



UNILA

Universidade Federal
da Integração
Latino-Americana

**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPGECI)**

**ESTUDO DE CASO NA MICRORREGIÃO 24 NO OESTE DO ESTADO DO
PARANÁ: FRESAGEM DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS**

DOUGLAS HENRIQUE DA ROSA SONDA

Foz do Iguaçu
2025



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO
(ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPGECI)**

**ESTUDO DE CASO NA MICRORREGIÃO 24 NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ:
FRESAGEM DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS**

DOUGLAS HENRIQUE DA ROSA SONDA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza

Foz do Iguaçu
2025

DOUGLAS HENRIQUE DA ROSA SONDA

**ESTUDO DE CASO NA MICRORREGIÃO 24 NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ:
FRESAGEM DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza
UNILA

Profa. Dr^a. Sandra Oda
UFRJ

Dr. Rodrigo Maluf Barella
SOLOTEST

Prof. Dr. Noe Villegas Flores
UNILA

Foz do Iguaçu, 06 de fevereiro de 2025

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - CENTRAL

S698e

Sonda, Douglas Henrique da Rosa.

Estudo de caso na microrregião 24 no oeste do estado do Paraná: fresagem de revestimentos
asfálticos / Douglas Henrique da Rosa Sonda. - Foz do Iguaçu, 2025.
97 fls.: il.

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, ILATIT, PPGECI - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza.

1. Pavimentos de concreto asfáltico - Conservação e restauração. I. Souza, Ricardo Oliveira de. II.
Título.

CDU 693.7-032.37

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo amor incondicional, e a Deus, por me guiar em cada passo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pela força, sabedoria e saúde para concluir esta etapa tão importante. Sem a Sua presença, nada disso seria possível.

À Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECI), agradeço por me proporcionar a oportunidade de aprendizado e crescimento, oferecendo todo o suporte necessário ao longo desta jornada.

Sou profundamente grato ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza, por sua paciência, orientação cuidadosa e contribuições valiosas em cada etapa deste trabalho. Sua experiência e apoio foram fundamentais para que este trabalho fosse concluído.

Agradeço também aos professores da banca examinadora, Prof.^a Dr.^a. Sandra Oda, Dr. Rodrigo Maluf Barella e Prof. Dr. Noe Villegas Flores, pela disponibilidade, pelas contribuições e pelo olhar atento sobre este trabalho. Suas sugestões e observações foram essenciais para o aprimoramento desta pesquisa. Desde a banca de qualificação, as análises criteriosas e contribuições ajudaram a direcionar e fortalecer este trabalho.

À minha família e namorada pelo amor incondicional, pela compreensão diante dos momentos de ausência e pelo apoio constante. Vocês são a minha base e a minha maior inspiração.

Agradeço também aos colegas e professores do PPGECI, que compartilharam conhecimentos, experiências e desafios. As discussões e a convivência ao longo do curso foram cruciais para meu crescimento pessoal e acadêmico.

Por fim, meu agradecimento a todos os profissionais e colaboradores que contribuíram direta ou indiretamente com o desenvolvimento deste trabalho, especialmente àqueles que forneceram informações e dados técnicos relevantes para a pesquisa. Cada contribuição foi essencial para a construção deste projeto.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e da persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

Este trabalho realizou levantamento de dados sobre as atividades de fresagem em vias pavimentadas nos municípios da microrregião 24 no oeste do estado do Paraná. Os dados foram coletados mediante aplicação de questionários com servidores públicos de prefeituras municipais envolvidos com infraestrutura viária e empreiteiros que prestam serviços de pavimentação na microrregião. A partir das informações obtidas se constatou que a maioria dos municípios avaliados não inclui a atividade de fresagem nos projetos de conservação viária, havendo pouca diversificação em relação ao tipo de reutilização dada ao material fresado nos municípios que a incluem. Além disso, nos poucos municípios que incluem essa atividade, tal procedimento se deve à proatividade dos servidores municipais, ante a ausência de legislação sobre fresagem ou políticas de incentivo dos governos municipais para sua inclusão nos projetos de conservação viária. Ainda, de modo geral se observou pouco conhecimento dos servidores públicos em relação aos custos e detalhes técnicos para consideração da fresagem nos projetos de conservação. Este estudo também avaliou estatisticamente a relação entre o PIB de cada município *versus* investimento em conservação viária e entre a população do município *versus* investimento em conservação viária, sendo constatada moderada a elevada correlação em cada caso. Também se realizou levantamento em relação aos diplomas legais, nos âmbitos municipal, estadual e federal, para gestão do material fresado no Brasil. Com base nos resultados obtidos, destacam-se diversas oportunidades para a continuidade e aprofundamento da pesquisa sobre fresagem de revestimentos asfálticos e o aproveitamento do material fresado (RAP), que incluem expansão da análise, capacitação técnica e gestão, exploração de Parcerias Público-Privadas, monitoramento e transparência na utilização do material fresado.

Palavras-chave: Fresagem. Reclaimed Asphalt Pavement-RAP. Concreto Asfáltico. Reciclagem. Conservação Viária.

ABSTRACT

This study carried out an assessment of the milling activities in the paved roads of the municipalities that compose the 24th microregion of the State of Paraná. The data was collected through the application of questionnaires with public servants that work with road infrastructure and contractors that provide paving services in the microregion. Through the information obtained, it was possible to notice that most of the municipalities evaluated do not include milling in their road conservation projects. In addition, considering the municipalities that do recycle it, there's little diversity in how they recycle this material. Furthermore, the milling was accomplished due to the proactive posture of public servants, considering the absence of legislation on milling or local government incentives to include it in the road conservation projects. Moreover, little knowledge regarding the costs and technical details needed to consider milling in road conservation projects was noticed amongst public servants. This study also evaluated statistical relationship between each municipality GDP *versus* their investment in road conservation and between population *versus* their investment in road conservation, finding a moderate to high correlation in each case. This study also searched the legal instruments (laws) available at this time for the management of milled material in Brazil, at the municipal, state and federal levels. Based on the results, several opportunities for the continuity and deepening of research on milling are shown, such as the expansion of the data analysis, technical education, exploration of public-private partnerships and the monitoring and transparency in the use of milling material (RAP).

Key words: Milling. Reclaimed Asphalt Pavement-RAP. Asphalt Concrete. Recycling. Road Conservation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Estrutura de um pavimento flexível em rodovias	22
Figura 2. Exemplo de máquina fresadora.	25
Figura 3. Fresagem do revestimento asfáltico.	28
Figura 4. Limpeza da superfície com vassoura mecânica.	28
Figura 5. Revestimento asfáltico fresado.	28
Figura 6. Limpeza da superfície com vassoura mecânica.	29
Figura 7. Comparação entre os tipos de fresagem quanto à rugosidade resultante na pista	31
Figura 8. Comparação entre tambores (cilindros) de fresagem padrão e fresagem fina.	31
Figura 9. Tambor (cilindro) e dentes utilizados para microfresagem.	31
Figura 10. Fluxograma metodológico do trabalho.	42
Figura 11. Microrregiões do Estado do Paraná.	43
Figura 12. Extensão (KM) da malha viária dos Municípios.	46
Figura 13. Quantitativo anual médio de mistura asfáltica utilizada nos Municípios segundo os servidores públicos municipais.	47
Figura 14. Tipo de mistura asfáltica utilizada nas atividades de conservação viária. ...	48
Figura 15. Tipo de ligante asfáltico utilizado na produção de misturas asfálticas.	49
Figura 16. Vida útil média das misturas asfálticas segundo os servidores públicos municipais.	51
Figura 17. Fresagem de revestimentos asfálticos segundo os servidores públicos municipais.	53
Figura 18. Quantitativo de mistura asfáltica fresada anualmente segundo os servidores municipais.	54
Figura 19. Destinação do material fresado segundo os servidores municipais.	55
Figura 20. Manejo do RAP por parte das empresas que prestam serviço de pavimentação na microrregião.	56
Figura 21. Motivos para não realização de fresagem segundo os servidores públicos municipais.	58
Figura 22. Motivos para não realização de fresagem segundo as empresas de pavimentação na microrregião.	59
Figura 23. Armazenamento do material fresado nos municípios segundo os servidores públicos municipais.	60
Figura 24. Armazenamento do material fresado nos municípios segundo os servidores públicos municipais.	60
Figura 25. Material fresado doado pelo DER/PR segundo os servidores públicos municipais.	61
Figura 26. Disponibilidade de máquinas fresadoras no município segundo os servidores públicos municipais.	63
Figura 27. Interação entre prefeituras e empresas de pavimentação na microrregião.	64
Figura 28. Relação dos custos anuais com recapeamento vs PIB's e custos anuais vs populações dos municípios.	65
Figura 29. Relação custo anual com recapeamento vs área da malha pavimentada. ...	66
Figura 30. Custo para realização de fresagem segundo os servidores públicos municipais.	67
Figura 31. Criação de consórcio entre municípios para realização de fresagem.	69
Figura 32. Formação profissional dos respondentes às questões enviadas via	

formulário virtual	70
Figura 33. Experiência profissional dos respondentes às questões enviadas via formulário virtual	71
Figura 34. Necessidade de capacitação técnica para inclusão da fresagem nos projetos de conservação viária	73
Figura 35. Procedimento adequado para estocagem de RAP	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Alternativas de reutilização de RAP.	33
Quadro 2. Municípios que possuem diploma legal regulamentando a reutilização de material fresado.	37
Quadro 3. Estado que possui diploma legal regulamentando a reutilização de material fresado.	39
Quadro 4. Projetos de lei em tramitação sobre material fresado.	39
Quadro 5. Legislação federal sobre gestão de RAP.	41
Quadro 6. Dados gerais dos municípios avaliados.	43
Quadro 7. Malha viária pavimentada na microrregião 24.	45
Quadro 8. Custo anual despendido com recapeamento na microrregião 24.	65
Quadro 9. Resultados para o teste de normalidade e independência entre os dados amostrais.	77
Quadro 10. Modelos de regressão linear simples e múltipla obtidos.	78
Quadro 11. Análises de correlação.	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CCR	Companhia de Concessões Rodoviárias
cm	Centímetro
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DER/PR	Departamento de Estradas e Rodagem do Paraná
DER/SP	Departamento de Estradas e Rodagem de São Paulo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EAPA	Associação Europeia de Pavimentos Asfálticos
EUA	Estados Unidos da América
km	quilômetro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
NAPA	<i>National Asphalt Pavement Association</i>
NCAT	<i>National Center for Asphalt Technology</i>
PAV	Pavimentação
PIB	Produto Interno Bruto
POP	População
RAP	<i>Reclaimed Asphalt Pavement</i>
RAS	<i>Reclaimed Asphalt Shingles</i>
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
vs	Versus
Webinar	Seminário online
Website	Site da Internet

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	17
1.1. OBJETIVOS.....	19
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 ESTRUTURA E CLASSIFICAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA.....	21
2.2 CICLO DE VIDA DOS PAVIMENTOS.....	22
2.3 FRESAGEM DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: CONCEITOS E PROCESSOS.....	24
2.3.1 Conceitos Fundamentais.....	24
2.3.2 Processos Envolvidos.....	25
2.3.3 Práticas de reutilização de materiais asfálticos fresados (RAP).....	32
2.3.4 Gestão do material resultante da fresagem (RAP).....	33
2.3.4.1. <i>Coleta, processamento e tratamento do RAP</i>	34
2.3.4.2. <i>Legislação para gestão do RAP</i>	37
3 MÉTODO.....	42
4 ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	45
4.1 EXTENSÃO DA MALHA VIÁRIA MUNICIPAL.....	45
4.2 MISTURAS ASFÁLTICAS UTILIZADAS NAS ATIVIDADES DE RECAPEAMENTO NA MICRORREGIÃO 24.....	46
4.2.1 Quantitativo de misturas asfálticas utilizadas em recapes.....	46
4.2.2 Tipo de mistura asfáltica utilizada em recapeamentos.....	47
4.2.3 Tipo de ligante asfáltico geralmente utilizado.....	49
4.2.4 Vida útil das misturas asfálticas nos pavimentos da microrregião 24.....	51
4.3.1 Fresagem de misturas asfálticas nos pavimentos da microrregião 24.....	52
4.3.2 Destinação do material fresado.....	54
4.3.3 Motivos para não realização de fresagem.....	57
4.3.4 Armazenamento do material fresado.....	59
4.3.5 Material fresado recebido pelo município via doação.....	61
4.3.6 Empresas de pavimentação rodoviária com máquina fresadoras na região....	63
4.3.7 Custos para realização de fresagem nos municípios da microrregião 24.....	65
4.3.8 Percepção de custos para realização de fresagem de revestimentos asfálticos envelhecidos.....	67
4.3.9 Consórcio de municípios para otimização das atividades de conservação viária na microrregião 24.....	68
4.4 CARACTERÍSTICAS DA MÃO-DE-OBRA ENVOLVIDA EM PROJETOS DE CONSERVAÇÃO VIÁRIA NA MICRORREGIÃO 24.....	69
4.4.1 Formação profissional.....	70
4.4.2 Experiência profissional.....	71
4.4.3 Capacitação técnica.....	72
4.5 CONSIDERAÇÕES FINANCEIRAS E TÉCNICAS SOBRE A ATIVIDADE DE FRESAGEM DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS.....	73
4.5.1 Medidas para incentivar a inclusão da fresagem de revestimentos asfálticos envelhecidos em projetos de conservação viária.....	73
4.5.2 Boas práticas para bons resultados com RAP.....	74
4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	77

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A.....	90
APÊNDICE B	96

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Em um país como o Brasil, no qual o sistema rodoviário ainda é o principal meio para circulação de bens e pessoas, a conservação das vias, cuja degradação é consequência inevitável diante da utilização massiva, é elementar para a funcionalidade, segurança e conforto da população.

Conforme dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024) a malha rodoviária é responsável por 65% do transporte de cargas e 95% do transporte de pessoas. Entretanto, a alta adesão ao sistema de transporte rodoviário não é feita em razão da qualidade das vias, uma vez que, de acordo com a Pesquisa CNT de 2024, 67,0% das rodovias avaliadas apresentaram algum tipo de problema no estado geral e 56,9% dos trechos avaliados têm problemas no pavimento (CNT, 2024). Inclusive, ressalta-se a piora dos resultados se comparados com a Pesquisa CNT de 2014, na qual 62,1% das rodovias apresentaram algum tipo de problema no seu estado geral e 49,9% dos trechos avaliados tinham problemas no pavimento.

As consequências desses problemas não são, de modo geral, percebidas de forma imediata. Pelo contrário, os prejuízos econômicos estão ligados ao aumento dos custos operacionais e de manutenção dos veículos, pessoas e cargas, bem como custos de conservação das próprias vias. Some-se a isto a perda de eficiência nos tempos de viagens e problemas mais graves relacionados a acidentes ou danos causados aos veículos, passageiros e pedestres por deficiências nas vias (VARGAS, 2016).

Além disso, a falta de investimentos na infraestrutura rodoviária reflete diariamente nas tecnologias disponíveis para pavimentação das vias, uma vez que tecnologias modernas que produzam melhores resultados implicam no aumento da vida útil e reduzem os custos de intervenções (VARGAS, 2016).

Para a garantia de boas condições de circulação, segurança e conforto é fundamental altos investimentos na manutenção, recuperação e construção de novas vias. As novas técnicas que buscam o uso de materiais alternativos focam na redução desses custos (BONFIM, 2010).

No processo de recuperação das vias pavimentadas, uma técnica comumente utilizada é a fresagem do revestimento asfáltico envelhecido, seguida da aplicação de novo revestimento. Entretanto, a fresagem, que se constitui na remoção parcial ou total do revestimento asfáltico, embora eficaz, tem como efeito negativo a geração de resíduos – denominado fresado asfáltico ou *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP)

(BONFIM, 2010).

Estes resíduos, por sua vez, exigem destinação adequada, o que se mostra cada vez mais importante diante da preocupação com o meio ambiente e a necessidade da adoção de técnicas sustentáveis. É nesse contexto que surgem técnicas de reutilização do material fresado proveniente dos processos de restauração das vias, objetivando conferir-lhes novas funções e aproveitabilidade (BONFIM, 2010).

Além do aspecto ambiental, a sustentabilidade que se busca com a reutilização do material fresado também se mostra importante sob o prisma econômico. É que, num contexto em que as obras de pavimentação urbana, em sua grande maioria, são executadas e custeadas com verbas públicas, alternativas que permitam redução de custos mediante reaproveitamento de materiais que seriam descartados (LI *et al.*, 2022) são também uma forma de promover a eficiência do serviço público.

Logo, a reutilização de material fresado, como apontam (SILVA; FARIAS, 2020) é uma alternativa valiosa, por reduzir não só a quantidade de agregados virgens e ligante asfáltico necessários para a produção de concretos asfálticos, mas também os custos de energia, transporte e trabalho.

No entanto, de acordo com Monteiro (2022), o Brasil não possui um sistema nacional de registro da produção e utilização do material fresado (RAP). Geralmente, essas informações não são públicas, sendo apenas registradas e arquivadas internamente, por exemplo, em concessionárias de rodovias federais e/ou estaduais. Assim, torna-se difícil o cálculo preciso do volume e tipo de tratamento dado ao RAP. O Relatório Anual da CNT de 2021 (CNT, 2021) destacou a presença de pavimentos fresados no país naquele ano, mas não apresentou dados específicos sobre a extensão dos trechos fresados ou a quantidade de resíduos gerados nesse processo. A partir de pesquisa bibliográfica foi identificado que a Companhia de Concessões Rodoviárias (CCR) publicou relatório no qual consta ter reutilizado cerca de 100.000 toneladas de material fresado (RAP) até o ano de 2021 (CCR, 2021). Nos anos seguintes, 2022 e 2023, os relatórios da CCR mencionam fresagem, porém, sem trazer as quantidades reutilizadas. No relatório de 2023 foi informado que o Grupo CCR tem reutilizado o RAP à frio há mais de 15 anos em diferentes rodovias administradas pelo Grupo, trazendo benefícios econômicos e ambientais, além de garantir padrões elevados de qualidade para o usuário (CCR 2022; CCR 2023).

Em nível local, mediante consulta nos *websites* de prefeituras na região oeste do estado do Paraná (Prefeitura de Foz do Iguaçu, Prefeitura de Cascavel, entre outros), se

constata a execução de atividades de fresagem em obras municipais. No entanto, não há relatórios que detalhem a quantidade do RAP gerado, nem a destinação ou tipo de reutilização desse produto.

Dessa maneira, nota-se a existência de lacuna do ponto de vista do gerenciamento do material fresado (RAP) anualmente gerado em todas as regiões do Brasil, desde os estados até os municípios. Esse gerenciamento é fundamental para implementar políticas públicas que promovam a reutilização e reciclagem do RAP, visando uma gestão mais sustentável dos resíduos, com soluções que sejam viáveis tanto do ponto de vista técnico quanto ambiental.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é realizar um levantamento das atividades de fresagem em vias pavimentadas nos municípios da microrregião 24 no oeste do estado do Paraná, a fim de caracterizar a situação atual e identificar gargalos que precisam ser vencidos para expandir a utilização dessa alternativa construtiva nos projetos de conservação viária.

Para atender ao objetivo geral, esta pesquisa tem como objetivos específicos:

- Revisar a literatura técnica sobre fresagem de revestimentos asfálticos (processos, equipamentos, formas de utilização do material fresado, gestão do material fresado, entre outros).
- Levantar dados sobre o tipo e volume de misturas asfálticas utilizadas nas atividades de recapeamento de pavimentos flexíveis envelhecidos nos municípios da microrregião 24 no oeste do estado do Paraná.
- Levantar dados sobre o volume de RAP gerado a partir dos pavimentos flexíveis envelhecidos nos municípios da microrregião 24 no oeste do estado do Paraná.
- Identificar as práticas atuais de armazenamento e reaproveitamento/destinação desse RAP.
- Identificar junto aos servidores municipais, os elementos que dificultam a inclusão da fresagem de pavimentos ou expansão da utilização dessa atividade nos projetos de conservação das malhas viárias municipais.
- Identificar características da mão-de-obra envolvida em projetos de conservação viária na microrregião 24 no oeste do estado do Paraná.

- Identificar a existência de correlação estatística entre a extensão ou área da malha viária pavimentada *versus* Produto Interno Bruto (PIB) municipal, extensão ou área da malha viária pavimentada *versus* população do município, entre outros.
- Fornecer informações essenciais que permitam aos servidores públicos municipais, expandir o conhecimento sobre aspectos financeiros, legislação e projeto/execução envolvendo a atividade de fresagem.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O capítulo um apresenta a introdução ao tópico fresagem de pavimentos com revestimentos asfálticos. O capítulo dois apresenta a revisão bibliográfica, enquanto o capítulo três detalha a metodologia a ser seguida para levantamento e tratamento dos dados coletados em entrevistas. O capítulo quatro apresenta a análise de dados e respectiva discussão. Finalmente, o capítulo cinco apresenta as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo se apresenta de forma sucinta, conceitos sobre pavimentação asfáltica, fresagem, processos envolvidos e equipamentos utilizados, entre outros.

2.1 ESTRUTURA E CLASSIFICAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

A pavimentação asfáltica consiste no processo de aplicação de uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, visando revestir as camadas subjacentes de rodovias, avenidas, estradas e outras vias de circulação. Conforme descrito no Manual de Asfalto (Petrobrás, 2024) o asfalto é um material derivado do petróleo, caracterizado por sua elevada viscosidade, propriedades impermeabilizantes e adesivas. Popularmente, o termo "asfalto" refere-se à mistura utilizada na pavimentação, composta por um ligante asfáltico (por exemplo, cimento asfáltico de petróleo, asfalto diluído ou emulsão) e agregados minerais.

O pavimento de uma rodovia é a estrutura composta por um conjunto de camadas com espessuras definidas, apoiadas sobre uma base considerada teoricamente infinita, chamada de infraestrutura ou terreno de fundação, também conhecida como subleito (DNIT, 2006).

De maneira geral os pavimentos são classificados como flexíveis, rígidos e semirrígidos. O foco aqui são os flexíveis, que de acordo com DNIT (2006) são aqueles em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, em razão disso, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Um exemplo clássico é o pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.

Ainda, segundo Bernucci *et al.* (2022) os pavimentos asfálticos podem ser classificados em dois tipos principais:

1. **Pavimentos flexíveis:** nos quais as camadas abaixo do revestimento asfáltico são formadas por materiais granulares, como solos, misturas de solo e agregados, entre outros;
2. **Pavimentos semirrígidos:** caracterizados por possuírem, sob a camada asfáltica, uma base ou sub-base composta por materiais cimentados ou

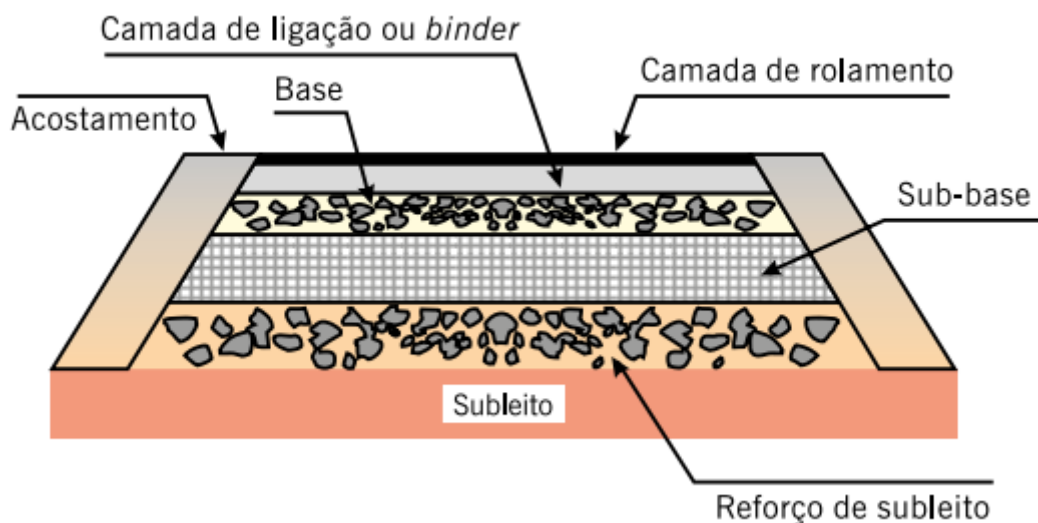
estabilizados com ligantes hidráulicos, que conferem maior resistência aos esforços de tração.

