

DIRETRIZES PARA REVITALIZAÇÃO DE RODOVIAS: UMA ABORDAGEM DE BAIXO CUSTO COM MATERIAIS LOCAIS E SUSTENTÁVEIS

MARIA DO ALÍVIO SILVA RIBEIRO¹, KATTYLINNE DE MELO BARBOSA²

¹Eng^a Civil, Comissão Regional de Obras da 12^a Região Militar, Manaus-AM, m.ribeiroec@gmail.com;

²Dr^a. em Engenharia de Transportes, Prof. Adj. EST/UEA, Manaus-AM, kdbarbosa@uea.edu.br.

Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
06 a 09 de outubro de 2025.

RESUMO: Este trabalho objetivou identificar e propor um conjunto de medidas mitigadoras de baixo custo para a revitalização de pavimentos asfálticos nas rodovias estaduais do Amazonas. Visou-se o reconhecimento de técnicas que utilizam insumos locais e sustentáveis, com execução *in loco* e sem a necessidade de ensaios laboratoriais complexos. Na metodologia, foi realizado um levantamento bibliográfico das patologias de pavimentação mais comuns na região amazônica e das técnicas de reparo de baixo custo adaptáveis a essa realidade, incluindo o uso de materiais alternativos. Os resultados demonstram que a aplicação de técnicas como o tapa-buracos com emulsão asfáltica e agregados locais (seixo de rio), a selagem de trincas, o uso de solo-cimento para reparos de base e a capacitação de equipes de manutenção locais apresentam grande potencial. Conclui-se que a adoção de um programa de manutenção focado em soluções simples e adaptadas à realidade local pode prolongar a vida útil dos pavimentos e garantir a trafegabilidade das rodovias com um investimento reduzido.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção rodoviária, materiais sustentáveis, revitalização asfáltica.

GUIDELINES FOR HIGHWAY REVITALIZATION: A LOW-COST APPROACH WITH LOCAL AND SUSTAINABLE MATERIALS

ABSTRACT: This work aimed to identify and propose a set of low-cost mitigation measures for the revitalization of asphalt pavements on state highways in Amazonas. The goal was to recognize techniques that use local and sustainable materials, with on-site execution and without the need for complex laboratory tests. The methodology involved a literature review of the most common pavement pathologies in the Amazon region and low-cost repair techniques adaptable to this reality, including the use of alternative materials. The results show that the application of techniques such as pothole patching with asphalt emulsion and local aggregates (river gravel), crack sealing, the use of soil-cement for base repairs, and the training of local maintenance teams presents great potential. It is concluded that adopting a maintenance program focused on simple solutions adapted to the local reality can extend the service life of pavements and ensure the trafficability of highways with a reduced investment.

KEYWORDS: Road maintenance, sustainable materials, asphalt revitalization.

INTRODUÇÃO

As rodovias estaduais do Amazonas operam sob alta pluviosidade anual (tipicamente >2.000 mm em Manaus), o que acelera infiltração de água, perda de textura e evolução de defeitos quando a drenagem e a impermeabilização superficial são insuficientes (INMET, 2020). Aliada a um solo predominantemente argiloso e à escassez de agregados pétreos de alta qualidade, o resultado é a deterioração acelerada dos pavimentos asfálticos. Este cenário é agravado pelo alto custo logístico para o transporte de matérias-primas convencionais, o que torna as obras rodoviárias extremamente onerosas (Liedke et al., 2011).

As patologias mais recorrentes em pavimentos na região amazônica incluem o surgimento de trincas, panelas (buracos) e desagregações. Frequentemente, estas falhas são potencializadas pelo uso de misturas asfálticas com grande proporção de areia (areia-asfalto) e camadas de base com materiais argilosos, soluções historicamente adotadas para contornar o alto custo dos agregados convencionais (Motta et al., 2007).

