada logo após a realização de uma etapa dos serviços, a varrição manual tem limitado o desempenho do equipamento de fresagem, necessitando antecipar sua paralisação, em virtude da demora na conclusão da varrição.

Outro fator desfavorável da varrição manual é que expõe os funcionários ao risco, uma vez que, na maioria das vezes, os serviços são executados geralmente com o trânsito de veículos fluindo na faixa de rolamento ao lado.

#### 6.6.2. Mecanicamente

A varrição mecanizada tem mostrado maior eficiência, tanto pelo resultado na pista quanto pelo fato de não limitar o desempenho do equipamento de fresagem.

Especialmente em concessões rodoviárias, a preferência é pela varrição mecanizada, por apresentar melhores resultados tanto de ordem prática quanto de ordem econômica, ensejando, em especial, os aspectos de segurança, tendo em vista a liberação da pista ao tráfego.

Outro fator importante nessa preferência é o uso de menor número de funcionários durante a operação.

Existem equipamentos específicos de varrição, como o modelo apresentado na Figura 36.



**Figura 36:** Caminhão de varrição

Além disso, existem acessórios que são adaptados a outros equipamentos, do tipo bobcat ou similar, que vêm sendo muito empregados para esse tipo de serviço, acoplando-se a vassoura na parte frontal dos mesmos, conforme ilustra a Figura 37.

Tanto na varrição manual quanto na executada mecanicamente, na ocasião da execução do recapeamento, é recomendada a utilização de compressor de ar para a retirada do restante de material fino sobre a superfície.



**Figura 37:** Equipamento bobcat equipado com vassoura mecânica

## **6.7. Carreta apropriada para o transporte dos equipamentos**

Não é aconselhável aos equipamentos de fresagem, principalmente para os apoiados sobre esteiras, a locomoção própria em grandes distâncias, o que pode provocar um grande desgaste no sistema rodante.

Para isso, é recomendável a utilização de carreta equipada com prancha apropriada para o transporte dos mesmos. A rampa deve ser “suave”, principalmente para os equipamentos que possuem o cilindro fresador entre os dois eixos, pois muitas vezes o cilindro atrapalha o “encarretamento”. Nesse sentido, o recomendado é utilizar uma rampa com rebaixo após o último eixo da prancha.

Em função do peso dos equipamentos, deve-se observar o número de eixos necessários para que não se ultrapasse a tonelagem por eixo normatizada no País.



**Figura 38:** Carretas apropriadas para o transporte de fresadoras

Em estradas, é comum encontrar rampas de concreto ou pode-se providenciar na obra um “encarretadouro” com solo local ou material granular, mas, em grandes centros urbanos isso se torna praticamente impossível.

Carretas mais longas possibilitam o transporte do equipamento de fresagem e o de varrição ao mesmo tempo.

## 7. Aplicação da técnica de fresagem

A introdução dos equipamentos de fresagem foi de fundamental importância nos serviços de restauração de pavimentos em geral, principalmente pela praticidade e rapidez, possibilitando a intervenção apenas nos locais que necessitam de reparos, e podendo ainda proporcionar:

- a) a manutenção do greide original da pista;
- b) a execução de remendos sem desnível nas emendas, em recapeamento apenas de faixa exclusiva de tráfego ou em remendos no pavimento;
- c) a correção e/ou alteração da inclinação das pistas com relação aos dispositivos de drenagem superficial;
- d) a manutenção do nivelamento dos tampões de ferro, entre outras interferências, principalmente em pavimentos urbanos.

Em algumas situações, a fresagem se apresenta como a melhor opção para pavimentos que receberam sucessivos recapeamentos sem a retirada do revestimento anterior, com efetiva atuação no alívio do peso sobre pontes e viadutos ou no restabelecimento da altura original dentro de túneis, sob pontes e viadutos, para colocação de nova camada de revestimento.

## 7.1. Tipos de aplicação

A técnica da fresagem possibilita um grande número de aplicações que, apesar de apresentarem certa semelhança entre si, são usadas de maneira específica nas obras. Em alguns casos são citados o tipo de equipamento mais adequado para a realização dos serviços.

### 7.1.1. Fresagem para correção de defeitos superficiais

É utilizada para correção de defeitos encontrados na superfície dos revestimentos, não se limitando à fresagem superficial empregada na correção de deformações plásticas, exsudações etc.

Em locais com exsudação, realiza-se a fresagem superficial, visando restaurar a aderência pneu-pavimento para proporcionar maior conforto e segurança aos usuários.

Em locais com deformações, realiza-se a regularização da pista determinando-se, com o auxílio de uma régua apoiada sobre o pavimento, as áreas de intervenção. Tal procedimento é adotado para melhorar as condições de trafegabilidade.



**Figura 39:** Fresagem de regularização da pista

Nessa aplicação, com o cilindro fresador em perfeitas condições, o recapeamento sobre a superfície fresada pode ser descartado.

Podem-se executar esses serviços com qualquer modelo de fresadora, ficando a escolha em função da disponibilidade de equipamento e

das áreas a serem fresadas, porém, são mais indicados os equipamentos com cilindros fresadores mais largos, para facilitar o trabalho e, se possível, com cilindro para fresagem fina, minimizando a rugosidade resultante na pista.

### 7.1.2. Fresagem de áreas descontínuas

Esta aplicação consiste na execução de fresagem de áreas descontínuas, com variações de comprimento e largura e, muitas vezes, atingindo a largura total de uma ou mais faixas de rolamento. Na maior parte dos trabalhos, esta aplicação acontece nas faixas mais solicitadas.

Nos casos em que a fresagem não atinge a largura total da pista, deve-se observar o aparecimento de degrau longitudinal no pavimento enquanto não se executa o recapeamento.

Degráus resultantes de espessuras de corte delgadas são toleráveis por um período reduzido; porém, nos casos de profundidades maiores, estes podem colocar em risco a vida dos usuários, principalmente dos condutores de motocicletas.

Para evitar o degrau na pista, a fresagem é interrompida quando já executada uma quantidade ideal para a execução do recapeamento no mesmo dia. O inconveniente é que limita em muito a produtividade do equipamento.

Quando se tratar de fresagem profunda, necessariamente o local deve ser isolado ao tráfego, pelo menos até a colocação das camadas inferiores, de *binder*, por exemplo, diminuindo o degrau.

Pode-se utilizar qualquer fresadora para áreas maiores e, no caso de intervenções em remendos menores, são recomendados equipamentos de pequeno e médio porte, mais convenientes tanto na prática quanto economicamente.

Em se tratando de áreas ainda menores, como em operação de tapa-buracos, são indicados os equipamentos de pequeno porte, au-

mentando a capacidade produtiva se comparada ao requadramento executado com rompedores pneumáticos.

A Figura 40 apresenta algumas áreas em um pavimento com intervenções apenas nos locais especificados em projeto, onde se deseja executar o reparo do revestimento.



**Figura 40:** Intervenções em áreas descontínuas

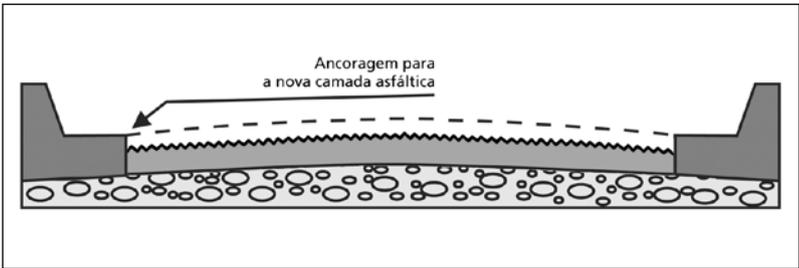
### 7.1.3. Fresagem contínua de toda a pista

Esta aplicação consiste na execução da fresagem na largura total da via, nas espessuras de corte determinadas em projeto.

Tal procedimento é utilizado em locais onde se deseja manter as cotas do greide após o recapeamento; solucionar problemas de pavimentos muito oxidados ou apresentando muito desgaste superficial; atenuar os efeitos de reflexões ou propagação de trincas do pavimento remanescente à nova camada asfáltica e até mesmo eliminar outros defeitos existentes na camada de revestimento asfáltico, como exsudações e deformações plásticas.

A fresagem de toda a pista é utilizada também para aliviar peso sobre pontes e viadutos, causado por recapeamentos sem a retirada da camada dos revestimentos anteriores e para restauração das cotas originais do greide do pavimento.

Nestes casos, são indicados os equipamentos de grande porte, visando minimizar o tempo de intervenção na pista.



**Figura 41:** Fresagem contínua de toda a pista

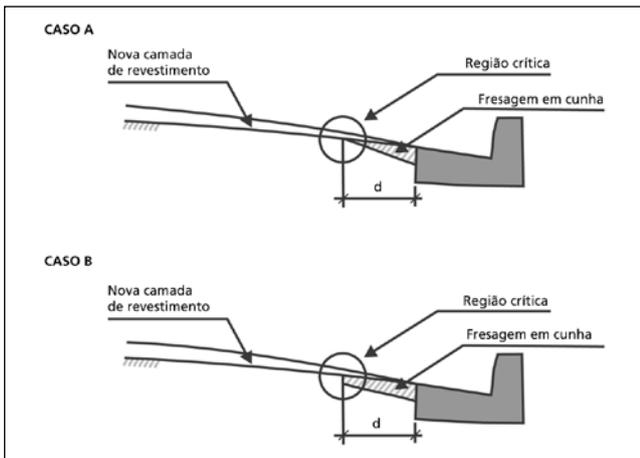
#### 7.1.4. Fresagem em cunha

A fresagem em cunha, conhecida também como fresagem de “garra”, é aquela executada somente nas bordas das pistas, junto à sarjeta, inclinando-se o cilindro fresador para o lado desejado, com o intuito de promover a ancoragem da nova camada de revestimento.

Para tanto, é de suma importância observar o abaulamento do pavimento existente antes desse tipo de intervenção, pois a repetição desse procedimento, com a retirada das camadas anteriores apenas nas bordas das vias, pode acarretar situações de abaulamento indesejáveis, causando desconforto aos usuários das mesmas.

Esse processo apresenta melhores resultados que a cunha executada com o canto da lâmina de motoniveladoras, que é muito prejudicial à integridade desse equipamento.

Segundo descrevem Bonfim e Domingues<sup>[6]</sup>, são dois os casos em que a execução de fresagem em cunha é desfavorável, conforme mostra a Figura 42.

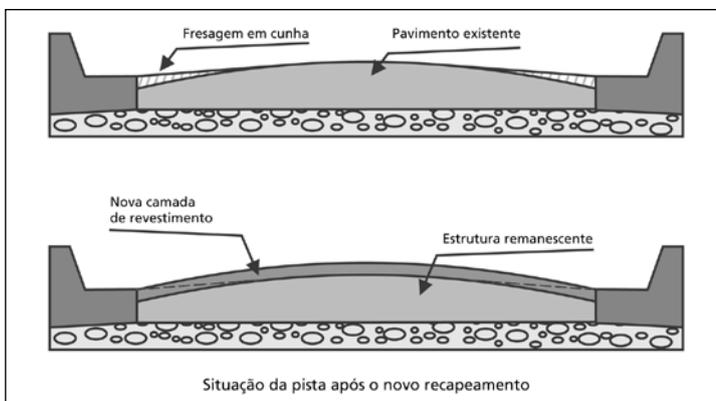


**Figura 42:** Situações não aconselháveis de fresagem em cunha

Em função do abaulamento existente na pista, determina-se a largura de fresagem “d”, que em casos extremos pode levar à fresagem total da pista.

Tanto no Caso A quanto no Caso B tem-se uma região crítica em função do abaulamento e da largura de fresagem “d” ser pequena. No caso “B”, a fresagem em cunha foi executada com degrau de ambos os lados.

A situação ideal é apresentada na Figura 43, “zerando-se” o corte no lado oposto à cunha.