Os pavimentos asfálticos são aqueles cujo revestimento é formado por uma mistura composta essencialmente de agregados, *fíler* e ligante asfáltico. Sua estrutura é composta por quatro camadas principais: **revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito.**

O revestimento asfáltico pode incluir uma camada de rolamento, que tem contato direto com os pneus dos veículos, e camadas intermediárias ou de ligação, também conhecidas como *binder*.

Dependendo das condições de tráfego e dos materiais disponíveis, algumas dessas camadas podem não estar presentes na estrutura do pavimento. Todas as camadas são apoiadas sobre o subleito, que corresponde à superfície final da estrada, preparada após a realização dos cortes e aterros.

Figura 1. Estrutura de um pavimento flexível em rodovias



Fonte: Bernucci *et al.*, 2022.

2.2 CICLO DE VIDA DOS PAVIMENTOS

Conforme o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2005), os pavimentos são projetados para durarem um certo período de tempo. Durante cada período ou “ciclo de vida”, eles começam em condições ideais e, com o tempo, vão sofrendo degradação progressiva. Esse processo de perda gradual de desempenho ou funcionalidade ao longo do tempo é conhecido como deterioração do pavimento.

Compreender os mecanismos que causam a deterioração é fundamental para

identificar os fatores que contribuíram para o estado atual do pavimento, além de permitir a seleção e o planejamento da técnica mais apropriada para sua restauração.

Segundo Bernucci *et al.* (2022), os pavimentos asfálticos estão sujeitos a diversas imperfeições, danos e alterações ao longo de sua vida útil, tanto em sua superfície quanto em sua estrutura. Essas alterações podem comprometer significativamente o desempenho do pavimento, resultando em perda de funcionalidade, redução de sua longevidade e impacto negativo na segurança do tráfego. Tais deteriorações exigem intervenções planejadas e técnicas adequadas de manutenção ou restauração para garantir a continuidade do desempenho estrutural e funcional, além de preservar as condições ideais de segurança para os usuários.

De acordo com Bonfim (2010), o pavimento asfáltico deve proporcionar viagens confortáveis e, quando não cumpre mais essa função, é necessário realizar intervenções para sua recuperação, sendo a fresagem uma das técnicas utilizadas para esse fim.

Já Oliveira (2018) destaca que a durabilidade de uma rodovia está diretamente vinculada a três aspectos principais: o desenvolvimento de um projeto construtivo adequado, que dimensiona e especifica as camadas do pavimento; a execução fiel desse projeto, conforme as especificações estabelecidas; e a manutenção periódica, que visa prevenir ou corrigir eventuais defeitos surgidos com o tempo.

Além disso, para compreender os fatores que influenciam o desempenho de um pavimento, é necessário considerar dois elementos principais que atuam sobre ele: o clima, que impacta em função das variações de temperatura, chuvas e umidade; e o tráfego, que provoca a degradação da estrutura devido às cargas e tensões exercidas pelos veículos de transporte.

O acompanhamento da vida em serviço do pavimento e as respectivas intervenções, quando necessárias, precisam considerar os requisitos de sustentabilidade.

Miller e Bahia (2009) conceituaram a pavimentação sustentável como um processo de construção rodoviária que reduz os impactos ambientais ao minimizar o consumo de energia, o uso de recursos naturais e a emissão de poluentes, atendendo aos requisitos de desempenho e padrões de qualidade. Nesse contexto, os avanços tecnológicos recentes têm desempenhado um papel crucial na implementação de técnicas mais sustentáveis no setor de pavimentação.

Nesse sentido, conforme o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2016), a reciclagem dos pavimentos já existentes é destacada como uma

alternativa eficaz para corrigir diversos tipos de defeitos, proporcionando várias vantagens em comparação ao uso tradicional de materiais virgens. Portanto, a reciclagem de materiais utilizados na pavimentação asfáltica tem como principal objetivo diminuir a extração de recursos naturais nas jazidas, além de evitar o descarte inadequado desses materiais, que podem contaminar o solo.

2.3 FRESAGEM DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: CONCEITOS E PROCESSOS

2.3.1 Conceitos Fundamentais

De acordo com a Norma DNIT 159/2011-ES, a fresagem é uma operação que consiste no corte ou desbaste de uma ou mais camadas do pavimento asfáltico, por processo mecânico a frio. É realizada através de cortes por movimento rotativo contínuo, seguido da elevação do material fresado para a caçamba de um caminhão basculante.

Bonfim (2010) define 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”.

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP), a fresagem é amplamente aplicada em diversas situações, como o nivelamento do pavimento, o aumento da aderência e a remoção de antiga sinalização horizontal. Ela também é utilizada para corrigir defeitos em áreas com remendos deteriorados, panelas (buracos), rupturas plásticas, ondulações e trincas.

Adicionalmente, a técnica é empregada para a retirada de revestimentos asfálticos em Obras de Arte Especiais (OAE) com deterioração acentuada, bem como para melhorias em retornos e interseções. Também é utilizada no tratamento de irregularidades graves, correção de soleamentos e trilhas de roda profundas (maiores que 12 mm), além de solucionar problemas como corrugações e trincas associadas a outros danos (DER/PR ES-PA 31/23).

Ainda, segundo a mesma especificação, a fresagem contribui para aumentar o coeficiente de atrito da pista e regularizar a superfície de rolamento existente, preparando-a para a aplicação de revestimentos asfálticos de pequenas ou micro espessuras.

Nesse contexto, as propriedades do material fresado (Reclaimed Asphalt

Pavement - RAP) são diretamente influenciadas por uma ampla gama de fatores relacionados ao processo de fresagem. Entre esses fatores, destacam-se a profundidade de fresagem, a velocidade de deslocamento da máquina fresadora, a velocidade de rotação do tambor, o tipo de máquina fresadora, a disposição das ferramentas de fresagem, o tipo e idade do pavimento, bem como as condições ambientais e a resistência dos agregados envolvidos (WEST, 2015).

De acordo com Zaumanis *et al.* (2021), a análise e o aprimoramento dos parâmetros de fresagem são fundamentais para obtenção de RAP com propriedades adequadas à reutilização em concretos asfálticos de qualidade. A otimização do processo de obtenção de RAP não apenas garante a geração de um material mais consistente, mas também contribui para a sustentabilidade e eficiência do ciclo produtivo, consolidando o RAP como um recurso estratégico para a infraestrutura rodoviária.

2.3.2 Processos Envolvidos

A fresagem de pavimentos asfálticos é um processo mecânico que envolve o uso de equipamentos específicos, as fresadoras, que são máquinas capazes de cortar o revestimento asfáltico em diferentes larguras e profundidades, segundo as necessidades de projeto. Conforme ilustra a Figura 2, as fresadoras são equipamentos de grande porte, dotadas de tambor (cilindro) rotativo equipado com dentes de metal duro, responsáveis por realizar o corte do pavimento de forma precisa e uniforme. Esses dentes cortam e removem a camada superficial do pavimento, deixando a superfície preparada para receber uma nova camada de revestimento asfáltico.

Figura 2. Exemplo de máquina fresadora.





Fonte: Wirtgen-Group, 2025.

A profundidade da fresagem pode variar dependendo das condições do pavimento existente, do tipo de tráfego esperado e dos requisitos do projeto, sendo que uma fresagem excessivamente profunda pode comprometer a estabilidade estrutural do pavimento, enquanto uma fresagem insuficiente pode resultar em uma superfície inadequada para receber a nova camada de revestimento asfáltico.

O processo de fresagem de pavimentos asfálticos inclui várias etapas. Segundo as Especificações de Serviços Rodoviários do DER/PR, a fresagem a frio do pavimento deve ser realizada seguindo as condições e etapas construtivas descritas a seguir (ES-PA 31/23):

- a) Delimitação das áreas a fresar: as áreas devem ser demarcadas com tinta, e a profundidade da fresagem deve ser definida conforme o projeto ou ajustada em campo, conforme orientação da Fiscalização do DER/PR. Áreas com trincas do tipo FC-2 e FC-3 devem ser englobadas em um retângulo que circunscreva toda a região afetada.
- b) Preparação da superfície para reciclagem: antes da fresagem, se o material for destinado à reciclagem, deve-se remover sujeiras e resíduos excedentes da superfície do pavimento, utilizando varrição mecânica.
- c) Execução do corte: as camadas betuminosas devem ser cortadas com uma máquina fresadora.
- d) Procedimento de fresagem: a fresagem, na espessura especificada no projeto, deve começar na borda mais baixa da faixa de tráfego. A velocidade de corte e avanço da máquina deve ser ajustada para produzir uma granulometria adequada, caso os agregados sejam destinados à reciclagem.
- e) Controle de poeira e resfriamento: durante a fresagem, deve-se providenciar um jateamento contínuo de água para resfriar os dentes da fresadora e

controlar a emissão de poeira.

- f)** Transporte do material fresado: o material removido deve ser imediatamente carregado em caminhões e armazenado em local apropriado, de forma a evitar alterações na configuração do terreno e interferências no escoamento de águas superficiais, minimizando impactos ambientais.
- g)** Limpeza da superfície: logo após a fresagem, deve-se realizar a limpeza da superfície resultante, preferencialmente com vassouras mecânicas, embora o processo manual também possa ser utilizado. Recomenda-se complementar com jato de ar comprimido.
- h)** Tratamento de pontos frágeis:
 - Em caso de painelas (buracos) ou desagregação localizada, deve-se realizar reparos superficiais localizados.
 - Para desagregações generalizadas, é necessário remover o material solto, reforçar a camada granular subjacente (se necessário) e/ou aplicar uma camada adicional de concreto betuminoso, após a limpeza e pintura de ligação adequada.
- i)** Uniformidade da superfície fresada: a superfície resultante deve ser uniforme, sem falhas de corte causadas por dentes danificados da fresadora, depressões ou desníveis entre passadas do equipamento.
- j)** Cortes verticais nas bordas: as paredes das bordas longitudinais e transversais devem ser cortadas verticalmente, evitando deslizamentos do material asfáltico durante a recomposição.
- k)** Escalonamento em camadas: quando a recomposição for superior a 5 cm, deve-se escalonar as camadas de concreto asfáltico. As juntas transversais e longitudinais devem ser defasadas, respeitando o recuo de 50 cm no sentido transversal e 10 cm no sentido longitudinal, ou conforme orientação do engenheiro responsável, considerando as condições locais.

Ainda na especificação ES-PA 31/23 do DER/PR, são consideradas duas situações de fresagem, tendo-se fresagem contínua e fresagem descontínua. A fresagem contínua refere-se à fresagem executada em áreas individuais com, pelo menos 400 m². Normalmente, ela abrange toda a largura da pista e é realizada com equipamentos de grande porte, sendo recomendada a utilização de máquina fresadora com 2,00 m de largura. Já a fresagem descontínua refere-se à fresagem realizada em áreas individuais de até 400 m², aplicada de forma segmentada, com dimensões de comprimento e largura

variáveis. Neste caso, predomina o uso de equipamentos de médio e pequeno porte, sendo recomendadas máquinas fresadoras com 1,00 m de largura.

Nas Figuras 3, 4 e 5 é possível observar um exemplo prático da execução dos serviços de fresagem em vias urbanas no município de Santa Terezinha de Itaipu/PR.

Figura 3. Fresagem do revestimento asfáltico.



Fonte: o autor, 2023.

Figura 4. Limpeza da superfície com vassoura mecânica.



Fonte: o autor, 2023.

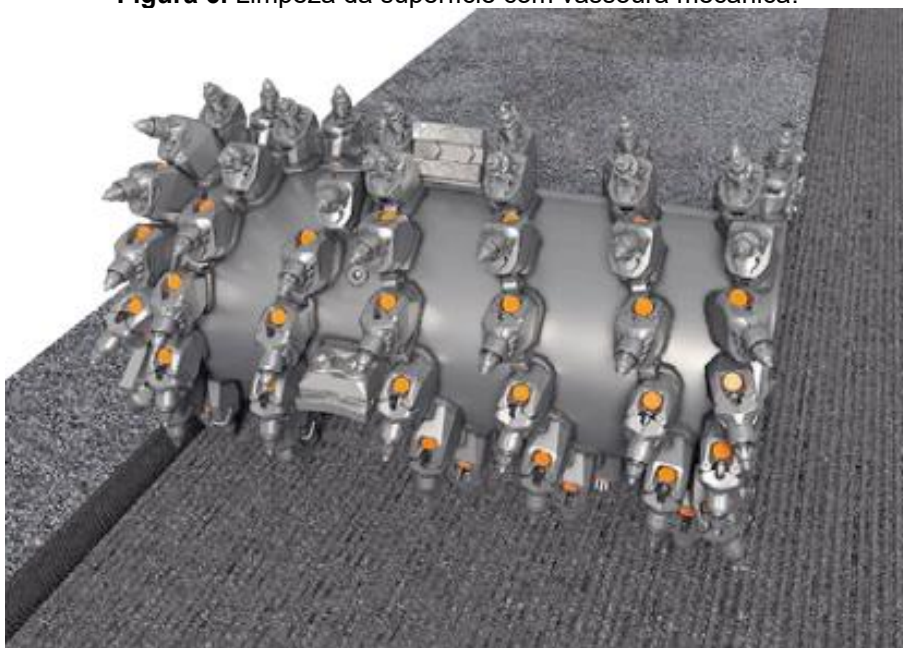
Figura 5. Revestimento asfáltico fresado.



Fonte: o autor, 2023.

Já na Figura 6 é possível visualizar como é o tambor (cilindro) de fresagem deste tipo de fresadora, que de maneira geral é responsável por cortar e quebrar as partículas do pavimento, transportar as partículas de material para o ejetor e ejetar as partículas de material quebradas para a correia (esteira) de carregamento.

Figura 6. Limpeza da superfície com vassoura mecânica.



Fonte: Manual de dados técnicos da fresadora a frio Wirtgen W 100 HR, 2025.
De acordo com Bonfim (2010), a fresagem de pavimentos asfálticos pode ser

classificada com base na espessura de corte e na rugosidade resultante. A continuação apresenta-se uma descrição sucinta de cada um:

1. Classificação Quanto à Espessura de Corte:

- a)** Fresagem Superficial: Conhecida também como fresagem de regularização, corrige defeitos na superfície do pavimento. Em alguns casos, dispensa recapeamento devido à textura segura gerada, mas pode ser ajustada para maior conforto ao rolamento. É usada para melhorar a textura e aderência pneu-pavimento, além de corrigir defeitos como exsudação e deformações plásticas.
- b)** Fresagem Rasa: Remove camadas superiores (até 5 cm) para corrigir defeitos funcionais e manter o greide. Frequentemente aplicada em vias urbanas, aumenta a resistência ao cisalhamento entre camadas, oferecendo intervenções econômicas e funcionais.
- c)** Fresagem Profunda: Alcança camadas estruturais, como base e sub-base, sendo utilizada para reestruturação do pavimento ou reciclagem. Corrige o greide original e é indicada para reparos profundos e requadramento de painéis (buracos).

2. Classificação Quanto à Rugosidade Resultante

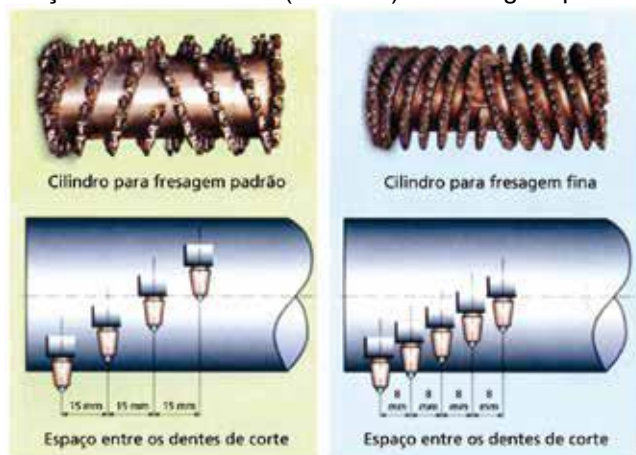
- a)** Fresagem Padrão (Figuras 7 e 8): Usa cilindros com dentes espaçados em 15 mm, resultando em textura adequada para aplicação de nova camada de revestimento.
- b)** Fresagem Fina (Figuras 7 e 8): Utiliza cilindros com dentes espaçados em 8 mm, produzindo sulcos menores e menor rugosidade, proporcionando melhores condições de trafegabilidade, dispensando recapeamento em alguns casos.
- c)** Microfresagem (Figuras 7 e 9): Remove camadas delgadas (2 a 3 mm) para ajustes finos no perfil longitudinal ou remoção de sinalizações horizontais para alteração de layouts viários. É inicialmente limitada a equipamentos pequenos, sendo dispensado recapeamento.

Figura 7. Comparação entre os tipos de fresagem quanto à rugosidade resultante na pista



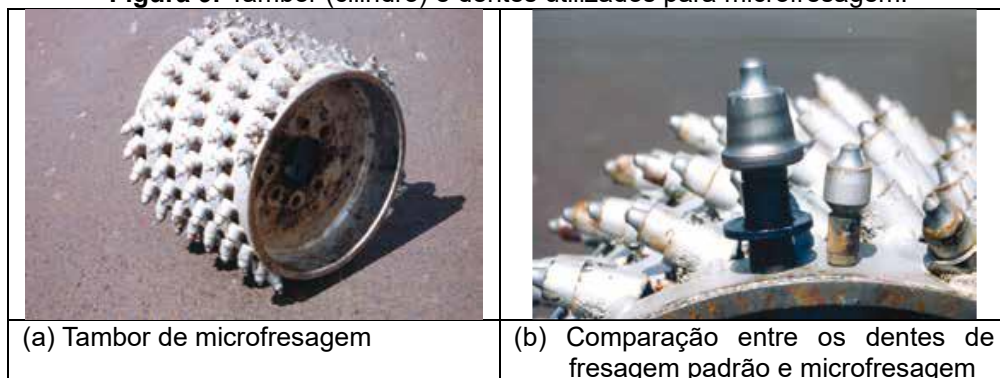
Fonte: Bonfim, 2010.

Figura 8. Comparação entre tambores (cilindros) de fresagem padrão e fresagem fina.



Fonte: Bonfim, 2010.

Figura 9. Tambor (cilindro) e dentes utilizados para microfresagem.



Fonte: Bonfim, 2010.

A rugosidade resultante no revestimento fresado não deve apresentar desníveis entre passadas sucessivas do equipamento. Do ponto de vista dos sulcos, são sugeridas as seguintes profundidades segundo o tipo de fresagem realizada (BONFIM, 2010):

- Fresagem padrão: 8 mm de profundidade
- Fresagem fina: 5 mm de profundidade

- Microfresagem: 3 mm de profundidade

2.3.3 Práticas de reutilização de materiais asfálticos fresados (RAP)

Os resíduos gerados pela fresagem de pavimentos asfálticos requerem adequado gerenciamento. Existem várias alternativas para reaproveitamento e reutilização de materiais asfálticos fresados, conhecidos como RAP (*Recycled Asphalt Pavement*). A seguir são apresentadas as principais práticas:

- a) Reciclagem a Quente (*Hot Recycling*): Nesse procedimento, o RAP é aquecido e misturado com um novo ligante asfáltico e agregados virgens. A mistura é então utilizada na pavimentação de estradas. Este processo é realizado em usinas de asfalto especiais, onde o RAP é aquecido em altas temperaturas para garantir uma boa integração com os novos materiais.
- b) Reciclagem a Frio (*Cold Recycling*): Aqui, o RAP é misturado com emulsão asfáltica ou outro agente ligante em temperatura ambiente ou sem aquecimento significativo. Essa técnica é menos energeticamente intensiva do que a reciclagem a quente e pode ser feita *in situ*, diretamente na obra.
- c) Reutilização em Camadas de Base e Sub-base: O RAP pode ser utilizado como agregado em camadas de base e sub-base de estradas, reduzindo a demanda por novos agregados naturais.
- d) Reutilização como material de salgamento (espargimento de RAP) em estradas vicinais para reduzir a poeira em dias secos e a lama em dias de chuva.

Segundo a especificação técnica ET-DE-P00-025/2006 do DER/SP, o salgamento convencional se relaciona ao espalhamento, por exemplo, de areia ou pedrisco sobre pré-misturados a frio ricos em asfalto, a fim de facilitar as operações dos rolos compactadores durante a compactação.

Quando reutilizado em processos de reciclagem, o RAP contribui significativamente para a redução dos impactos ambientais, ao diminuir o consumo de insumos pétreos e asfálticos virgens, e ao reduzir o volume de resíduos destinados a aterros sanitários (DNIT, 2021; NAPA, 2020). Estudos realizados por Suzuki (2019) demonstram que o reaproveitamento do RAP na produção de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) reduz a demanda por Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) virgem, já que o betume presente no material fresado é reincorporado ao processo produtivo.

Além disso, Singh *et al.* (2020) e Thenoux *et al.* (2007) apontam que o RAP tem

vido amplamente utilizado na construção de bases e camadas superficiais de estradas, proporcionando vantagens econômicas e ambientais. Sua aplicação como agente estabilizador em bases de pavimentos reduz a necessidade de materiais pétreos virgens e o consumo energético, tornando-o uma alternativa sustentável e eficiente para a infraestrutura rodoviária.

O Quadro 1 apresenta alternativas de reutilização de RAP consideradas atualmente nos EUA:

Quadro 1 Alternativas de reutilização de RAP.

Estado (EUA)	Local de utilização do material fresado (RAP) em pavimento rodoviário	Teor de RAP
Carolina do Sul ²	Camadas de revestimento	25% a 35%
Flórida ²	Camadas de ligação (Binder) e camadas de base	Até 50%
	Camadas de revestimento com misturas densas de atrito	20%
Nebraska ²	Camadas de revestimento	Até 35%
	Camadas de base e acostamentos de rodovias	Até 65%
New Jersey ²	Camadas de revestimento (geralmente graduação densa)	20%
	Camadas de ligação (Binder)	30%
	Camadas de base granular	50%
Ohio ¹	Camada de revestimento modificada por polímero-tráfego elevado	15%
	Camada de revestimento modificada por polímero-tráfego moderado	25%
	Camada de revestimento modificada por polímero-tráfego leve	25%
	Camada de revestimento não modificada por polímero	25%
Tennessee ¹	Acostamentos de rodovias	35%
	Camada de revestimento de atrito	20%
Texas ¹	Camadas de revestimento em concreto asfáltico de graduação densa	20%
	Camada de ligação (intermediária) de concreto asfáltico de graduação densa	30%
	Camadas de base com concreto asfáltico de graduação densa	40%
Washington ²	Camadas de base granular	Até 25%

Fonte: Revelli e Ali, 2023¹; Hand e Aschenbrener, 2021²

2.3.4 Gestão do material resultante da fresagem (RAP)

Neste item, o tópico gestão do RAP será abordado do ponto de vista da coleta, processamento e tratamento do RAP, e posteriormente do ponto de vista da legislação

existente no Brasil.

2.3.4.1. Coleta, processamento e tratamento do RAP

Um dos principais desafios na gestão de resíduos de pavimentos asfálticos é a complexidade da composição desses materiais (GONZALEZ, 2020). Os resíduos resultantes da manutenção e renovação de estradas contêm uma variedade de componentes, incluindo agregados, ligantes asfálticos e contaminantes como óleos e solventes. A separação e reciclagem eficazes desses materiais exigem técnicas avançadas de processamento e tratamento para garantir a qualidade e a sustentabilidade dos produtos finais.

A correta destinação do material fresado proveniente de obras rodoviárias é essencial para a preservação ambiental. Conforme aponta Pereira *et al.* (2021), "o material fresado deve ser acondicionado em locais com licenciamento ambiental", garantindo que seu armazenamento e eventual reutilização ocorram de maneira sustentável. Essa prática previne potenciais impactos negativos ao meio ambiente, como a contaminação do solo e da água, reforçando a importância de procedimentos adequados na gestão de resíduos da construção civil.

