DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE TECNOLÓGICO DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO



Francisco Lopes de Magalhães Junior
Mestre em Engenharia de Transportes pelo IME
Analista de Controle Externo – Engenheiro da CAT/SSO no TCE-RJ

Sandra Oda
Doutora em Engenharia Civil pela EESC/USP
Professora do Departamento de Engenharia de Transportes da UFRJ

RESUMO: No Brasil, a maior parte dos transportes de carga e de passageiros é feita por meio rodoviário. Infelizmente, a baixa qualidade da execução de obras de infraestrutura de transportes decorrente da falta e/ou deficiência no controle tecnológico, particularmente dos pavimentos, resulta na redução da vida útil do pavimento. Consequentemente, muitas rodovias apresentam desempenho ruim, acarretando demora e custos elevados, uma vez que o estado insatisfatório dos pavimentos ocasiona aumento em custos operacionais, repassados aos custos dos produtos. Uma melhoria na qualidade de uma estrada pode ser obtida durante o processo de construção, seja de um pavimento novo, seja de uma restauração. Este artigo foi elaborado com base nos resultados da pesquisa desenvolvida no Programa de Pesquisa 2016 da ECG/TCE-RJ. A pesquisa teve como objetivos elaborar um sistema de acompanhamento do controle tecnológico e um manual de boas práticas na execução dos serviços em obras de pavimentação, a partir da identificação dos problemas mais comuns em contratos de infraestrutura de transportes, no que se refere à qualidade dos serviços executados, particularmente dos pavimentos asfálticos, verificando suas possíveis causas.

PALAVRAS-CHAVE: planejamento urbano; política habitacional; empresas mistas; São Carlos/SP.

ABSTRACT: In Brazil, most of the freight and passenger transport is made through roads. Unfortunately, the low quality of the execution of transport infrastructure works due to the lack and to the deficiency in the laboratory testing control, particularly of the pavements, results in a reduction of the pavement's service life. Hence, many highways present poor performance, entailing delays and high costs, given that poor condition of the pavements generates increase in the operational costs, which are passed on to the products. An improvement on the quality of a highway can be obtained since the beginning of the construction of the pavement, either for a new one or for a rehabilitation. This article was prepared based on the results of the research developed along the 2016's ECG/TCE-RJ Research Program. The aims of that research were to develop a system for monitoring laboratory testing control and a manual for good practices on the execution of pavement services. That information was obtained from the most common problems identified on infrastructure contracts considering quality issues, especially the asphalt pavements ones, and verifying the possible causes of those problems.

KEYWORDS: urban planning; housing policy; São Carlos/SP.

INTRODUÇÃO

A engenharia rodoviária é uma das mais antigas artes conhecidas pela humanidade. As técnicas de construção de estradas melhoraram gradualmente com o passar dos anos, através do estudo do tráfego rodoviário, do alinhamento das estradas e dos materiais empregados nas camadas. Além disso, os materiais e métodos de construção de estradas se tornaram mais modernos e eficazes. No entanto, muitos pavimentos apresentam condições inaceitáveis logo após a sua construção. Por que isso acontece? Como evitar que isso aconteça?

Um pavimento deve ser construído para resistir aos esforços solicitados pelo tráfego e às ações das intempéries, proporcionando uma superfície de rolamento com conforto e segurança para os usuários durante toda a sua vida útil. De forma geral, o desempenho do pavimento está relacionado com as características dos materiais empregados na composição das camadas e com o processo de construção e, em alguns casos, a vida útil do pavimento é reduzida em função de erros ou problemas durante o processo de execução. Vale ressaltar que, muitas vezes, estruturas de pavimento com características similares têm comportamentos bastante distintos. Isso acontece porque sofrem a influência de diversos fatores como a localização, a geometria, o sistema de drenagem, as variações climáticas e, principalmente, as cargas de tráfego.

No Brasil, a maior parte dos transportes de carga (61,1%) e de passageiros (95%) é feita por meio rodoviário (CNT, 2016), o que acaba agravando o estado dos pavimentos. Os custos dos produtos e serviços estão diretamente ligados com a qualidade dos meios de transportes. Apesar da extensa malha rodoviária no país, apenas 12,3% da rede de 1.720.756 quilômetros de estradas e rodovias nacionais são pavimentadas (CNT, 2016). Infelizmente, muitas rodovias pavimentadas estão velhas e desgastadas e apresentam desempenho ruim, proporcionando demora e custos elevados por seu uso, uma vez que o estado insatisfatório dos pavimentos ocasiona aumento em custos operacionais, repassados aos custos dos produtos.

No entanto, a baixa qualidade pode ser verificada também em pavimentos novos, logo após a sua construção. Isso acontece, principalmente, em virtude de se ignorar as propriedades fundamentais dos materiais e da falta de controle tecnológico durante as etapas de execução das camadas, gerando gastos incalculáveis com manutenção e reconstrução precoce dos pavimentos. Estes gastos são inaceitáveis na medida em que se pode dispor de técnicas e métodos que permitam uma melhor avaliação da qualidade dos materiais antes e durante a construção dos pavimentos.

Para utilizar de forma adequada os recursos e proporcionar conforto, segurança e economia ao usuário, o pavimento rodoviário deve ser construído respeitando as exigências das especificações e normas técnicas, sendo mais eficiente se for auxiliado por um sistema de gerência.

A execução deve seguir o projeto, que deve contemplar todas as análises de materiais e produtos que serão utilizados na composição do pavimento. Para isso, devem ser feitas coleta e avaliação de amostras de materiais antes da aplicação na pista (etapa de pré-execução). A quantidade mínima de ensaios varia com o tipo e a camada do pavimento e geralmente devem ser rigorosamente obedecidas as exigências constantes nas seções de controle tecnológico das especificações de cada material e camada do pavimento.