**Figura 43:** Correta execução de fresagem em cunha com situação após o recapeamento

#### 7.1.5. Fresagem para a correção da inclinação do pavimento

É uma aplicação da fresagem para corrigir ou alterar a inclinação do pavimento existente longitudinal ou transversalmente.

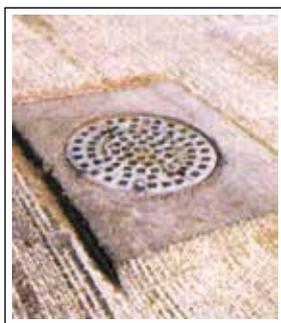
Geralmente os locais e espessuras de corte são determinados com o auxílio de levantamento topográfico e de acordo com o projeto.

Essa aplicação é muito freqüente em projetos de duplicação de estradas e a fresagem do pavimento, nesses casos, pode levar a uma economia nos custos da obra, tendo em conta as correções geométricas necessárias para tal.

#### 7.1.6. Fresagem de arremate

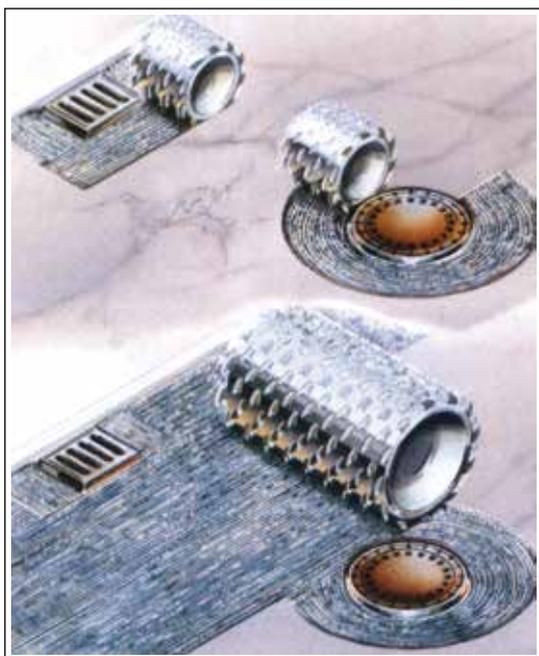
Esta aplicação consiste em executar a fresagem do pavimento junto às diversas interferências existentes no mesmo.

Em se tratando de vias urbanas, principalmente, esses serviços são complementares aos serviços executados com equipamentos de grande porte que, geralmente, deixam de fresar ao redor dessas interferências, como mostra a Figura 44.



**Figura 44:** Revestimento asfáltico sem fresagem ao redor do tampão de ferro

A Figura 45 apresenta, esquematicamente, a execução dos arremates junto a várias interferências.



**Figura 45:** Execução da fresagem e dos arremates

#### 7.1.7. Fresagem superficial para sonorização

Trata-se de fresagem superficial descontínua, com profundidade de corte de aproximadamente 10 mm, geralmente executada ao longo das áreas de refúgio e de acostamentos das pistas.

A superfície fresada exposta servirá de alerta aos usuários quando o veículo passar a trafegar fora dos limites das faixas de rolamento, não oferecendo problema com relação à segurança.

Para facilitar a execução e não causar preocupações com relação às distâncias entre as fresagens, a melhor forma de proceder é substituir as rodas traseiras, alinhadas com o cilindro fresador, por um conjunto de sapatas formando uma “falsa roda” de cinco lados. Assim, durante o avanço do equipamento, resulta a fresagem em distâncias constantes, sem que haja necessidade do operador levantar e baixar o cilindro fresador do equipamento para isso.

Geralmente são utilizados equipamentos de pequeno porte, como o Wirtgen W 350.



**Figura 46:** Equipamento com “falsa roda” para execução da fresagem para sonorização



**Figura 47:** Resultado na pista da fresagem para sonorização

## **7.2. Aplicação da técnica de fresagem na correção de defeitos**

A avaliação de pavimentos é um conjunto de atividades que visa descrever quantitativa e/ou qualitativamente a condição de um pavimento no que tange aos parâmetros conforto e segurança ao rolamento, tendo em vista os aspectos funcionais da via, bem como sua capacidade de suportar as cargas impostas pelo tráfego.

Do ponto de vista do usuário, vários são os fatores que indicam a ruptura de um pavimento, dita ruptura funcional, tendo em conta a subjetividade da avaliação efetuada pelo mesmo, que leva em consideração, de um modo geral, apenas os defeitos superficiais da camada de rolamento.

Dentre eles, podem-se destacar como aspectos principais as elevadas irregularidades longitudinais que levam ao desconforto, a baixa rugosidade do revestimento acarretando na falta de aderência do sistema pneu-pavimento, a presença de buracos na pista, o elevado nível de trincamento com erosão da camada de rolamento, os elevados afundamentos em trilha de roda e ainda as severas ondulações na pista.

Dessa forma, um simples levantamento visual pode dar uma demonstração da condição em que o pavimento se encontra do ponto de vista funcional no que tange aos aspectos de *morfologia de defeitos*, excetuando-se defeitos do tipo irregularidade, conforme procedimento das metodologias normativas DNER PRO-07/78<sup>[7]</sup>, DNER PRO-08/78<sup>[8]</sup>, DNER ES-128/83<sup>[9]</sup>, além das Instruções para Atividades de Campo publicadas pelo DNER<sup>[10]</sup>, que são utilizadas em nível de rede.

Não obstante, é muito importante conhecer as prováveis causas dos defeitos, denominadas *gênese*, além dos mecanismos de progressão da deterioração do pavimento.

Assim, é possível selecionar, entre as alternativas de reabilitação, aquela que conduza à eliminação ou inibição da propagação do defeito, como recurso para prolongar a vida útil do pavimento.

A fresagem do pavimento é solução tecnicamente viável para muitos dos defeitos observados nos pavimentos; porém, em alguns casos, ela não é adequada para a solução do problema, tendo em conta, especialmente, a abordagem relativa à gênese dos defeitos, estudados por técnicos rodoviários internacionais.

Dentre as várias publicações sobre o assunto defeitos de pavimentos, podem-se citar o Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies<sup>[11]</sup> e o MID - Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos<sup>[12]</sup>.

O MID é um manual muito específico e indicado, por se tratar de um estudo que contempla diversas publicações sobre o assunto, além de apresentar ilustrações de cada defeito em três diferentes estágios de degradação, sendo eles, de baixo, médio e alto nível de severidade.

### 7.2.1. Trincamentos

Os trincamentos (*cracking*) são os defeitos mais encontrados nos pavimentos asfálticos.

Cita Domingues<sup>[12]</sup>, dentre outros, os seguintes tipos: trincamento por fadiga, transversal, longitudinal, em blocos, por propagação de juntas e parabólico.

O primeiro estágio dos trincamentos dá-se com a fissuração do pavimento e, inicialmente, deve-se avaliar o mecanismo de ocorrência do trincamento e a forma como ele se propaga, para então decidir como solucionar o problema.



**Figura 48:** Eliminação do trincamento pela fresagem

Nos casos em que o mecanismo de propagação das trincas acontece da parte superior do revestimento asfáltico para baixo, a fresagem é uma solução adequada pois pode eliminar completamente o problema, como se pode observar na Figura 48.

Já nos casos em que o mecanismo de propagação das trincas acontece das camadas inferiores para as camadas da superfície do pavimento, constituindo a grande maioria dos casos, a utilização da fresagem e o posterior recapeamento retardam a propagação das trincas, mas não resolvem definitivamente o problema.

O trincamento parabólico é um exemplo de defeito que a fresagem soluciona definitivamente, pois se trata de um defeito superficial originado da pouca resistência da mistura asfáltica ou da ligação insuficiente entre as camadas subjacentes e de revestimento do pavimento.

### 7.2.2. Deterioração de remendos

Deterioração de remendos (*patch deterioration*) é o conjunto dos danos existentes nos locais onde foram executados remendos no pavimento. A deterioração do remendo pode ser ocasionada por má execução ou mesmo pela grandeza das solicitações a que estão sujeitas determinadas áreas ou faixas de rolamento do pavimento.

Se os defeitos forem de ordem técnica, de construção ou de dosagem do material, a fresagem pode solucionar definitivamente o problema, pois proporciona a retirada da camada defeituosa, propiciando a recomposição do pavimento com material dosado de maneira adequada.

Se o problema for estrutural, deve-se avaliar se a fresagem é uma solução viável economicamente em se tratando de grandes espessuras. Em alguns casos, o projetista pode optar pela reconstrução de parte ou de todo o pavimento.

A reciclagem com incorporação de cimento, por exemplo, pode promover a homogeneização e estabilização do material incorporando o revestimento à base, com posterior aplicação de nova camada de revestimento usinado a quente.

### 7.2.3. Buracos

Os buracos (*potholes*) ou panelas, como são também conhecidos, são defeitos localizados que correspondem, geralmente, a pequenas áreas. Inicialmente, por vários motivos, acontece a desagregação de certos componentes do revestimento do pavimento e a ausência de intervenção nesse estágio pode acarretar uma aceleração da desagregação, originando-se desta maneira um buraco.

A utilização de equipamentos de fresagem, nesses casos e na profundidade necessária para sanar o problema, é de fundamental importância do ponto de vista prático e econômico, pois possibilita

o requadramento dos locais onde existem buracos, oferecendo uma condição adequada para ancoragem das camadas de reconstrução, não permitindo ainda o desnível nas emendas.

#### 7.2.4. Afundamento em trilha de roda

O afundamento em trilha de roda (*rutting*) é uma depressão que ocorre ao longo das trilhas de roda, com conseqüente elevação lateral da camada asfáltica.

Esse defeito pode ser originado a partir da utilização de uma mistura asfáltica imprópria para as condições locais ou por deficiência estrutural das camadas inferiores do pavimento.

No primeiro caso, a fresagem é indicada para a correção do defeito, podendo remover completamente a camada com mistura inadequada e assim possibilitar a colocação de nova camada com mistura apropriada.

No segundo caso, geralmente caracterizado por afundamentos de trilha de roda com alto nível de severidade, a fresagem permite atacar a gênese do defeito somente com a retirada da totalidade da espessura necessária para a solução do problema.

Isso implica na demolição de parte ou de todo o pavimento e, sendo assim, deve-se realizar um estudo econômico para verificação da viabilidade do emprego de fresadoras.

#### 7.2.5. Depressão

Depressão (*depression*) ou afundamento são concavidades que aparecem nos pavimentos, relacionadas a defeitos de ordem construtiva ou originadas do recalque da estrutura do pavimento em determinados locais.

As depressões de ordem construtiva na camada de revestimento podem ser eliminadas com a fresagem de espessuras delgadas e posterior recapeamento.

Nos casos de recalques ou deformações das camadas inferiores, da mesma forma que nos casos anteriores, a fresagem pode ser utilizada e vir a solucionar o problema com a retirada das espessuras necessárias do pavimento para a correção do defeito, de forma que o pavimento passe a suportar as cargas às quais estará exposto, podendo, para tanto, atingir as camadas de base, sub-base, subleito ou até mesmo ser procedida a reconstrução do pavimento.

#### 7.2.6. Deformação plástica dos revestimentos

Deformação plástica dos revestimentos (*shoving*) são defeitos funcionais encontrados na superfície dos pavimentos provenientes, principalmente, da aplicação de uma mistura asfáltica inadequada, agravando-se o problema com a sobreposição de outras camadas de revestimento sem a retirada da camada existente.

Algumas misturas com excesso de ligantes, com fluência elevada e sujeitas a altas temperaturas, não suportam o tráfego e se deformam com a ação do mesmo. A fresagem do revestimento é uma técnica adequada para o caso pois permite a retirada da espessura do pavimento que apresenta o problema e oportuniza a colocação do novo revestimento sem alteração do greide.

Em alguns casos, para defeitos de baixo nível de severidade, emprega-se a fresagem apenas para a regularização da superfície do revestimento, visando melhorar as condições de trafegabilidade, com a melhoria da interação pneu-pavimento.

