

Restauração de Pavimento Asfáltico com Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ): Estudo de Caso

Pedro Tadeu Jordão Filho ¹

<https://orcid.org/0009-0004-7172-9306>

Gerson de Marco ²

<https://orcid.org/0000-0002-5189-5989>

Fabiana Florian ³

<https://orcid.org/0000-0002-9341-0417>

RESUMO

A malha rodoviária exerce importância econômica e social, por meio dela que ocorre o escoamento de produtos e a movimentação de pessoas, por isso deve estar sempre conservada. Objetivo deste estudo é descrever o processo de restauração asfáltica utilizando o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) no recapeamento da via asfáltica no trecho Gavião Peixoto - Nova Pauliceia – Nova Europa. Foi realizada pesquisa bibliográfica com estudo de caso. Foi possível observar as atividades de execução dos reparos localizados superficiais ou profunda, sendo feita a selagem de trincas e/ou operações de tapa-buracos, pintura de ligação, e recapeamento com camada de 5,0 cm de Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ) foco deste estudo. Com esse processo foi possível reforçar o revestimento, oferecendo melhores condições de conforto ao rolamento por parte dos usuários e ao mesmo tempo protegendo e melhorando a estrutura do pavimento.

Palavras-chave

Manutenção asfáltica; Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

Submetido em: 24/11/2023 – Aprovado em: 29/12/2023 – Publicado em: 02/01/2024

¹ Ocupação/formação, instituição a qual esteja ligado, Estado e endereço eletrônico. Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara. São Paulo. *e-mail:* pedrotadeujordao@gmail.com

² Orientador Docente Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP. *E-mail:* gdmarco@uniara.edu.br

³ Coorientadora, Economista e Bacharel em Direito. Docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara. Araraquara-SP. *E-mail:* florian@uniara.edu.br



Restoration of Asphalt Pavement With hot Machined Bituminous Concrete (CBUQ): Case Study

ABSTRACT

The road network has economic and social importance, through which products flow and people move, which is why it must always be maintained. The objective of this study is to describe the asphalt restoration process using Hot Machined Bituminous Concrete (CBUQ) in the resurfacing of the asphalt road in the Gavião Peixoto - Nova Pauliceia – Nova Europa section. Bibliographic research was carried out with a case study. It was possible to observe the execution activities of repairs located superficially or deeply, with the sealing of cracks and/or hole filling operations, connection painting, and resurfacing with a 5.0 cm layer of Hot Machined Bituminous Concrete (CBUQ) focus of this study. With this process it was possible to reinforce the coating, offering better rolling comfort conditions for users and at the same time protecting and improving the pavement structure.

Keywords

Asphalt maintenance; Hot-Machined Bituminous Concrete (CBUQ).

1 INTRODUÇÃO

Acidentes de automóveis causam a morte de milhares de pessoas todo ano, são considerados globalmente um problema de saúde pública (CARVALHO *et al.*, 2021). As falhas podem ser decorrentes de fatores de engenharia, infraestrutura rodoviária, características dos veículos, e ou fatores como comportamento e desempenho relacionados ao usuário (EVANS, 2004). Segundo Silveira, Rocha e Padula (2022, p. 1), “grande parte desses acidentes estão ligados ao efeito da aquaplanagem, promovido em pavimentos impermeáveis.”

Para Evans (2004) as condições meteorológicas, por não serem controláveis, não devem ser incluídas nos motivos de tais acidentes, no entanto Flintsch *et al.* (2012) as consideram como causas dos acidentes, o que leva a criação de projetos de estradas seguras, buscando evitar tais ocorrências, tendo em vista a condição da superfícies da estrada ser um fator que contribui para segurança no que diz respeito à resistência à derrapagem e às condições climáticas que podem afetá-las (CARVALHO *et al.* 2021).

Além de riscos com acidentes, a malha rodoviária exerce importância na economia regional e nacional, requerendo de atenção quanto sua manutenção e conservação, pois caso contrário impacta nos custos de transporte e provoca congestionamentos. podendo emitir maiores níveis de emissão de poluentes, vindo a contribuir com um maior desequilíbrio ambiental (SANTOS, 2011).

Yasanthi e Mehran (2020) afirmam que as condições climáticas, as chuvas por exemplo, exercem influência para ocorrência de acidentes e afetam a estrutura das estradas, além de impactar na resistência à derrapagem por conta de pavimentos molhados.

Conforme Carvalho *et al.* (2011), diferentes estruturas de pavimento exigem diferentes políticas de manutenção, em específico, a malha brasileira e composta, em sua maioria, de trechos rodoviários de pavimento com revestimento asfáltico. O entendimento das características do pavimento requer conhecimento dos materiais e suas propriedades (agregados e misturas, padrões de texturização) que caracterizam a aspereza presente. Conforme Hall *et al.* (2009) é a propriedade da textura do pavimento que determina a maioria das interações, como fricção molhadas, ruído, respingos e efeitos de *spray*. Desta forma, as diferentes características de mistura de pavimentos podem impactar nos níveis de resistência da derrapagem, isso demonstra que o monitoramento do atrito de uma superfície é importante no sistema de gestão rodoviária.

Segundo Mayora e Pina (2009) o recapeamento de pavimentos em áreas de deficiência de atrito mostra-se como uma solução para reduzir acidentes, apesar de estudo realizado por Cleveland (1987 *apud* CARVALHO *et al.*, 2011), constatando que somente o recapeamento não foi capaz de reduzir travamentos logo após sua implantação, requerendo do envelhecimento do pavimento para melhoria da segurança. Leden *et al.* (1998) ressaltam que diferentes misturas de pavimentos utilizados no recapeamento de estradas apresentam diferentes resultados relacionados à segurança.