Considerando-se a importância da trafegabilidade das rodovias estaduais e as limitações orçamentárias para grandes obras de reconstrução, faz-se necessário indicar soluções de revitalização de baixo custo e de aplicação prática com intervenções funcionais de baixo custo — selagens, tratamentos superficiais, lama/micro revestimento e reparos localizados com Pré-Misturado a Frio — PMF, — selecionadas por inspeção visual padronizada, com controle operacional simples e sem necessidade de ensaios laboratoriais (DNIT, 2006; DNIT, 2011).

Portanto, este trabalho objetiva identificar e descrever um conjunto de medidas mitigadoras que possam ser executadas in loco, utilizando ao máximo os insumos locais, sustentáveis e a mão de obra disponíveis na região, sem a dependência de ensaios tecnológicos complexos, visando a recuperação funcional dos pavimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo teórica compreende as rodovias estaduais do Amazonas, caracterizadas por um clima equatorial com elevadas temperaturas e precipitações ao longo do ano. O solo local é, em sua maioria, de natureza argilosa ou areno-argilosa, com poucas ocorrências de rochas sãs para a produção de agregados de qualidade.

A abordagem adotada parte de inspeções visuais estruturadas para identificar tipos, extensão e severidade de defeitos, utilizando os procedimentos de avaliação objetiva e subjetiva de superfície (DNIT, 2003a; DNIT, 2003b) e a terminologia oficial de defeitos para padronização do diagnóstico (DNIT, 2003c). A seleção da intervenção segue as diretrizes do Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), que enfatiza a eliminação prévia de causas hídricas mediante limpeza e recuperação de dispositivos de drenagem antes da aplicação de qualquer tratamento superficial (DNIT, 2004; DNIT, 2023). Os critérios para a seleção das medidas conforme Figura 1 foram:

Figura 1. Fluxograma dos critérios de seleção das medidas



Onde:

1. Baixo Custo: Priorização de técnicas que demandam menor investimento financeiro em equipamentos e materiais.
2. Uso de Insumos Locais e Sustentáveis: Ênfase em materiais disponíveis no estado do Amazonas, como areia, seixo de rio e o próprio solo local, quando passível de melhoramento, reduzindo o impacto ambiental do transporte de agregados externos.
3. Execução In Loco: As técnicas devem ser passíveis de execução diretamente no local da patologia, sem a necessidade de grandes usinas ou laboratórios de apoio.
4. Mão de Obra Local: As soluções propostas devem ser de simples execução, permitindo a capacitação e o emprego da mão de obra local.

Os insumos priorizados foram emulsões asfálticas catiônicas — classes RR – Revestimento Rígido, RM – Revestimento Metálico e RL – Revestimento Leve, conforme especificação de material (DNIT, 2013) — e agregados locais (brita quando disponível, seixo rolado britado e ASAC – Agregado Siderúrgico de Aciaria, com ajustes de granulometria e limpeza executados no canteiro.

Para materiais alternativos e sustentáveis, propôs-se o *Reclaimed Asphalt Pavement* – RAP, conforme diretrizes para concreto asfáltico reciclado (DNIT, 2021), e o Resíduos de Construção e Demolição – RCD, segundo as NBR 15115: 2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos, que tratam do emprego de agregados reciclados em camadas de pavimentação (ABNT, 2004); o ASAC foi considerado alternativa

regional tecnicamente viável para tratamentos superficiais e misturas a frio, à luz de evidências de desempenho (Frota, 2007; Rocha Filho, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das rodovias estaduais do Amazonas evidencia que o maior desafio para garantir a durabilidade dos pavimentos não está apenas na execução inicial, mas, sobretudo, na ausência de manutenção preventiva e corretiva simples, que poderia prolongar significativamente a vida útil da infraestrutura existente. Diante das condições locais, onde os recursos financeiros e logísticos são limitados, a adoção de medidas mitigadoras de baixo custo mostra-se como a alternativa mais viável e sustentável.

A primeira intervenção de maior impacto é a revitalização da drenagem superficial e de plataforma. A simples remoção de obstruções em sarjetas, valetas e bueiros impede o acúmulo de água sobre a pista, reduzindo a reincidência de panelas e a progressão de fissuras por umidade. Esse tipo de ação demanda apenas mão de obra local e ferramentas manuais, apresentando alto retorno frente ao baixo custo de execução conforme Figura 2.