Apesar dos desafios, a gestão de resíduos de pavimentos asfálticos também oferece oportunidades significativas para inovação e práticas sustentáveis. Uma dessas oportunidades reside no desenvolvimento e aplicação de tecnologias avançadas de reciclagem, como o uso de aditivos e processos térmicos (WANG *et al.*, 2019). Essas tecnologias podem melhorar a qualidade dos materiais reciclados e reduzir custos operacionais.

Outro ponto que merece ser ressaltado é a falta de padronização e regulamentação adequada para a gestão de resíduos de pavimentos asfálticos (ZHANG *et al.*, 2021). A ausência de diretrizes claras pode resultar em práticas inconsistentes e dificultar a implementação de soluções eficazes de reciclagem e reaproveitamento.

Essa ausência de diretrizes vem acompanhada da insuficiência de dados disponíveis e na divulgação deles, o que limita o acesso à informação pública e dificulta o acompanhamento das práticas de gestão de resíduos e dos esforços de sustentabilidade. A publicação de dados em plataformas digitais relacionados à fresagem e reutilização dos materiais dela provenientes, seria um passo importante para promover maior transparência e engajamento social nas políticas de conservação viária.

Nos âmbitos nacional, estadual e local, é perceptível a necessidade de divulgação de relatórios técnicos que contemplem estimativas de geração e utilização do material fresado de pavimentos asfálticos, bem como de instrumentos que regulamentem como e o que será feito com esse material.

Em âmbito municipal, essa lacuna foi apontada no trabalho *Diagnóstico ambiental do material fresado de pavimentos asfálticos para fins de gerenciamento em Aparecida de Goiânia e Goiânia—GO*, desenvolvido por Lima e Oliveira (2023) e que teve como objetivo realizar um diagnóstico de levantamento de dados sobre a quantidade de material fresado gerado e sua reutilização nos municípios de Goiânia e Aparecida de Goiânia, ambos no estado de Goiás.

No referido artigo, as autoras apontaram que embora diversos Municípios noticiem a reutilização de material fresado¹, não existem dispositivos que regulamentem como essa aplicação será feita e tampouco registros sistemáticos ou relatórios padronizados que quantifiquem a geração ou o reaproveitamento desse insumo.

Ainda, de acordo com Lima e Oliveira (2023), a obtenção dos dados sobre o material fresado referentes aos anos de 2020 e 2021, só foi possível por meio de um relatório interno disponibilizado pelas prefeituras dos Municípios de Goiânia/GO e Aparecida de Goiânia/GO, uma vez que inexistiam dados publicados de forma oficial.

Esses dados coletados pelas autoras revelam a relevância de diagnósticos ambientais e o desenvolvimento de ferramentas de gestão para o manejo do material fresado, evidenciando a importância de uma abordagem estruturada para integrar práticas sustentáveis às rotinas de obras públicas municipais.

Outro trabalho cuja menção é interessante é o "*Estudo sobre destinação de resíduos da fresagem de pavimento asfáltico no estado do Paraná, sob jurisdição do DER/PR*", desenvolvido por Pereira *et al.* (2021). Nesse trabalho se apontou o potencial de reutilização do material em projetos de infraestrutura regional, promovendo práticas sustentáveis no setor. Nele, foram apresentados dados sobre o material fresado referentes aos anos de 2019 e 2020, obtidos por meio de Relatórios Mensais elaborados pelas Superintendências Regionais do DER/PR. Entre as conclusões desse estudo, os autores mencionam que a fresagem de pavimentos asfálticos tem sido uma técnica relevante para a restauração de rodovias deterioradas, contribuindo para a preservação

¹ São Municípios citados pelas autoras os municípios de Goiânia, Correia Pinto, Major Vieira, Canelinha, Tijucas do Sul, São Miguel do Iguaçu, Pelotas e Guaraqueçaba.

ambiental e redução do uso de recursos naturais finitos. Pereira *et al.* (2021) também citaram que boa parte do material fresado no estado do Paraná não estaria sendo reciclado de forma eficiente, acumulando-se em pátios e faixas de domínio das rodovias, gerando um passivo ambiental significativo.

Nesse sentido, os autores citaram como exemplo, que no período temporal dos dados coletados, mais de 66.000 m³ de material fresado estavam estocados no estado, representando um grande potencial de reutilização. Com planejamento adequado, seria possível pavimentar mais de 51 km de rodovias, reduzindo custos financeiros e impactos ambientais. No entanto, para que isso se tornasse realidade seria necessário aprimorar os relatórios e controles gerenciais do DER/PR, mediante ferramentas tecnológicas e maior integração entre as equipes regionais (Pereira *et al.*, 2021).

Durante o desenvolvimento da presente pesquisa em 2024, se contatou a Superintendência Regional Oeste do Departamento de Estradas de Rodagem, em Cascavel/PR. Infelizmente não foram localizados novos registros ou relatórios atualizados, que pudessem complementar os dados apresentados no estudo desenvolvido por Pereira *et al.* em 2021.

Esse vazio se mostra presente não só em relação aos dados referentes ao que foi feito com o material fresado disponível, mas também na falta de planejamento e regulamentação do que será feito com o referido material, em caráter antecedente à fresagem propriamente dita.

A ausência de dados recentes também limita o desenvolvimento de estratégias mais eficazes para o manejo sustentável desses materiais, comprometendo a eficiência no uso de recursos públicos e a aplicação de práticas alinhadas à sustentabilidade (Pereira *et al.*, 2021).

As lacunas apontadas nos dois artigos mencionados prejudicam o entendimento sobre a atual gestão dos resíduos fresados no país, dificultando análises mais precisas sobre volumes estocados, índices de reaproveitamento e impactos ambientais gerados desde a publicação dos respectivos estudos.

A título de comparação, levantamento feito por Revelli e Ali (2023), indicou que nos Estados Unidos da América, 47 de seus 50 estados (excetuando Wyoming, Delaware e Dakota do Sul) possuem diretrizes formais completas para utilização do material proveniente da fresagem, incluindo dados volumétricos e percentuais máximos de utilização. A existência dessas diretrizes e coleta de dados permitem a expansão de pesquisas mais aprofundadas a respeito de misturas e técnicas de reciclagem.

É imprescindível que a utilização do material fresado não seja tratada com informalidade, sendo importante a realização de levantamentos periódicos e sistematizados, que incluam a participação ativa, por exemplo, das superintendências regionais dos Departamentos de Estradas de Rodagem Estaduais. Isso provavelmente garantiria maior transparência e eficiência no gerenciamento desses resíduos. A continuidade e atualização de estudos como este são fundamentais para subsidiar decisões técnicas e estratégicas, promovendo avanços na infraestrutura rodoviária e na conservação ambiental (Pereira *et al.*, 2021).

E ainda, mais do que dispor de dados referentes à utilização do material, entende-se ser importante que haja planejamento prévio e regulamentação específica a respeito da destinação dos materiais, inclusive para que as autoridades responsáveis e empresas que atuam na área fiquem vinculadas e obrigadas a conferir ao material fresado uma destinação adequada.

2.3.4.2. Legislação para gestão do RAP

A partir de pesquisas feitas *online* nos repositórios de legislação dos Municípios e Estados da Federação brasileira, evidenciou-se uma enorme carência de diplomas legais (lei e decretos) que regulamentem a correta utilização do material fresado. Foram encontrados apenas seis Municípios que possuem diploma legal sobre o tema. Conforme ilustra o Quadro 2, dos seis diplomas legais encontrados, cinco surgiram a partir de 2022, ou seja, há um lento despertar dos governos municipais em relação a gestão do material fresado oriundo dos projetos de conservação viária. Além disso, se observa que a maioria dos diplomas legais prevê apenas a reutilização do RAP em vias rurais não pavimentadas. O Quadro 2 apresenta os Municípios, os instrumentos legais e as destinações previstas em cada caso:

Quadro 2. Municípios que possuem diploma legal regulamentando a reutilização de material fresado.

Município	Instrumento	Destinação prevista (dispositivo)
Pederneiras/SP	Lei Municipal nº 3322/2016	Art. 1º Todo o material fresado proveniente da raspa do asfalto, extraído de ações de recapeamento, pavimentação e correção asfáltica no Município de Pederneiras será aplicado em vias urbanas e rurais não pavimentadas.
Guarujá/SP	Lei Municipal nº 4.968/2022	Art. 1º Todo o material fresado proveniente da raspa de asfalto, extraído de ações de recapeamento, pavimentação e correção asfáltica

		no Município de Guarujá será aplicado em vias urbanas e rurais não pavimentadas do município.
Curitiba/PR	Decreto nº 1.346/2023	Art. 11. As especificações e demais exigências do projeto básico ou executivo para contratação de obras e serviços de engenharia, preferencialmente, deverão ser elaboradas visando à economia da manutenção, à operacionalização da edificação, à redução do consumo de energia e água, bem como à utilização de tecnologias e materiais que reduzam o impacto ambiental, tais como: [...] XII - priorizar a utilização do resíduo dos serviços de fresagem de pavimento de vias públicas, conhecido como material fresado, na utilização de base e sub-base de pavimentos que demandem menor solicitação de carga, como calçadas, acessos a espaços públicos, parques, praças e congêneres;
Manaus/AM	Lei Municipal nº 3.308/2024	Art. 1º Todos os programas de asfaltamento e recapeamento das rodovias municipais devem priorizar o aproveitamento e destinação da fresa de asfalto para melhoria das vias rurais do município de Manaus.
Mandaguaçu/PR	Lei Municipal nº 2290/2023	Art. 1º O material fresado de asfalto, extraído de ações de recapeamento, pavimentação e correção asfáltica no Município de Mandaguaçu e distritos, será aplicado em estradas rurais da circunscrição municipal, não pavimentadas.
Pato Branco/PR	Lei Municipal nº 6.103/2023	Art. 1º O material fresado de asfalto, extraído de ações de recapeamento, pavimentação e correção asfáltica no Município de Pato Branco, será aplicado, preferencialmente, em vias rurais não pavimentadas.

Fonte: o autor, 2024.

Merece destaque a iniciativa do Município de Mandaguaçu, que além de dispor a respeito da destinação adequada dos resíduos, veda expressamente, em seu artigo 4º, o depósito do restante de material fresado ao longo da faixa de domínio das rodovias federais, estaduais ou municipais (MANDAGUAÇU, 2023).

Em nível estadual, se encontrou que apenas o estado de Pernambuco possui diploma legal sobre o tema. Neste caso, se constatou avanço na legislação haja vista que o diploma legal previu a reutilização de RAP em ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica, além do habitual uso em vias rurais não pavimentadas. O Quadro 3 apresenta os detalhes:

Quadro 3. Estado que possui diploma legal regulamentando a reutilização de material fresado.

Estado	Instrumento	Destinação prevista (dispositivo)
Pernambuco	Lei Nº 18.260, de 21 de agosto de 2023	Art. 1º O material fresado proveniente da raspa do asfalto, extraído de ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de rodovias sob gestão direta ou indireta do Estado de Pernambuco, receberá as seguintes destinações preferenciais para reaproveitamento: I - Reutilização em outras ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de rodovias sob gestão direta ou indireta do Estado de Pernambuco; II - Destinação ao município onde foi gerado, sendo que, nesta hipótese, deverá ser utilizado, preferencialmente, para recapeamento ou pavimentação de vias ainda não asfaltadas; e III - Comercialização para pessoas jurídicas de direito privado que utilizem o material fresado em suas atividades.

Fonte: o autor, 2024.

Por outro lado, ainda no âmbito estadual, a partir das pesquisas realizadas *online* foram encontrados alguns projetos de lei sobre material fresado que, até a data de finalização deste trabalho, ainda se encontravam em tramitação, estando os mesmos detalhados no Quadro 4. Nesse quadro se observa que as destinações do RAP, nos diferentes projetos de lei, são muito semelhantes às destinações previstas no diploma legal promulgado no estado de Pernambuco. Assim, ainda que de forma involuntária, está ocorrendo uma padronização em relação a destinação do RAP entre os estados da federação brasileira.

Quadro 4. Projetos de lei em tramitação sobre material fresado.

	Projeto de lei	Destinação prevista (dispositivo)
Estado do Espírito Santo	Projeto de Lei nº 965/2023	Art. 1º O material fresado proveniente da raspa do asfalto, extraído de ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de rodovias sob gestão direta ou indireta no âmbito do Estado do Espírito Santo, receberá as seguintes destinações para reaproveitamento: I - Reutilização em outras ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de rodovias sob gestão direta ou indireta do Estado do Espírito Santo;

		<p>II - Destinação para o município onde foi gerado, sendo que, nesta hipótese, deverá ser utilizado, preferencialmente, para recapeamento ou pavimentação de vias ainda não asfaltadas.</p>
Estado do Paraná	Projeto de lei nº 22/2023	<p>Art. 1º - O material fresado proveniente da raspa do asfalto, extraído de ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de rodovias sob gestão direta ou indireta do Estado do Paraná, receberá as seguintes destinações para reaproveitamento:</p> <p>I - Reutilização em outras ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de rodovias sob gestão direta ou indireta do Estado do Paraná;</p> <p>II - Destinação ao município onde foi gerado, sendo que, nesta hipótese, deverá ser utilizado, preferencialmente, para recapeamento ou pavimentação de vias ainda não asfaltadas;</p> <p>III - Comercialização para pessoas jurídicas de direito privado que utilizem o material fresado em suas atividades.</p>
Estado de São Paulo	Projeto de Lei Nº 1170/2023	<p>Artigo 1º - O material fresado proveniente da raspa do asfalto, extraído de ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de rodovias sob gestão direta ou indireta do Estado de São Paulo, deverá receber as seguintes destinações para reaproveitamento:</p> <p>I - Reutilização em outras ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de rodovias sob gestão direta ou indireta do Estado de São Paulo;</p> <p>II - Destinação ao município onde foi gerado, sendo que, nesta hipótese, deverá ser utilizado, preferencialmente, para recapeamento ou pavimentação de vias ainda não asfaltadas;</p> <p>III - Comercialização para pessoas jurídicas de direito privado que utilizem o material fresado em suas atividades.</p>
Distrito Federal	Projeto de Lei nº 43/2023	<p>Art. 1º O material fresado, extraído de ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de vias públicas sob gestão do Distrito Federal, deverá receber as seguintes destinações:</p> <p>I - Reutilização em ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de vias</p>

		públicas; II - Melhoria e recuperação das vias sem pavimento, prioritariamente estradas rurais; III – construção de concreto não estrutural.
--	--	--

Fonte: o autor, 2024.

E em âmbito federal, o DNIT publicou em 2021, resolução sobre o reaproveitamento do RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) nas obras de restauração, adequação de capacidade e ampliação sob sua responsabilidade. O Quadro 5 apresenta alguns detalhes da resolução.

Quadro 5. Legislação federal sobre gestão de RAP.

Governo Federal	Instrumento	Destinação prevista (dispositivo)
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)	Resolução Nº 14, de 8 de julho de 2021	Art. 1º DISPOR que todos os projetos de engenharia de restauração, adequação de capacidade e ampliação de obras viárias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, desenvolvidos no âmbito da Sede e Superintendências Regionais, deverão incluir o reaproveitamento do RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) eventualmente produzido no empreendimento. Art. 2º O RAP deverá ser aplicado nas camadas do pavimento a serem construídas ou na execução de novos concretos asfálticos.

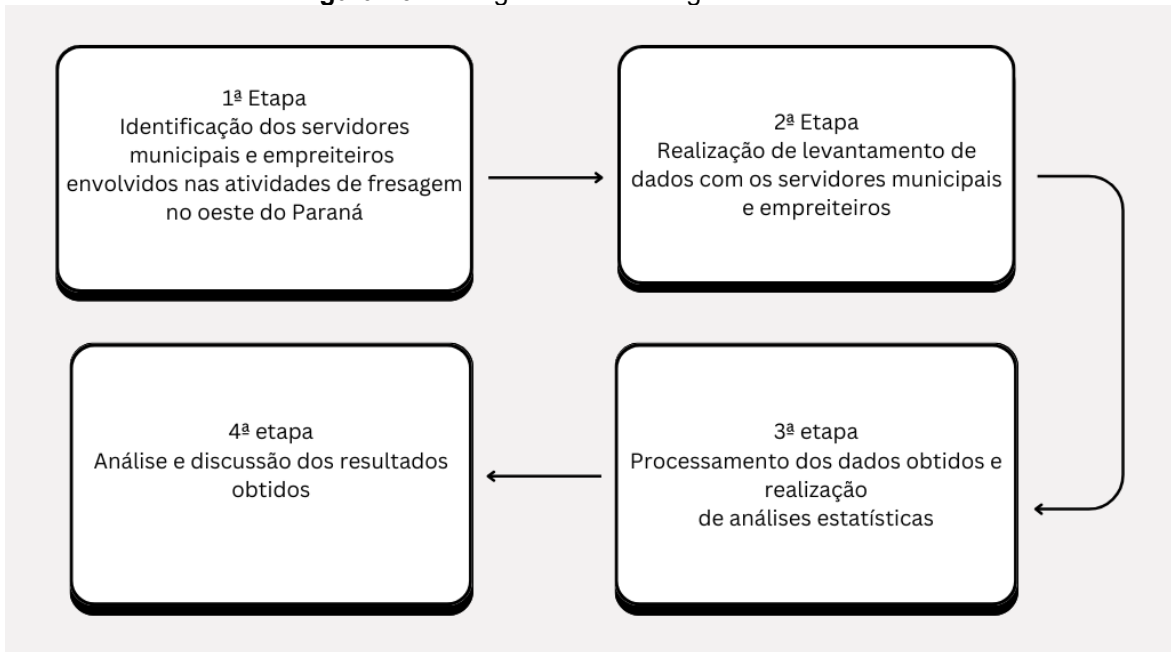
Fonte: o autor, 2024.

Considerando as três esferas de governo (municipal, estadual e federal), se percebe preocupação crescente em relação a gestão do RAP. Os diplomas legais promulgados nos últimos anos constituem avanço, porém nenhum dos diplomas legais previu ou incluiu incentivos, por exemplo, financeiros para estimular a reutilização do RAP. Nos Estados Unidos da América, alguns estados já regulamentaram a adoção de incentivos financeiros para projetos de pavimentação rodoviária que incluam a reutilização de RAP. O capítulo quatro (Análise de dados) apresentará mais detalhes dessa regulamentação na seção 4.5.1.

3 MÉTODO

Neste capítulo se apresenta o método que foi considerado para o desenvolvimento da presente pesquisa. A realização deste estudo envolveu as seguintes etapas:

Figura 10. Fluxograma metodológico do trabalho.



Fonte: o autor, 2024.

A presente pesquisa abrangeu a microrregião 24 no oeste do estado do Paraná, a qual, é composta por 11 municípios, listados a seguir: Céu Azul, Foz Do Iguaçu, Itaipulândia, Matelândia, Medianeira, Missal, Ramilândia, Santa Terezinha de Itaipu, São Miguel do Iguaçu, Serranópolis do Iguaçu, e Vera Cruz do Oeste. A Figura 11 apresenta a localização geográfica e o Quadro 6 detalha os dados gerais dos municípios analisados.

dos servidores públicos municipais e os pontos de vista dos prestadores de serviços de pavimentação rodoviária.

Na 1ª etapa deste trabalho foram identificados os servidores municipais responsáveis pela manutenção e gestão da conservação das vias públicas, assim como empresas envolvidas em obras de conservação rodoviária que tenham prestado serviço aos municípios na microrregião 24 no oeste do estado do Paraná. De posse dessas informações se avançou para a 2ª etapa na qual foram realizados os levantamentos de dados com servidores municipais a fim de conhecer quantitativos de material fresado, destinação desse material, dificuldades para realização desse tipo de atividade de conservação, entre outros. Também foram realizados os levantamentos de dados com empreiteiros para conhecer as dificuldades que eles enfrentam e quais são as perspectivas para expansão das suas atividades nessa microrregião do Estado. Para os levantamentos de dados, foram preparados dois questionários, sendo um para levantamento de dados com servidores municipais e outro para levantamento de dados com empreiteiros. Ambos os questionários contêm perguntas que envolvem conhecimento técnico sobre fresagem de revestimentos asfálticos, quantitativos de material de fresado, custo por metro cúbico ou tonelada de RAP, disponibilidade local de equipamentos para pavimentação, entre outros. Os questionários constam nos **Apêndices A e B**.

A partir das informações obtidas, os dados foram processados e submetidos a diversas análises, por exemplo, análises estatísticas para identificar existência de correlação entre variáveis (Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios *versus* volume de mistura asfáltica utilizada em recape anualmente; PIB *versus* extensão da malha viária municipal pavimentada, entre outros).

4 ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 EXTENSÃO DA MALHA VIÁRIA MUNICIPAL

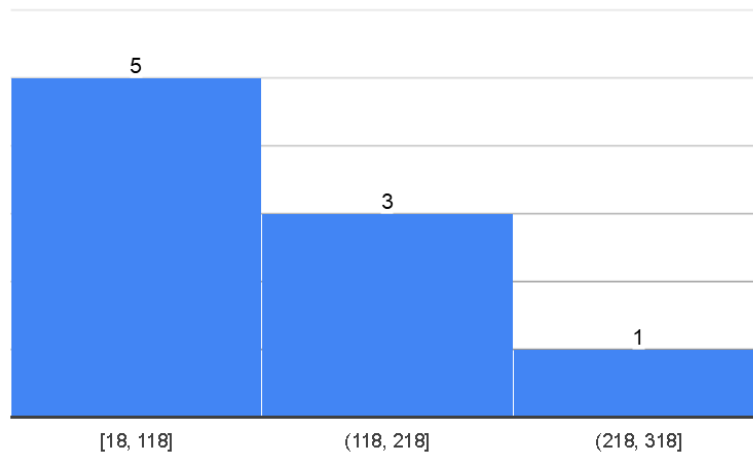
Aos servidores públicos municipais foram averiguadas as extensões das malhas viárias pavimentadas em cada município. A partir das informações recebidas se constatou que a malha viária municipal pavimentada totaliza 921,30 km (Quadro 7).

Considerando a extensão total mencionada e o histograma apresentado na Figura 12, se constata que a maior concentração está na faixa de 18 a 118 km, abrangendo 5 municípios. Já as faixas de maior extensão, entre 118 e 218 km e entre 218 e 318 km, são significativamente menos comuns, com 3 e 1 município, respectivamente. Esse comportamento reflete que é mais comum os municípios gerenciarem redes viárias asfaltadas de menor extensão, o que pode estar relacionado a fatores como limitações orçamentárias, características territoriais e densidade populacional.

Quadro 7. Malha viária pavimentada na microrregião 24.

Município (microrregião 24 no estado do Paraná)	Extensão aproximada da malha viária pavimentada (km)
1	91,92
2	Não informado
3	300,00
4	150,00
5	130,00
6	35,90
7	18,00
8	201,00
9	55,00
10	Não informado
11	31,40
Total	921,30

Fonte: o autor, 2024.

Figura 12. Extensão (KM) da malha viária dos Municípios.

Fonte: o autor, 2024.

4.2 MISTURAS ASFÁLTICAS UTILIZADAS NAS ATIVIDADES DE RECAPEAMENTO NA MICRORREGIÃO 24

Nesta seção serão apresentados dados em relação ao quantitativo de misturas asfálticas utilizadas em recapes, tipo de mistura asfáltica utilizada em recapeamentos, tipo de ligante asfáltico geralmente utilizado na produção de misturas asfálticas e vida útil das misturas asfálticas nos pavimentos da microrregião 24.

4.2.1 Quantitativo de misturas asfálticas utilizadas em recapes

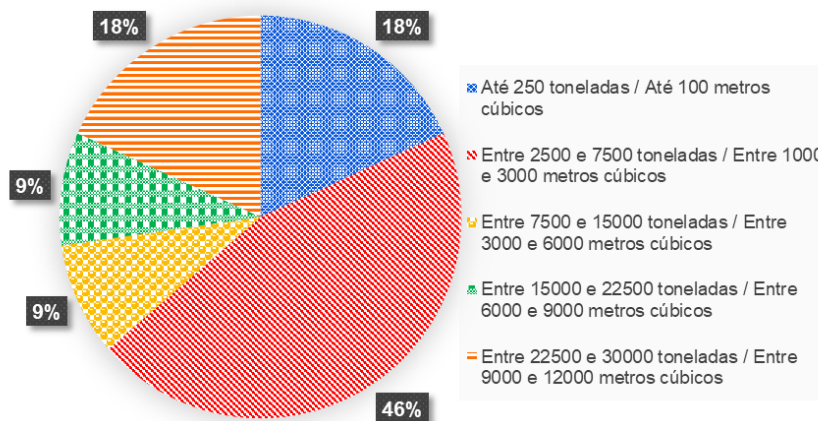
Foram apresentadas aos servidores públicos municipais, as seguintes alternativas de tonelage ou volume utilizado de mistura asfáltica nas atividades de recapeamento na microrregião.