#### 7.2.7. Agregados polidos

Agregados polidos (*polished aggregates*) são defeitos funcionais produzidos pelo desgaste das arestas dos agregados expostos na superfície do pavimento pela ação do tráfego. Dessa forma, acontece a diminuição do coeficiente de atrito, prejudicando a aderência entre o pneu e o pavimento.

Vale ressaltar que os agregados polidos somente podem ser considerados defeitos a partir do momento em que a diminuição do coeficiente de atrito passe a significar redução da resistência à derrapagem.

Esses defeitos podem ocorrer em função do tipo de agregado utilizado na confecção da massa asfáltica não resistir à ação intensa do tráfego.

A fresagem superficial do revestimento asfáltico pode ser utilizada para proporcionar uma boa aderência entre o pneu e o pavimento e, conseqüentemente, melhorar as condições de resistência à derrapagem. Entretanto, em se tratando de agregado de qualidade inferior, o problema pode retornar após algum tempo de exposição ao tráfego.

Nesse tipo de intervenção, o mais indicado é realizar a fresagem fina ou a microfresagem.

#### 7.2.8. Exsudação

A exsudação (*bleeding flushing*) é resultante do afloramento de material betuminoso na superfície do pavimento, decorrente de excesso de ligante na mistura, constituindo-se, com o decorrer do tempo, em um filme que torna lisa essa superfície.

O processo de exsudação é irreversível pois não existe maneira de retirar o excesso de ligante da mistura.

A exsudação da massa asfáltica acarreta uma redução na aderência entre o pneu e o pavimento, situação que se agrava com o pavimento molhado.

Trata-se de um defeito funcional, que pode ser tratado de duas maneiras. Uma solução paliativa, com a fresagem superficial e sem o posterior recapeamento, para melhorar a condição de aderência pneu-pavimento; e outra solução definitiva, promovendo a retirada de toda a espessura do revestimento que apresente excesso de ligante, seguida de posterior recapeamento com massa asfáltica adequada.

No caso da solução paliativa, com a fresagem apenas superficial, o monitoramento desses serviços mostrou que o defeito retorna muito brevemente.

#### 7.2.9. Desestruturação do pavimento

Entre os defeitos que abrangem a desestruturação dos pavimentos estão a desintegração (*ravelling*), o intemperismo (*weathering*) e a desagregação (*stripping*).

Esses defeitos se caracterizam pela corrosão do revestimento, em função do desalojamento progressivo de partículas de agregado, da perda do ligante ou da perda de aderência entre o agregado e o asfalto.

A fresagem pode solucionar o problema baseando-se na solução proposta em projeto, quer seja superficialmente ou atingindo grandes espessuras de corte.

#### 7.2.10. Bombeamento de finos

O bombeamento de finos (*pumping*) é um defeito ocasionado pela carga exercida pelo tráfego e evidenciado pela presença de material do subleito na superfície do revestimento, material esse que alcança a superfície por intermédio das trincas existentes no pavimento.

Esse defeito é muito comum quando o pavimento se encontra muito trincado, com infiltração de água chegando até o subleito constituído de uma camada de material pouco permeável, como a argila. Dessa forma, em decorrência da drenagem dessa água no subleito ser muito lenta, esta permanece no interior do pavimento e quando da pressão exercida pelos pneus, é bombeada para a superfície através das trincas, carregando partículas finas de material do subleito, tendo como conseqüência o colapso da estrutura do pavimento em pouco tempo.

A fresagem e o recapeamento inibirão a entrada de grande quantidade de água no pavimento, mas as trincas tendem a se propagar e o defeito retorna em alguns meses.

A solução consiste em retirar as camadas superiores e promover a troca e estabilização do material do subleito, com posterior reconstituição das demais camadas do pavimento.

#### 7.2.11. Sobreposição de revestimentos asfálticos

A sobreposição de revestimentos asfálticos pode ser considerada um defeito a partir da ocasião em que provoque na pista uma condição indesejada à segurança e ao tráfego.

Por muitos e muitos anos, os pavimentos asfálticos receberam novas camadas de revestimentos visando melhorar as condições de segurança e de conforto ao rolamento, sem que se precedesse a retirada da camada existente. Tal procedimento foi praticado em virtude da inexistência de equipamentos apropriados para a retirada desse material.

A cada novo recapeamento as cotas do greide do pavimento são elevadas, causando vários problemas, tanto de ordem técnica quanto econômica.

A adoção da técnica de fresagem, nesses casos, tem se mostrado muito eficiente, proporcionando a manutenção do greide do pavimento.

#### 7.2.12. Desnível entre a pista e o acostamento

O desnível entre a pista e o acostamento (*lane/shoulder drop-off or heave*) é um defeito decorrente da sobreposição de camada(s) de revestimento asfáltico sem a utilização de equipamentos apropriados para garantir a cota original.

Anteriormente, o próprio projeto contemplava a construção do acostamento com um pequeno desnível em relação à pista de rolamento. O defeito toma proporções indesejadas quando da execução de sucessivas camadas de revestimento apenas nas faixas de tráfego, passando a oferecer risco aos usuários.

Fora isto, o desnível ou o aumento do mesmo entre a pista e o acostamento tem como causas prováveis o recalque ou desgaste de material do acostamento.

Em seu manual, Domingues<sup>[12]</sup> classifica como sendo de baixa, média e alta severidades o desnível entre 6 e 12 mm, acima de 12 até 25 mm e superior a 25 mm, respectivamente.

Cabe aos projetistas cotejar a solução mais vantajosa economicamente, em caso de novo recapeamento da pista.

Se houver a necessidade de recapeamento da pista e do acostamento, a fresagem em cunha da borda da pista é uma boa solução, pois elimina o degrau e melhora o escoamento de água.

Por outro lado, somente no recapeamento da pista de rolamento necessariamente apareceria um desnível entre a pista e o acostamento. A fresagem da pista, no caso, seria uma solução viável economicamente, pois dispensaria os recursos destinados à aplicação de material nos acostamentos e não alteraria as cotas do pavimento, seja na execução de remendos ou na recuperação de toda a pista.

## 8. Vantagens da utilização da técnica de fresagem

As aplicações da técnica de fresagem descritas anteriormente enfatizam sua viabilidade, porém, isso não significa que em todos os serviços de recapeamento sejam necessários o emprego de fresadoras.

Sucessivos recapeamentos passam a apresentar situações indesejáveis, que justificam a utilização da técnica para a solução de muitos problemas e, sendo assim, a seguir são apresentadas as suas principais vantagens.

### 8.1. Manutenção do greide do pavimento

A fresagem de uma dada espessura do revestimento definida em projeto possibilita a retirada do material degradado para colocação de novo material, sem alteração das cotas do pavimento, com relativa melhoria estrutural e funcional do mesmo.

Sucessivos recapeamentos, sem a retirada do revestimento existente, podem provocar problemas de ordem estética, funcional e de segurança.

Os problemas de ordem estética são aqueles observados quando as cotas do leito carroçável nas bordas chegam a ser superiores à cota das guias.

Um dos problemas de ordem funcional decorre da modificação da seção transversal de escoamento das águas pluviais, ocasionando

“afogamento” das bocas-de-lobo e deformação das sucessivas camadas de revestimento sobre as sarjetas, diminuindo a capacidade de drenagem das mesmas.

Outro problema importante de ordem funcional se dá pela diminuição do gabarito sob pontes, viadutos e dentro de túneis.

A alteração da seção transversal do pavimento causa, também, problemas de segurança, em função da inclinação excessiva da pista, além do fato dos usuários ficarem muito expostos a acidentes decorrentes da diminuição do espelho das guias, cuja finalidade é delimitar justamente a via do passeio.

A Figura 49 apresenta um pavimento onde foram executados sucessivos recapeamentos asfálticos sem a retirada do revestimento anterior, com a cota na borda do leito carroçável cerca de 30 cm acima da cota da guia.



**Figura 49:** Sobreposição de revestimentos asfálticos sem a retirada das camadas anteriores

## **8.2. Manutenção do nivelamento nas emendas**

Anteriormente à introdução dos equipamentos de fresagem, em situações de recapeamento apenas de faixas exclusivas ou de pequenas áreas, era usual a colocação de uma nova camada asfáltica sobre a existente, o que ocasionava um desnível em função da difícil e, às vezes, impossível concordância nas emendas.

Apesar de ser executada com a fração mais fina do material asfáltico, o desnível é inerente ao procedimento, além do que, em alguns pontos, o material se desagrega facilmente com a liberação do tráfego.

Esse desnível causa uma situação de desconforto aos usuários e provoca possíveis deformações e escorregamentos do material, pois não há uma ancoragem adequada para a nova camada de revestimento.

A Figura 50 apresenta uma ilustração do exposto, onde se pode verificar a emenda malfeita, com desnível e certa desagregação.



**Figura 50:** Remendo sobreposto no pavimento existente



**Figura 51:** Deformação plástica do revestimento

### **8.3. Correção de deformações plásticas**

As deformações do revestimento causam certo desconforto ao rolamento e, dependendo do grau de severidade, podem causar situações de risco aos usuários (Figura 51).

Nesses locais, particularmente nos corredores de ônibus e curvas de pequeno raio, em rotatórias e rótulas, a fresagem pode permitir a correção das deformações plásticas existentes no revestimento, promovendo a regularização da pista.

É, portanto, uma solução viável tanto do ponto de vista da restauração quanto da manutenção e conservação dos pavimentos.

#### **8.4. Manutenção do nivelamento junto aos pertences de concessionárias**

Nas vias urbanas existem muitas interferências decorrentes dos pertences das diversas concessionárias de serviços públicos, que causam descontinuidades na superfície dos pavimentos.

Esses pertences situam-se justamente sobre as diversas galerias usadas para as redes de água, energia, telefonia, etc., deixando expostos no revestimento os tampões de ferro.

A execução de recapeamento da via sem a fresagem do pavimento causa o desnivelamento entre o novo revestimento e esses pertences, obrigando necessariamente o posterior nivelamento dos mesmos.

Entretanto, é comum encontrar nos pavimentos a situação de desnivelamento proveniente de um ou mais recapeamentos, causando desconforto e insegurança ao rolamento, provocando, em muitos casos, acidentes graves ou mesmo danificando o patrimônio do usuário.



**Figura 52:** Desnível de 10 cm entre a pista e o tampão de ferro, resultado de dois recapeamentos sem a retirada do revestimento anterior

## 9. Problemas que podem ocorrer por ocasião da utilização da fresagem

A utilização da técnica de fresagem pode causar alguns problemas no pavimento e, em alguns casos, dadas as suas proporções, ocasionar até a paralisação dos serviços ou do tráfego por determinado período.

Alguns problemas são inerentes ao processo, como o degrau na pista; outros, porém, podem surgir com a fresagem, em função do tipo de intervenção e atuais condições do revestimento.

O projeto realizado por engenheiro experiente, ensejando o perfeito conhecimento das condições estruturais e funcionais dos pavimentos existentes, pode minimizar, em níveis satisfatórios, alguns problemas executivos inerentes ao processo.

Soluções adotadas sem base em um projeto criterioso podem levar ao aparecimento de imprevistos que, geralmente, acarretam acréscimo nos custos das obras ou, em outros casos, no insucesso da solução adotada.

### 9.1. Degrau na pista

O degrau na pista pode ser considerado como o mais grave dos problemas causados pela fresagem se houver a liberação da pista ao tráfego antes do recapeamento; e, dependendo da profundidade de corte, exige o isolamento total da área.

Existem dois tipos de degrau: o longitudinal e o transversal. Ambos podem ser minimizados com a adoção de alguns procedimentos em locais onde a pista necessariamente deva ser liberada ao tráfego antes do recapeamento.

No caso do degrau transversal, a solução é realizar a fresagem rampando-se no início e final do corte, realizando o arremate na ocasião do recapeamento, geralmente utilizando-se fresadora de pequeno porte, serra de disco e/ou rompedor pneumático.

No caso do degrau longitudinal, inerente ao processo em se tratando da fresagem de faixas exclusivas de rolamento, para espessuras delgadas, dependendo do tipo de via, pode-se permitir a liberação ao tráfego desde que a pista esteja devidamente sinalizada, de forma a orientar os usuários.