Dentre os tipos de revestimento asfáltico tem-se o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), composto por um agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e um ligante Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP), obtido da destilação fracionada do petróleo (BALBO, 2007), é um dos mais utilizados nas rodovias e vias públicas urbanas (JAHANIAN, SHAFABAKHSH; DIVANDARI (2017).

O objetivo deste estudo é descrever o processo de restauração asfáltica utilizando o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) no recapeamento de via asfáltica, no Gavião Peixoto - Nova Pauliceia – Nova Europa, localizado no interior do Estado de São Paulo.

Foi realizada pesquisa bibliográfica e estudo de caso na via trecho Gavião Peixoto - Nova Pauliceia – Nova Europa, pesquisa de abordagem qualitativa, exemplo de recapeamento ocorrido na Estrada que liga Gavião Peixoto - Nova Pauliceia – Nova Europa com obras e término previsto das obras em 25 de abril de 2023.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta uma breve conceituação de pavimento, asfalto e CBUQ e estudos correlatos. Seguindo do Método utilizado no estudo, Resultados e Considerações finais.

2.1 Pavimento

Pavimento é um sistema em camadas ou seja, consiste na construção de uma estrutura superior formada através de camadas de espessuras limitadas, colocadas sobre um espaço parcialmente considerado infinito, que é a base de suporte conhecida como subleito (IPR, BRASIL, 2006), uma estrutura resultante de serviços de terraplanagem (SANTANA, 1993 *apud* MARQUES, 2010) construída com vários materiais com diferentes características de resistência e deformidade, podendo envolver cálculos de tensões e deformações (SOUZA, 1980 *apud* MARQUES, 2010), que tem como função o fornecimento de segurança e conforto aos usuários, com qualidade e mínimo custo, portanto, conhecer os tipos de pavimentos auxilia na escolha do pavimento ideal a ser utilizado, devendo ser levado em conta aspectos como topografia, aspectos técnicos de execução e manutenção, disponibilidade de materiais, condições ambientais, custo, dentre outros elementos (MESQUITA, 2008).

Na escolha do tipo de pavimento, o profissional “[...] deverá atentar para o caráter funcional das vias, ao caráter técnico dos materiais e ao caráter econômico-social [...]” (MESQUITA, 2008, p. 40).

Quanto a sua classificação, o pavimento pode ser flexível, rígido ou semirrígido:

- a) Pavimento flexível - construído por camadas que não trabalham a tração, ou sejam, todas as camadas sofrem deformação elástica sob o carregamento aplicado, desta forma a carga é distribuída em parcelas equivalentes entre as camadas, como exemplo temos o pavimento construído por uma base de brita (graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso revestido com uma camada asfáltica (BRASIL, 2006). Segundo Marques (2010) é normalmente constituído de revestimento betuminoso delgado sobre camadas puramente granulares.
- b) Pavimento rígido – corresponde a uma base cimentada por um aglutinante com propriedade cimentícias, a exemplo deste tipo de pavimento tem-se o construído por uma camada de solo cimento revestido por uma asfáltica (BRASIL, 2006). Marques (2010) afirma que este tipo de pavimento trabalha essencialmente a tração. Sua dimensão baseia-se na resistência das propriedades de placas de concreto de cimento que são apoiadas e, uma camada de transição – a sub-base. A espessura é determinada com base na resistência à tração do concreto. Segundo Rocha (2020, p. 1) “[...] embora de maior custo, possui maior vida útil e exige menor interferência de recuperação e manutenção pesada nas vias, com conseqüente redução de interrupções;”
- c) Pavimento semirrígido – corresponde ao intermediário entre o pavimento flexível e o rígido, tem como característica uma base cimentada por algum aglutinante com propriedade cimentícias, ou seja, uma camada de solo cimento revestida por uma asfáltica. Medina e Motta (2015) consideram que o fato de ter uma base cimentada sob o revestimento betuminoso já define o pavimento como semirrígido.

Portanto, com base nas definições dos tipos, tanto o pavimento flexíveis quanto o semirrígidos possuem revestimento a base de materiais betuminosos e os pavimentos rígidos são obtidos com a utilização de concreto. Além do conhecimento deste fator, é preciso considerar a intensidade do tráfego, as propriedades geotécnicas da região e a interface com o sistema de drenagem superficial, ou seja, quanto a execução do dimensionamento do pavimento, diversos fatores devem ser considerados, tais como volume de tráfego, carga incidente e vida útil pretendida. Quando da determinação do pavimento projetada, é preciso levar em conta custos de manutenção, disponibilidade de materiais próximo à obra e variação térmica do local. Essas variáveis impossibilitam determinar uma regra de melhor pavimento a ser utilizada em cada via, assim, é possível afirmar que o melhor pavimento é o projetado e executado conforme as normas e especificações (ROCHA, 2020), o que leva a compreender que cada obra requer um estudo específico na escolha do pavimento a ser empregado.

2.2 Asfalto

O asfalto é um produto de refinarias obtido através da destilação fracionada, na qual o óleo bruto é aquecido e suas frações mais leves (gasolina, querosene, gasóleo) retiradas, e o material que permanece no fundo da torre de destilação são os produtos asfálticos, que recebe uma quantidade da nafta pesada, extraída anteriormente, para adquirir as propriedades estipuladas pela ANP produzindo o cimento asfáltico de petróleo (CAP) (BRASIL, 2020).