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| a) Até de 100 toneladas | a) Até 250 metros cúbicos |
| b) Entre 100 e 500 toneladas | b) Entre 250 e 500 metros cúbicos |
| c) Entre 500 e 1000 toneladas | c) Entre 500 e 1000 metros cúbicos |
| d) Entre 1000 e 3000 toneladas | d) Entre 1000 e 3000 metros cúbicos |
| e) Entre 3000 e 6000 toneladas | e) Entre 3000 e 6000 metros cúbicos |
| f) Entre 6000 e 9000 toneladas | f) Entre 6000 e 9000 metros cúbicos |
| g) Entre 9000 e 12000 toneladas | g) Entre 9000 e 12000 metros cúbicos |
| h) Entre 12000 e 15000 toneladas | h) Entre 12000 e 15000 metros cúbicos |
| i) Entre 15000 e 18000 toneladas | i) Entre 15000 e 18000 metros cúbicos |
| j) Mais de 18000 toneladas | j) Mais de 18000 metros cúbicos |

A Figura 13 apresenta o quantitativo anual médio de mistura asfáltica utilizada

anualmente em recapes, conforme respostas recebidas dos servidores públicos da microrregião. Se observa que a maior concentração está na faixa de consumo anual entre 2.500 e 7.500 toneladas (ou 1.000 a 3.000 m³), representando 46% das respostas recebidas. Esse dado reflete a distribuição dos volumes empregados pelos municípios, que podem ser influenciados por fatores como orçamento disponível, extensão da malha viária e planejamento municipal.

Figura 13. Quantitativo anual médio de mistura asfáltica utilizada nos Municípios segundo os servidores públicos municipais.



OBS: Para os intervalos “Até 250 toneladas/Até 100 metros cúbicos” e “Entre 2500 e 7500 toneladas/Entre 1000 e 3000 metros cúbicos” não foram obtidas respostas.

Fonte: o autor, 2024.

4.2.2 Tipo de mistura asfáltica utilizada em recapeamentos

Aos servidores públicos municipais e às empresas que prestam serviços de pavimentação na microrregião foram apresentadas as seguintes alternativas de resposta em relação ao tipo de mistura asfáltica utilizada em recapeamentos:

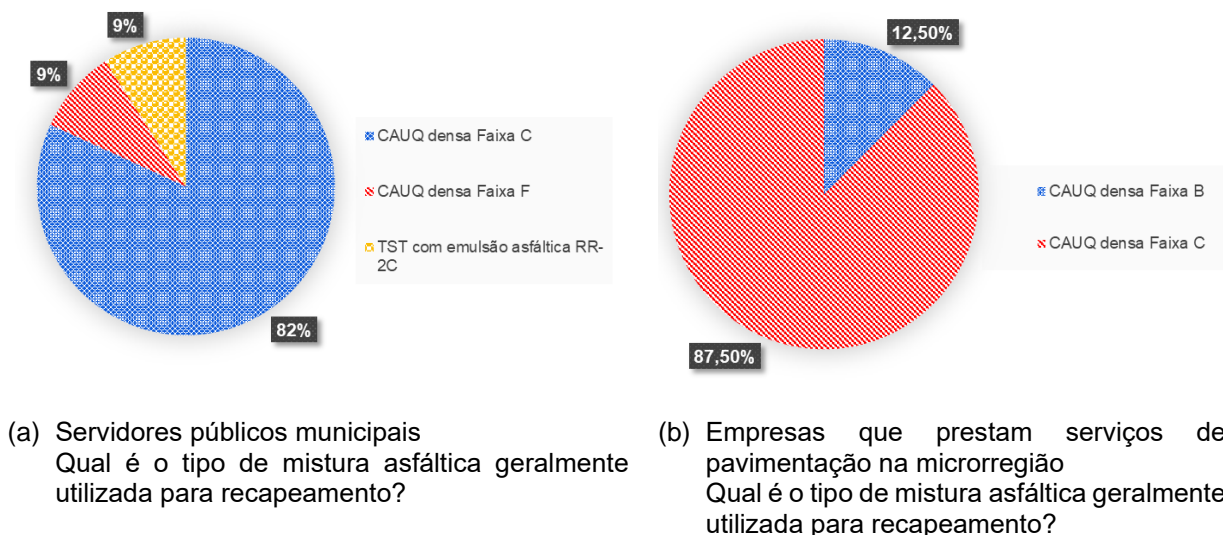
- CAUQ densa Faixa A.
- CAUQ densa Faixa B.
- CAUQ densa Faixa C.
- PMF – Pré-Misturado a Frio.
- Outro (favor especificar).

Conforme ilustrado pelas Figuras 14a e 14b, há uma clara predominância do uso de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) denso, Faixa C. tanto nas respostas

dos municípios quanto nas respostas das empresas de pavimentação. Segundo os servidores públicos municipais, 82% utilizam esse tipo de mistura enquanto, do ponto de vista das empresas de pavimentação, esse percentual é ainda mais expressivo, alcançando 87,5%. Esses resultados destacam que, independentemente do grupo consultado, o CAUQ denso Faixa C é a mistura mais utilizada na microrregião 24.

Por outro lado, verifica-se que a técnica de Tratamento Superficial Triplo (TST) tem baixa representatividade na região. Também é importante mencionar a significativa presença de pavimentação poliédrica na malha viária da microrregião de estudo, evidenciando uma característica marcante do pavimento local, especialmente em vias secundárias e trechos urbanos de menor fluxo.

Figura 14. Tipo de mistura asfáltica utilizada nas atividades de conservação viária.



OBS: As faixas granulométricas referentes as misturas asfálticas tem como base as especificações do DER/PR.

Fonte: o autor, 2024.

A utilização quase que exclusiva do CAUQ denso faixa C, poderia ser atribuída a alguns fatores. Por exemplo, dificuldades para determinar os custos por metro cúbico ou tonelada quando se consideram concretos asfálticos com granulometrias e ligantes asfálticos diferentes; indisponibilidade de ligantes modificados na microrregião; limitações operacionais para produção de outros tipos de concretos asfálticos nas usinas das empresas que prestam serviços de pavimentação na microrregião, entre outros.

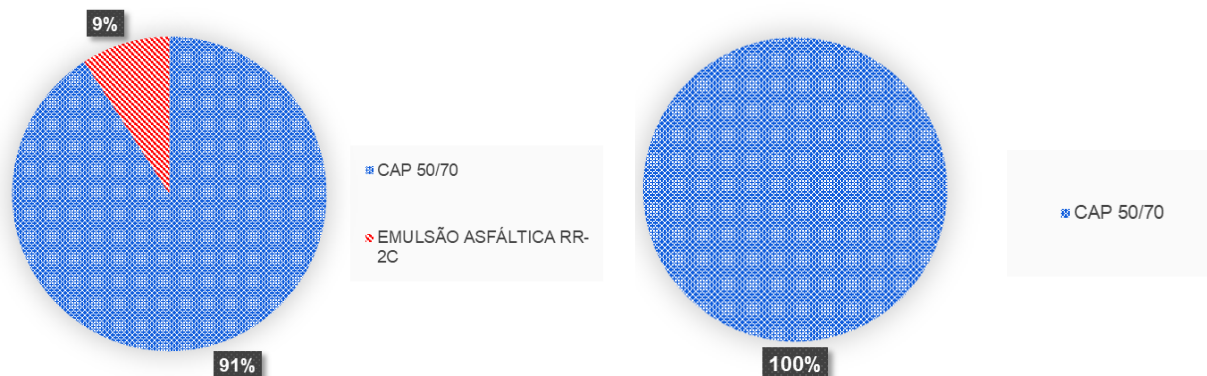
4.2.3 Tipo de ligante asfáltico geralmente utilizado

Aos servidores públicos municipais e às empresas que prestam serviços de pavimentação na microrregião foram apresentadas as seguintes alternativas de resposta em relação ao tipo de ligante asfáltico selecionado para a produção de misturas asfálticas utilizadas em recapeamentos:

- a) CAP 50/70.
- b) CAP 50/70 MODIFICADO POR POLÍMERO.
- c) CAP 50/70 ASFALTO BORRACHA.
- d) CAP 30/45.
- e) Outro (favor especificar).

As Figuras 15a e 15b apresentam o tipo de ligante asfáltico utilizado para produção das respectivas misturas asfálticas. Segundo os servidores públicos municipais (Figura 15a), 91% indicaram o CAP 50/70 (grau de penetração) como ligante utilizado na produção de misturas asfálticas. Considerando as empresas de pavimentação consultadas na microrregião, 100% das misturas asfálticas são produzidas com o ligante citado (Figura 15b).

Figura 15. Tipo de ligante asfáltico utilizado na produção de misturas asfálticas.



(a) Servidores públicos municipais
Qual é o tipo de ligante asfáltico geralmente utilizado na produção de misturas asfálticas no seu município?

(b) Empresas que prestam serviços de pavimentação na microrregião
Qual é o tipo de ligante asfáltico geralmente utilizado na produção de misturas asfálticas a serem empregadas em vias urbanas na microrregião?

Fonte: o autor, 2024.

A escolha dos servidores públicos municipais pelo CAP 50/70 poderia ser

atribuída a várias razões. Por exemplo, sua adequação às condições e exigências para produção do CAUQ denso a ser utilizado nas obras de recapeamento de vias urbanas.

Comparado aos ligantes asfálticos modificados, o CAP 50/70 apresenta custo consideravelmente inferior. Esse fator pode ser decisivo para os municípios, que frequentemente operam com orçamentos limitados e precisam priorizar soluções mais econômicas para atender a uma maior extensão de vias dentro de seus territórios.

Do ponto de vista dos servidores públicos municipais, tem-se ainda a questão do conhecimento técnico e do planejamento. A utilização de ligantes modificados requer capacitação técnica especializada para garantir que as especificações de projeto e execução sejam cumpridas. Muitos municípios podem não possuir equipes com o nível de especialização necessário ou a estrutura para monitorar adequadamente esse tipo de solução, optando por materiais mais simples e amplamente conhecidos no mercado.

Outro ponto é que as vias urbanas gerenciadas pelos municípios, em sua maioria, não estão sujeitas a tráfego intenso, com elevadas cargas por eixo, que no longo prazo, provocam deformação permanente e fadiga. Na maioria das vias urbanas, o tráfego é predominantemente leve a moderado, logo as misturas asfálticas não requerem maior resistência à deformação permanente e à fadiga. Nesse contexto, o CAP 50/70 atende adequadamente às necessidades estruturais e de desempenho, embora em locais específicos, por exemplo, pontos de parada de ônibus e acessos a complexos industriais, poderiam justificar o uso de ligantes modificados. No entanto, nesses casos pontuais, é preciso considerar a baixa demanda de material requerido *versus* custo e disponibilidade para fornecimento de material nessas circunstâncias.

A utilização do CAP 50/70 não é apenas uma escolha técnica e econômica, mas também prática e administrativa, sendo favorecido por sua consolidação nas normativas e na facilidade de inclusão em processos licitatórios. A ausência de referências padronizadas e acessíveis para ligantes modificados limita sua adoção pelos municípios, que optam por materiais convencionais que oferecem maior previsibilidade e conformidade com os procedimentos administrativos.

Além disso, o uso de ligantes modificados requer maior controle durante o armazenamento e produção da mistura asfáltica, o que muitas vezes não é possível em pequenas usinas ou junto aos fornecedores locais contratados pelos municípios. Portanto, a combinação de restrições orçamentárias, limitações técnicas e operacionais, além das condições de tráfego específicas, faz com que os municípios priorizem o uso de ligantes convencionais como o CAP 50/70 em suas misturas asfálticas.

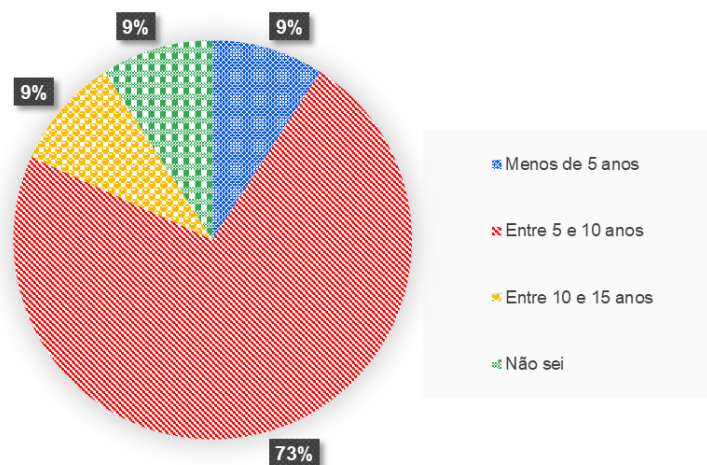
4.2.4 Vida útil das misturas asfálticas nos pavimentos da microrregião 24

Aos servidores públicos municipais na microrregião foram apresentadas as seguintes alternativas de resposta em relação a vida útil média das misturas asfálticas antes do recapeamento:

- a) Menos de 5 anos.
- b) Entre 5 e 10 anos.
- c) Entre 10 e 15 anos.
- d) Não sei.

Para 73% dos servidores públicos municipais, a vida útil média das misturas asfálticas, antes de necessitarem recapeamento, varia entre 5 e 10 anos (Figura 16). Esse resultado indica que tais revestimentos asfálticos possuem ciclos de vida de média duração, pois segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006), os ciclos de vida de média duração são de 8 a 10 anos, não ultrapassando uma década em condições normais em serviço. Essa faixa de durabilidade pode estar associada a fatores como a intensidade do tráfego sobre as vias, condições climáticas locais, tipo de CAUQ empregado e qualidade das técnicas de execução do revestimento. Além disso, a falta de manutenção preventiva adequada pode acelerar a degradação do revestimento.

Figura 16. Vida útil média das misturas asfálticas segundo os servidores públicos municipais.



Fonte: o autor, 2024.

A predominância de respostas nessa faixa temporal também aponta para um

padrão recorrente na gestão da infraestrutura viária, possivelmente indicando limitações quanto aos métodos e materiais atualmente utilizados para atingir-se vida em serviço significativamente maior.

Tal constatação, oportuniza aos servidores públicos municipais e demais profissionais da área de infraestrutura, a possibilidade de avaliar e modernizar as práticas atuais de pavimentação consideradas na elaboração de projetos de pavimentação viária. Futuros projetos poderiam incluir a utilização de alternativas mais sustentáveis e duráveis, como o uso de materiais de maior resistência.

4.3 FRESAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS NA MICRORREGIÃO

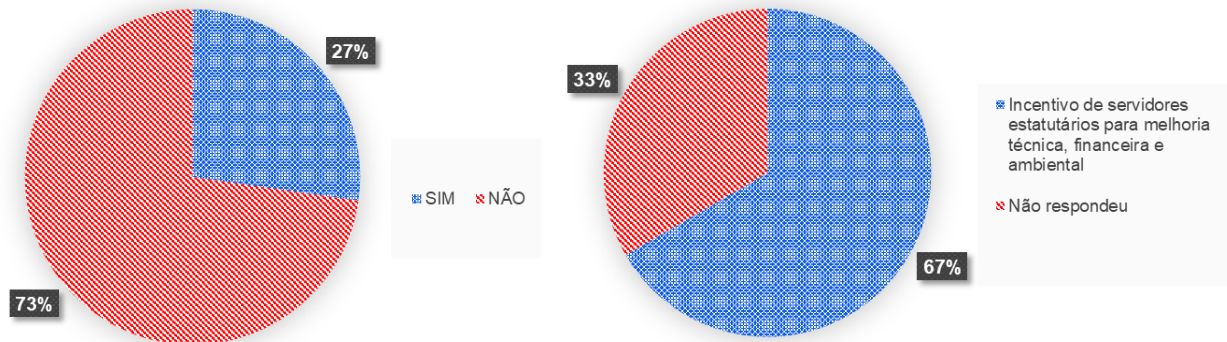
Nesta seção serão apresentados dados sobre a fresagem de misturas asfálticas nos pavimentos da microrregião 24, destinação desse material fresado, motivos para os municípios não realizarem fresagem, armazenamento do material fresado, material fresado recebido pelos municípios via doação, empresas de pavimentação rodoviária com máquinas fresadoras na região, custos para realização de fresagem nos municípios da microrregião 24, percepção de custos para realização de fresagem de revestimentos asfálticos envelhecidos e consórcio de municípios para otimização das atividades de conservação viária na microrregião 24.

4.3.1 Fresagem de misturas asfálticas nos pavimentos da microrregião 24

Foi perguntado aos servidores públicos municipais na microrregião se nos seus municípios, os projetos de conservação viária já estão incluindo a fresagem de revestimentos asfálticos envelhecidos.

A Figura 17a apresenta a distribuição percentual em relação aos municípios que realizaram e não realizaram fresagem de revestimentos asfálticos. A partir das respostas recebidas se constatou que apenas 27% (3 municípios da microrregião) já realizaram tal atividade em suas vias urbanas. Este dado indica que, apesar de ser uma técnica importante para a manutenção viária, sua aplicação é ainda incipiente na microrregião de estudo, indicando possíveis limitações técnicas, financeiras ou de planejamento.

Figura 17. Fresagem de revestimentos asfálticos segundo os servidores públicos municipais.



(a) O seu município já realizou fresagem de revestimentos asfálticos nas vias do município?

(b) Caso o seu município já esteja realizando fresagem, a inclusão dessa atividade nos projetos de conservação viária se deve a?

Fonte: o autor, 2024.

Além do levantamento dos municípios que já realizaram fresagem de revestimentos asfálticos, foi levantado junto aos servidores públicos municipais as razões ou motivações para a realização dessa atividade, caso a mesma tivesse ocorrido. Foram apresentadas as seguintes alternativas de resposta aos servidores públicos municipais:

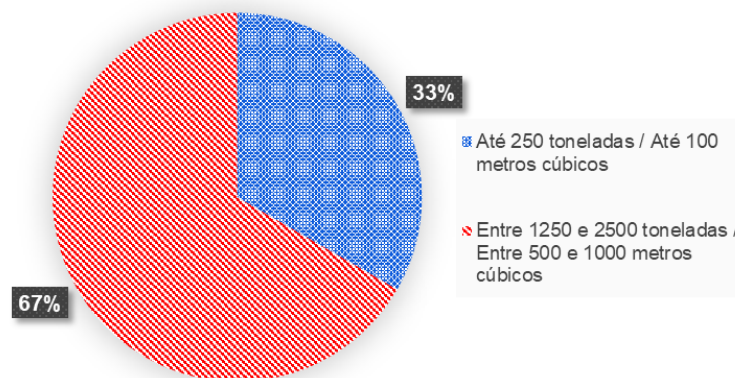
- Existência de lei(s) municipal(is) que exigem fresagem de revestimentos asfálticos nos projetos de conservação viária.
- Redução de custos totais (globais) quando os projetos de conservação viária incluem a fresagem.
- Preocupação (consciência) do governo municipal com aspectos ambientais e de sustentabilidade, embora não exista lei municipal que obrigue incluir fresagem em projetos de conservação viária.
- Incentivos (financeiros, equipamentos, outros) doados ao município por terceiros a fim de estimular a inclusão da fresagem nos projetos de conservação viária.
- Outros motivos.

Conforme ilustra a Figura 17b, nos 3 municípios com registros de fresagem, 67% dos servidores públicos municipais mencionaram que a realização dessa atividade se devia a outros motivos (incentivo dos servidores estatutários, visando à melhoria técnica, financeira e ambiental dos projetos de conservação viária). Isso mostra que nesses

municípios, os servidores públicos municipais responsáveis pela infraestrutura viária já perceberam as vantagens ligadas à eficiência e sustentabilidade dessa técnica.

Além do levantamento dos municípios que já realizaram fresagem e as motivações para a execução dessa atividade, também se levantou a tonelagem ou volume de material fresado nesses municípios. Segundo ilustrado na Figura 18, 67% dos servidores públicos municipais relataram quantidades anuais de material fresado variando entre 1.250 e 2.500 toneladas (ou entre 500 e 1.000 metros cúbicos).

Figura 18. Quantitativo de mistura asfáltica fresada anualmente segundo os servidores municipais.



Fonte: o autor, 2024.

Embora três municípios da microrregião já estejam realizando fresagem nos revestimentos asfálticos, infelizmente os dados referentes a essa atividade ainda não estão disponíveis aos seus munícipes em meios virtuais. A ausência de divulgação desses dados (quantitativos de material fresado, destinação desse material, localização das vias submetidas à fresagem, outros detalhes operacionais) limita o acesso à informação pública e dificulta o acompanhamento das práticas de gestão municipal de resíduos sólidos. A publicação desses dados em plataformas digitais seria um passo importante para promover maior transparência e engajamento social nas políticas e projetos de conservação viária.

Conforme mencionado na revisão bibliográfica, infelizmente a indisponibilidade de relatórios ou documentos contendo informações sobre as atividades de fresagem em meios virtuais ocorre nos âmbitos municipais, estaduais e federal.

4.3.2 Destinação do material fresado

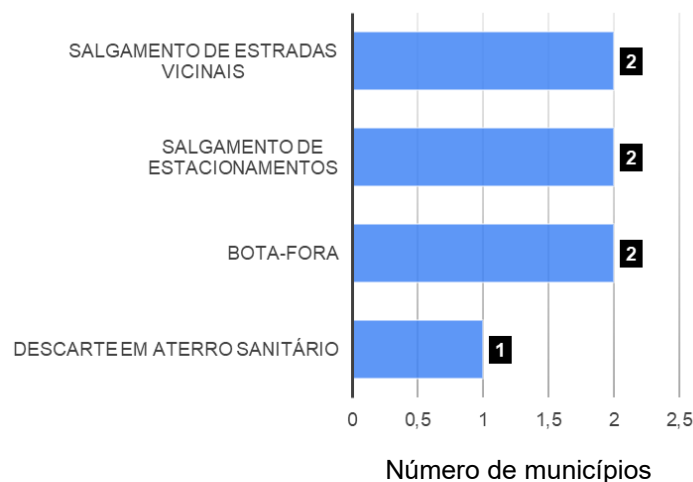
Nos formulários enviados aos servidores públicos municipais, foram

apresentadas as seguintes alternativas de resposta em relação a destinação do material fresado:

- a) Salgamento de estradas vicinais.
- b) Salgamento de estacionamentos.
- c) Base ou sub-base de pavimentos.
- d) Bota-fora.
- e) Descarte em aterro sanitário.
- f) Reutilização em reparos de pequeno porte (por exemplo, tapa-buracos).
- g) Reciclagem para uso em novas misturas asfálticas.

Conforme ilustrado pela Figura 19, e considerando a possibilidade de selecionar mais de uma alternativa, quando houve fresagem, 2 dos 3 municípios respondentes utilizaram o RAP em salgamento de estradas vicinais, estacionamentos e descarte em bota-foras. Por outro lado, 1 dos 3 municípios mencionou o descarte do RAP em aterro sanitário. Isso evidencia que há práticas de reaproveitamento, embora pouco diversificadas, enquanto uma pequena fração destina o material para locais menos sustentáveis (aterros sanitários e bota-foras).

Figura 19. Destinação do material fresado segundo os servidores municipais.



Fonte: o autor, 2024.