Entretanto, na fresagem de grandes profundidades, necessariamente o trecho deve ser interditado ao tráfego.

Alguns órgãos não permitem a liberação da pista aos usuários antes da execução do recapeamento e, sendo assim, promovem o recapeamento logo após a realização da fresagem.

## **9.2. Aparecimento de buracos ou panelas**

A fresagem pode ocasionar o aparecimento de buracos ou panelas na pista, em virtude da desestruturação do pavimento remanescente em alguns pontos onde a espessura de corte atinge as camadas inferiores do mesmo, ou quando a espessura de revestimento, em alguns locais, é inferior à de fresagem.

É comum aparecer esse tipo de problema também em alguns pontos onde o pavimento se apresenta muito trincado.

Nesses locais de desagregação, anteriormente à liberação ao tráfego, deve-se realizar a correção com material asfáltico, tapando-se os buracos. Esse procedimento impede a propagação dos mesmos, além de não permitir a aceleração do processo des-

trutivo causado pela infiltração de águas nas camadas inferiores do pavimento.



**Figura 53:** Buracos em locais fresados

É importante que, após a fresagem, seja executado o recapeamento o mais breve possível, minimizando, desta forma, os transtornos aos usuários e evitando o aparecimento dos problemas decorrentes da exposição da superfície fresada às águas de chuvas e ao tráfego.

### **9.3. Descolamento de “placas” do revestimento betuminoso**

É comum acontecer o descolamento de “placas” em locais fresados, principalmente quando da liberação da pista ao tráfego, nos casos em que a fresagem atinge quase a totalidade da espessura da camada do revestimento existente.

Esse problema pode surgir na ocasião da fresagem, pela ação dos raspadores situados na parte inferior da tampa do scraper, e continuar com a ação do tráfego, podendo com isso ocasionar acidentes.



**Figura 54:** Descolamento de “placas” em locais fresados após a liberação ao tráfego

Antes da colocação da nova camada de revestimento, deve-se proceder à retirada de todo o material solto da pista e, dependendo da quantidade, realizar uma nova fresagem mais profunda nesses locais.

Para evitar esse problema, deve-se conhecer a estrutura do pavimento e definir, no projeto de restauração, a espessura de fresagem, evitando deixar na pista uma espessura muito delgada do revestimento, inferior a 20 mm, que certamente provocará o problema, conforme recomendação da Norma Técnica DNER PRO-269/94<sup>[13]</sup>.

Quando ocorrer tal problema, ou seja, não for possível manter essa espessura mínima do revestimento, recomenda-se sempre a execução da nova camada imediatamente após a fresagem, de modo a preservar toda a estrutura remanescente.

# 10. Produtividade dos equipamentos de fresagem

## 10.1. Considerações iniciais

A fresagem pode ser aplicada em diversas situações, quer em grandes áreas, quer em locais onde existam muitas interferências. Dessa forma, neste tópico serão apresentados alguns resultados levantados em campo para se ter idéia da produtividade em diversos tipos de obra.

Inicialmente, quanto ao tipo de obra, a que contemplar a fresagem de áreas contínuas certamente proporcionará maior rendimento dos equipamentos, por não existir tanta interferência durante a operação. Trata-se de obras realizadas em vias expressas e, principalmente, em rodovias.

Na fresagem de pavimentos urbanos, em especial nas grandes cidades, onde o número de interferências é bem maior e o horário disponível para a realização dos trabalhos é muito restrito, o rendimento é sempre menor que no caso anterior.

Existem alguns fatores que podem reduzir de forma significativa a produtividade do equipamento. Destacam-se entre eles:

- a) as ruas estreitas;
- b) as embocaduras e entroncamentos de ruas;
- c) os sarjetões, situados transversalmente à direção do sentido de corte;
- d) os tampões de ferro;

- e) os lastros de contagem de veículos;
- f) os veículos estacionados no local dos trabalhos;
- g) a interferência de outras obras no mesmo local.

Além disso, temos os fatores relacionados diretamente com os serviços em questão; entre eles: o estado do pavimento, as condições do equipamento e as condições climáticas na ocasião da execução dos serviços, que podem influenciar tanto na produtividade quanto na granulometria obtida, quais sejam:

- a) a espessura de corte;
- b) o grau de oxidação do pavimento;
- c) o nível de severidade das trincas;
- d) o estado dos dentes de corte;
- e) a temperatura ambiente.

## **10.2. Exemplos de produtividade**

São relacionados a seguir, com o objetivo de estabelecer parâmetros para o dimensionamento do tipo de equipamento de fresagem e elaboração do cronograma de obra, valores de produtividade média baseados em resultados obtidos em diversas obras de características similares.

Considerou-se importante assim fazê-lo devido ao fato de que a capacidade do equipamento usualmente apresentada nos catálogos de fabricantes não considera os problemas comuns encontrados nas obras.

Tendo em conta o caráter prático dos parâmetros de produtividade, estes consideram valores médios diários com arredondamento, referentes a uma jornada de trabalho de 8 horas, incluindo todo o tempo destinado à sinalização da pista, parada do equipamento para manutenção, como abastecimento de água e de óleo, refeições, mudança de local dos serviços, entre outros fatores.

Para tanto, serão consideradas a largura do cilindro fresador e a capacidade de corte do equipamento em uma única passada, o que está diretamente relacionado com a potência do equipamento.

Dessa forma, esses valores poderão ser extrapolados para os outros equipamentos de fresagem similares aqui não considerados.

Esses valores podem variar, ainda, em função da eficiência do pessoal de apoio na ocasião da realização dos serviços.

Vale ressaltar que alguns órgãos contratantes exigem que o recapeamento das áreas fresadas seja efetuado no mesmo dia. Sendo assim, quando há a vinculação da fresagem ao recapeamento, necessariamente o equipamento deve paralisar os serviços antecipadamente, para que seja atendida esta exigência.

Nas tabelas que seguem são apresentadas três situações mais comuns de obra, para espessura de fresagem de até 5 cm.

#### Fresadoras com cilindro de 2 metros de largura:

TIPO DE SERVIÇO	MODELO DE FRESADORA		
	2000 VC	2000 DC	W 1900
Fresagem de áreas contínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	5.000,00 m <sup>2</sup>	8.000,00 m <sup>2</sup>	10.000,00 m <sup>2</sup>
Fresagem de áreas descontínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	3.500,00 m <sup>2</sup>	4.000,00 m <sup>2</sup>	5.000,00 m <sup>2</sup>
Fresagem de áreas descontínuas com vinculação à aplicação do revestimento	1.800,00 m <sup>2</sup>	2.000,00 m <sup>2</sup>	3.500,00 m <sup>2</sup>

Os equipamentos modelo 2000 VC foram as primeiras fresadoras de grande porte introduzidas no Brasil, fabricadas pela CIBER, no Rio Grande do Sul.

Existem ainda vários desses equipamentos em operação no Brasil. O modelo que o substituiu foi o 2000 DC, com dimensões um pouco menores e com maior capacidade de corte. O modelo atual é o W 1900,

com dimensões um pouco menores se comparado aos anteriores e muito mais potente.

Com relação ao modelo 2000 DC, da Wirtgen, um equipamento similar que pode ser encontrado no Brasil é a Fresadora PM-465 da Caterpillar.

As fresadoras Caterpillar PM-565 e Wirtgen 2100 DC, importadas dos Estados Unidos e da Alemanha, respectivamente, ambas encontradas no mercado brasileiro, equivalem-se quanto à produtividade e, nesse enfoque, pode-se considerar uma produtividade 10% superior à da fresadora Wirtgen 2000 DC.

#### Fresadoras com cilindro de 1 metro de largura:

TIPO DE SERVIÇO	MODELO DE FRESADORA		
	1000 C	W 1000 L	W 1000
Fresagem de áreas contínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	1.800,00 m <sup>2</sup>	4.000,00 m <sup>2</sup>	5.000,00 m <sup>2</sup>
Fresagem de áreas descontínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	1.500,00 m <sup>2</sup>	3.000,00 m <sup>2</sup>	3.500,00 m <sup>2</sup>
Fresagem de áreas descontínuas com vinculação à aplicação do revestimento	1.000,00 m <sup>2</sup>	2.000,00 m <sup>2</sup>	2.500,00 m <sup>2</sup>

Um equipamento similar ao Wirtgen 1000 C em operação no Brasil é a fresadora Volpe SF 100 T4, da Bitelli.

Com base nos números apresentados, nota-se que hoje, com equipamentos mais modernos e versáteis, mesmo dotados de cilindro na largura de 1000 mm, eles se equivalem à produtividade do modelo Wirtgen 2000 VC, dotado de cilindro de 2000 mm.

Outra grande vantagem refere-se à profundidade de corte que esses novos equipamentos podem atingir em uma única passada. O modelo 2000 VC tem capacidade para até 15 cm, enquanto o modelo W 1000 L pode atingir até 25 cm e os modelos W 1000 e W 1000 F chegam a 30 cm.

Fresadora com cilindro de 0,50 metro de largura:

TIPO DE SERVIÇO	MODELO DE FRESADORA W 50
Fresagem de áreas contínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	1.500,00 m <sup>2</sup>
Fresagem de áreas descontínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	1.200,00 m <sup>2</sup>
Fresagem de áreas descontínuas com vinculação à aplicação do revestimento	900,00 m <sup>2</sup>



## **11. Dimensionamento de reforço do pavimento contemplando a fresagem**

No Brasil, a grande maioria dos pavimentos existentes é constituído de revestimentos asfálticos, dentre os quais destacam-se os ditos puramente flexíveis (revestimento asfáltico sobre camadas não tratadas com cimento) e, predominantemente no Estado de São Paulo, os semi-rígidos e invertidos (revestimento asfáltico sobre sistemas com uma das camadas subjacentes tratada com cimento).

Os pavimentos flexíveis e invertidos são dimensionados com uma vida útil preestabelecida em relação à fadiga dos materiais asfálticos e, no segundo caso, da camada cimentada. As propriedades iniciais desses materiais quanto à plasticidade e elasticidade vão sendo alteradas com o tempo, tornando-os rijos e quebradiços. Mas alguns fatores externos aceleram a sua deterioração, como, por exemplo, a drenagem deficiente (ou até mesmo a falta dela) e o excesso de carga.

A maioria dos procedimentos de avaliação estrutural de pavimentos existentes é fundamentada no critério de redução da deflexão e se limita à determinação da espessura de reforço a ser sobreposta sobre a superfície atual, objetivando restaurar as condições de conforto e segurança ao rolamento.

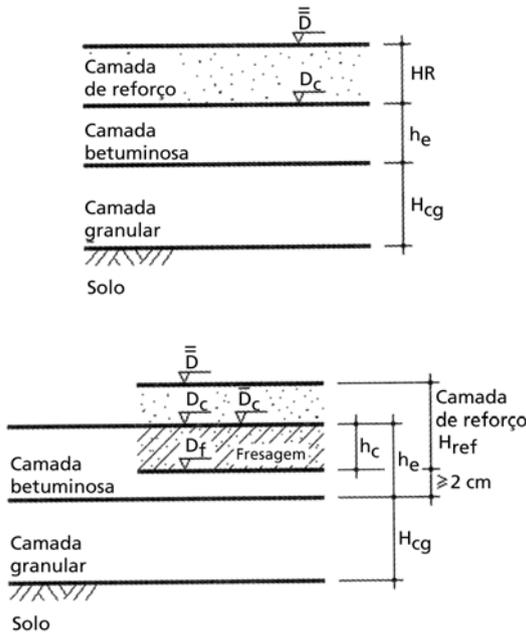
O processo de fresagem empregado atualmente, visando principalmente a manutenção do greide do pavimento, pode ser empregado para a substituição do material asfáltico já deteriorado por outro

novo, de forma a propiciar à estrutura um incremento de vida útil, melhorando ainda as condições de conforto ao rolamento.