Figura 2. Drenagem superficial



Outra medida de fácil aplicação é a recomposição pontual do revestimento com materiais disponíveis regionalmente. O uso de PMF, que pode ser preparado em pequenas usinas móveis ou até em canteiros improvisados, permite restaurar trechos críticos sem interromper o tráfego. Além disso, materiais alternativos como o RAP podem ser reutilizados para reforço de acostamentos ou regularização de base, aproveitando resíduos das próprias obras rodoviárias.

Quando as trincas são predominantemente passivas, a selagem com emulsão catiônica após limpeza e, quando necessário, pequeno entalhe, estanca a infiltração e retarda a evolução para peladas, com baixo consumo de material e equipe reduzida (DNIT, 2006). Em áreas com panelas e desagregações pontuais, o PMF é eficiente como tapa-buracos, desde que a cavidade seja regularizada, e receba pintura de ligação e compactação a frio; a armazenabilidade e a logística simples do PMF favorecem frentes móveis e reparos emergenciais (DNIT, 2010a; DNIT, 2010b).

Para revestimentos com desgaste generalizado e baixa macrotextura sem comprometimento estrutural aparente, os tratamentos superficiais simples ou duplos – TSS/TSD, restabelecem impermeabilização e atrito com produtividade elevada, aceitando agregado local — inclusive seixo britado e ASAC — sem prejuízo de aderência quando observada limpeza, taxa de ligante e compactação (DNIT, 2012a; DNIT, 2012b; Frota, 2007; Rocha Filho, 2020). Outra vantagem é que podem ser aplicados com equipamentos de menor porte, compatíveis com a realidade dos municípios do interior. Em situações de defeitos leves e porosidade elevada, a lama asfáltica promove selagem e rejuvenescimento de baixo custo, servindo também como preparo para TSS/TSD futuros (DNIT, 2010c).

Para complementar, a utilização de materiais alternativos e sustentáveis oferece uma perspectiva estratégica. A integração de materiais alternativos potencializa a sustentabilidade e reduz custos logísticos. O RAP, triado e limpo em canteiro (Figura 3), é empregado como reforço granular local sob reparos e como fração no PMF, diminuindo a demanda por agregados virgens e a necessidade de transporte de longa distância (DNIT, 2021). O RCD, após beneficiamento simples (quebra e

peneiramento), tem uso em sub-base/base de acessos e acostamentos, e, em condições favoráveis de limpeza e textura, como parcela de agregado em TSS/TSD, com respaldo das normas NBR 15115 (ABNT, 2004). O ASAC mostra-se alternativa regional interessante ao seixo, oferecendo melhor textura e adesão em tratamentos superficiais e misturas a frio, desde que garantidos britagem, peneiramento e limpeza adequados (Frota, 2007; Rocha Filho, 2020).

Figura 3. Material Asfáltico Reciclado – RAP



O aproveitamento RCD em camadas de reforço, ou ainda de ASAC quando disponíveis em polos industriais próximos, contribui para reduzir custos e impactos ambientais, ao mesmo tempo em que fortalece a estrutura do pavimento. Tais práticas tornam-se especialmente relevantes em um estado onde a logística de transporte de insumos encarece a manutenção rodoviária. Na Figura 4 é apresentado a classificação dos resíduos de RCD.

Figura 4. Classificação de RCD



Portanto, os resultados apontam que a combinação de drenagem adequada, reparos localizados com materiais alternativos, e tratamentos superficiais de baixo custo constitui uma estratégia eficaz para revitalizar pavimentos no Amazonas. Essas soluções não dependem de ensaios laboratoriais complexos, podendo ser implementadas diretamente no campo com mão de obra e insumos disponíveis, o que garante aplicabilidade imediata em diferentes trechos da malha rodoviária estadual.