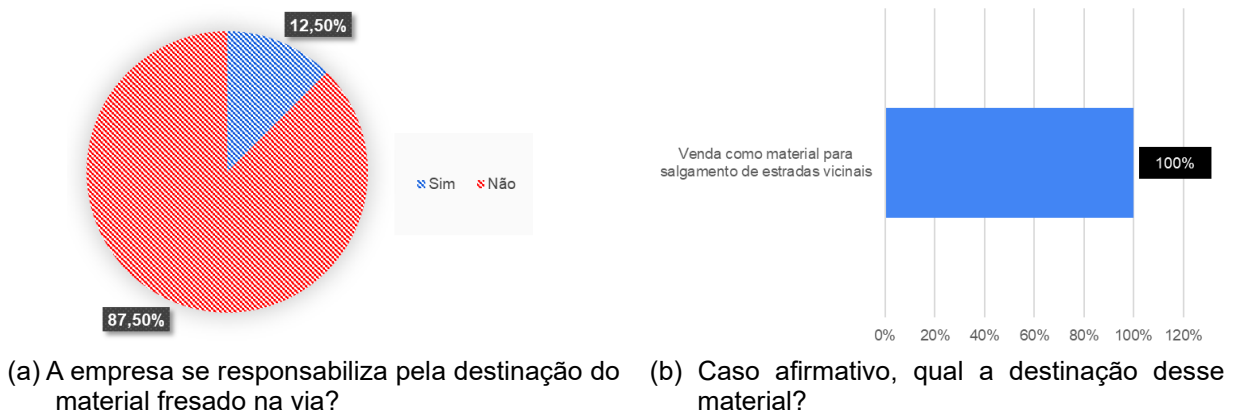
Nos formulários enviados às empresas prestadoras de serviços de pavimentação na microrregião, foram apresentadas as seguintes alternativas de resposta em relação a destinação do material fresado:

- a) Venda como material para salgamento de estradas vicinais.

- b) Venda como material para salgamento de estacionamentos.
- c) Venda como material para base ou sub-base de pavimentos.
- d) Bota-fora ou descarte em aterro sanitário.
- e) Venda como material para reutilização em novas misturas asfálticas.

A partir das respostas recebidas por parte das empresas, se constatou que 87,5% delas não assumem a responsabilidade pela destinação final do RAP (Figura 20a). Essa ausência de responsabilidade ocorre porque em muitos casos a destinação final do material fresado fica a cargo do contratante do serviço, o qual define a destinação final. Essa prática reforça a necessidade de maior alinhamento entre contratantes e contratados quanto à valorização do reaproveitamento do material fresado.

Figura 20. Manejo do RAP por parte das empresas que prestam serviço de pavimentação na microrregião.



Fonte: o autor, 2024.

Essa incerteza em relação à gestão do material fresado pode estar atrelada também aos custos de adaptação das usinas de asfalto, à necessidade de capacitação técnica e à baixa demanda por materiais reciclados na região. Além disso, destaca-se que o setor público também enfrenta barreiras significativas para fomentar a reutilização, como entraves administrativos em licitações e dificuldades de fiscalização durante a produção de misturas asfálticas e execução dos revestimentos asfálticos.

Considerando os 12,5% de empresas que assumem responsabilidade pelo material fresado, se constatou que 100% delas vendem o RAP como insumo para salgamento de estradas vicinais (Figura 20b).

Ainda em relação a destinação do RAP, se observou que algumas alternativas apresentadas não foram selecionadas pelos servidores públicos municipais nem pelas

empresas. Por exemplo, uso do material fresado em bases e sub-bases de pavimentos, uso em reparos de pequeno porte (como tapa-buracos) ou na reciclagem para novas misturas asfálticas. Essas opções representam oportunidades valiosas para diversificar a aplicação do RAP, alinhando-se aos princípios de economia circular e sustentabilidade.

Os benefícios associados à reutilização do fresado já são reconhecidos em várias práticas. Esses incluem redução do uso de recursos naturais, diminuição de custos operacionais em obras públicas e privadas, e menor impacto ambiental decorrente da disposição inadequada do material. Órgãos públicos poderiam liderar a implementação de políticas que incentivem a aplicação do RAP, promovendo ações como:

- a) Criação de leis e incentivos fiscais que valorizem propostas de licitação que contemplem o uso do material reciclado em misturas asfálticas e em bases e sub-bases de pavimentos;
- b) Implementação de bônus em processos licitatórios para empresas que priorizem práticas sustentáveis; e
- c) Promoção de campanhas educativas e programas de capacitação técnica voltados ao setor de pavimentação, estimulando a adoção do material fresado em aplicações variadas.

4.3.3 Motivos para não realização de fresagem

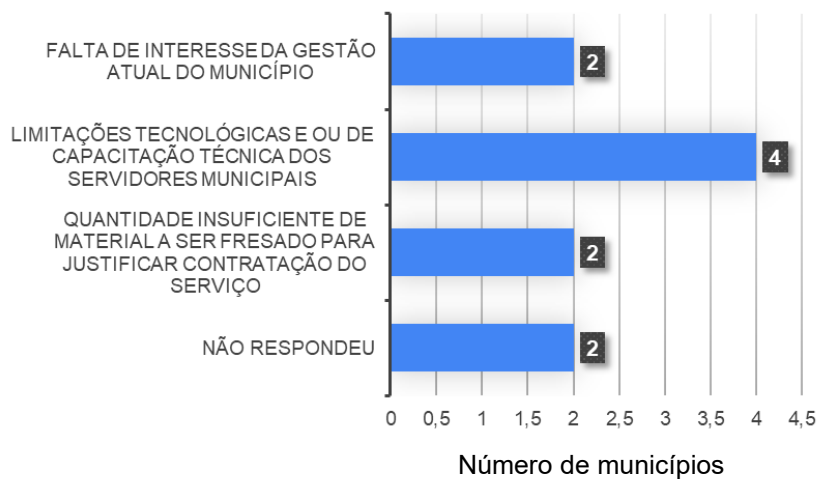
Considerando os 8 municípios (73%) nos quais se constatou a não realização de fresagem, foram apresentadas aos servidores públicos municipais as seguintes alternativas para explicar esse fato:

- a) Quantidade insuficiente de material a ser fresado para justificar contratação do serviço.
- b) O quantitativo de fresado justificaria a contratação do serviço, porém o custo da fresagem é elevado para a disponibilidade orçamentária da prefeitura.
- c) Falta de interesse do governo municipal.
- d) Restrições regulatórias.
- e) Limitações tecnológicas e ou de capacitação técnica dos servidores municipais.

Segundo os servidores públicos municipais, e considerando a possibilidade de

selecionar mais de uma alternativa, 4 dos 8 municípios indicaram como principal motivo as limitações tecnológicas e/ou de capacitação técnica dos servidores municipais (Figura 21). Esse dado reflete um cenário em que as prefeituras enfrentam dificuldades em termos de qualificação profissional e acesso a equipamentos ou tecnologias adequadas. Além disso, 2 municípios mencionaram falta de interesse da gestão atual e 2 relataram quantidade insuficiente de material para justificar a contratação do serviço. Esses fatores indicam que, além das limitações técnicas, questões políticas e de planejamento estratégico desempenham um papel relevante na decisão de implementar ou não o serviço de fresagem.

Figura 21. Motivos para não realização de fresagem segundo os servidores públicos municipais.



Fonte: o autor, 2024.

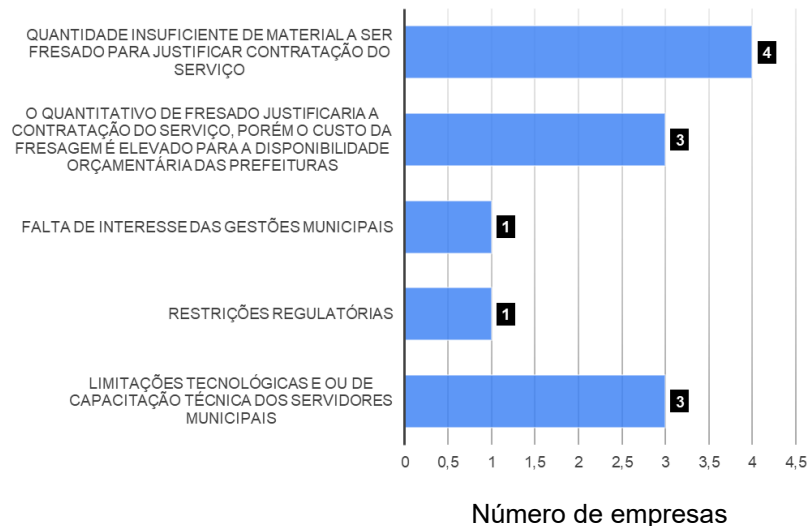
Às empresas prestadoras de serviços de pavimentação na microrregião também foram apresentadas as mesmas alternativas para explicar a não realização de fresagem nos municípios.

Considerando as respostas recebidas das 8 empresas, e considerando a possibilidade de selecionar mais de uma alternativa, destaca-se novamente que 4 das 8 empresas indicaram como principal motivo a quantidade insuficiente de material a ser fresado para justificar a contratação do serviço (Figura 22). Isso sugere que, do ponto de vista das empresas, a baixa escala de demanda torna economicamente inviável a mobilização de recursos e equipamentos especializados.

Outro dado de destaque é que 3 das 8 empresas apontaram tanto limitações tecnológicas e/ou de capacitação técnica, quanto o fato de que o custo da fresagem poderia ser elevado para as prefeituras, mesmo quando o volume de material fosse

suficiente. Fatores como a falta de interesse dos governos municipais e restrições regulatórias tiveram menor relevância, com apenas 1 resposta cada. As respostas recebidas das empresas reforçam a percepção de que tanto a disponibilidade de recursos financeiros quanto o preparo técnico são obstáculos significativos.

Figura 22. Motivos para não realização de fresagem segundo as empresas de pavimentação na microrregião.



Fonte: o autor, 2024.

Em síntese, servidores públicos municipais e empresas prestadoras de serviços de pavimentação convergem na identificação das principais barreiras para inclusão da fresagem em projetos de conservação viária: a insuficiência de material para justificar o serviço e as limitações técnicas. No entanto, os municípios enfatizam mais a falta de qualificação interna, enquanto as empresas destacam a inviabilidade econômica em função de demandas reduzidas ou custos elevados. Esses dados apontam para a necessidade de políticas públicas que incentivem a capacitação técnica, o planejamento integrado e a criação de estratégias para viabilizar economicamente a inclusão da fresagem como parte dos serviços de conservação viária.

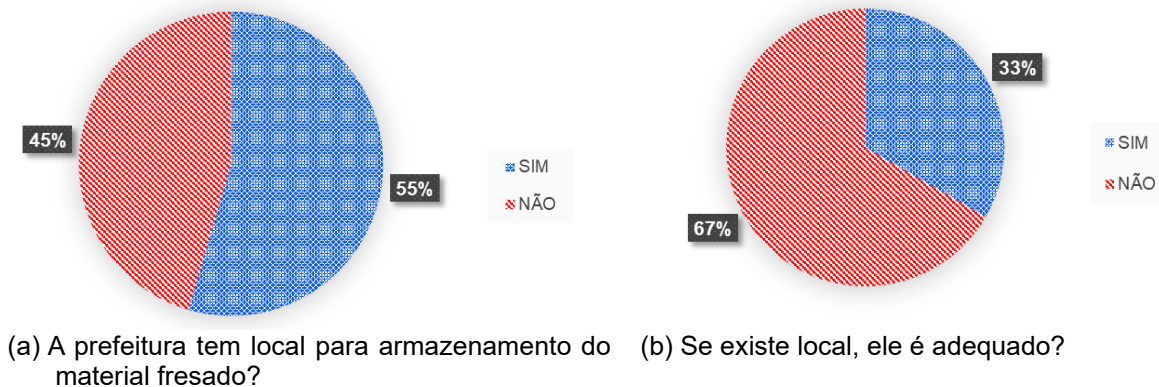
4.3.4 Armazenamento do material fresado

Durante as entrevistas aos servidores públicos municipais, foram levantadas a existência de local e respectiva condição de armazenamento para o material oriundo da fresagem.

Conforme ilustra a Figura 23a, 55% das prefeituras possuem locais para

armazenamento de material fresado, no entanto, segundo os servidores públicos municipais 67% desses locais são inadequados (Figura 23b), evidenciando uma deficiência significativa na qualidade dessas áreas.

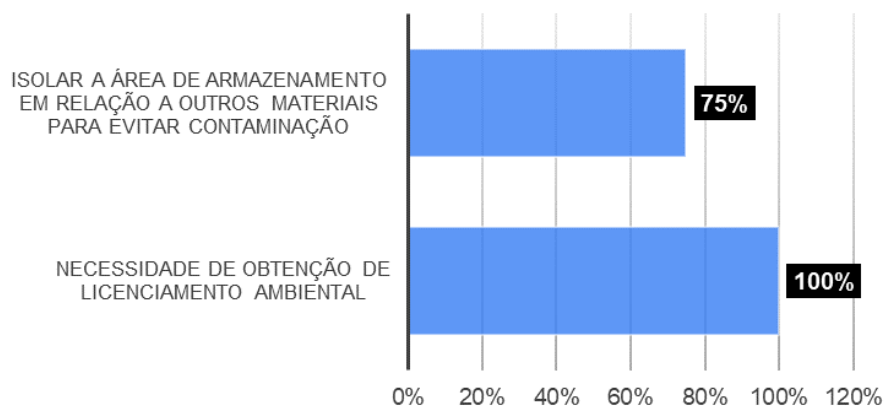
Figura 23. Armazenamento do material fresado nos municípios segundo os servidores públicos municipais.



Fonte: o autor, 2024.

Considerando apenas os locais inadequados para armazenamento do material fresado, conforme ilustrado pela Figura 24, para 100% dos servidores públicos municipais que mencionaram tal situação, as melhorias desses locais envolvem a obtenção de licenciamento ambiental, mostrando que o cumprimento de exigências legais é visto como prioridade.

Figura 24. Armazenamento do material fresado nos municípios segundo os servidores públicos municipais.



Fonte: o autor, 2024.

Ainda segundo a Figura 24, 75% dos servidores públicos mencionaram a importância de isolar o espaço de armazenamento para evitar contaminação com outros materiais, o que demonstra preocupação com a segurança e sustentabilidade.

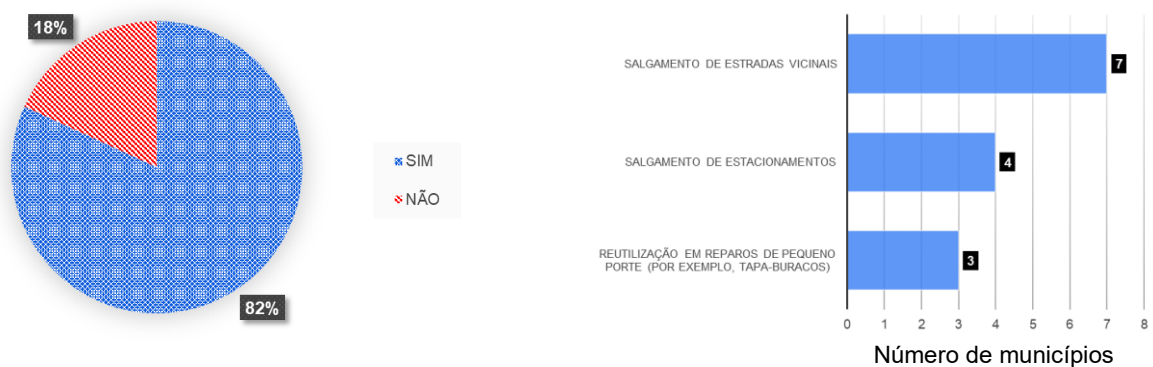
Embora a ampliação da área de armazenamento não tenha sido citada como alternativa, isso se deve à percepção de que os espaços existentes, quando adequadamente estruturados e geridos, seriam suficientes para atender às demandas. Assim, a prioridade deve recair sobre a melhoria da qualidade dos espaços já disponíveis, por meio de regularização ambiental, medidas de isolamento e uma gestão mais eficiente, ao invés de expansão.

4.3.5 Material fresado recebido pelo município via doação

Durante as entrevistas aos servidores públicos municipais, foram levantados dados relacionados ao recebimento de material fresado doado pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (DER/PR). No entanto, ressalta-se aqui que não foi possível trazer referências bibliográficas que permitissem a comparação desses dados com outras regiões do estado, devido à ausência dessas informações em relatórios técnicos ou publicações específicas.

Conforme ilustra a Figura 25a, 82% das prefeituras consultadas (9 municípios) já receberam material fresado doado pelo DER/PR. Isso demonstra que essa instituição tem procurado distribuir o material entre os diferentes municípios, aumentando, portanto, os benefícios às diferentes comunidades locais na microrregião 24.

Figura 25. Material fresado doado pelo DER/PR segundo os servidores públicos municipais.



(a) A prefeitura municipal já recebeu doação de material fresado pelo DER/PR?

(b) Caso afirmativo, qual foi a destinação desse material fresado?

Fonte: o autor, 2024.

Considerando os 9 municípios que receberam o material doado pelo DER/PR, foram apresentados aos servidores públicos municipais as seguintes alternativas para seleção em relação a reutilização desse material:

- a) Salgamento de estradas vicinais.
- b) Salgamento de estacionamentos.
- c) Base ou sub-base de pavimentos.
- d) Reutilização em reparos de pequeno porte (por exemplo, tapa-buracos).
- e) Reciclagem para uso em novas misturas asfálticas.

Segundo a Figura 25b, e considerando a possibilidade de selecionar mais de uma alternativa, 7 dos 9 municípios utilizaram o RAP doado em salgamento de estradas vicinais. Isso evidencia que o uso prioritário tem sido em vias secundárias, provavelmente devido à necessidade de soluções econômicas e rápidas para manutenção viária em áreas rurais. Além disso, 4 dos 9 municípios também indicaram a utilização do material doado para salgamento de estacionamentos, enquanto outros 3 municípios também indicaram o uso do material em reparos de pequeno porte, como tapa-buracos.

Curiosamente, alternativas técnicas que poderiam agregar maior valor ao material fresado, como a utilização em bases ou sub-bases de pavimentos ou a reciclagem para novas misturas asfálticas, não foram citadas pelos servidores públicos municipais. Isso revela uma lacuna no aproveitamento do potencial completo do material, especialmente considerando que sua reutilização em bases pode oferecer benefícios estruturais, e sua inclusão em misturas asfálticas recicladas pode representar maior sustentabilidade.

Na literatura técnica, a incorporação de material fresado (RAP) em novas misturas asfálticas para revestimentos pode alcançar teores entre 15% e 35% (Quadro 1 desta pesquisa). Além disso, a utilização de RAP pode reduzir significativamente a temperatura de usinagem e compactação, promovendo economia de energia e redução das emissões de gases poluentes durante o processo. Temperaturas médias para usinagem com RAP costumam ser menores que as utilizadas para usinagem convencional, o que favorece práticas mais sustentáveis na produção de misturas asfálticas.

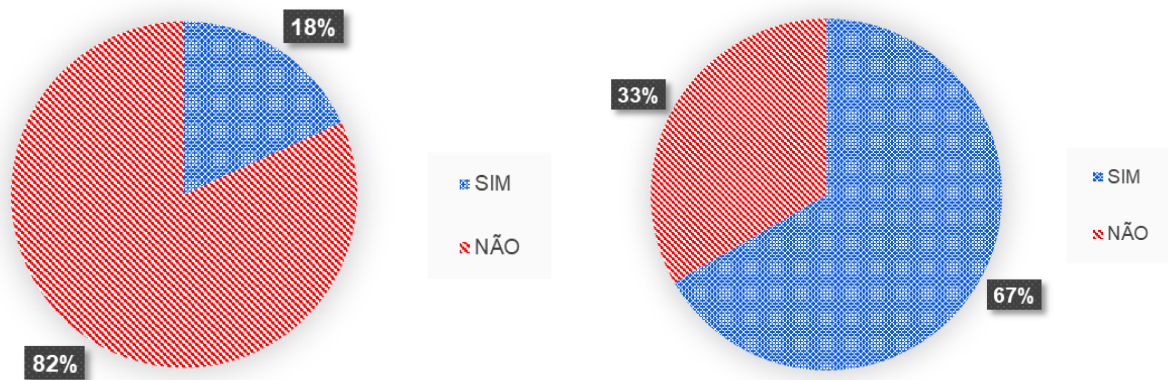
O uso do RAP em misturas asfálticas para bases de pavimentos também poderia ser considerada, sendo neste caso, possível a adição entre 25% e 65% de RAP (Quadro 1 desta pesquisa).

4.3.6 Empresas de pavimentação rodoviária com máquina fresadoras na região

Durante as entrevistas aos servidores públicos municipais, foram levantados dados relacionados a existência de empresas que prestam serviços de pavimentação nos respectivos municípios.

Da Figura 26a se constata que apenas 18% dos municípios pesquisados contam com empresas locais que possuem máquinas fresadoras. Esse dado reflete uma lacuna importante na infraestrutura local, que pode dificultar a realização de serviços de fresagem viária de forma autônoma e eficiente.

Figura 26. Disponibilidade de máquinas fresadoras no município segundo os servidores públicos municipais.



(a) No seu município existe empresa dedicada a pavimentação rodoviária que tenha máquina fresadora?

(b) Caso negativo, você tem conhecimento de empresa que disponha desse equipamento na região oeste do Paraná?

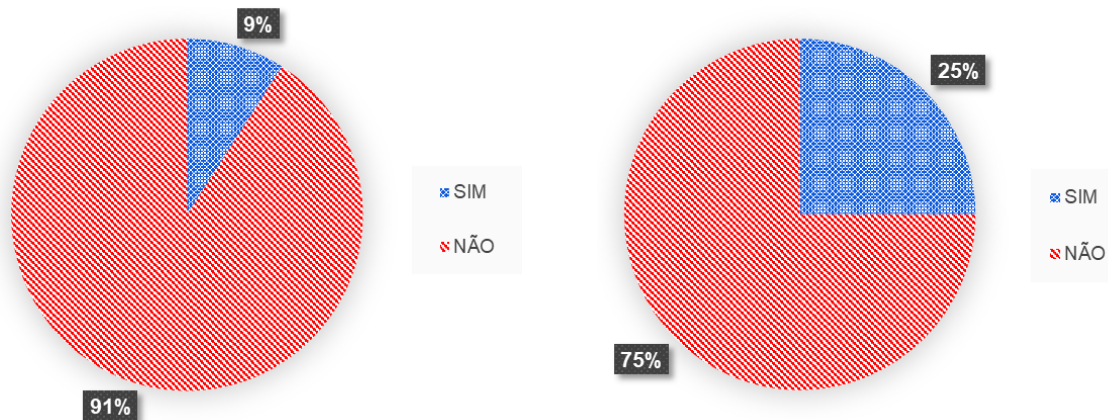
Fonte: o autor, 2024.

Por outro lado, nos municípios cujas empresas de pavimentação não possuem máquinas fresadoras, se constatou (Figura 26b) que 67% dos servidores públicos municipais tem conhecimento de empresas na região oeste do Paraná que possuem tal equipamento. Assim, mais da metade dos servidores públicos entrevistados têm ciência de que existe a possibilidade de contratação regional (além da microrregião 24). No entanto, ainda é elevado o percentual de servidores públicos (33%) que não têm conhecimento, ou seja, há uma barreira de informação a ser superada.

Também foi levantado junto aos servidores públicos municipais, a existência de interação entre prefeituras e empresas de pavimentação na microrregião 24. Conforme apresentado na Figura 27a, apenas 9% dos servidores públicos municipais já receberam

das empresas de pavimentação rodoviária, informação quanto aos serviços e tecnologias disponíveis para incluir a fresagem em projetos de conservação viária. Tal fato demonstra uma enorme ausência de abordagem proativa das empresas na promoção de suas capacidades técnicas e tecnologias disponíveis.

Figura 27. Interação entre prefeituras e empresas de pavimentação na microrregião



(a) Alguma empresa dedicada a pavimentação rodoviária já apresentou à prefeitura municipal, os equipamentos, tecnologias ou serviços disponíveis para futuros projetos de conservação viária que incluíam a fresagem?

(b) A sua empresa já apresentou às prefeituras municipais na microrregião (fora dos processos licitatórios), os equipamentos, tecnologias ou serviços que poderiam ser prestados para atividade de fresagem?

Fonte: o autor, 2024.

Esta pesquisa também levantou o ponto de vista das empresas de pavimentação na microrregião considerando a interação com as prefeituras municipais. Conforme apresentado na Figura 27b, apenas 25% das empresas apresentaram às prefeituras os equipamentos, tecnologias e serviços voltados à fresagem fora do contexto de processos licitatórios. Esse dado sugere uma falha na estratégia comercial das empresas, que poderiam ampliar suas presenças e relevâncias junto aos municípios por meio de um diálogo mais ativo e informativo.