Para a maioria dos procedimentos atuais, as espessuras de reforços superpostos a pavimentos existentes são determinadas em função de modelos que consideram a redução deflectométrica, ou seja, a partir da relação entre as deflexões admissível ( $\bar{D}$ ) e de projeto ( $D_c$ ).

Admitindo-se a validade inversa desse conceito, é possível, teoricamente, estimar-se a deflexão sobre a superfície da camada fresada ( $D_f$ ), em conseqüência da retirada de parte do revestimento existente, com uma espessura de corte pré-fixada ( $h_c$ ).

Com base na deflexão admissível ( $\bar{D}$ ) e na deflexão obtida sobre a superfície fresada ( $D_f$ ), determina-se então a espessura de reforço ( $H_{ref}$ ).



$$HR = f(D_c, \bar{D})$$

$$\bar{D}_c = f(D_c, h_c)$$

$$H_{ref} = f(\bar{D}_c, \bar{D})$$

Em que:  $\bar{D}$  = deflexão máxima admissível ( $\times 10^{-2}$ mm)  
 $D_c$  = deflexão existente característica ( $\times 10^{-2}$ mm)  
HR = espessura de reforço em concreto asfáltico (cm)  
 $\bar{D}_f$  = deflexão após a fresagem ( $\times 10^{-2}$ mm)  
 $\bar{D}_c$  = deflexão após a fresagem e recomposição da  
camada ( $\times 10^{-2}$ mm)  
 $H_{ref}$  = espessura de reforço (cm)  
 $h_c$  = espessura de corte (cm)

Dentre as normas brasileiras, a que contempla originalmente a utilização da reciclagem é a DNER-PRO 269/94 – Projeto e Restauração de Pavimentos Flexíveis TECNAPAV<sup>[13]</sup> e, desta forma, pode ser adaptada para considerar a fresagem.

Está fundamentada na mecânica dos pavimentos, considera a existência de uma relação unívoca entre a deformabilidade elástica traduzida pela deflexão e a redução do módulo efetivo da camada do revestimento representada pela relação modular. É um modelo teórico-experimental calibrado para as condições de campo dos pavimentos brasileiros.

Esse procedimento considera ainda, para o cálculo da redução de deflexão, as propriedades resilientes do subleito, da espessura da camada granular (implicitamente) e da espessura efetiva do revestimento existente, e pode ser resumido na aplicação das equações a seguir apresentadas:

$$\log \bar{D} = 3,148 - 0,188 \log Np$$

$$\bar{D}_c = D_c \left[ \frac{h_c}{h_e} \left( \mu^{\frac{1}{3}} - 1 \right) + 1 \right]^{-1,324}$$

Nota-se que, pela equação apresentada da Norma DNER-PRO 269/94, a deflexão estimada, considerando-se a fresagem, é obtida após a recomposição da espessura fresada ( $h_c$ ), traduzida pela equação de determinação de  $\overline{D}_c$ , haja vista ter sido originalmente proposta para considerar-se a reciclagem de revestimentos asfálticos.

$$\mu = \frac{M_{\text{camada nova}}}{M_{\text{efetivo}}}$$

$$\log[M_{\text{efetivo}}] = 11,19 - 2,753 \log D_c - 1,714 \log h_e - 0,0053 I_1 + 0,2766 I_2$$

$$h_{\text{efetivo}} = -5,737 + \frac{807,961}{D_c} + 0,9721 I_1 + 4,101 I_2$$

$$H_{\text{ref}} = -19,015 + \frac{238,14}{\sqrt{D}} - 1,357 h_{\text{efetivo}} + 1,016 I_1 + 3,893 I_2 + h_c$$

- em que:  $h_{\text{efetivo}}$  = espessura efetiva do pavimento existente (cm)
- $I_1, I_2$  = constantes, função das características resilientes do material de fundação
- $h_e$  = espessura do revestimento existente (cm)
- $M_{\text{efetivo}}$  = módulo do revestimento existente ( $\text{kgf/cm}^2$ )
- $M_{\text{camada nova}}$  = módulo resiliente do novo revestimento ( $\text{kgf/cm}^2$ )
- $N_p$  = número de operações do eixo padrão rodoviário (8,2 tf)

A norma DNER PRO-269/94 subdivide os tipos de fundação, podendo ser dos tipos I, II e III:

Tipo I	$I_1=0$ e $I_2=0$
Tipo II	$I_1=1$ e $I_2=0$
Tipo III	$I_1=0$ e $I_2=1$

Para tanto, a norma apresenta uma tabela de classificação dos grupos citados em função do Índice de Suporte Califórnia (CBR) e da porcentagem de Silte (S), como segue:

CBR (%)	S (%)		
	≤35	35 a 65	> 65
≥10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

A porcentagem de silte é obtida pela equação:

$$S = 100 - \frac{P_1}{P_2} 100$$

em que:  $P_1$  = porcentagem, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,005 mm

$P_2$  = porcentagem, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,075 mm

Além da norma técnica DNER PRO-269/94, existem outros modelos de dimensionamento no Brasil e no exterior, que podem ser aplicados ensejando a utilização da técnica de fresagem, apesar de não terem sido originalmente propostos para tal.

Dentre estes, pode-se citar o modelo da AASHTO/93<sup>[14]</sup>, por conta da aplicação dos conceitos de número estrutural (SN) e de coeficiente estrutural ( $a_1$ ), sendo este uma função do valor modular e do tipo de material constituinte da camada, ao avaliar a perda de valor estrutural relativo ao processo de fresagem.



## **12. Estudo da granulometria de material resultante da fresagem de revestimentos asfálticos com vistas à reciclagem**

O material resultante da fresagem de revestimentos asfálticos, pelas suas propriedades nobres, pode ser reutilizado pela reciclagem como material de pavimentação.

Existem diversas maneiras de executar a reciclagem, inclusive conjugando alternativas de reabilitação. A constante evolução dos equipamentos e das usinas tem ampliado o número de opções quanto à sua aplicabilidade.

Neste enfoque, a Tabela 1 apresenta uma classificação dos tipos de reciclagem mais comuns.

Um dos principais problemas encontrados nos projetos de reabilitação contemplando a reciclagem diz respeito à granulometria resultante da fresagem, principalmente com relação aos processos realizados sem o preaquecimento do revestimento, em função do aparecimento dos grumos.

De acordo com os tipos de reciclagem da Tabela 1, em se tratando de misturas recicladas em usinas, os grumos não são problema, pois os de dimensões indesejadas podem ser eliminados em uma etapa inicial de peneiramento.

Tabela 1: Tipos de reciclagem

Quanto à geometria original	Sem modificação	Quando se mantêm as cotas do greide
	Com modificação	
Quanto ao local de processamento	Em usina	Fixa ou móvel, a quente ou a frio
	“In situ”	A quente ou a frio
	Mista	Reciclagem “in situ” da base e aplicação de reciclagem a quente, processada em usina com material fresado
Quanto à fresagem do material	A frio	Realizada na temperatura ambiente
	A quente	Realizada com pre-aquecimento do pavimento
Quanto à profundidade de corte	Superficial	Somente da camada de revestimento
	Profunda	Camada de revestimento, base e até sub-base
Quanto à mistura reciclada	Mistura a frio	PMF
	Mistura a quente	CBUQ, PMQ
Quanto ao uso da mistura	Como base reciclada	
	Como camada de ligação	BINDER
	Como revestimento	
Quanto aos materiais adicionados	Agregados	Correção granulométrica
	Cimento Portland e cal	Aumento da capacidade estrutural
	Emulsão especial, CAP, Polímeros	Rejuvenescimento
	Mistura asfáltica	Adição de material fresado

Já quanto aos processos em que as misturas são realizadas na própria pista, ou mesmo em processos mistos, com parte do material proveniente de usina de asfalto, o tamanho dos grumos deve ser controlado para que se obtenham melhores resultados.

No processo de reciclagem “in situ” a frio, em que a fresagem acontece simultaneamente à reciclagem do material, alguns procedimentos

devem ser adotados para que se tenha o controle do tamanho dos grumos em dimensões aceitáveis para o novo traço do material.

Nesse enfoque, na minha dissertação de mestrado<sup>[15]</sup>, realizei um estudo da granulometria resultante de material fresado com vistas à reciclagem “in situ” a frio, que apresento aqui resumidamente.

Serão apresentados os equipamentos, o tipo de revestimento e os procedimentos adotados tanto para a extração das amostras quanto para a realização dos ensaios e parte das curvas obtidas, para possibilitar futuras comparações com outros estudos.

### **12.1. Equipamento utilizado**

O equipamento utilizado para a realização da fresagem do pavimento foi a fresadora modelo 2000 VC, da Wirtgen, fabricada no Brasil pela Ciber.



**Figura 55:** Fresadora 2000 VC, da Wirtgen

Trata-se de um equipamento de grande porte, dotado de correia transportadora e com capacidade de corte de até 15 cm em uma única passada.

O cilindro fresador é do tipo segmentado e possui largura de corte de 2100 mm e diâmetro de 550 mm, onde são afixados os segmentos. O diâmetro formado pelos dentes de corte é de 850 mm. A rotação do cilindro foi medida e constatou-se que gira a 80 rpm. Possui 180 dentes de corte, dos quais 18 são posicionados

lateralmente, para realizar o corte da parede verticalmente, restando 162 dentes de corte que atuam diretamente no pavimento. A temperatura ambiente na ocasião da fresagem era de aproximadamente 11°C.

As amostras estudadas são apresentadas em forma de matriz na Tabela 2, referente a cada espessura de corte e velocidade de avanço do equipamento.

Tabela 2: Matriz das amostras

	Classificação das amostras		
	Vel. = 3 m/min	Vel. = 6 m/min	Vel. = 10 m/min
Esp. = 3 cm	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Esp. = 5 cm	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Esp. = 8 cm	Amostra 7	Amostra 8	Amostra 9

## 12.2. Revestimento existente

A Figura 56 apresenta esquematicamente a seção transversal do pavimento que foi fresado para extração das amostras.

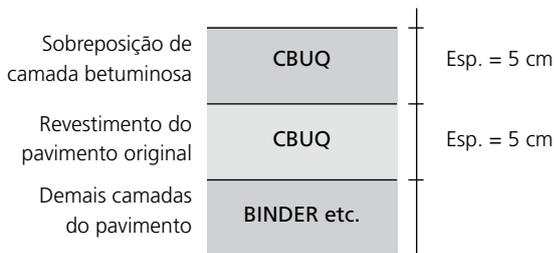


Figura 56: Seção transversal do pavimento fresado

## 12.3. Coleta das amostras

O desenvolvimento adotado para fresagem e coleta das amostras é apresentado a seguir:

- a) posicionamento do equipamento para o início do corte;

- b) fixação da espessura de corte;
- c) início da fresagem, com carregamento do material em caminhões basculantes;
- d) aumento da velocidade;
- e) monitoramento da velocidade até alcançar a desejada para a coleta;
- f) manutenção da velocidade constante por um determinado tempo para que todo o material que se encontrasse no interior da caixa do cilindro fresador correspondesse à velocidade em questão e paralisação da correia transportadora;
- g) levantamento da tampa do *scraper* para que o material fresado da amostra fosse deixado na pista e acionamento da correia transportadora;
- h) repetição dos passos “d” a “g” até concluir a coleta correspondente à terceira velocidade e primeira espessura de corte.

Depois disso, o equipamento foi posicionado novamente no início, ao lado desse primeiro corte, e repetiu-se o mesmo procedimento para as outras duas espessuras.

O resultado na pista foram nove montes de material fresado, correspondentes às três espessuras e três velocidades de corte. O material foi coletado na parte central de cada monte, por corresponder exatamente ao posicionamento do material que é encaminhado para a vibroacabadora, na ocasião dos serviços de reciclagem “in situ” a frio.

Os materiais foram devidamente armazenados em sacos plásticos para evitar a perda de finos e levados para o Laboratório de Tecnologia de Transportes da Universidade de São Paulo, onde foram realizados os ensaios e determinadas as curvas granulométricas que são apresentadas a seguir.