A denominação CAP (de 90 a 95% de hidrocarbonetos e de 5 a 10% de heteroátomo) designa o produto semissólido a temperaturas baixas, viscoelástico à temperatura ambiente e líquido a altas temperaturas (BERNUCCI *et al.* 2010).

O asfalto tem cor escura e apresenta-se na forma sólida ou semissólida, composto por asfaltenos, resinas e hidrocarbonetos pesados, tendo o betume como maior componente o qual apresenta propriedades aglutinadoras. O cimento asfáltico, um dos componentes da nomenclatura asfalto, tem sua utilização na engenharia rodoviária como revestimento (BRASIL, 2020).

Quanto aos tipos de asfalto, os principais são: 1) CAP, já mencionado anteriormente, constitui a parte de rolamento das estradas, presente no Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ), considerado de alto padrão; 2) Asfalto Diluído de Petróleo (ADP) empregado na impermeabilização da base onde será feito o pavimento; 3) Emulsão Asfáltica presente na camada de rolamento assim como CAP, empregada no tratamentos superficiais, microasfalto e as lamas asfálticas; 4) Asfalto comum, composto de betume, areia brita e pó de pedra, um dos mais comuns, empregado em ruas residenciais de pouco e leve tráfego; 5) Asfalto de borracha opção sustentável, composto por fragmentos de pneus usados, apresentando características de resistência e flexibilidade, com menor custo de produção, tendo em vista ser um produto reciclado; 6) Asfalto verde composto por óxido de titânio que permite absorver quase 50% da poluição do ar, permeável, auxilia na diminuição de enchentes e alagamentos de rodovias; 7) Asfalto poroso formado por uma mistura de asfalto com pedras pequenas, possibilitando armazenamento da água da chuva que poderá ser captada e reutilizada para alguns fins (WASAKI ENGENHARIA, 2023).

2.3 Misturas usinadas: Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ

Há dois grupos específicos de mistura asfáltica: a quente e pré misturadas. As misturas pré misturadas a frio emprega as emulsões asfálticas como litigante para envolver os agregados, proporcionados de forma a atender requisitos de arranjo do esqueleto mineral, propriedades volumétricas e de resistência mecânica especificadas, realizadas sem aquecimento dos agregados (BERNUCCI *et al.* 2010). E as misturas asfálticas a quente, foco deste estudo.

Um dos tipos de mistura mais utilizados no Brasil é o concreto asfáltico (CA) ou concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) como também é denominado. Jahanian, Shafabakhsh e Divandari (2017) creditam a essa alta utilização por ter o CBUQ alto desempenho de resistência. Já para Mesquita (2008, p. 40), “Os pavimentos flexíveis ou asfálticos - revestidos com materiais asfálticos ou betuminosos - são comumente utilizados no Brasil, mas podem não ser necessariamente a solução mais econômica e tecnicamente viável em todos os casos.”

O CBUQ é o resultado da mistura de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico, aquecidos em temperaturas estabelecidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante, e devido a seu controle tecnológico requer ser produzido em usina apropriada. Tem como função impermeabilizar e conferir acabamento nivelado e resistente (BALBO, 2007). Essa resistência se dá desde que selecionados os materiais e dosados adequadamente, que pode ser convencional, no qual a CAP e agregados aquecidos, segundo a especificação DNIT-ES 031/2004; e especial quanto ao ligante asfáltico, com asfalto modificado por polímero ou com asfalto-borracha; com asfalto duro, misturas de módulo elevado (*enrobé à module élevé* – EME).

Quanto a classificação de misturas asfálticas a quente, podem ser em grupos específicos em função da granulometria dos agregados e *filler* (material de enchimento), em destaque três tipos mais usuais, a graduação densa, aberta e descontínua.

Quanto a composição, o CBUQ tem cimento asfáltico, agregado graúdo e miúdo, e *filler*. O CA recebe classificação conforme sua resistência à penetração e viscosidade; o agregado graúdo pode ser britada (preferencialmente), seixo rolado, escória ou algum outro material; o agregado miúdo pode ser areia, pó-de-pedra, mistura de ambos ou outro material indicado em especificações complementares; e por fim, o material de enchimento, que deve seguir a norma DNER-EM 367 na qual cimento Portland, cal extinta, pós calcários, cinza volante, entre outros, são divididos e limpos, retirando torrões de argila e impurezas.

Os usos do CBUQ variam de acordo com três diferentes faixas granulométricas dos agregados (A, B e C), possibilitando seu uso como camada de ligação ou camada de rolamento.

Segundo Bernucci *et al.* (2010) as misturas asfálticas a quente podem ser utilizadas em pavimentos de baixo a muito elevado tráfego, sendo os tipos especiais a matriz pétreo asfáltica ou *stone matrix asphalt* (SMA) e camada porosa de atrito (CPA) colocadas sobre outra camada de concreto asfáltico ou de outro material.