Assim, de forma geral, os resultados indicam que, embora haja um conhecimento parcial sobre a disponibilidade regional de equipamentos de fresagem, a falta de iniciativas comerciais e de comunicação eficaz entre empresas e municípios impede que os serviços sejam amplamente conhecidos e utilizados.

Essa desconexão sugere a necessidade de estratégias mais robustas de marketing e relacionamento das empresas com o poder público, com o objetivo de apresentar soluções tecnológicas e ampliar a implementação de técnicas mais modernas e eficientes, como a fresagem, em projetos de conservação viária.

4.3.7 Custos para realização de fresagem nos municípios da microrregião 24

Durante as entrevistas com os servidores públicos municipais, foram levantados dados relacionados aos custos anuais despendidos com obras de recapeamento de revestimentos asfálticos na microrregião. O Quadro 8 apresenta tais custos.

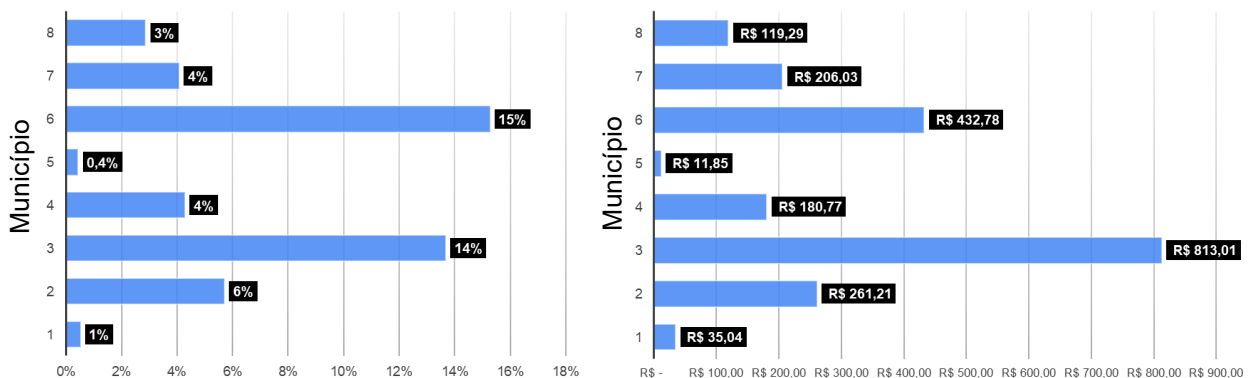
Quadro 8. Custo anual despendido com recapeamento na microrregião 24.

Município (microrregião 24 no estado do Paraná)	Custo anual com recapeamento (R\$)
1	Não informado
2	10.000.000
3	3.000.000
4	15.000.000
5	Não informado
6	2.000.000
7	50.000
8	10.500.000
9	6.000.000
10	Não informado
11	980.000
Total	47.530.000

Fonte: o autor, 2024.

Os custos anuais mencionados foram então relacionados ao PIB, à população e à área pavimentada em cada município. A Figura 28a apresenta para cada município, a relação percentual entre custo anual do recapeamento *versus* PIB. Se constata que apenas dois municípios, codificados como “3” e “6”, realizam investimentos que alcançam, respectivamente, 14% e 15% do PIB. Os demais efetuam investimentos variando entre inexpressivos a fracos (0,4% a 6%) na conservação da malha viária.

Figura 28. Relação dos custos anuais com recapeamento vs PIB's e custos anuais vs populações dos municípios.



(a) Percentagem do PIB investido em recapeamento (relação entre o custo anual de recapeamento vs PIB)

(b) Relação entre o custo anual de recapeamento vs população

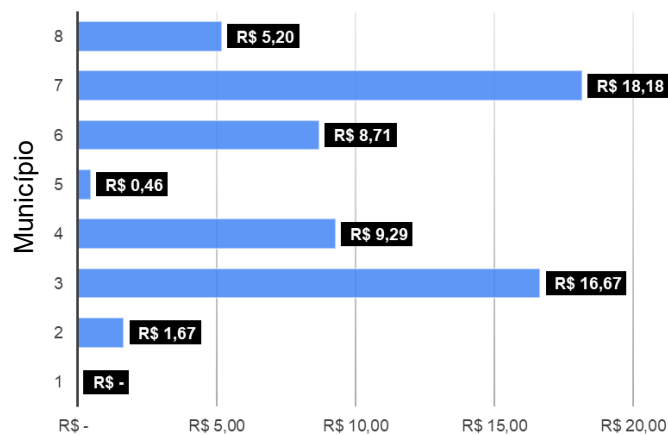
Fonte: o autor, 2024.

A Figura 28b apresenta para cada município, a relação entre o custo anual de recapeamento *versus* população. Se observa que para o município “3”, o investimento em conservação viária alcança o valor de R\$ 813,01 por habitante, muito acima dos valores apresentados para os demais. Isso sugere um maior esforço financeiro per capita para manutenção ou renovação da malha viária nessa localidade. Além disso, esse é um dos municípios que apresentou maior relação percentual do custo anual *versus* PIB ilustrado na Figura 28a.

No extremo oposto, se constatou que o município “5” investiu apenas R\$ 11,85 por habitante, indicando reduzida alocação de recursos financeiros para conservação da malha viária. Além disso, esse município apresentou a menor relação percentual do custo anual *versus* PIB ilustrado na Figura 28a.

A Figura 29 apresenta para cada município, a relação entre o custo anual de recapeamento *versus* área da malha viária pavimentada. A área pavimentada foi calculada considerando o produto entre a extensão da malha viária pavimentada (Quadro 7) e a largura média de cada via, admitida igual a 6 metros. Se constatou que os maiores custos anuais por metro quadrado alcançaram respectivamente, R\$ 16,67 e R\$ 18,18. Isso indica elevado investimento na conservação da malha viária.

Figura 29. Relação custo anual com recapeamento vs área da malha pavimentada.



Fonte: o autor, 2024.

Ao analisar os resultados mais expressivos, nota-se que o município representado por "3" realiza maior investimento na conservação viária, tanto em relação ao PIB, quanto em relação à população e a área da malha viária pavimentada. Por outro lado, o município representado por "5" se manteve consistentemente na última posição considerando a relação custo anual *versus* PIB, custo anual *versus* população e custo anual *versus* área pavimentada. Isso sugere um nível de prioridade inferior ou um

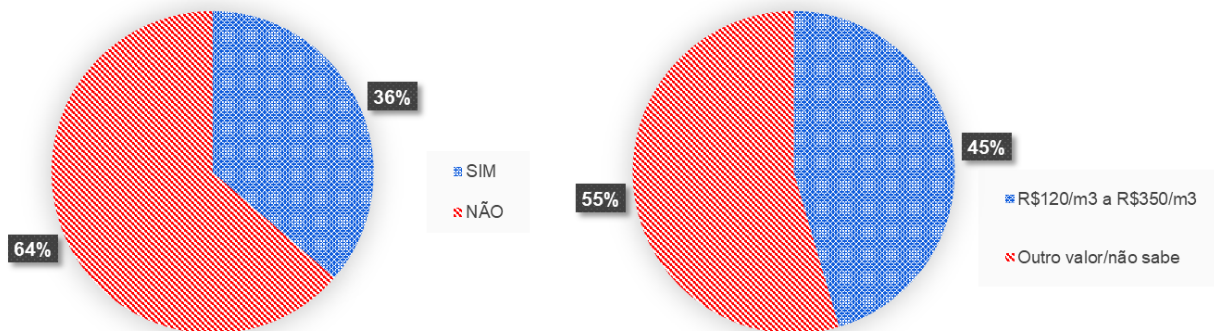
contexto menos demandante para as atividades de conservação da malha viária.

As análises apresentadas neste item indicam diferenças significativas no planejamento e nos investimentos em conservação da malha viária, os quais podem refletir variáveis econômicas, populacionais e territoriais de cada localidade.

4.3.8 Percepção de custos para realização de fresagem de revestimentos asfálticos envelhecidos

Durante as entrevistas com os servidores públicos municipais também foram levantadas informações sobre o conhecimento deles acerca de custos relacionados a atividade de fresagem de revestimentos asfálticos. Conforme ilustra a Figura 30a, 64% dos servidores públicos municipais não têm ideia do custo para a contratação desse tipo de serviço. Esse dado evidencia uma lacuna significativa na compreensão ou acesso às informações de custos, que pode impactar diretamente no planejamento e na execução das atividades de conservação da malha viária.

Figura 30. Custo para realização de fresagem segundo os servidores públicos municipais.



(a) Você tem conhecimento do custo para contratação do serviço de fresagem?

(b) Considerando as condições orçamentárias do seu município, qual seria o maior valor que a prefeitura poderia pagar por tonelada ou metro cúbico para realização da fresagem?

Fonte: o autor, 2024.

A partir de consulta de preços de mercado em outubro e novembro de 2024, obteve-se um intervalo de preço entre R\$ 120 a R\$ 350 para realização de fresagem a cada metro cúbico. A seguir, foi perguntado aos servidores públicos municipais, considerando as limitações orçamentárias locais, qual seria o maior valor que suas respectivas prefeituras poderiam pagar por metro cúbico para realização da fresagem dos revestimentos asfálticos envelhecidos.

Segundo mostra a Figura 30b, 45% dos servidores públicos municipais indicaram que suas respectivas prefeituras poderiam arcar com a contratação da fresagem considerando o intervalo de preços apresentado (R\$120 a R\$350 por metro cúbico). Por outro lado, chama a atenção o fato de a maioria dos servidores públicos municipais (55%) desconhecerem a capacidade ou limitação orçamentária de suas prefeituras para a realização dessa atividade. Tais situações indicam do ponto de vista do poder público, a necessidade de ações de capacitação dos servidores públicos municipais. Do ponto de vista das empresas que prestam serviços de pavimentação, elas poderiam informar regularmente os preços de mercado aos servidores públicos, para realização de fresagem nos respectivos municípios.

Essa atitude não apenas facilitaria a elaboração de editais mais embasados e eficientes, mas também promoveria maior confiança e alinhamento entre as partes, contribuindo para a qualidade e a agilidade nos processos de contratação.

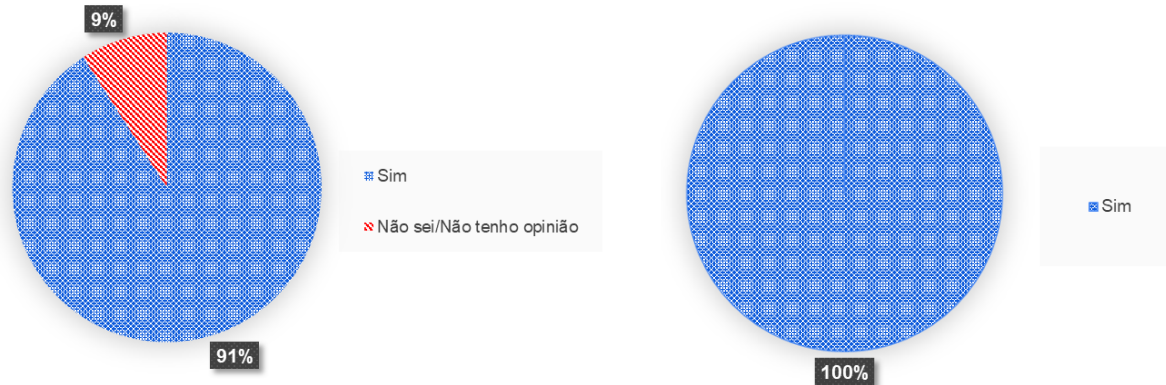
4.3.9 Consórcio de municípios para otimização das atividades de conservação viária na microrregião 24

A microrregião 24 no oeste do estado do Paraná é formada por 11 municípios, dos quais 7 apresentam PIB municipal inferior a 95 milhões de reais anuais. O baixo valor do PIB municipal limita a capacidade de investimento de cada prefeitura em atividades de conservação da malha viária. Para limitar os efeitos dessas restrições orçamentárias e incentivar a contratação de serviço de fresagem na microrregião, uma solução que poderia ser adotada seria a criação de consórcio entre os municípios. Assim, a contratação dessa atividade seria efetuada de forma conjunta, permitindo que os municípios de menor PIB tenham condições de elaborar projetos de conservação que contemplem essa atividade.

A fim de avaliar essa alternativa, foi perguntado aos servidores públicos municipais e às empresas de pavimentação na microrregião, se a criação desse consórcio incentivaria a realização de fresagem. Conforme ilustram as Figuras 31a e 31b, se constatou uma convergência entre os municípios e as empresas que prestam serviço de pavimentação na microrregião. A percepção majoritária, tanto entre os servidores públicos municipais quanto nas empresas do setor, indica que a colaboração intermunicipal seria um fator decisivo para incentivar a realização de fresagem de revestimentos asfálticos envelhecidos. Essa sinergia de opiniões sugere que tanto os

entes públicos quanto os privados reconhecem os benefícios práticos e econômicos advindos de uma abordagem cooperativa.

Figura 31. Criação de consórcio entre municípios para realização de fresagem.



(a) Servidores públicos municipais

A realização de fresagem de revestimentos asfálticos em projetos de conservação viária seria incentivada no seu município caso houvesse colaboração entre os municípios da microrregião?

(b) Empresas que prestam serviços de pavimentação na microrregião

A realização de fresagem de revestimentos asfálticos em projetos de conservação viária seria incentivada nos municípios da microrregião caso houvesse colaboração entre eles?

Fonte: o autor, 2024.

Ao considerar que municípios e empresas estão alinhados, fica evidente que uma maior integração e planejamento conjunto entre os municípios da microrregião poderia não apenas facilitar a execução de atividades de fresagem, mas também atrair investimentos, otimizar recursos e padronizar práticas sustentáveis na conservação viária. Essa visão compartilhada demonstra um amadurecimento estratégico, onde ambas as partes enxergam a colaboração como um meio de impulsionar a eficiência e a qualidade das infraestruturas viárias na microrregião.

Os dados apresentados reforçam a necessidade de criar plataformas de diálogo e mecanismos que fomentem parcerias intermunicipais, envolvendo diretamente as empresas. A implementação de políticas regionais colaborativas poderia consolidar a fresagem como uma prática recorrente e vantajosa, trazendo ganhos não apenas para os municípios, mas também para as empresas e, principalmente, para a população beneficiada por vias mais duráveis e seguras.

4.4 CARACTERÍSTICAS DA MÃO-DE-OBRA ENVOLVIDA EM PROJETOS DE CONSERVAÇÃO VIÁRIA NA MICRORREGIÃO 24

A partir das análises apresentadas nos itens anteriores, se constatou a falta de

incentivo dos governos municipais para incluir a atividade de fresagem nos projetos de conservação viária, falta de máquinas fresadoras em vários municípios, desconhecimento dos custos e preços de mercado para realização de fresagem e desconhecimento dos detalhes técnicos para elaboração de projetos de conservação viária que considerem essa atividade, entre outros. Nesta seção serão apresentados dados referentes a formação profissional dos servidores públicos municipais e funcionários das empresas privadas envolvidos com a conservação da malha viária na microrregião, assim como experiência profissional deles e necessidade de capacitação técnica para incentivar a fresagem em projetos de conservação viária.

4.4.1 Formação profissional

Nesta pesquisa também se avaliou a formação profissional dos servidores públicos municipais e profissionais das empresas privadas envolvidos com a conservação da malha viária na microrregião.

Considerando os servidores públicos municipais, se observa (Figura 32a) que 64% dos servidores são engenheiros civis, seguido por 18% de arquitetos e urbanistas. Por outro lado, do ponto de vista das empresas de pavimentação rodoviária, 100% dos profissionais envolvidos com projetos de conservação viária são engenheiros civis (Figura 32b).

Figura 32. Formação profissional dos respondentes às questões enviadas via formulário virtual.



(a) Servidores públicos municipais
Qual o cargo ou ocupação do respondente?

(b) Empresas que prestam serviços de
pavimentação na microrregião
Qual o cargo ou ocupação do respondente?

Fonte: o autor, 2024.

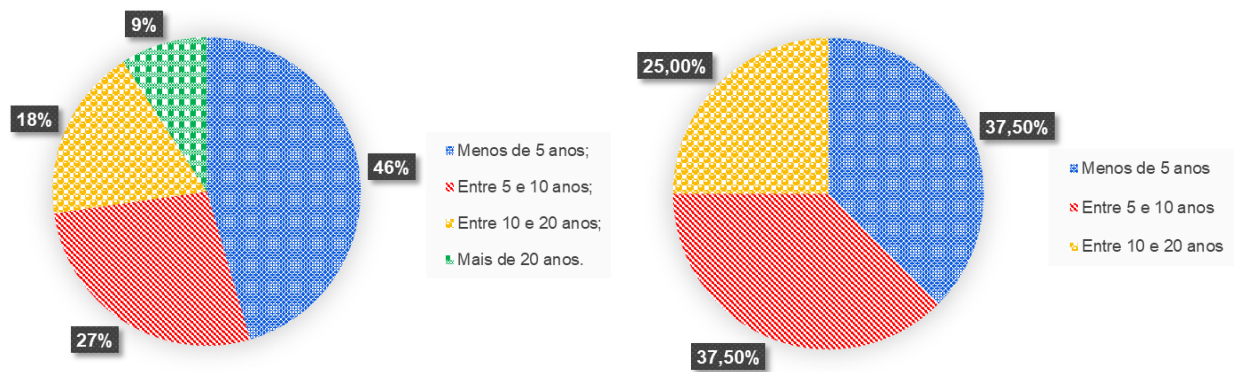
Esse resultado demonstra que, no setor privado voltado para pavimentação rodoviária, há uma concentração total de decisões e respostas sob a responsabilidade desse perfil profissional, o que reflete a especialização técnica necessária para essa atividade. A ausência de outras formações profissionais pode indicar uma estrutura organizacional mais técnica e específica nas empresas de pavimentação, diferente do ambiente municipal, que apresenta maior diversidade de funções e áreas de atuação.

Essas diferenças destacam que, enquanto os municípios envolvem servidores com formações profissionais diferentes em suas atividades, as empresas de pavimentação rodoviária centralizam as decisões em uma única formação profissional. Isso pode ser reflexo das diferenças nas responsabilidades e na estrutura organizacional entre o setor público e o privado.

4.4.2 Experiência profissional

Nesta pesquisa também se avaliou a experiência profissional dos servidores públicos municipais e profissionais das empresas privadas envolvidos com a conservação da malha viária na microrregião. Conforme ilustra a Figura 33a, 46% dos servidores públicos municipais estão realizando projetos de conservação viária há menos de 5 anos, ou seja, são jovens profissionais que podem ser mais receptivos a novos desafios e inovações tecnológicas.

Figura 33. Experiência profissional dos respondentes às questões enviadas via formulário virtual.



(a) Servidores públicos municipais
Há quanto tempo você trabalha com projetos de conservação viária?

(b) Empresas que prestam serviços de pavimentação na microrregião
Há quanto tempo você trabalha com projetos de conservação viária?

Fonte: o autor, 2024.

Ainda nos servidores públicos municipais, se constatou baixa porcentagem de profissionais com mais de 20 anos de experiência, o que pode sugerir um envelhecimento reduzido nas equipes, mantendo-as alinhadas às novas demandas do mercado.

Do lado das empresas privadas, se constatou um equilíbrio entre profissionais realizando projetos de conservação viária há menos de 5 anos e entre 5 e 10 anos (Figura 33b). Isso pode ser positivo do ponto de vista de apoio e transmissão de conhecimento dos profissionais mais experientes para os profissionais recém-chegados. Além disso, também se constatou ausência de profissionais com mais de 20 anos de experiência nas empresas privadas consultadas na microrregião 24.

4.4.3 Capacitação técnica

Nesta pesquisa também se perguntou aos servidores públicos sobre a necessidade de capacitação técnica para promover a fresagem em projetos de conservação viária, com foco específico na reciclagem de misturas asfálticas.

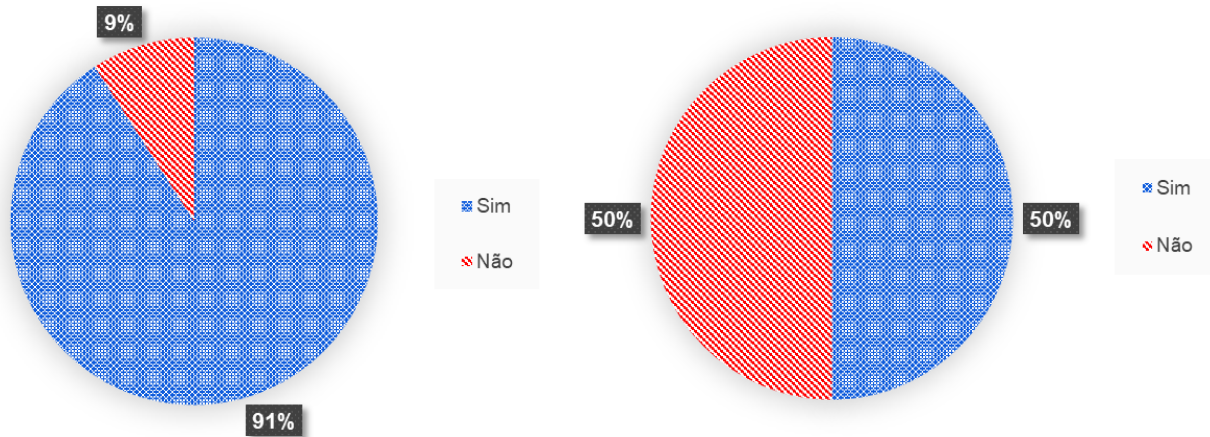
Conforme ilustrado pela Figura 34a, 91% dos servidores públicos municipais mencionaram a necessidade de apoio técnico, como cursos *online* ou *webinars*, para incentivar a inclusão da fresagem nos projetos de conservação viária. Este resultado indica uma forte demanda, demonstrando que a grande maioria reconhece a lacuna de conhecimento ou habilidade técnica necessária para implementar práticas mais sustentáveis em conservação viária.

Esse dado também sugere uma oportunidade significativa para a criação de programas educacionais, seja em parceria com empresas, instituições acadêmicas ou órgãos governamentais.

Do ponto de vista das empresas privadas na microrregião, se observa (Figura 34b) um equilíbrio em relação à capacidade de fornecimento de apoio técnico. Metade das empresas (50%) afirma ter condições de contribuir com esse tipo de capacitação, enquanto a outra metade não dispõe dessa possibilidade.

Esse dado evidencia tanto o potencial quanto a limitação do setor privado na promoção de qualificação técnica. Empresas que possuem capacidade para oferecer esse suporte técnico poderiam colaborar de forma mais estratégica com os municípios, ampliando a disseminação de boas práticas e tecnologias sustentáveis.

Figura 34. Necessidade de capacitação técnica para inclusão da fresagem nos projetos de conservação viária.



(a) Servidores públicos municipais
O seu município precisa de apoio técnico (por exemplo, curso online ou webinar sobre reciclagem de misturas asfálticas) para incentivar a consideração de fresagem em projetos de conservação viária?

(b) Empresas que prestam serviços de pavimentação na microrregião
A sua empresa poderia fornecer apoio técnico (por exemplo, curso online ou webinar sobre reciclagem de misturas asfálticas) para incentivar a consideração de fresagem em projetos de conservação viária?

Fonte: o autor, 2024.

Com base nesses resultados, a colaboração entre os setores público, privado e acadêmico surge como uma solução robusta. A parte acadêmica, por exemplo, pode desempenhar um papel crucial ao propor e implementar cursos e capacitações focados em reciclagem de misturas asfálticas e técnicas de fresagem. Esses programas não só preencheriam a lacuna técnica existente, mas também poderiam potencializar práticas já adotadas em outros contextos internacionais.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINANCEIRAS E TÉCNICAS SOBRE A ATIVIDADE DE FRESAGEM DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

Nesta seção são apresentadas medidas para incentivar a inclusão da fresagem de revestimentos asfálticos envelhecidos em projetos de conservação viária, assim como, síntese de boas práticas para obtenção de bons resultados com RAP.