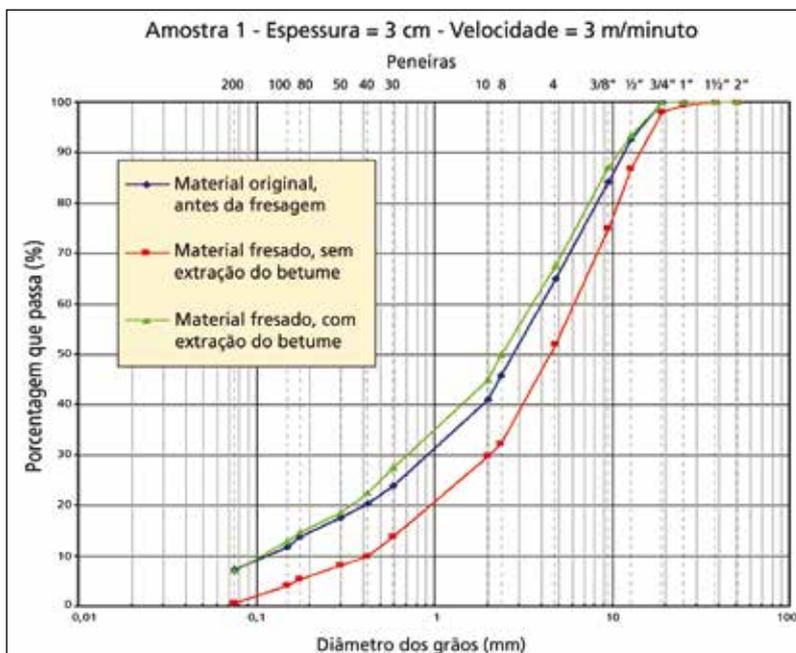
## 12.4. Curvas granulométricas

Foram plotados gráficos com três curvas granulométricas, sendo elas referentes ao material original antes da fresagem ao material fresado sem a extração do betume e ao material fresado com a extração do betume.

Apesar de constatado que a extração do betume das amostras com o *Sox-let*<sup>[16]</sup> apresentava uma porcentagem de finos um pouco superior, essa diferença não justificou a utilização desse método, em função do grande volume de material a ser lavado. Desta forma, a extração do material foi realizado com o *Rotarex*<sup>[17]</sup>, tomando-se o cuidado de utilizar dois papéis filtro para minimizar ainda a perda de finos.

**Tabela 3 - Granulometria referente à amostra 1**

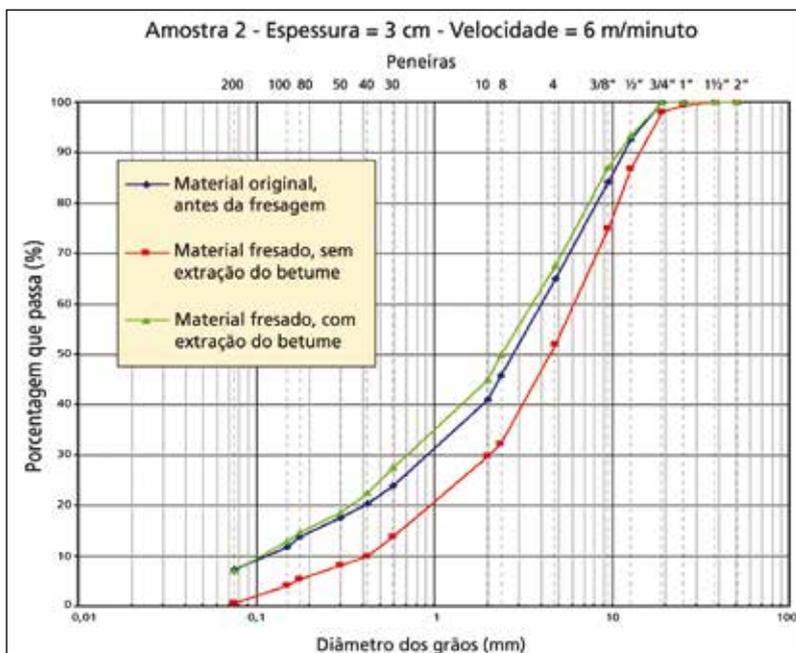
PENEIRAS		% EM PESO, PASSANDO		
Discriminação	(mm)	Material Original	Material fresado, sem a extração do betume	Material fresado, com a extração do betume
2"	50,8	100	100	100
1 1/2"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	99,3	100
3/4"	19,1	100	98	100
1/2"	12,7	92,7	86,8	93,4
3/8"	9,52	84,2	75	87,2
Nº 4	4,8	65	51,9	67,6
Nº 8	2,38	45,8	32,3	49,8
Nº 10	2	41,1	29,8	45
Nº 30	0,59	23,9	13,9	27,6
Nº 40	0,42	20,3	10	22,5
Nº 50	0,3	17,6	8,1	18,6
Nº 80	0,175	13,8	5,4	14,6
Nº 100	0,148	11,7	4	12,9
Nº 200	0,075	7,3	0,7	7



**Figura 57:** Curvas granulométricas referentes à amostra 1

**Tabela 4 - Granulometria referente à amostra 2**

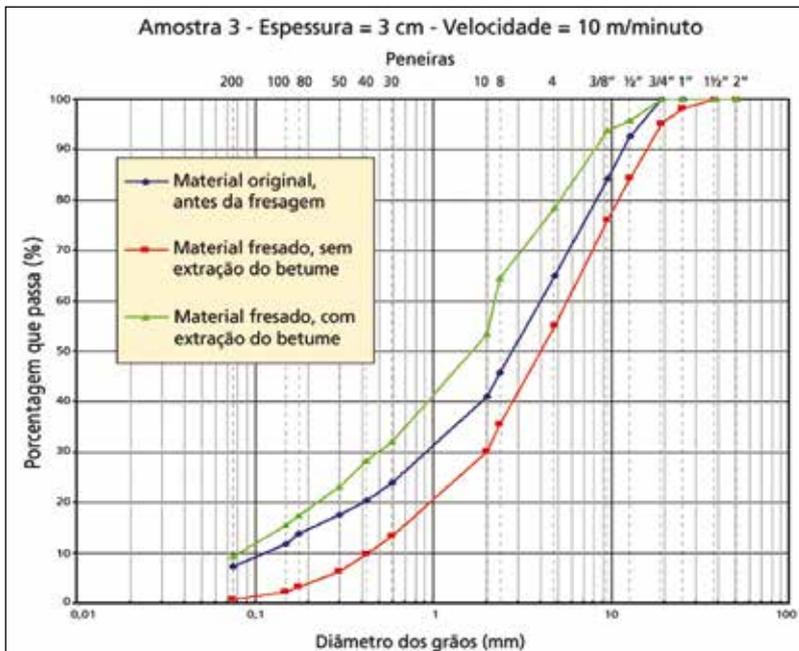
PENEIRAS	% EM PESO, PASSANDO			
	(mm)	Material Original	Material fresado, sem a extração do betume	Material fresado, com a extração do betume
2"	50,8	100	100	100
1 1/2"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	99	100
3/4"	19,1	100	96,7	100
1/2"	12,7	92,7	86,1	95
3/8"	9,52	84,2	76,8	88,7
Nº 4	4,8	65	56,2	73,1
Nº 8	2,38	45,8	36,5	54,1
Nº 10	2	41,1	31,4	48,7
Nº 30	0,59	23,9	13,6	29,2
Nº 40	0,42	20,3	9,5	24,6
Nº 50	0,3	17,6	7,2	21,3
Nº 80	0,175	13,8	4,8	17,3
Nº 100	0,148	11,7	3,3	14,4
Nº 200	0,075	7,3	1	8



**Figura 58:** Curvas granulométricas referentes à amostra 2

**Tabela 5 - Granulometria referente à amostra 3**

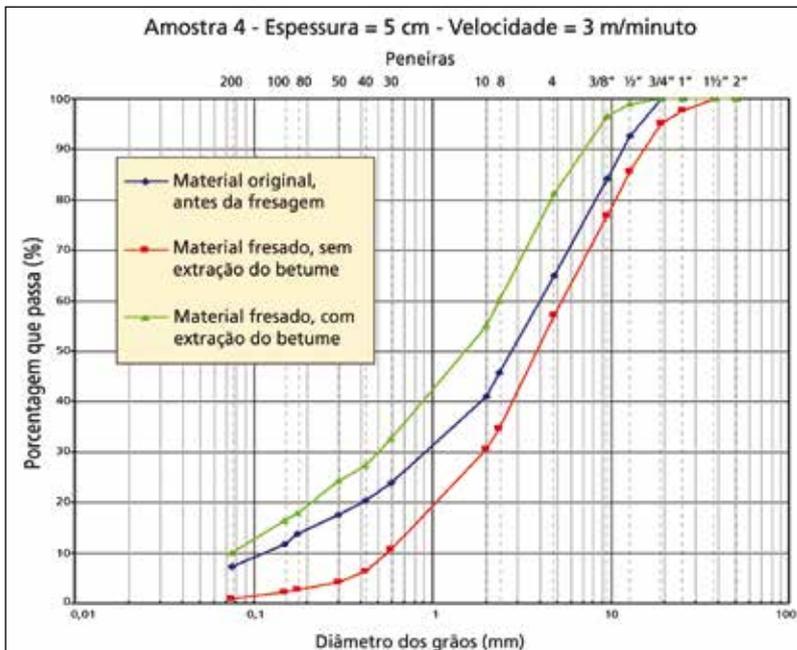
PENEIRAS		% EM PESO, PASSANDO		
Discriminação	(mm)	Material Original	Material fresado, sem a extração do betume	Material fresado, com a extração do betume
2"	50,8	100	100	100
1 1/2"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	98,2	100
3/4"	19,1	100	95,1	100
1/2"	12,7	92,7	84,4	95,8
3/8"	9,52	84,2	76	93,8
Nº 4	4,8	65	55,1	78,5
Nº 8	2,38	45,8	35,5	64,5
Nº 10	2	41,1	30,2	53,5
Nº 30	0,59	23,9	13,4	32,1
Nº 40	0,42	20,3	9,7	28,3
Nº 50	0,3	17,6	6,3	23,2
Nº 80	0,175	13,8	3,3	17,4
Nº 100	0,148	11,7	2,3	15,4
Nº 200	0,075	7,3	0,8	9,3



**Figura 59:** Curvas granulométricas referentes à amostra 3

**Tabela 6 - Granulometria referente à amostra 4**

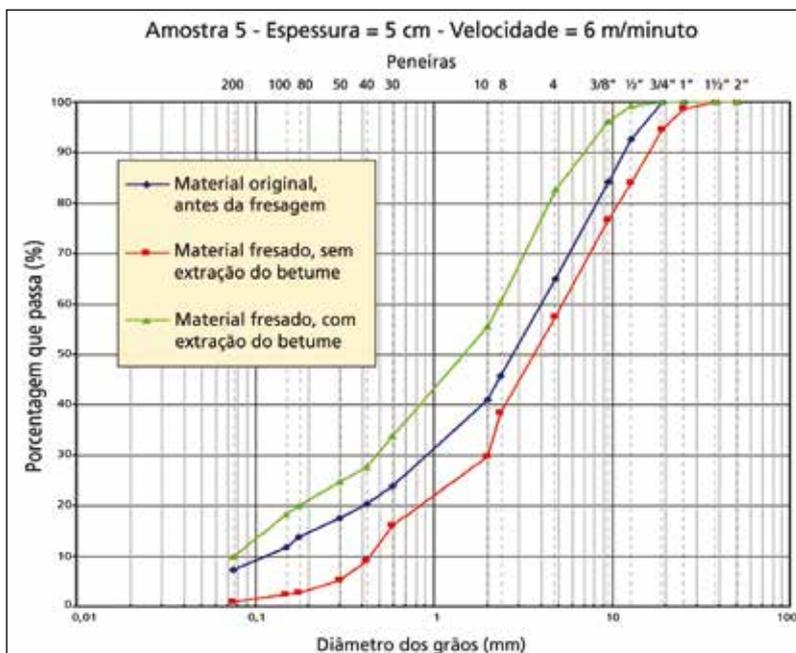
PENEIRAS		% EM PESO, PASSANDO		
Discriminação	(mm)	Material Original	Material fresado, sem a extração do betume	Material fresado, com a extração do betume
2"	50,8	100	100	100
1 1/2"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	97,7	100
3/4"	19,1	100	95,1	100
1/2"	12,7	92,7	85,6	99,1
3/8"	9,52	84,2	76,8	96,6
Nº 4	4,8	65	57,2	81,2
Nº 8	2,38	45,8	34,7	60,1
Nº 10	2	41,1	30,6	55,1
Nº 30	0,59	23,9	10,7	32,7
Nº 40	0,42	20,3	6,3	27,4
Nº 50	0,3	17,6	4,3	24,3
Nº 80	0,175	13,8	2,8	17,9
Nº 100	0,148	11,7	2,2	16,5
Nº 200	0,075	7,3	1	10,1