A quantidade de partículas não pode ser muito elevada, pois requer de espaços entre elas para após a compactação de 3% a 5% (camada de contato direto com os pneus dos veículos) ou 4 a 6% (camada subjacente à de rolamento), essa condição se dá graças ao arranjo das partículas com graduação bem graduada. Sem o volume de vazios as misturas asfálticas deixam de ser estáveis ao tráfego ocorrendo uma deformação (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Outra característica é a sensibilidade à variações no teor ligante, podendo ocorrer deformações permanentes ou ter sua macrotextura superficial fechada por conta de um pequeno acréscimo de ligante. Mas, essa sensibilidade pode ser reduzida tornando o CBUQ mais durável e resistente, isso trocando o ligante convencional por um modificado por polímero (DNER-ES 385/99) ou por asfalto-borracha (DNIT 112/2009- ES) (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Quanto à vantagem do CBUQ, pode-se relacionar sua capacidade de transmitir a carga para as camadas inferiores, apresenta resistência a atrito e fricção do tráfego; impermeabilização do pavimento; boa durabilidade, custo de aplicação moderado, conforme a distância da usina asfáltica a ser aplicado; pode ser aplicado a frio e estocado quando utilizados aditivos químicos (CARNEIRO; VIEIRA, 2019; SENÇO, 2008).

Balbo (2007) acrescenta como vantagens a baixa desagregação; rápida aplicabilidade; estética apresentável; conforto com redução de ruídos no tráfego dos veículos; liberação imediata do tráfego logo após a execução da pavimentação; envelhecimento lento; e não exige grande tempo de cura.

Como desvantagens relacionam-se o fato de requerer de maquinários específicos para aplicação, não permite estocagem após preparo, sua cor escura dificulta a visibilidade noturna, alto custo de manutenção, agride o meio ambiente, alta temperatura pode deformar, e quando o litigante asfáltico entra em contato com graxa, óleo ou combustível dos veículos que trafegam pelas vias, ocorre o processo de oxidação, que por sua vez enfraquece o material ligante, e por fim, não pode ser aplicado em dias chuvosos (CARNEIRO; VIEIRA, 2019; SENÇO, 2008).

2.4 Estudo correlatos

Estudos de Alvarez, Martin e Estakhriet (2011); Hagos *et al.* (2008) e Dietz, (2007) constataram que a durabilidade do CBUQ é maior que a do CPA, devido ao seu alto teor de vazios e também destacaram este ponto como sendo o mais fraco para a tecnologia.

Souza, Sousa e Kato (2015) demonstraram o desempenho do CBUQ quando da adição de rejeito da mineração do cobre em sua composição, substituindo a areia (jazida de Nova Timboteua) pelo rejeito (jazida Ourém), constatando uma melhora significativa nos parâmetros Marshall (estabilidade e a fluência de misturas betuminosas de asfalto), principalmente na redução do teor de CAP, fato este devido às características granulométricas do rejeito, pois sua finura superior à areia utilizada possibilitou maior fechamento dos vazios na massa, redução da relação betume vazio e da porcentagem de vazios da massa asfáltica, promovendo a durabilidade do pavimento. Portanto, os benefícios pontuados foram: benefício tecnológico: redução do teor de vazios; benefício ambiental: consumo do rejeito gerado pela mineração; e benefício econômico: redução do teor de CAP nas misturas asfálticas.

O uso de areia no CBUQ também foi relatado por Bhaedwaj e Kumar (2017); Dyer e Lima (2022) e Dyer *et al.* (2018; 2023), nos quais demonstraram que o reuso em CBUQ mostrasse a melhor alternativa ao descarte. Além de tecnicamente viável a prática produz um CBUQ 19% mais econômico (SUJI, POOVENDRAN, PRABHAKAR, 2016).

Ainda no quesito custo, Shu *et al.* (2017) constataram que o CBUQ era 42% menor que da CPQ, já para Watson, Moore e Gu (2018) a porcentagem foi de 25% menos do CPA. Miranda *et al.* (2022) constataram que a distância geográfica dos fornecedores de insumos asfálticos, encarece os custos de produção destes serviços, desta forma, a distância dos fornecedores de insumos asfálticos é o maior responsável pelos altos custos financeiros verificados no serviço de pavimentação.

Estudo de Santos (2018) utilizaram o CBUQ reciclado (ligante CAP 50-70 modificado por polímero SBS 60-85 com recuperação elástica mínima de 85%) em usina fixa buscando dar uma destinação correta ao resíduo de fresagem na confecção de nova mistura, indicada na reposição de áreas fresadas, em melhoramentos nos ramos e alças de interseções e no acostamento de alguns segmentos localizados próximo ao Canteiro / Usina de Asfalto, possibilitando um aumento da vida útil de uma rodovia recuperada, evitando a ocorrência de novas degradações.

Pereira do Nascimento *et al.* (2022) constataram que no quesito elemento drenante, a CPA é uma técnica que atinge o objetivo de manter o revestimento sem acúmulo de água da chuva, evitando, assim, a aquaplanagem de veículos.

3 METODOLOGIA

Foi realizada pesquisa bibliográfica, descritiva e estudo de caso. A pesquisa descritiva descreve, classifica e interpreta o objeto estudado, valendo-se de técnicas sistematizadas e rigorosas que podem ir além de identificar variáveis, analisando detalhadamente fatos e fenômenos (GIL, 2007).

A metodologia qualitativa produz dados descritivos que ajudam na interpretação, usando métodos de transcrição e decodificação, analisando tendências entre os temas, além de se posicionar proativamente, inclusive na criação de novas teorias, dando suporte e melhorando o recorte da pesquisa, usando o método indutivo, que podem então ser testada com pesquisas futuras ou, com os dados coletados já disponíveis fornecer elementos para que sempre que necessário o pesquisador possa voltar ao ponto inicial jogando nova luz ao conteúdo já coletado (CHIZZOTTI, 1995).