4.5.1 Medidas para incentivar a inclusão da fresagem de revestimentos asfálticos envelhecidos em projetos de conservação viária

A expansão das atividades de fresagem pode ocorrer por meio do incentivo do poder público mediante legislação que torne financeiramente competitiva a inclusão de material reciclado nas obras de pavimentação. Por exemplo, na Holanda é proibido o descarte de materiais que podem ser reutilizados; no Reino Unido aplica-se taxa quando são utilizados agregados virgens em obras de pavimentação; e na Suécia são reduzidos impostos quando forem utilizados agregados reciclados (EAPA, 2008).

Nos Estados Unidos da América, a maioria dos Departamentos Estaduais de Transporte permitem (mas não obrigam) a utilização de material fresado em obras de pavimentação. Além disso, alguns estados oferecem incentivo financeiro quando um projeto de pavimentação rodoviária inclui utilização de RAP.

Segundo FORT (2024), no estado do Nebraska, dependendo da origem do material fresado, o montante de recursos financeiros economizado é parcialmente compartilhado com a empresa executora da obra. A empresa pode receber entre 15 e 50% do montante economizado. Nesse estado, outra inovação é separação de materiais no ato do pagamento. No caso de projeto envolvendo revestimento com mistura asfáltica, o contratante recebe o pagamento pelos agregados pétreos utilizados e outro pagamento pelo ligante asfáltico usado para produção da mistura asfáltica. Desta forma, se estimula dosagens com quantidades adequadas de ligante asfáltico.

FORT (2024) também menciona que os estados de Iowa, Oregon e Carolina do Sul, estão adotando incentivos semelhantes para estimular a utilização de material fresado nos projetos de pavimentação rodoviária em seus respectivos estados.

No Brasil, conforme apresentado na revisão bibliográfica, alguns Entes Públicos, por exemplo, o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) e algumas prefeituras municipais criaram leis (ou Resoluções) para estimular a utilização do material fresado. Infelizmente em nenhum caso foi previsto incentivo do ponto de vista financeiro, que venha a estimular a reutilização do material fresado nos futuros projetos e obras de conservação viária.

4.5.2 Boas práticas para bons resultados com RAP

A reutilização do revestimento asfáltico reciclado (RAP) requer a adoção de boas práticas para maximizar seus benefícios ambientais, econômicos e de desempenho. As seguintes diretrizes foram desenvolvidas com base nas informações fornecidas pelos trabalhos: *“Best Practices for RAP and RAS Management”* do *National Asphalt Pavement*

Association – NAPA (2015) e “RAP Management Best Practices” do National Center for Asphalt Technology – NCAT (s.d.).

1. **Planejamento e Avaliação de Necessidades:** De acordo com NAPA (2015) é fundamental realizar uma análise detalhada dos estoques de RAP, incluindo materiais processados, não processados e a entrada anual de novos materiais. Já NCAT (s.d.) reforça a necessidade de avaliar a demanda de RAP baseada na produção projetada e nas especificações de misturas exigidas pelas agências reguladoras.
2. **Segregação e Armazenamento:** Os dois documentos destacam a importância de manter estoques separados por origem. NAPA (2015) sugere que estoques sobre superfícies pavimentadas e inclinadas são ideais para evitar contaminação e acúmulo de água, enquanto NCAT (s.d.) recomenda o uso de coberturas para minimizar a umidade e melhorar a eficiência no aquecimento do RAP durante a produção de mistura asfáltica a quente. A Figura 35 ilustra procedimento adequado para a estocagem do RAP.
3. **Processamento e Uniformidade do RAP:** NAPA (2015) enfatiza que o fracionamento do RAP em tamanhos distintos aumenta a flexibilidade na dosagem de misturas asfálticas e reduz a degradação desnecessária dos agregados. O fracionamento permite aumentar o teor de RAP utilizado durante a dosagem de misturas asfálticas (Revelli e Ali, 2023). Complementando, NCAT (s.d.) recomenda a mistura de materiais de diferentes fontes durante o processamento para criar estoques mais homogêneos.
4. **Controle de Qualidade e Testes:** Ambos os documentos reforçam a importância do controle rigoroso de qualidade. NAPA (2015) detalha métodos para coleta de amostras representativas, sugerindo uma amostragem a cada 1.000 toneladas. NCAT (s.d.) complementa com testes frequentes para avaliar propriedades como teor de ligante, granulometria e gravidade específica.
5. **Sustentabilidade e Considerações Climáticas:** NAPA (2015) destaca a redução do impacto ambiental mediante uso de RAP, enquanto NCAT (s.d.) chama a atenção para a necessidade de evitar processamento em condições climáticas adversas, como alta umidade ou temperaturas

extremas, que podem comprometer a qualidade do material.

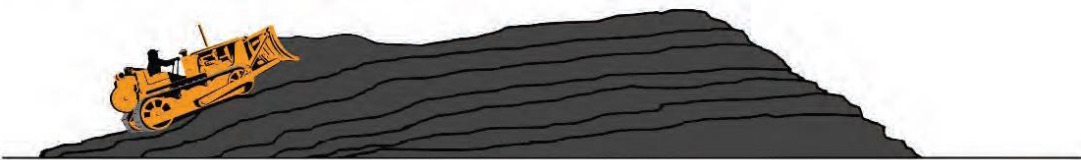
6. Integração de RAP em Misturas Asfálticas: Conforme o relatório da NAPA (2015), ajustes no projeto de misturas asfálticas podem ser necessários para maximizar o uso de RAP, incluindo o uso de ligantes virgens mais moles ou rejuvenescedores. NCAT (s.d.) reforça a importância de compatibilidade entre o ligante reciclado e os novos materiais. Deve-se atentar também ao fato da perda de desempenho ao adicionar o RAP frio a mistura quente de C.A.U.Q., tendo em vista a redução da temperatura durante a usinagem.

Figura 35. Procedimento adequado para estocagem de RAP.

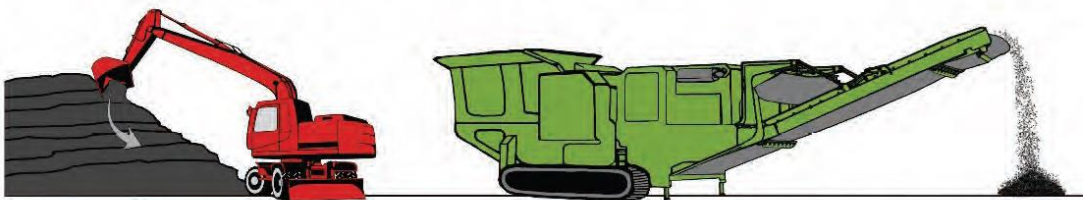
Espalhe o RAP em camadas |



Não empurre o RAP sobre a borda do talude



Escave através das camadas para alimentar o crusher



Carregue a caçamba da pá-carregadeira pela lateral da pilha, recolhendo RAP das camadas inferiores em direção às camadas superiores



Fonte: NAPA adaptado, 2015.

As práticas descritas, baseadas nas duas fontes, asseguram o uso eficiente e responsável do RAP, promovendo sustentabilidade, qualidade e redução de custos. A integração dessas diretrizes permite pavimentações de alto desempenho, atendendo tanto às demandas técnicas quanto às exigências ambientais.

4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Nesta seção apresenta-se os resultados das análises estatísticas realizadas. A partir das respostas recebidas dos servidores públicos municipais e das empresas que prestam serviços de pavimentação na microrregião, foram obtidos dados sobre custo anual despendido na pavimentação viária, extensão da malha viária, área pavimentada (calculada a partir do produto entre a extensão pavimentada e a largura média da faixa de tráfego), entre outros. As áreas pavimentadas foram determinadas considerando quatro larguras médias de faixa de tráfego (6, 8, 10 e 12 m).

Com os dados mencionados, foram realizadas análises de regressão linear simples e múltipla entre “custo anual × PIB”; “custo anual × área pavimentada”; “PIB × área pavimentada”; “custo anual × PIB × população × área pavimentada” e “custo anual × extensão da malha pavimentada”. Todos os dados foram inicialmente submetidos à avaliação de normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e independência entre os dados amostrais (Teste de Durbin-Watson).

Conforme mostra o Quadro 9, exceto as relações “custo anual × PIB × população” e “custo anual × PIB × área pavimentada”, nas demais se constatou que os dados amostrais são simultaneamente independentes e seguem uma distribuição normal.

Quadro 9. Resultados para o teste de normalidade e independência entre os dados amostrais.

	Os dados amostrais seguem uma distribuição normal? Teste de Shapiro-Wilk (valor-p>0,05)	Os dados amostrais são independentes? Teste de Durbin-Watson ($dU \leq dw \leq 4 - dU$)
custo anual × PIB	SIM	SIM
custo anual × área pavimentada largura da via=6 m	SIM	SIM
custo anual × área pavimentada largura da via=8 m	SIM	SIM
custo anual × área pavimentada largura da via=10 m	SIM	SIM

custo anual × área pavimentada largura da via=12 m	SIM	SIM
PIB × área pavimentada largura da via=6 m	SIM	SIM
PIB × área pavimentada largura da via=8 m	SIM	SIM
PIB × área pavimentada largura da via=10 m	SIM	SIM
PIB × área pavimentada largura da via=12 m	SIM	SIM
custo anual × PIB × pop	NÃO	NÃO
custo anual × PIB × área pavimentada largura da via=6 m	SIM	NÃO
custo anual × PIB × área pavimentada largura da via=8 m	SIM	NÃO
custo anual × PIB × área pavimentada largura da via=10 m	SIM	NÃO
custo anual × PIB × área pavimentada largura da via=12 m	SIM	NÃO
custo anual × PIB × pop × área pavimentada largura da via=6 m	SIM	SIM
custo anual × PIB × pop × área pavimentada largura da via=8 m	SIM	SIM
custo anual × PIB × pop × área pavimentada largura da via=10 m	SIM	SIM
custo anual × PIB × pop × área pavimentada largura da via=12 m	SIM	SIM
custo anual × extensão malha pavimentada	SIM	SIM

Fonte: o autor, 2024.

As relações que atenderam simultaneamente os requisitos de normalidade e independência entre os dados amostrais, foram então submetidos a análises de regressão linear simples e múltipla. O Quadro 10 ilustra os resultados obtidos. Se constatou que nenhum dos modelos obtidos mediante regressão linear, apresentou simultaneamente todos elementos estatisticamente significativos. Desta forma, não é possível realizar estimativas do custo anual despendido na pavimentação viária nem realizar estimativas da área pavimentada.

Quadro 10. Modelos de regressão linear simples e múltipla obtidos.

	Modelo de regressão obtido	Todos os elementos de modelo de regressão são significativos? (valor-p<0,05)
custo anual × PIB	$Y = 455196,3 + 76153,9 \times \text{PIB}$	NÃO
custo anual × área	$Y = 2986022,2 + 3502,2 \times \text{área}$	NÃO

pavimentada largura da via=6 m	área_pav_L=6m	
custo anual × área pavimentada largura da via=8 m	$Y = 2986022,2 + 2626,7 \times \text{área_pav_L}=8\text{m}$	NÃO
custo anual × área pavimentada largura da via=10 m	$Y = 2986022,2 + 2101,3 \times \text{área_pav_L}=10\text{m}$	NÃO
custo anual × área pavimentada largura da via=12 m	$Y = 2986022,2 + 1751,1 \times \text{área_pav_L}=12\text{m}$	NÃO
PIB × área pavimentada largura da via=6 m	$Y = 79,46 + 0,015 \times \text{área_pav_L}=6\text{m}$	NÃO
PIB × área pavimentada largura da via=8 m	$Y = 79,46 + 0,012 \times \text{área_pav_L}=8\text{m}$	NÃO
PIB × área pavimentada largura da via=10 m	$Y = 79,46 + 0,009 \times \text{área_pav_L}=10\text{m}$	NÃO
PIB × área pavimentada largura da via=12 m	$Y = 79,46 + 0,008 \times \text{área_pav_L}=12\text{m}$	NÃO
custo anual × PIB × pop × área pavimentada largura da via=6 m	$Y = -1795671,0 + 50302,8 \times \text{PIB} + 132,2 \times \text{Pop} + 2597,5 \times \text{área_pav_L}=6\text{m}$	NÃO
custo anual × PIB × pop × área pavimentada largura da via=8 m	$Y = -1795671,0 + 50302,8 \times \text{PIB} + 132,2 \times \text{Pop} + 1948,1 \times \text{área_pav_L}=8\text{m}$	NÃO
custo anual × PIB × pop × área pavimentada largura da via=10 m	$Y = -1795671,0 + 50302,8 \times \text{PIB} + 132,2 \times \text{Pop} + 1558,5 \times \text{área_pav_L}=10\text{m}$	NÃO
custo anual × PIB × pop × área pavimentada largura da via=12 m	$Y = -1795671,0 + 50302,8 \times \text{PIB} + 132,2 \times \text{Pop} + 1298,7 \times \text{área_pav_L}=12\text{m}$	NÃO
custo anual × extensão malha pavimentada	$Y = 2986022,2 + 21013,3 \times \text{Extensão malha pavimentada}$	NÃO

Fonte: o autor, 2024.

Para obter-se modelos estatísticos com todos os elementos significativos, seria necessário incluir novos fatores explicativos ou aumentar o tamanho da amostra considerada inicialmente.

Por outro lado, as relações que atenderam simultaneamente os requisitos de normalidade e independência entre os dados amostrais também foram submetidos a análises de correlação. O Quadro 11 ilustra os resultados obtidos.

Quadro 11. Análises de correlação

Parâmetros avaliados	Coefficiente de correlação (R)
custo anual × PIB	0,65
custo anual × pop	0,66
custo anual × área pavimentada largura da via=6 m	0,41
custo anual × área pavimentada largura da via=8 m	0,41

custo anual × área pavimentada largura da via=10 m	0,41
custo anual × área pavimentada largura da via=12 m	0,41
PIB × área pavimentada largura da via=6 m	0,13
PIB × área pavimentada largura da via=8 m	0,13
PIB × área pavimentada largura da via=10 m	0,13
PIB × área pavimentada largura da via=12 m	0,13
pop × área pavimentada largura da via=6 m	0,23
pop × área pavimentada largura da via=8 m	0,23
pop × área pavimentada largura da via=10 m	0,23
pop × área pavimentada largura da via=12 m	0,23
custo anual × extensão malha pavimentada	0,41
PIB × extensão malha pavimentada	0,13
pop × extensão malha pavimentada	0,23

Fonte: o autor, 2024.

Com base nos coeficientes de correlação (R), as relações podem ser classificadas em três categorias:

Relações com boa correlação ($R > 0,6$)

Relações com correlação razoável ($0,4 \leq R \leq 0,6$)

Relações com correlação fraca ($R < 0,4$)

A partir do Quadro 11, se constata:

- Custo anual × PIB ($R = 0,65$)
- Custo anual × População ($R = 0,66$)

Essas correlações indicam uma boa ligação entre o custo anual de pavimentação e o PIB (indicador de desenvolvimento econômico e populacional). Faz sentido que municípios com maior PIB e maior população invistam mais em infraestrutura viária, pois possuem maior arrecadação e demanda. Isso pode ser um indicativo de que os recursos financeiros estão sendo alocados de forma coerente com as necessidades e capacidades financeiras dos municípios.

No Quadro 11 também se observa:

- Custo anual × Área pavimentada (para todas as larguras médias de via: 6 m, 8 m, 10 m e 12 m), com $R = 0,41$.
- Custo anual × Extensão da malha pavimentada, com $R = 0,41$.

Essas correlações sugerem uma conexão ligeiramente superior à conexão fraca entre o custo anual e a extensão ou área pavimentada. Apesar de haver algum alinhamento, a correlação não é tão forte quanto o esperado. Isso pode indicar que, em alguns casos, o custo anual despendido não reflete diretamente a magnitude da

infraestrutura pavimentada, podendo haver variações devido a fatores como qualidade dos materiais, diferenças entre custos regionais ou investimentos em manutenção *versus* expansão da malha viária.

Finalmente, no Quadro 11 tem-se:

- PIB × Área pavimentada (para todas as larguras médias de via: 6 m, 8 m, 10 m e 12 m), com $R = 0,13$.
- População × Área pavimentada (para todas as larguras médias de via: 6 m, 8 m, 10 m e 12 m), com $R = 0,23$.
- PIB × Extensão da malha pavimentada, com $R = 0,13$.
- População × Extensão da malha pavimentada, com $R = 0,23$.

Aqui as correlações são fracas, indicando relações pouco significativas entre as variáveis econômicas ou demográficas *versus* características da infraestrutura pavimentada. Isso pode ser um reflexo de desigualdades na alocação de recursos, onde municípios com menor PIB ou população conseguem maior cobertura de pavimentação proporcionalmente, ou onde municípios mais ricos investem mais em qualidade do pavimento (não considerada nesta pesquisa) do que em expansão da malha viária.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma análise sobre a fresagem de revestimentos asfálticos envelhecidos nos 11 municípios da microrregião 24, no oeste do estado do Paraná. Os resultados apresentados foram obtidos a partir do processamento das respostas recebidas de parte dos servidores públicos municipais e das empresas que prestam serviços de pavimentação na microrregião.

A malha viária urbana pavimentada na microrregião alcança aproximadamente 1.000 km. Em 5 municípios a extensão de vias pavimentadas varia entre 18 e 118 km, em 3 municípios entre 118 e 218 km e em 1 município, entre 218 e 318 km. Ou seja, a maioria dos municípios gerenciam redes viárias pavimentadas de menor extensão, o que pode estar relacionado a fatores como limitações orçamentárias, características territoriais e densidade populacional. Além disso, os revestimentos dos pavimentos flexíveis são constituídos em sua quase totalidade, por misturas densas de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), Faixa C (DER/PR).

Considerando os recursos financeiros despendidos anualmente em conservação viária, foram encontradas diferenças significativas no planejamento e alocação desses recursos, os quais podem refletir variáveis econômicas, populacionais e territoriais de cada localidade.

Do ponto de vista da atividade de fresagem, se constatou que ela é ainda incipiente na microrregião, principalmente em municípios menores, que possuem menor capacidade técnica e financeira para realizar a atividade em larga escala. A partir das entrevistas realizadas se percebeu que a não execução de fresagem na maioria dos municípios pode ser atribuída às limitações tecnológicas e/ou de capacitação técnica dos servidores municipais, além da indisponibilidade de recursos financeiros nas respectivas prefeituras municipais. Por outro lado, a maioria dos municípios avaliados possui local que poderia ser utilizado para armazenamento do RAP logo após a fresagem, no entanto, esses locais ainda precisariam de licenciamento ambiental para começar a receber o RAP.

Outra constatação interessante foi que na maioria dos municípios da microrregião, não há equipamentos nas prefeituras nem nas empresas de pavimentação locais que permitam a realização de fresagem. Por outro lado, embora haja um conhecimento parcial dos servidores públicos municipais sobre a disponibilidade regional de equipamentos de fresagem, a falta de iniciativas comerciais e de comunicação eficaz

entre empresas e municípios impede que os serviços de fresagem sejam amplamente conhecidos e utilizados.

Essa desconexão sugere a necessidade de estratégias mais robustas de marketing e relacionamento das empresas com o poder público, com o objetivo de apresentar soluções tecnológicas e ampliar a implementação de técnicas mais modernas e eficientes, como a fresagem, em projetos de conservação viária.

Na microrregião 24, apenas três municípios já realizaram fresagem de revestimentos asfálticos, sendo o material fresado (RAP) resultante, simplesmente armazenado em pátio ou utilizado para salgamento de estradas vicinais e estacionamentos. Se observou que nesses municípios, a fresagem ocorreu devido a proatividade dos servidores públicos municipais, pois na microrregião não existem leis municipais que exijam fresagem de revestimentos asfálticos nos projetos de conservação viária; e não há incentivos financeiros para que municípios e empresas considerem a inclusão do RAP nas misturas asfálticas produzidas.

Infelizmente os dados relacionados às atividades de fresagem nesses municípios (volumes estocados, índices de reaproveitamento, tipo de reutilização, vias submetidas à fresagem, entre outros) não estão disponíveis ao público. Essa ausência de publicização limita o desenvolvimento de estratégias mais eficazes para o manejo sustentável desses materiais. Por isso, é fundamental que municípios, governos estaduais e DNIT apresentem regularmente ao público, relatórios sobre as atividades de fresagem realizadas. Além disso, a destinação do material ainda carece de planejamento estruturado e impossibilidade de rastreamento do RAP quando da sua reutilização.

A quase totalidade dos servidores públicos entrevistados mencionaram a necessidade de apoio técnico, como cursos *online* ou *webinars*, para incentivar a inclusão da fresagem em futuros projetos de conservação viária. Nesse sentido, a colaboração entre prefeituras, empresas de pavimentação e instituições acadêmicas pode viabilizar alternativas que promovam a inovação tecnológica e a sustentabilidade. Além disso, quase metade desses servidores públicos municipais estão realizando projetos de conservação viária há menos de 5 anos, ou seja, são profissionais jovens, os quais geralmente são mais receptivos às novas tecnologias.

Também se constatou que nenhum dos municípios da microrregião possui diploma legal (leis, decretos) sobre fresagem de revestimentos asfálticos. Tampouco foram encontrados projetos de lei sobre o referido tópico, em tramitação nas Câmaras de Vereadores da microrregião 24. Assim, é preciso avançar do ponto de vista

regulatório, prevendo-se não apenas a destinação adequada para o RAP, mas também a adoção de incentivos financeiros que estimulem contratante e contratado a reutilizar o RAP nos projetos de pavimentação rodoviária.

Sugestões para futuras pesquisas

Com base nos resultados obtidos neste estudo, destacam-se diversas oportunidades para a continuidade e aprofundamento da pesquisa sobre fresagem de revestimentos asfálticos e o aproveitamento do material fresado (RAP). As sugestões incluem:

- **Expansão da análise para outras regiões do estado do Paraná e do Brasil:** Essa abordagem pode permitir comparações entre diferentes contextos socioeconômicos e estruturais.
- **Capacitação Técnica e Gestão:** Desenvolver propostas de programas de capacitação para técnicos municipais e empresas de pavimentação, promovendo a integração de práticas sustentáveis. Estudos podem abordar metodologias para aprimorar a gestão de resíduos e a eficiência operacional.
- **Exploração de Parcerias Público-Privadas:** Examinar casos de sucesso de colaborações entre o setor público e privado no uso e destinação do RAP. Esses estudos podem identificar modelos de governança e financiamento que maximizem o impacto econômico e ambiental.
- **Monitoramento e Transparência:** Criar ferramentas para monitorar a produção, o armazenamento e o reaproveitamento do RAP em tempo real, facilitando a transparência e o engajamento social.

REFERÊNCIAS

ABREMA, Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2024**. Disponível em: <<https://abrir.link/zRivA/>>. Acesso em: 18 jun. 2024.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 2º edição. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2022.

BONFIM, V. **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**. 3ª edição revisada e atualizada. Exceção Editorial. São Paulo, 2010.

CCR - Companhia de Concessões Rodoviárias. **Relatório Integrado 2021**. Equipe de Sustentabilidade, e Comunicação do Grupo CCR. 2021. Disponível em: <<https://arquivos.grupoccr.com.br/relatorios/ri2021/>>. Acesso em: 17 mai. 2024.

CCR - Companhia de Concessões Rodoviárias. **Relatório Integrado 2022**. Equipe de Sustentabilidade, e Comunicação do Grupo CCR. 2022. Disponível em: <https://arquivos.grupoccr.com.br/relatorios/ri2022/assets/pdf/pt/relatorio_anual_CCR.pdf/>. Acesso em: 17 mai. 2024.

CCR - Companhia de Concessões Rodoviárias. **Relatório Integrado 2023**. Equipe de Sustentabilidade, e Comunicação do Grupo CCR. 2023. Disponível em: <https://arquivos.grupoccr.com.br/relatorios/ri2023/downloads/CCR_RI2023.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2024.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. Pesquisa CNT de Rodovias, 2024. Brasília: CNT: SEST SENAT: ITL, 2024. Disponível em: <<https://shre.ink/bXxB>>. Acesso em: 17 mai. 2024.