**Figura 60:** Curvas granulométricas referentes à amostra 4

**Tabela 7 - Granulometria referente à amostra 5**

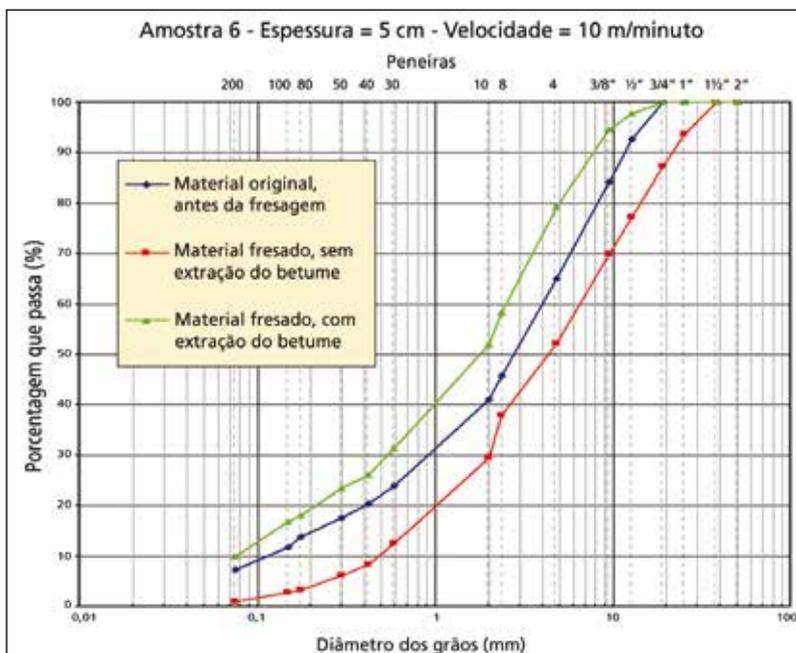
PENEIRAS		% EM PESO, PASSANDO		
Discriminação	(mm)	Material Original	Material fresado, sem a extração do betume	Material fresado, com a extração do betume
2"	50,8	100	100	100
1 1/2"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	98,7	100
3/4"	19,1	100	94,6	100
1/2"	12,7	92,7	84	99,2
3/8"	9,52	84,2	76,7	96,2
Nº 4	4,8	65	57,5	82,5
Nº 8	2,38	45,8	38,4	60,3
Nº 10	2	41,1	29,8	55,5
Nº 30	0,59	23,9	16,1	33,8
Nº 40	0,42	20,3	9,2	27,7
Nº 50	0,3	17,6	5,2	24,8
Nº 80	0,175	13,8	2,8	20
Nº 100	0,148	11,7	2,4	18,2
Nº 200	0,075	7,3	0,9	10



**Figura 61:** Curvas granulométricas referentes à amostra 5

**Tabela 8 - Granulometria referente à amostra 6**

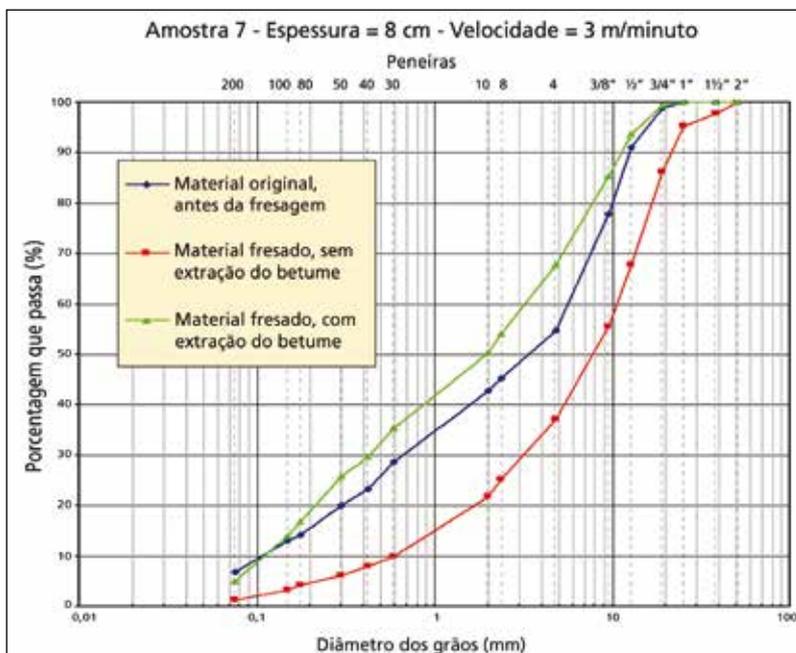
PENEIRAS	% EM PESO, PASSANDO			
	(mm)	Material Original	Material fresado, sem a extração do betume	Material fresado, com a extração do betume
2"	50,8	100	100	100
1 1/2"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	93,6	100
3/4"	19,1	100	87,3	100
1/2"	12,7	92,7	77,2	97,8
3/8"	9,52	84,2	69,8	94,7
Nº 4	4,8	65	52,1	79,2
Nº 8	2,38	45,8	37,9	58,3
Nº 10	2	41,1	29,4	51,9
Nº 30	0,59	23,9	12,5	31,5
Nº 40	0,42	20,3	8,3	26,1
Nº 50	0,3	17,6	6,2	23,5
Nº 80	0,175	13,8	3,2	18,1
Nº 100	0,148	11,7	2,7	16,8
Nº 200	0,075	7,3	1	10



**Figura 62:** Curvas granulométricas referentes à amostra 6

**Tabela 9 - Granulometria referente à amostra 7**

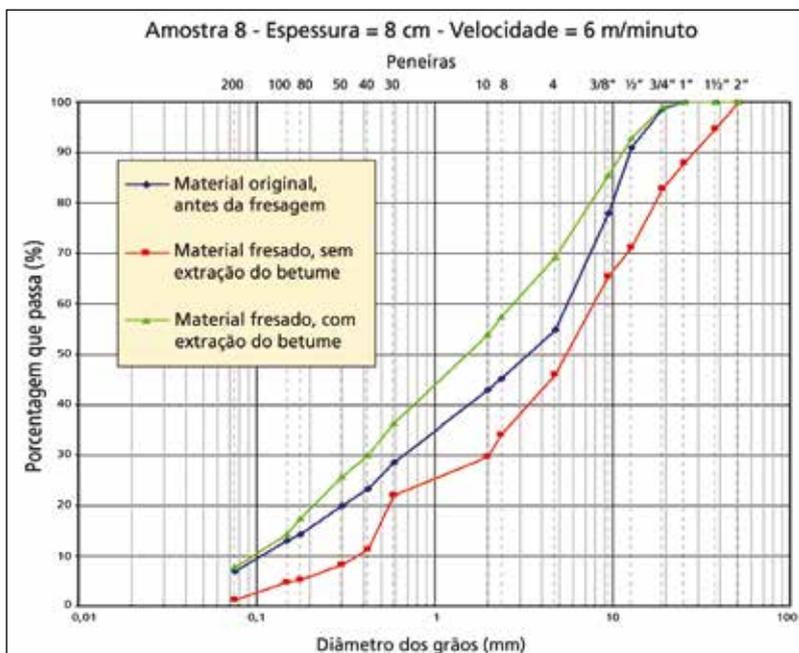
PENEIRAS		% EM PESO, PASSANDO		
Discriminação	(mm)	Material Original	Material fresado, sem a extração do betume	Material fresado, com a extração do betume
2"	50,8	100	100	100
1 1/2"	38,1	100	97,8	100
1"	25,4	100	95,2	100
3/4"	19,1	98,8	86,1	99,3
1/2"	12,7	91	67,8	93,7
3/8"	9,52	77,9	55,6	85,4
Nº 4	4,8	54,8	37,1	67,8
Nº 8	2,38	45,2	25,2	54,1
Nº 10	2	42,9	21,8	50,4
Nº 30	0,59	28,6	9,9	35,4
Nº 40	0,42	23,3	8	29,7
Nº 50	0,3	20	6,2	25,7
Nº 80	0,175	14,2	4,3	16,7
Nº 100	0,148	13	3,3	14
Nº 200	0,075	6,9	1,3	5,1



**Figura 63:** Curvas granulométricas referentes à amostra 7

**Tabela 10 - Granulometria referente à amostra 8**

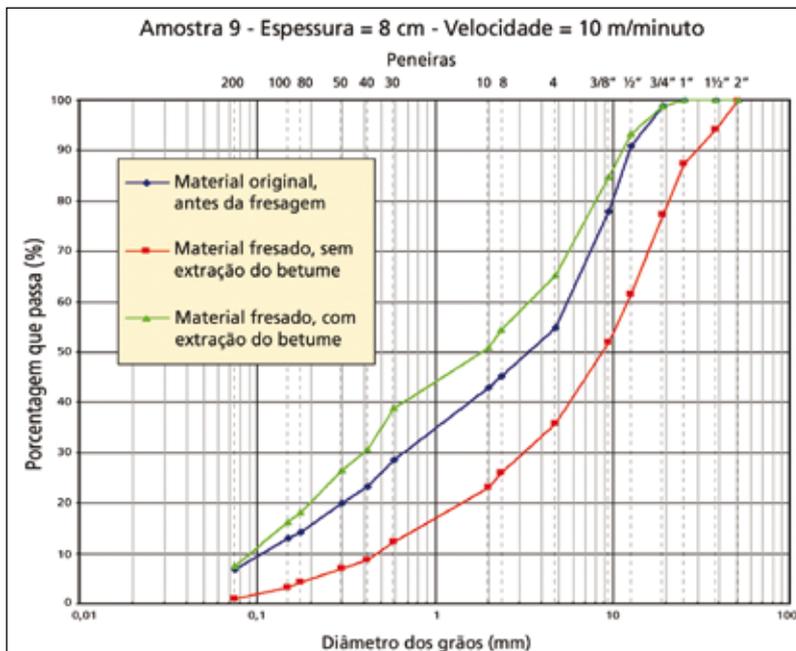
PENEIRAS		% EM PESO, PASSANDO		
Discriminação	(mm)	Material Original	Material fresado, sem a extração do betume	Material fresado, com a extração do betume
2"	50,8	100	100	100
1 1/2"	38,1	100	94,8	100
1"	25,4	100	87,9	100
3/4"	19,1	98,8	82,9	99
1/2"	12,7	91	71,2	92,8
3/8"	9,52	77,9	65,5	85,6
Nº 4	4,8	54,8	46	69,3
Nº 8	2,38	45,2	34	57,3
Nº 10	2	42,9	29,7	53,9
Nº 30	0,59	28,6	22	36,3
Nº 40	0,42	23,3	11,3	29,9
Nº 50	0,3	20	8,2	25,7
Nº 80	0,175	14,2	5,3	17,5
Nº 100	0,148	13	4,7	14,3
Nº 200	0,075	6,9	1,3	7,7



**Figura 64:** Curvas granulométricas referentes à amostra 8

**Tabela 11 - Granulometria referente à amostra 9**

PENEIRAS		% EM PESO, PASSANDO		
Discriminação	(mm)	Material Original	Material fresado, sem a extração do betume	Material fresado, com a extração do betume
2"	50,8	100	100	100
1 1/2"	38,1	100	94,2	100
1"	25,4	100	87,3	100
3/4"	19,1	98,8	77,2	98,8
1/2"	12,7	91	61,4	93,3
3/8"	9,52	77,9	51,8	84,7
Nº 4	4,8	54,8	35,8	65,3
Nº 8	2,38	45,2	26,1	54,4
Nº 10	2	42,9	23,2	50,9
Nº 30	0,59	28,6	12,3	38,8
Nº 40	0,42	23,3	8,7	30,7
Nº 50	0,3	20	7	26,5
Nº 80	0,175	14,2	4,3	18,2
Nº 100	0,148	13	3,3	16,2
Nº 200	0,075	6,9	1,1	7,5



**Figura 65:** Curvas granulométricas referentes à amostra 9

## 12.5. Considerações acerca dos resultados obtidos

As curvas granulométricas apresentadas fazem parte dos resultados obtidos na minha dissertação de mestrado, assim como as considerações que aqui são apresentadas.