E o estudo de caso conforme Yin (2015), apresenta algumas características: obtenção de dados que possam caracterizar e explicar em detalhes aspectos do estudo; busca de conhecimento; e requer do pesquisador capacidade de integrar, reunir e interpretar aspectos do objeto pesquisado.

A pesquisa se desenvolveu em duas etapas: a) Pesquisa bibliográfica; b) estudo de caso com base no reconhecimento e registros fotográficos do cenário do estudo; análise de possíveis melhorias a serem implantadas com base no aprendizado dos estudos descritos na seção Fundamentação; discurso, análise e registros da restauração do pavimento, em execução no mês de março de 2023 .

O Projeto de restauração de pavimento asfáltico com (CBUQ) é localizado no trecho que liga Gavião Peixoto - SP - Nova Pauliceia – SP – Nova Europa - SP. A Estrada tem 11200 metros de extensão e 7 metros de largura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo de caso realizado na via Gavião Peixoto - SP - Nova Pauliceia – SP – Nova Europa – SP

O estudo descreve o procedimento de restauração de pavimento (CBUQ) desgastado com o tempo. Foram realizadas:

Etapa 1 - Fresagem - O equipamento utilizado foi a fresadora para corte e desbaste de uma camada do pavimento asfáltico para produzir uma superfície de textura uniforme, isentando a superfície de saliências diferenciadas, sulcos contínuos e imperfeições. Foi executado serviços de fresagem no pavimento desgastado na espessura definida no projeto. Antes de ser executado esse serviço, o local foi sinalizado para segurança do usuário. O material fresado foi jogado pela fresa em cima do caminhão basculante e transportado ao local definido pela empresa (Figura 1).

Figura 1 – Processo de recapeamento - fresagem



Fonte: Próprio autor.

Etapa 2 – Limpeza mecânica - A segunda etapa foi a limpeza mecânica, executando o serviço de limpeza e retirada do material pulverulento da pista do local através do equipamento soprador mecânico para posteriormente execução do serviço da imprimadura ligante (Figura 2).

Figura 2 – Processo de recapeamento - Limpeza mecânica



Fonte: Próprio autor.

Etapa 3 - Imprimação - Na sequência ao serviço de limpeza do local, é executado o serviço de aplicação da imprimadura ligante, que faz a ligação entre o pavimento antigo e a aplicação da massa asfáltica (CBUQ), que será aplicada através do equipamento caminhão espargidor, nesse caso especificamente executado manualmente. A imprimação asfáltica impermeabilizante trata-se da aplicação de uma fina película de material betuminoso sobre uma superfície granular concluída de uma das camadas do pavimento, para impermeabilizar a camada inferior e aumentar a aderência com a camada superior (Figura 3).

Figura 3 – Processo de recapeamento - Imprimação



Fonte: Próprio autor.

Antes da aplicação da massa asfáltica foi verificado a temperatura da mesma (Figura 4) pontuando 151°C. Essa temperatura deve estar entre 140 e 160 graus Celsius para qualidade e melhor trabalhabilidade da massa asfáltica.

Figura 4 – Verificação da temperatura



Fonte: Próprio autor.

Realizado o serviço de imprimadura ligante foi executado a aplicação da massa asfáltica (CBUQ) espessura de 4 cm pelo equipamento Vibroacabadora. Nessa fase o operador controlou a espessura definida em projeto através da regulagem da mesa da vibroacabadora.

Após a aplicação da massa asfáltica feita pela vibroacabadora, foram executados os serviços de compactação da mesma (eliminação dos vazios). São utilizados os equipamento rolo de pneu e rolo chapa que dá, além da compactação, o acabamento da massa asfáltica melhorando o conforto e segurança do usuário da pista.

Após o serviço ser concluído, em torno de 15 dias fez-se a conferência para retirada do corpo de prova (Figura 5). O corpo de prova foi levado para laboratório para análise da qualidade da massa aplicada e também sua composição representada pelos gráficos. Na qualidade da massa, foram verificados o teor de betumem e a granulometria. Com as análises foi obtido resultados que estavam de acordo com as normas do Departamento de Estrada e Rodagem(DER).

As figuras e gráficos abaixo retratam o processo conforme etapas descritas.

Figura 4 – Processo de recapeamento - Conferência para retirada do corpo de prova



Fonte: Próprio autor.

As tabelas 1, 2 e 3 representam a composição do CBUQ utilizado neste projeto.

A tabela 1 fornece informações sobre a origem dos materiais utilizados na mistura asfáltica, juntamente com a porcentagem de cada material na composição.

Tabela 1 - Composição da mistura e granulometria dos agregados combinado

COMPOSIÇÃO DA MISTURA		DOSAGEM GRANUL.
ORIGEM	MATERIAL	(%)
PEDREIRA SANTA ISABEL - JARDINÓPOLIS	BRITA 1 - PEDREIRA SANTA ISABEL	18,0
PEDREIRA SANTA ISABEL - JARDINÓPOLIS	PEDRISCO - PEDREIRA SANTA ISABEL	36,5
PEDREIRA SANTA ISABEL - JARDINÓPOLIS	AREIA ARTIFICIAL - PEDREIRA SANTA ISABEL	28,0
PEDREIRA SANTA ISABEL - JARDINÓPOLIS	PÓ H 4000	14,0
MINERAÇÃO BELOCAL - LIMEIRA MG	CALCÁRIO - BELOCAL	2,0
DIAMANTE IND. E COMERCIO - COLOMBO PR	CAL CH1 - DIAMANTE	1,5

Fonte: Próprio autor.