De maneira geral, a combinação “drenagem → selagens/reparos → TSS/TSD ou lama → microrrevestimento (quando disponível)”, coordenada por inspeções periódicas e controle operacional simples, proporciona recuperação funcional com custos reduzidos e tempo de obra compatível com a logística do interior do Amazonas (DNIT, 2006; DNIT, 2012a; DNIT, 2018; DNIT, 2023).

CONCLUSÃO

No ambiente úmido amazônico, a revitalização funcional in loco de pavimentos asfálticos pode ser alcançada com medidas de baixo custo baseadas em drenagem eficiente, selagens, PMF, TSS/TSD, lama asfáltica, microrrevestimento a frio e fresagem corretiva localizada, todas executáveis com equipes enxutas e controle operacional de campo, sem ensaios laboratoriais. A incorporação de RAP, RCD e

ASAC é tecnicamente viável nas aplicações aqui descritas e contribui para reduzir custos e impactos ambientais, desde que observados os cuidados de limpeza, graduação e compatibilidade com emulsões (ABNT, 2004; DNIT, 2021; Frota, 2007; Rocha Filho, 2020). Recomenda-se que os órgãos gestores adotem o roteiro operacional proposto, com priorização da drenagem, janelas sem chuva e inspeções regulares, de modo a estabilizar o desempenho dos segmentos estaduais com restrições de orçamento e logística (DNIT, 2006; DNIT, 2012a; DNIT, 2018; DNIT, 2023).

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT. 2004.
- DNIT. DNIT 006/2003-PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. 2003a.
- DNIT. DNIT 009/2003-PRO – Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. 2003b.
- DNIT. DNIT 005/2003-TER — Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia. 2003c.
- DNIT. DNIT 028/2004-ES — Drenagem: limpeza e desobstrução de dispositivos – Especificação de serviço. 2004.
- DNIT. IPR-720 — Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro: IPR/DNIT. 2006.
- DNIT. DNIT 153/2010-ES — Pré-misturado a frio com emulsão catiônica – Especificação de serviço. 2010a.
- DNIT. DNIT 154/2010-ES — Recuperação de defeitos em pavimentos asfálticos – Especificação de serviço. 2010b.
- DNIT. DNIT 150/2010-ES — Lama asfáltica – Especificação de serviço. 2010c.
- DNIT. DNIT 159/2011-ES — Fresagem a frio – Especificação de serviço; e IPR-745 — Manual de Gerência de Pavimentos. 2011.
- DNIT. DNIT 146/2012-ES — Tratamento Superficial Simples – Especificação de serviço. 2012a.
- DNIT. DNIT 147/2012-ES — Tratamento Superficial Duplo – Especificação de serviço. 2012b.
- DNIT. DNIT 165/2013-EM — Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de material. 2013.
- DNIT. DNIT 035/2018-ES — Microrrevestimento asfáltico a frio – Especificação de serviço. 2018.
- DNIT. DNIT 033/2021-ES — Concreto asfáltico reciclado em usina a quente (RAP) – Especificação de serviço. 2021.
- DNIT. DNIT 018/2023-ES — Drenagem: sarjetas e valetas – Especificação de serviço. 2023.
- Frota, C. A. Desempenho de misturas asfálticas com agregado sintético de argila calcinada (ASAC). Revista/anais técnico-científicos de pavimentação. 2007.
- INMET. Normais climatológicas 1991–2020 — Estação Manaus (82331). Instituto Nacional de Meteorologia. 2020.
- Liedke, E. F., *et al.* Desafios da Pavimentação na Região Amazônica: Custos e Alternativas. Anais do Congresso Brasileiro de Pavimentação (CBP). 2011.
- Motta, L. M. G., Leite, L. F. M., & Guimarães, A. C. R. Pavimentação de Baixo Custo para a Região Amazônica. Revista Estradas, (6), 34-41. 2007.
- Rocha Filho, D. Viabilidade técnica e econômica do ASAC em pavimentação na Amazônia. Universidade Federal do Amazonas. 2020.