CURITIBA. **Decreto nº 1.346 de 15 de agosto de 2023**. Regulamenta o Desenvolvimento Sustentável nas contratações para os órgãos e entidades da Administração Pública Direta, Autárquica e Fundacional do Município de Curitiba. Disponível em: <<https://shre.ink/bXeT>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

DER/PR – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná. **DER/PR ES-PA 31/23**, 2023. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/w8cGt>>. Acesso em: 17 mai. 2024.

DER/SP – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. **Reciclagem In Situ a Frio com Espuma De Asfalto**. 2006. Disponível em: <https://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/normas/ET-DE-P00-033_A.pdf> Acesso em: 17 mai. 2024.

DER/SP – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. **Pré-misturado a frio**. 2006. Disponível em: <https://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/normas/ET-DE-P00-025_A.pdf> Acesso em: 23 mar. 2025.

DISTRITO FEDERAL. **Projeto de Lei nº 43/2023**. Dispõe sobre a destinação e reaproveitamento de material fresado extraído de ações de recapeamento, pavimentação ou correção asfáltica de vias públicas no âmbito do Distrito Federal. Disponível em: <<https://www.cl.df.gov.br/web/guest/projetos>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, 2º ed., p.310**, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **NORMA DNIT 033/2021 – ES**, 2021, Disponível em:< <https://abrir.link/vRzyA>>. Acesso em: 17 mai. 2024.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Resolução nº 14 de 8 de junho de 2021**. Disponível em:<<https://abrir.link/ZJiHn>>. Acesso em: 17 mai. 2024.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **NORMA DNIT 159/2011 – ES**, 2011. Disponível em:<<https://abrir.link/AcWYv>>. Acesso em: 17 mai. 2024.

EAPA - European Asphalt Pavement Association. Arguments to stimulate the government to promote asphalt reuse and recycling. Brussels, Belgium, 2008. 14p

EAPA – European Asphalt Pavement Association. **Asphalt in figures**. Brussels, Belgium, 2017.

ESPÍRITO SANTO. **Projeto de Lei nº 965/2023**. Dispõe sobre a destinação e o reaproveitamento de material fresado, no âmbito do Estado do Espírito Santo. Disponível em: <<https://shre.ink/bXxJ>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

FORT, J. P. Agencies & Contractor surveys on barriers to higher RAP usage in asphalt mixtures. National Asphalt Pavement Association-NAPA. SR-229. June, 2024. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/TyMib>>. Acesso: 07 jan. 2025.

GUARUJÁ. **Lei Ordinária nº 4.968/2022**. Dispõe sobre a obrigatoriedade do reaproveitamento do material fresado do asfalto (raspa) nas estradas não pavimentadas do município e dá outras providências. Disponível em: <<https://shre.ink/bXe9>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

GONZALEZ, J. R. (2020). **Challenges in Asphalt Pavement Waste Management: A Case Study**. Waste Management & Research, 38(9), 901-910.

HAND, A. & ASCHENBRENER, T. **Resource Responsible Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures. Technical Brief. Federal Highways Administration**. Report FHWA-HIF-22-003. Office of Preconstruction, Construction, and Pavements. July, 2021. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/pubs/hif22003.pdf> Acesso em: 07 jan. 2025.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (2023). **Economia do Paraná está mais forte e distribuída nas regiões, mostra estudo do IBGE**. Disponível em: <<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Economia-do-Parana-esta-mais-forte-e-distribuida-nas-regioes-mostra-estudo-do-IBGE>> Publicado em 20/12/2023. Acesso em: 01 out. 2024.

LI, N. et al. Laboratory investigation on blending process of reclaimed asphalt mixture. **Construction and Building Materials**, v. 325, 28 mar. 2022.

LIMA, L.B.F. de; OLIVEIRA, L.R.G. de. **Diagnóstico ambiental do material fresado de pavimentos asfálticos para fins de gerenciamento em Aparecida de Goiânia e Goiânia-GO**. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Vol. 19, nº 1, 2023.

MANDAGUAÇU. **Lei Ordinária nº 2.290/2023**. Dispõe sobre o aproveitamento do material fresado de asfalto e a sua reutilização em estradas rurais não pavimentadas do Município de Mandaguaçu. Disponível em: <<https://shre.ink/bXe8>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

MANAUS. **Lei Ordinária nº 3308/2024**. Determina que a fresa de asfalto dos programas de asfaltamento e de recapeamento do Município de Manaus seja reaproveitada e destinada às vias das áreas rurais. Disponível em: <<https://shre.ink/bXe1>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

MILLER, T. D.; BAHIA, H. U. **Sustainable Asphalt Pavements: Technologies, Knowledge Gaps and Opportunities**. University of Wisconsin-Madison, 2009.

MILLER, T. e BAHIA, H. (2009) **Sustainable Asphalt Pavements: Technologies, Knowledge Gaps and Opportunities**. Modified Asphalt Research Center, University of Wisconsin, Madison. 2009. Disponível em: <<https://uwmarc.wisc.edu/files/MARC-Sustainable-Asphalt-Pavements-white-paper.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2024.

MONTEIRO, A. M. C. **Estudo laboratorial de misturas asfálticas recicladas a quente, 2022**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2022.

NAPA, National Asphalt Pavement Association, 2020. Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2020. Disponível em: <[https://www.asphaltpavement.org/uploads/documents/WMA%20Survey/Annual_Reports/IS138-2020_RAP-RAS-WMA_Survey_withAppendices_508_\(1\).pdf](https://www.asphaltpavement.org/uploads/documents/WMA%20Survey/Annual_Reports/IS138-2020_RAP-RAS-WMA_Survey_withAppendices_508_(1).pdf)>. Acesso em: 15 out. 2024.

NAPA – National Asphalt Pavement Association. **Agencies & Contractors surveys on barriers to higher RAP usage in asphalt mixtures**, 2024. Disponível em: <<https://shre.ink/bXxD>>. Acesso em: 15 out. 2024.

NCAT. – National Center for Asphalt Technology. At Auburn University. **RAP Management Best Practices**, s.d. Disponível em <<https://shre.ink/bXxl>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

OLIVEIRA, L. L. **Reciclagem de Pavimentos a frio in situ**. Anápolis, Goiás, Brasil, 2018.

PASTANA, Carlos Eduardo Troccoli. Pavimentação Asfáltica. Pavimentações de estradas II, Marília, 26 jul. 2006. Disponível em: <<https://abrir.link/wZkcl>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

PATO BRANCO. **Lei Ordinária nº 6.103, de 02 de junho de 2023**. Dispõe sobre o aproveitamento do material fresado de asfalto e a sua reutilização nas estradas rurais do Município de Pato Branco. Disponível em: <<https://shre.ink/bXe2>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

PARANÁ. **Projeto de Lei nº 22/2023**. Dispõe sobre a destinação e o reaproveitamento de material fresado no Estado do Paraná. Disponível em: <<https://shre.ink/bXx4>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

PEDERNEIRAS. **Lei Ordinária nº 3322/2016**. Dispõe sobre a obrigatoriedade do reaproveitamento do material fresado do asfalto (raspa) nas estradas não pavimentadas do município e dá outras providências. Disponível em: <<https://shre.ink/bXe1>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

PEREIRA, J.A.M.; *et al.* **Estudo sobre destinação de resíduos da fresagem de pavimento asfáltico no estado do Paraná, sob jurisdição do DER**. *Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional*, UNISC, 2021.

PETROBRÁS. **Asfalto; Informações Técnicas**, 2024. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/quem-somos/assistencia-tecnica/>>. Acesso em: 03 jan. 2025.

REVELLI, V.; ALI, A. Understanding the State Agency Policies toward RAP Usage in the United States: State of Practice. **Recycling**, ano 2023, v. 8, n. 100, p. 1-15. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/recycling8060>>. Acesso em: 23 set. 2024.

SÃO PAULO. **Projeto de Lei nº 1170/2023**. Disciplina sobre a destinação e reaproveitamento de material fresado no Estado. Disponível em: <<https://shre.ink/bXx6>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

SECID – SECRETARIA DAS CIDADES DO ESTADO DO PARANÁ. Mapa das Microrregiões do Estado. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/dgc6P>>. Acesso em 07 jan. 2025.

SEED – SECRETARIA DA EDUCAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ. Microrregiões Geográficas. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/TFJRj>> Acesso em: 07 jan. 2025.

SILVA, A. B. et al. (2019). **Sustainable Management of Asphalt Pavement Materials: A Review**. *Journal of Environmental Engineering*, 145(5), 04019017.

SILVA, E. F. (2019). **Manual avançado de pavimentação asfáltica: métodos e equipamentos**. São Paulo: Editora Érica.

SILVA, J. P. S.; FARIAS, M. M. DE. Estudo dos efeitos de produtos rejuvenescedores no comportamento físico, químico e reológico de ligante asfáltico envelhecido. *Revista transportes TRANSPORTES*, v. 28, n. 3, p. 91–102, 31 ago. 2020.

SINGH, S., MONU, K., RANSINCHUNG, G.D., 2020. Laboratory investigation of RAP for various layers of flexible and concrete pavement. **International Journal of Pavement Engineering** 21, 1780–1793. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1567920>

SMITH, C. D. (2018). **Challenges and Opportunities in the Efficient Management of Asphalt Pavement Waste**. Proceedings of the International Conference on Sustainable Infrastructure, 2(1), 103-112.

SUZUKI, K.Y. **Avaliação de misturas asfálticas recicladas a quente com diferentes teores de material fresado, 2019**. Dissertação de Mestrado em Ciências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

THENOUX, G., GONZÁLEZ, Á., DOWLING, R., 2007. Energy consumption comparison for different asphalt pavements rehabilitation techniques used in Chile. **Resources, Conservation and Recycling** 49, 325–339. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.02.005>

VARGAS, G. A. B. **Caracterização numérico-experimental de propriedades de fratura de misturas asfálticas de agregados finos**. Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2016.

WANG, X. *et al.* (2019). **Advanced Technologies for Reclamation and Recycling of Asphalt Pavement Materials: A Review**. Construction and Building Materials, 210, 539-550.

WEST, R.C.; 2015. **Best Practices for RAP and RAS Management**, Technical Report D, Lunham, MD, USA, 44p.

WIRTGEN-GROUP. **Milling drums for cold milling machines**. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/Eelu2>> Acesso em: 11 jan. 2025.

ZAUMANIS, M., LOETSCHER, D., MAZOR, S., STÖKLI, F., POULIKAKOS, L., 2021. **Impact of milling machine parameters on the properties of reclaimed asphalt pavement**. Construction Building Materials 307. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125114>

ZHANG, L. *et al.* (2021). **Barriers and Challenges in Implementing Circular Economy Principles in Asphalt Pavement Recycling**. Resources, Conservation and Recycling, 174, 105860.

APÊNDICE A

QUESTIONÁRIO SOBRE FRESAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS NOS MUNICÍPIOS DO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ – SERVIDORES MUNICIPAIS

Este questionário visa obter informações sobre as práticas, desafios e gargalos enfrentados pelos municípios nas atividades de conservação viária, em particular, sobre fresagem de pavimentos com revestimentos asfálticos.

Os dados informados neste questionário são confidenciais. Não serão identificados os servidores nem os municípios que contribuíram com dados para a presente pesquisa.

Informações Gerais:

Nome do servidor: _____

Cargo/Ocupação: _____

Município: _____

- 1) Qual é extensão da malha viária com revestimento asfáltico sob responsabilidade do município?

- 2) Qual é o quantitativo anual médio aproximado de massa asfáltica utilizada para atividades de recape asfáltico no município?

Toneladas OU Metros Cúbicos	
k) Até de 100 toneladas	a) Até 250 metros cúbicos
l) Entre 100 e 500 toneladas	b) Entre 250 e 500 metros cúbicos
m) Entre 500 e 1000 toneladas	c) Entre 500 e 1000 metros cúbicos
n) Entre 1000 e 3000 toneladas	d) Entre 1000 e 3000 metros cúbicos
o) Entre 3000 e 6000 toneladas	e) Entre 3000 e 6000 metros cúbicos
p) Entre 6000 e 9000 toneladas	f) Entre 6000 e 9000 metros cúbicos
q) Entre 9000 e 12000 toneladas	g) Entre 9000 e 12000 metros cúbicos
r) Entre 12000 e 15000 toneladas	h) Entre 12000 e 15000 metros cúbicos
s) Entre 15000 e 18000 toneladas	i) Entre 15000 e 18000 metros cúbicos
t) Mais de 18000 toneladas	j) Mais de 18000 metros cúbicos

- 3) Em termos monetários, qual é o custo anual aproximado despendido para as atividades de recapeamento?

R\$: _____

- 4) Qual o tipo de massa asfáltica geralmente utilizada para recape?
- f) CAUQ densa Faixa A
 - g) CAUQ densa Faixa B
 - h) CAUQ densa Faixa C
 - i) PMF
 - j) Outro (favor especificar): _____
- 5) Qual o tipo de ligante asfáltico geralmente utilizado para produção da massa asfáltica no seu município?
- f) CAP 50/70
 - g) CAP 50/70 MODIFICADO POR POLÍMERO
 - h) CAP 50/70 ASFALTO BORRACHA
 - i) CAP 30/45
 - j) Outro (favor especificar): _____
- 6) Qual é a vida útil média das massas asfálticas antes do recape no seu município?
- e) Menos de 5 anos
 - f) Entre 5 e 10 anos
 - g) Entre 10 e 15 anos
 - h) Não sei
- 7) O seu município já realizou fresagem de massa asfáltica nas vias do município?
- a) Sim
 - b) Não
- 8) Caso o seu município já esteja realizando a fresagem, a inclusão dessa atividade nos projetos de conservação viária se deve a? (**Pode selecionar mais de uma alternativa**)
- f) Existência de lei(s) municipal(is) que exigem fresagem de revestimentos asfálticos nos projetos de conservação viária
 - g) Redução de custos totais (globais) quando os projetos de conservação viária incluem a fresagem

- h) Preocupação (consciência) da gestão municipal com aspectos ambientais e de sustentabilidade, embora não exista lei municipal que obrigue incluir fresagem em projetos de conservação viária
- i) Incentivos (financeiros, equipamentos, outros) doados ao município por terceiros a fim de estimular a inclusão da fresagem nos projetos de conservação viária
- j) Outros (favor especificar): _____
- k) Não se aplica

9) Caso o município esteja realizando fresagem, qual o quantitativo de massa asfáltica fresada anualmente?

Toneladas OU Metros Cúbicos	
a) Até de 100 toneladas	a) Até 250 metros cúbicos
b) Entre 100 e 500 toneladas	b) Entre 250 e 500 metros cúbicos
c) Entre 500 e 1000 toneladas	c) Entre 500 e 1000 metros cúbicos
d) Entre 1000 e 3000 toneladas	d) Entre 1000 e 3000 metros cúbicos
e) Entre 3000 e 6000 toneladas	e) Entre 3000 e 6000 metros cúbicos
f) Entre 6000 e 9000 toneladas	f) Entre 6000 e 9000 metros cúbicos
g) Entre 9000 e 12000 toneladas	g) Entre 9000 e 12000 metros cúbicos
h) Entre 12000 e 15000 toneladas	h) Entre 12000 e 15000 metros cúbicos
i) Entre 15000 e 18000 toneladas	i) Entre 15000 e 18000 metros cúbicos
j) Mais de 18000 toneladas	j) Mais de 18000 metros cúbicos

10) Qual a destinação desse material fresado? (**Pode selecionar mais de uma alternativa**)

- a) Salgamento de estradas vicinais
- b) Salgamento de estacionamentos
- c) Base ou sub-base de pavimentos
- d) Bota-fora
- e) Descarte em aterro sanitário
- f) Reutilização em reparos de pequeno porte (por exemplo, tapa-buracos)
- g) Reciclagem para uso em novas misturas asfálticas
- h) Outro (favor especificar): _____
- i) Até o presente momento não foi realizada fresagem

11) Se o material fresado for utilizado em reparos de pequeno porte ou em novas obras, qual o tipo de massa asfáltica que incorpora o RAP? (**Pode selecionar mais de uma**)

alternativa)

- a) Mistura asfáltica fria (por exemplo, PMF)
- b) Mistura asfáltica à quente (por exemplo, CAUQ ou PMQ)
- c) Outro (favor especificar): _____
- d) Não se aplica

12) Se o seu município não realizou fresagem até o presente momento, qual(s) o(s) motivo(s)? (Pode selecionar mais de uma alternativa)

- a) Quantidade insuficiente de material a ser fresado para justificar contratação do serviço
- b) O quantitativo de fresado justificaria a contratação do serviço, porém o custo da fresagem é elevado para a disponibilidade orçamentária da prefeitura
- c) Falta de interesse da gestão atual do município
- d) Restrições regulatórias
- e) Limitações tecnológicas e ou de capacitação técnica dos servidores municipais
- f) Outros (favor especificar): _____
- l) Não se aplica

13) A prefeitura tem local para armazenamento do material fresado?

- a) Sim
- b) Não

14) Se existe local para armazenamento, ele é adequado?

- a) Sim
- b) Não
- c) Não se aplica

15) Se o local é inadequado, o que precisa ser feito para melhorar o local? (Pode selecionar mais de uma alternativa)

- a) Aumentar a área de armazenamento
- b) Isolar a área de armazenamento em relação a outros materiais para evitar contaminação
- c) Necessidade de obtenção de licenciamento ambiental
- c) Outros (favor especificar): _____

d) Não se aplica

16) No seu município existe empresa dedicada a pavimentação rodoviária que tenha máquina fresadora?

- a) Sim
- b) Não

17) Caso negativo, tem conhecimento de empresa que disponha desse equipamento na região oeste do estado do Paraná?

- a) Sim
- b) Não
- c) Não se aplica

18) Alguma empresa dedicada a pavimentação rodoviária já apresentou à prefeitura municipal, os equipamentos/tecnologias/serviços disponíveis para que futuros projetos de conservação viária incluam a fresagem?

- a) Sim
- b) Não

19) Caso afirmativo, quantas empresas apresentaram seus portfólios à prefeitura municipal?

- a) Menos de 5
- b) Entre 5 e 10
- c) Mais de 10

20) Você tem ideia do custo para contratação desse tipo de serviço?

- a) Sim
- b) Não

21) Considerando as condições orçamentárias do seu município, qual seria o maior valor que a prefeitura poderia pagar por tonelada ou metro cúbico para a realização dessa atividade?

R\$ _____

22) A realização de fresagem de revestimentos asfálticos em projetos de conservação

viária seria incentivada no seu município caso houvesse colaboração entre os municípios da Região Oeste do Estado do Paraná?

- a) Sim
- b) Não
- c) Não sei/não tenho opinião

23) O seu município precisa de apoio técnico (por exemplo, curso online ou webinar sobre reciclagem de misturas asfálticas) para incentivar a consideração da fresagem em projetos de conservação viária?

- a) Sim
- b) Não
- c) Não sei/não tenho opinião

24) Há quanto tempo você trabalha com projetos de conservação viária?

- a) Menos de 5 anos;
- b) Entre 5 e 10 anos;
- c) Entre 10 e 20 anos;
- d) Mais de 20 anos.

25) A prefeitura municipal já recebeu material fresado doado pelo DER/PR?

- a) Sim
- b) Não

26) Caso afirmativo, qual foi a destinação desse material fresado? (**Pode selecionar mais de uma alternativa**)

- a) Salgamento de estradas vicinais
- b) Salgamento de estacionamentos
- c) Base ou sub-base de pavimentos
- d) Reutilização em reparos de pequeno porte (por exemplo, tapa-buracos)
- e) Reciclagem para uso em novas misturas asfálticas
- f) Outro (favor especificar): _____
- g) Não se aplica

Muitíssimo obrigado pelo seu tempo e dedicação para responder o questionário!!!

APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO SOBRE FRESAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS NOS MUNICÍPIOS DO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ - EMPREITEIROS

Este questionário visa obter informações sobre os desafios e gargalos enfrentados pelas empresas dedicadas a atividades de conservação viária, particularmente quando efetuam fresagem de pavimentos com revestimentos asfálticos.

Os dados informados neste questionário são confidenciais. As empresas não serão identificadas, não serão mencionados projetos específicos nem os locais de execução de atividades de fresagem de revestimentos asfálticos.

Informações Gerais:

Nome da empresa: _____

Contato: _____

Cargo/Ocupação: _____

Município: _____

- 1) Qual o tipo de massa asfáltica geralmente utilizada para recape na região oeste do estado do Paraná?
 - a) CAUQ densa Faixa A
 - b) CAUQ densa Faixa B
 - c) CAUQ densa Faixa C
 - d) PMF
 - e) Outro (favor especificar): _____

- 2) Qual o tipo de ligante asfáltico geralmente utilizado para produção da massa asfáltica na região oeste do estado do Paraná?
 - a) CAP 50/70
 - b) CAP 50/70 MODIFICADO POR POLÍMERO
 - c) CAP 50/70 ASFALTO BORRACHA
 - d) CAP 30/45
 - e) Outro (favor especificar): _____

- 3) Qual o quantitativo aproximado de massa asfáltica fresada anualmente por sua empresa na região oeste do estado do Paraná?

Toneladas OU Metros Cúbicos	
k) Até de 100 toneladas	a) Até 250 metros cúbicos
l) Entre 100 e 500 toneladas	b) Entre 250 e 500 metros cúbicos
m) Entre 500 e 1000 toneladas	c) Entre 500 e 1000 metros cúbicos
n) Entre 1000 e 3000 toneladas	d) Entre 1000 e 3000 metros cúbicos
o) Entre 3000 e 6000 toneladas	e) Entre 3000 e 6000 metros cúbicos
p) Entre 6000 e 9000 toneladas	f) Entre 6000 e 9000 metros cúbicos
q) Entre 9000 e 12000 toneladas	g) Entre 9000 e 12000 metros cúbicos
r) Entre 12000 e 15000 toneladas	h) Entre 12000 e 15000 metros cúbicos
s) Entre 15000 e 18000 toneladas	i) Entre 15000 e 18000 metros cúbicos
t) Mais de 18000 toneladas	j) Mais de 18000 metros cúbicos

4) A empresa se responsabiliza pela destinação do RAP fresado na via?

- a) Sim
- b) Não

5) Caso afirmativo, qual a destinação desse material fresado? (**Pode selecionar mais de uma alternativa**)

- a) Venda como material para salgamento de estradas vicinais
- b) Venda como material para salgamento de estacionamentos
- c) Venda como material para base ou sub-base de pavimentos
- d) Bota-fora ou descarte em aterro sanitário
- e) Venda como material para reutilização em novas misturas asfálticas
- f) Outro (favor indicar): _____

6) Do seu ponto de vista, por que alguns municípios na região oeste do estado do Paraná ainda não consideram a realização de fresagem em projetos de conservação viária?

(**Pode selecionar mais de uma alternativa**)

- a) Quantidade insuficiente de material a ser fresado para justificar contratação do serviço
- b) O quantitativo de fresado justificaria a contratação do serviço, porém o custo da fresagem é elevado para a disponibilidade orçamentária das prefeituras
- c) Falta de interesse das gestões municipais
- d) Restrições regulatórias
- e) Limitações tecnológicas e ou de capacitação técnica dos servidores municipais
- f) Outro (favor especificar): _____

- 7) A sua empresa já apresentou às prefeituras municipais no oeste do estado do Paraná (fora dos processos licitatórios), os equipamentos/tecnologias/serviços que poderiam ser prestados para atividades de fresagem?
- a) Sim
 - b) Não
- 8) Caso afirmativo, quantas prefeituras municipais foram alvo dessas apresentações?
- a) Menos de 10
 - b) Entre 10 e 20
 - c) Entre 20 e 30
 - d) Entre 20 e 40
 - e) Mais de 40
- 9) A realização de fresagem de revestimentos asfálticos em projetos de conservação viária seria incentivada nos municípios da região oeste do Paraná caso houvesse colaboração entre eles?
- a) Sim
 - b) Não
- 10) A sua empresa poderia fornecer apoio técnico (por exemplo, curso online ou webinar sobre reciclagem de misturas asfálticas) para incentivar a consideração da fresagem em projetos de conservação viária?
- a) Sim
 - b) Não
- 11) Há quanto tempo você trabalha com projetos de conservação viária?
- a) Menos de 5 anos
 - b) Entre 5 e 10 anos
 - c) Entre 10 e 20 anos
 - d) Mais de 20 anos

Muitíssimo obrigado pelo seu tempo e dedicação para responder o questionário!!!