A tabela 2 apresenta dados relacionados ao tamanho dos agregados utilizados na mistura asfáltica. Essa tabela é crucial para garantir que os agregados estejam dentro dos limites desejados para criar uma mistura asfáltica com características específicas, como durabilidade e desempenho adequado em pavimentação.

Tabela 2 - Granulometria dos agregados combinado

GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS COMBINADOS							
PENEIRA	(mm)	OBTIDO	FAIXA DE TRABALHO		LIMITES	ESPECIFICAÇÃO	
3/4"	19,10	100,0	93,0	100,0	±7	100	100
1/2"	12,70	90,1	83,1	97,1	±7	90	100
3/8"	9,50	79,7	72,7	86,7	±7	70	90
Nº 4	4,76	53,4	48,4	58,4	±5	44	72
Nº 10	2,00	34,7	29,7	39,7	±5	22	50
Nº 40	0,42	13,6	8,6	18,6	±5	8	26
Nº 80	0,18	10,1	7,1	13,1	±3	4	16
Nº 200	0,074	6,5	4,5	8,5	±2	2	10

Fonte: Próprio autor.

A tabela 3 contém uma série de valores relacionados a várias propriedades e características da mistura asfáltica. Esses valores são essenciais para avaliar a qualidade e o desempenho da mistura asfáltica. Eles fornecem informações cruciais para garantir que a mistura atenda aos padrões de qualidade e durabilidade desejados.

Tabela 3 – Teor ótimo

VALORES ENCONTRADOS PARA TEOR ÓTIMO DE ASFALTO	OBTIDOS	MIN.	MAX.
DENSIDADE DO ASFALTO	1,009	-	-
DENSIDADE APARENTE DA MISTURA COMPACTADA	2,536	-	-
DENSIDADE TEÓRICA DA MISTURA	2,642	-	-
TEOR DE VAZIOS	4,0%	3,0%	5,0%
VAZIOS CHEIOS DE BETUME (V.C.B.)	11,0%	-	-
VAZIOS DO AGREGADO MINERAL (V.A.M.)	15,0%	13,0%	-
RELAÇÃO BETUME / VAZIOS (R.B.V.)	73,3%	65,0%	80,0%
ESTABILIDADE MARSHALL (kN) - NBR 12891	12,2	8,0	-
FLUÊNCIA (mm) - NBR 12891	3,1	2,0	4,5
TEOR ÓTIMO DE ASFALTO (%)	4,66%	4,36%	4,96%
RELAÇÃO FILLER/BETUME	1,07	0,60	1,20
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (MPa)	1,27	0,80	-

Fonte: Próprio autor.

A tabela 4 descreve várias características e propriedades relacionadas à mistura asfáltica ou traço indicado em um projeto de pavimentação.

Tabela 4 – Características do traço indicado

CARACTERÍSTICAS DO TRAÇO INDICADO			
DESCRIÇÃO DO ENSAIO	PROJETO	MÍNIMO	MÁXIMO
PORCENTAGEM DE VAZIOS (%VV)	4,0%	3,0%	5,0%
RELAÇÃO BETUME / VAZIOS (R.B.V)	73,3%	65,0%	80,0%
VAZIOS DO AGREGADO MINERAL (V.A.M.)	15,0%	13,0%	-
ABSORÇÃO DE CAP	0,30%	-	-
ESTABILIDADE (KN)	12,2	8,0	-
FLUÊNCIA (0,01")	3,10	2,0	4,0
RELAÇÃO FILLER / LIGANTE	1,07	0,6	1,2
CONSUMO DE CAP POR M ³ DE MASSA (kg/m ³ compactado)	118,2	100,0	-
RESISTENCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL -(MPa)	1,27	0,8	-

Fonte: Próprio autor.

Essas características são fundamentais para definir as especificações da mistura asfáltica e garantir que ela atenda aos requisitos de desempenho e durabilidade.

5 CONCLUSÃO

O estudo realizado proporcionou a constatação de que o recapeamento da via utilizando Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ) tem como principal objetivo a restauração das condições superficiais do revestimento, com o desprendimento controlado de parte dos agregados. Essa abordagem visa fortalecer o revestimento por meio da aplicação de uma camada adicional de massa asfáltica, resultando em melhorias significativas nas condições de conforto durante o deslocamento dos usuários. Simultaneamente, essa intervenção desempenha um papel crucial na preservação e aprimoramento da estrutura do pavimento.

Os serviços essenciais relacionados a esse tipo de intervenção englobam uma série de atividades. Incluem a execução de reparos localizados, tanto superficiais quanto profundos, com a possibilidade de realizar selagem de trincas e/ou operações de tapa-buracos conforme necessário. Além disso, o processo envolve a aplicação de pintura de ligação, que desempenha um papel fundamental na aderência eficiente entre as camadas de revestimento. O recapeamento propriamente dito é realizado com a aplicação de uma camada de 5,0 cm de Concreto Betuminoso Usinado à Quente, proporcionando uma solução duradoura e eficaz para a restauração das condições da via.