Com relação às curvas granulométricas obtidas, a fresagem provoca um deslocamento das mesmas se comparadas às respectivas curvas originais. As curvas granulométricas obtidas com a extração do betume, ou seja, após a fresagem e sem os grumos, são “deslocadas para cima”, tornando a curva mais densa ou mais fechada. Isso acontece pelo fato da fresagem provocar a quebra de parte dos agregados na altura da linha de corte.

Ocorre o inverso para as curvas obtidas sem a extração do betume: apesar da quebra de parte dos agregados, o material é analisado da forma como resulta da fresagem, com os grumos, o que faz com que a porcentagem de material passante em cada peneira seja menor.

Os resultados das curvas analisadas com grumos plotadas em faixas granulométricas empregadas na pavimentação mostraram que essas curvas, na maioria das vezes, extrapolaram os limites inferiores daquelas faixas nas duas extremidades, pela falta de finos observada por um lado e pelo acréscimo do tamanho dos grumos pelo outro, fato que se acentua com o aumento da velocidade de avanço da fresadora.

Quanto à quantidade de finos, ocorre, na realidade, uma redução dos mesmos, uma vez que a curva resultante das amostras com grumos se situa abaixo da curva original.

Segundo esse estudo, verificou-se que a velocidade do equipamento deve ser controlada para evitar o aparecimento de grumos de tamanhos indesejados para a mistura.

A quantidade de finos verificada para todas as curvas, considerando-se os grumos, situou-se entre 0,7 e 1,3% passante em peso na peneira nº 200.

A falta de finos é uma das razões pelas quais a reciclagem “in situ” a frio não oferece uma boa coesão à mistura e, por essa e outras razões, a bibliografia internacional recomenda a execução de uma camada de revestimento asfáltico usinado a quente sobre a camada reciclada.

Observa-se que as curvas são bem graduadas e se apresentam passíveis de estudos adicionais para a caracterização do comportamento mecânico para uso na reciclagem.



# **13. Parâmetros para execução e controle de fresagem de pavimentos asfálticos**

## **13.1. Objetivo**

Apresentar as condições para execução e controle dos serviços de fresagem a frio de pavimentos asfálticos.

## **13.2. Generalidades**

A remoção da camada deverá ser executada através de fresagem mecânica a frio, de forma a resultar na pista uma superfície de textura rugosa, porém uniforme, isto é, isenta de sulcos diferenciados e outras imperfeições.

Processo de fresagem a frio é aquele realizado sem nenhum tipo de aquecimento dos materiais.

## **13.3. Equipamentos**

Os equipamentos devem atender às características exigidas pelo contratante em quantidade e tipo necessários para a execução dos serviços e atendimento ao cronograma da obra.

Como características do equipamento, podem-se exigir a largura mínima ou máxima do cilindro fresador, a capacidade de corte em uma única passada, o espaçamento entre os dentes de corte – para

fresagem normal, fresagem fina ou microfresagem.

Além dessas, podem-se exigir ainda outras características, como a capacidade de nivelamento automático e preciso do corte para permitir o controle e conformação da inclinação transversal durante a execução; presença de dispositivo que permita o carregamento do material fresado simultaneamente em caminhões do tipo basculante; ano de fabricação; estado de conservação etc.

### **13.4. Controle da profundidade de corte**

As espessuras de fresagem devem obedecer às determinações do projeto e o controle da profundidade do corte pode ser verificado, nas bordas, com o auxílio de um metro ou de uma trena rígida e, no meio, através de levantamento topográfico. Em casos de faixas exclusivas, com auxílio de uma linha ou de uma régua.

### **13.5. Controle da textura da superfície fresada**

A superfície fresada deverá apresentar textura rugosa porém uniforme, sem desníveis entre uma passada e outra do equipamento, e a profundidade dos sulcos para cada aplicação deve estar nos seguintes limites:

- Para fresagem padrão: profundidade dos sulcos  $\leq 8$  mm
- Para fresagem fina: profundidade dos sulcos  $\leq 5$  mm
- Para microfresagem: profundidade dos sulcos  $\leq 3$  mm

Esses valores apresentados referem-se a cilindros fresadores em perfeitas condições.

A manutenção do sistema de corte, constituído dos dentes, portadentes e raspadores, deve ser realizada sempre que necessário, para garantir uma superfície fresada de textura rugosa uniforme.

## **13.6. Estocagem do material resultante da fresagem**

O material resultante da fresagem deve ser transportado em caminhões do tipo basculante, devidamente enlonados, e depositado em local determinado pela fiscalização.

## **13.7. Limpeza da pista**

Para liberação ao tráfego ou precedendo a colocação da nova camada de revestimento, deve-se realizar a limpeza dos materiais soltos resultantes do processo e encontrados sobre a superfície fresada.

É recomendado que a varrição seja executada concomitantemente à realização da fresagem para facilitar e garantir o nivelamento do corte entre uma passada e outra e evitar que o material comece a se agregar à superfície fresada.

A critério do contratante, pode-se optar pela varrição manual ou mecanicamente:

- *Manual*: executada com homens munidos com vassourões, pás e carrinhos de mão, em quantidade suficiente para não limitar a produtividade do equipamento;
- *Mecanizada*: executada com equipamento apropriado de varrição ou outros equipados com vassoura.

O órgão contratante pode ainda exigir que, além da varrição, seja utilizado jato de ar comprimido, para garantir que o material solto seja totalmente retirado da superfície fresada na ocasião da execução do recapeamento.

## **13.8. Liberação ao tráfego**

Após a fresagem, a pista poderá ser liberada ao tráfego, desde que não ofereça perigo aos usuários da via.

Para essa liberação, a fiscalização deve fazer uma avaliação para verificar se a pista está livre de materiais soltos e/ou de problemas ocasionados pela execução, como descolamento de placas, aparecimento de buracos etc.

- No caso de descolamento de placas, deve-se proceder a retirada de todo material solto;
- No caso de aparecimento de buracos, devem-se executar os remendos segundo as normas vigentes.

O recomendado para a liberação ao tráfego, sempre que possível, é a execução da nova camada de revestimento, de forma a evitar a ação de intempéries à estrutura remanescente.

### **13.9. Medição**

O órgão contratante elabora sua planilha de medição de acordo com as suas necessidades e conveniências, podendo incluir no preço unitário da fresagem os custos de mobilização de equipamentos e de pessoal, sinalização e limpeza (varrição) da pista, inclusive remoção do material fresado até o local de destino.

Normalmente os serviços de fresagem são medidos em metro quadrado ( $m^2$ ) para espessuras de corte delgadas e/ou metro cúbico ( $m^3$ ) para espessuras superiores.

Outra forma de contratação dos serviços, em se tratando de pequenas áreas, é por preço global.

Finalizando, podem-se ainda contratar equipamentos de fresagem em regime de locação diária ou mensal.

## Bibliografia

1. WOOD, J. F. Cold-asphalt recycling equipment. **Transportation Research Record**, n.780, p.101-2, 1980.
2. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Glossário de Termos Técnicos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 1997.
3. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Curso RP 9 – Reciclagem de Pavimentos**. Rio de Janeiro, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico / Divisão de Capacitação Tecnológica, 1994. v.1-2.
4. **MANUAL de recuperação de rodovias**. s.l., Caterpillar, 1989. (Form n.º TPCB8082).
5. BALBO, J. T. **Pavimentos asfálticos – patologias e manutenção**. São Paulo, Plêiade, 1997.
6. BONFIM, V.; DOMINGUES, F. A. A. Utilização de fresagem e reciclagem “in situ” a frio – alternativas na recuperação de pavimentos asfálticos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29., Cuiabá, 1995. **Anais**. Rio de Janeiro, ABPv, 1995. v.3, p.602-21.
7. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos – DNER-PRO 07/78**. Rio de Janeiro, 1978.
8. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – DNER-PRO 08/78**. Rio de Janeiro, 1978.

9. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Levantamento da condição de superfície de segmentos-testemunha de rodovias de pavimentos flexíveis ou semi-rígidos, para gerência de pavimentos a nível de rede** – DNER-ES 128/83. Rio de Janeiro, 1983.
10. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Instruções para atividades de campo**. Rio de Janeiro, 1994. (item 3 - LVC).
11. **DISTRESS Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies**. Washington, Strategic Highway Research Program, 1990. (SHRP-LTPP/FR-90-001).
12. DOMINGUES, F. A. A. **MID – Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos**. São Paulo, 1993.
13. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis – TECNAPAV** – DNER-PRO 269/94. Rio de Janeiro, 1994.
14. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures**. Washington, 1993.
15. BONFIM, V. **Estudo da granulometria resultante da fresa-gem de revestimentos asfálticos com vistas à reciclagem “in situ” a frio**. São Paulo, 1999. p. 179. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
16. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Determinação da porcentagem de betume em misturas betuminosas pelo extrator de refluxo** – M 146 – 62. São Paulo, 1962.
17. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Porcentagem de betume em misturas betuminosas** – DNER – ME 53-63. Rio de Janeiro, 1963.

## **CRÉDITO DAS FOTOS E ILUSTRAÇÕES:**

- As fotos das figuras 1 e 2 foram tiradas por Alex Dias Carvalho.
- A foto da figura 5 foi tirada por Ricardo Rodrigues de Souza.
- As fotos das figuras 4, 11, 16, 18, 19, 23, 25, 27, 30, 32, 38-b, 39, 44, 46 e 47 e as ilustrações das figuras 8, 17, 21, 24 e 45 foram extraídas de catálogos e manuais do Grupo Wirtgen.
- As fotos das figuras 6-c e 7-c foram extraídas de catálogos da Dynapac.
- A foto da figura 6-b foi gentilmente cedida pelo engenheiro Fernando Márcio Guimarães Sant’Anna, da empresa Fresar Tecnologia de Pavimentos.
- As fotos das figuras 6-d e 7-a foram extraídas de catálogos da Caterpillar.
- A foto da figura 7-b foi extraída de catálogo da Marini.
- As ilustrações das figuras 20 e 28 foram editadas por Pedro Penafiel a partir de outras extraídas do “Curso RP-9 – Reciclagem de Pavimentos”, da Caterpillar.
- A ilustração da figura 22 foi extraída do “Manual de recuperação de rodovias”, da Caterpillar.
- A foto da figura 29 foi gentilmente cedida por Fernanda Marcondes Monfrinatti.
- A foto da figura 33-a foi extraída de catálogo da Bobcat/Comac.
- A foto da figura 33-b foi extraída de catálogo da Case.
- As ilustrações das figuras 41, 42 e 43 foram editadas por Pedro Penafiel.
- A foto da figura 51 foi tirada por Nelson Sampaio Pereira.
- As outras fotos foram tiradas pelo autor.

*Esta obra foi composta na tipologia Goudy, corpo 11/ impressa em papel off-set 90 g/m<sup>2</sup>, 4 x 4 cores, formato 14 x 21, pela RR Donnelley Moore Brasil, em dezembro de 2010.*