Portanto, a intervenção proposta não apenas visou melhorar as condições superficiais do pavimento, mas também buscou assegurar a segurança e o conforto dos usuários, ao mesmo tempo em que contribuiu para a preservação e fortalecimento da estrutura do pavimento existente.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, A. E.; MARTIN, A.; C. ESTAKHRIET, C. A review of mix design and evaluation research for permeable friction course mixtures. **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 25, n. 3, p. 1159-1166, mar. 2011. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.038> Access: 9 mar. 2023.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica - materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica : formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro : PETROBRAS: ABEDA, 2010.
- BHARDWAJ, B.; KUMAR, P. Waste foundry sand in concrete: a review. **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 156, p. 661-674, 2017. Available: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.010> Access: 19 mar. 2023.
- BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, asfalto. **Asfalto** 09 nov. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/asfalto> Acesso em: 9 mar. 2023.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2006.
- CARNEIRO, M. V.; VIEIRA; S.W.S. **Análise comparativa entre os pavimentos de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e blocos intertravados de concreto, e o mais viável para as vias não pavimentadas de Macapá – AP**. orientador, Regis Brito Nunes; coorientador, Edy Carlos Santos da Silva. 2019. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2019. Disponível em: https://www2.unifap.br/engcivil/files/2020/01/MODELO-FINAL-TCC_Modificado-pelo-Orientador_12-pages-deleted-merged.pdf Acesso em: 27 mar. 2023.
- CARVALHO, F. S.; MACHADO, A. A. S.; ARAÚJO, P. H. C.; BERNUCCI, L. L. B.; QUINTANILHA, J. A. Safety effects of pavement resurfacing: A Brazilian experience. **Case Studies on Transport Policy**, London, v. 9, n. 4, p. 1860-1867, Dec. 2021, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213624X21001681> Access: 9 mar. 2023.
- CHIZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2000.
- DIETZ, M. Low Impact Development Practices: a review of current research and recommendations for future directions. **Water, Air, And Soil Pollution**, Switzerland, v. 186, n. 1-4, p. 351- 363, 5 set. 2007. Springer Science and Business Media LLC.CBUQ
- DYER, P. O. L.; LIMA, M. G. Waste foundry sand in hot mix asphalt: a review. **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 359, 2022. Available: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129342> Access: 19 mar. 2023.
- DYER, P. P. O. L.; KLINSKY, L. M. G.; COPPIO, G. J. L.; SILVA, S. A.; LIMA, M. G. A viabilidade técnica e econômica na produção de artefatos de concreto contendo ADF como agregado.

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 60., 2018, Foz do Iguaçu. [Anais ...]. Foz do Iguaçu: IBRACON, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/351038172_A_Viabilidade_tecnica_e_economica_na_producao_de_artefatos_de_concreto_contendo_ADF_como_agregado The technical and economic viability in the production of concrete artifacts containing WFS as an aggr Acesso: 19 mar. 2023.

DYER, P. P.O. L.; COPPIO, G. J. L.; CIVIDANES, L. S. SILVA, S. A. SOUSA JUNIOR, W. C.; LIMA, M. G. A economia na utilização de areia descartada de fundição na construção civil: estudo de caso na cidade de João Pessoa, Paraíba. **Revista Principia**, Paraíba, Early View, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/7216/2210> Acesso em: 29 mar. 2023.

EVANS, L. **Traffic Safety**. Bloomfield Hills: Science Serving Society, 2004.

FLINTSCH, G. W., MCGHEE, K. K., IZEPPI, E. L., NAJAFI, S., 2012. **The little book of tire pavement friction**: Pavement Surface Properties Consortium. Available: <https://depobeta.com/the-little-book-of-tire-pavement-friction-pavement-surface-properties-consortium.html> Access: 9 mar. 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HAGOS, E. T.; MOLENAAR, A. A. A.; VAN DE VEN, M. F. C.; VOSKUILEN, J. L. M. (2007). Durability related investigation into porous asphalt. In: LOIZOS, A.; SCARPAS, T.; AL-QADI, I. (Eds.). **Advanced characterisation of pavement and soil engineering materials**. Athens: Taylor and Francis, 2007. p. 713-727. Available: <https://www.asfaltblij.nl/media/1571/hagos-durability-porous-asphalt.pdf> Access: 9 mar. 2023.

HALL, J. W., SMITH, K. L., TITUS-GLOVER, L., WAMBOLD, J. C., YAGER, T. J., RADO, Z. **Guide for pavement friction**. National Cooperative Highway Research Program NCHRP Web-Only Document 108, Final Report for NCHRP Project 01-43, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, USA, 2009. 257p.

JAHANIAN, H. R.; SHAFABAKHSH, G.; DIVANDARI, H. Performance evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) containing bitumen modified with Gilsonite. **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 131, p. 156-164, 2017. Available: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.069> Access: 12 mar. 2023.

LEDEN, L. HÄMÄLÄINEN, O. MANNINEN, E. The Effect of Resurfacing on Friction, Speeds and Safety on Main Roads in Finland. **Accident Analysis & Prevention**, v. 30, n. 1, p. 75-85, 1998. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000145759700064X> Access: 9 mar. 2023.

MARQUES, G. L. O. **Notas de aula da disciplina pavimentação**. Versão: 06.2, 210 p. Juiz de Fora, MG. 2010. Disponível em: <https://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf> Acesso em: 28 mar. 2023.

MAYORA, J. M. P.; PIÑA, J. An assessment of the skid resistance effect on traffic safety under wet-pavement conditions. **Accident Analysis & Prevention**, v. 41, n. 4, p. 881-886, 2009. Available: [10.1016/j.aap.2009.05.004](https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.05.004) Access: 9 mar. 2023.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos pavimentos**. 3 ed. Rio de Janeiro-RJ, Editora Interciência, 2015.

MESQUITA, A. P. **Parcelamento do solo urbano e suas diversas formas**. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008.

MIRANDA, AN.; OLIVEIRA, D. de.; SOLIANI, RD.; LIMA JÚNIOR, FB de.; FREITAS, CG de. Análise da produção de asfalto no Estado do Acre: um estudo de caso. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, Itajubá, v. 11, n. 14, p. e180111436210, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i14.36210. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/36210> Acesso em: 28 mar. 2023.

MOTTA, L. M. G.; FRANCO, F. A. C. P. **Método medina: conceitos e ferramentas**, 2021. [Slides], Disponível em: https://www.der.pr.gov.br/sites/der/arquivos_restritos/files/documento/2021-02/infrashow2_Motta_Franco.pdf Acesso em: 23 mar. 2023.

PEREIRA DO NASCIMENTO, F. MELLO, F. C.; GOMES, . C. C.; LEMOS, M. K. Estudo comparativo entre camada porosa de atrito e concreto betuminoso usinado à quente. In: **SIMPÓSIO DE PESQUISA E DE PRÁTICAS PEDAGÓGICAS DO UGB**, Volta Redonda - RJ, n. 10, abr. 2022. Disponível em: <http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/simposio/article/view/2490> Acesso em: 28 mar. 2023.

ROCHA, C. **Tipos de pavimentos para vias públicas**: Estudo específico de cada obra é fundamental na escolha do pavimento. 8 abr. 2020. Disponível em: <https://www.mapadao-bra.com.br/negocios/tipos-de-pavimentos/#:~:text=Os%20tipos%20de%20pavimentos%20s%C3%A3o,com%20a%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20concreto>. Acesso em: 23 mar. 2023.

SANTOS, C. R. G. **Dimensionamento e análise de ciclo de vida de pavimentos rodoviários: uma abordagem probabilística**. Orientador: Liede L. B. Bernucci, 2011. 263 F. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-25082011-140705/publico/Tese_Caio_R_G_Santos.pdf

SANTOS, M. L. C. **Patologia em pavimentos flexíveis e sua recuperação**: Concreto Betuminoso Usinado a Quente(CBUQ). Orientador: Gilberto Fernandes. 2018. 48 f. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura e Bacharelado em Engenharia civil)-Centro Universitário do Cerrado Patrocínio, Patrocínio, MG, 2018. Disponível em: <https://www.unicerp.edu.br/ensino/cursos/engenhariacivil/monografias/2018/PATOLOGIAEMPAVIMENTOSFLEXIVEIS.pdf> Acesso em: 15 mar. 2023.

SENÇO, W. D. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini, 2008.

SHU, X.; HUANG, ; SONG, W.; ONYANGO, M. A. **Optimize Application of Open Graded Friction Courses (OGFC) in Tennessee**. Knoxville: Tennessee Department Of Transportation, 2017. Available: https://www.tn.gov/content/dam/tn/tdot/long-range-planning/research/final-reports/res2013-final-reports/RES2013-34_final%20report_approved.pdf Access: 19 mar. 2023.

SILVEIRA, L. F. C.; ROCHA, V. B. P.; PADULA, F, R, G. Estado da arte e análises quanto à aplicação de CPA (camada porosa de atrito) como revestimento drenante para rodovias no Brasil. In: FLUIDOS - SIMPÓSIO NACIONAL DE MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA, 1., Ouro Preto, MG, 2022. [Anais...]. Ouro Preto, MG, 2022. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13877> Acesso em: 12 mar. 2023.

SOUZA, J. A.; SOUSA, J. M.; KATO, R. B. Análise do Desempenho de Concreto Betuminoso Usinado à Quente com Adição de Rejeito da Mineração do Cobre Segundo os Parâmetros Marshall. **E&S Engineering and Science**, Cuiabá, Mato Grosso, v. 4, n. 2, p. 3-12, 2015. Available: <https://doi.org/10.18607/ES201543168> Access: 12 mar. 2023.

SUJI, D.; POOVENDRAN, S.; PRABHAKAR, P. Experimental study on partial replacement of waste foundry sand in flexible pavements. *International Journal of Civil and Structural Engineering Research*, v. 4, n. 1, p. 188-197, 2016. Available: <https://www.research-publish.com/papers/experimental-study-on-partial-replacement-of-waste-foundry-sand-in-flexible-pavements> Access: 12 mar. 2023.

WASAKI ENGENHARIA. Os vários tipos de asfalto e suas aplicações 2023. Disponível em: <https://www.infrabrasil.net.br/en/conheca-os-varios-tipos-de-asfalto-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 13 mar. 2023.

WATSON, D.; MOORE, J. ; GU, F. Evaluation of the benefits of Open Graded Friction Course (OGFC) on NDOT Category-3 Roadways. Carson City: Nevada Department of Transportation, 2018 WEF. Quality of road infrastructure. 2019. Available: <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/36219> Acesso em: 13 mar. 2023.

YASANTHI, R.G.N., MEHRAN, B., 2020. Modeling free-flow speed variations under adverse road-weather conditions: Case of cold region highways. **Case Studies on Transport Policy**, London, v. 8, n. 1, p. 22-30, 2020. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.01.003> Access: 9 mar. 2023.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.