Vale lembrar que na etapa de execução deve ser realizada a análise de alguns resultados obtidos na etapa de pré-execução para verificar se correspondem realmente aos materiais selecionados para a obra e empregados no projeto de dimensionamento do pavimento. O controle de execução deve ser feito durante a aplicação dos materiais na pista, bem como na usina (quando houver). As amostras coletadas devem ser identificadas e acompanhadas de informações sobre os materiais, estacas e camadas, que serão utilizadas em avaliações posteriores.

O controle tecnológico da execução pode ser realizado utilizando um sistema de acompanhamento que facilite a visualização das atividades, assim como a identificação de problemas e erros e a forma de solucioná-los.

Este artigo apresenta de forma resumida o que foi desenvolvido no trabalho de pesquisa "Desenvolvimento de um Sistema de Qualidade das Obras de Infraestrutura de Transportes", pelos autores do artigo (MAGALHÃES JÚNIOR; ODA, 2017). Como resultados da pesquisa foram elaborados dois produtos: um '"Manual de Boas Práticas de Obras de Pavimentação" e um programa denominado "Aplicativo de Controle Tecnológico de Pavimentos – ConTecPav". Para desenvolver a pesquisa, inicialmente foram analisadas diversas obras já concluídas, nas quais foram identificados os principais erros, problemas e defeitos que surgem nos pavimentos logo após a sua execução, verificando suas possíveis causas. Em função dos defeitos identificados, foram listados de forma resumida os controles mínimos necessários para que as obras atendam às especificações e os pavimentos apresentem melhor desempenho.

Neste artigo serão apresentadas de forma resumida as etapas realizadas no desenvolvimento da pesquisa citada: apresentação dos diferentes tipos de problemas identificados, alguns conceitos básicos sobre pavimentos (tipos e estrutura das camadas), métodos de construção e controle tecnológico. Para complementar, são apresentados um exemplo de um material do manual e o aplicativo de controle tecnológico.



ESTUDOS
6 | CONTROLE DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

PROBLEMAS E DEFEITOS NOS PAVIMENTOS

Os problemas e defeitos nos pavimentos asfálticos podem ocorrer devido a erros cometidos durante a elaboração do projeto, na definição dos materiais empregados nas camadas do pavimento (seleção ou dosagem inadequada dos materiais), nas etapas de construção e, em casos de pavimentos já existentes, na seleção inadequada de alternativas de manutenção e reabilitação. São listados a seguir os principais tipos de erros identificados nas obras analisadas.

ERROS DE PROJETO

Um dos erros mais comuns é o projeto errado ou inadequado e, geralmente, está relacionado com o volume de tráfego utilizado no dimensionamento da estrutura do pavimento. Isso pode acontecer em função da dificuldade de se prever o tráfego real que atuará no período de projeto e, por falta de contagens e dados do tráfego local, da utilização de dados de vias da região (que apresentam características similares, mas não idênticas), proporcionando uma previsão inadequada de tráfego ou de volume de veículos, por falta de conhecimento das perspectivas de crescimento real do tráfego, acarretando um tráfego maior do que o previsto.

Outro erro comum é o dimensionamento errado da estrutura do pavimento, podendo gerar uma estrutura subdimensionada, que irá apresentar problemas, como a incompatibilidade estrutural entre as camadas, gerando fadiga precoce dos revestimentos. Esse erro pode ter diversas causas:

- material selecionado inexistente ou de difícil disponibilidade local, obrigando a substituições incorretas durante a obra:
- alteração de jazida determinada em projeto por outras mais distantes, causando aumento na distância e no custo de transporte dos materiais;
- falta de investigação do solo, para identificação de camadas de solo mole em áreas de ocorrência e verificação do nível de água, além da falta dos ensaios básicos para obtenção dos parâmetros úteis ao dimensionamento da estrutura: CBR, granulometria, LL, IP, classificação dos solos etc.
- necessidade de substituição de solos moles devido à falta de inspeção visual do solo, deixando de alertar para o problema na fase de planejamento.

O dimensionamento inadequado das camadas do pavimento que não atende à carga submetida e ao aumento de tráfego previsto pode provocar o surgimento de trilhas de roda e trincas generalizadas no revestimento.



Outro erro de dimensionamento está na drenagem insuficiente do pavimento. Muitas vezes, a localização inadequada das sarjetas, assim como do posicionamento dos drenos e da inclinação transversal da pista podem acarretar o acúmulo de água no pavimento.

SELEÇÃO DE MATERIAIS INCORRETA OU DOSAGEM DE MATERIAIS ERRADA

Os erros mais comuns na seleção de materiais são:

- seleção incorreta de materiais para as camadas de reforço do subleito, sub-base e base do pavimento: solo para reforço de subleito mais fraco que o material do subleito; agregados para compor as camadas de base e sub-base com qualidade inadequada;
- uso de ligante asfáltico inadequado na composição da mistura asfáltica para as condições ambientais ou de tráfego: o tipo de ligante asfáltico utilizado e o seu teor na composição da mistura podem trazer alterações na resistência e na textura do concreto asfáltico;
- uso de faixa granulométrica inadequada.

No caso da dosagem, os erros mais comuns são:

- dosagem errada de materiais da mistura de solo-brita e materiais estabilizados com cimento ou cal;
- dosagem errada do teor de ligante asfáltico de misturas asfálticas: excesso de ligante, causando fluência excessiva, escorregamento de massa, exsudação ou deformação permanente; falta de ligante, causando excesso de vazios com ar e desagregação ou trincamento precoces;
- variações de materiais, teores (quantidades) e temperaturas durante usinagem da mistura asfáltica.

ERROS CONSTRUTIVOS

Os erros construtivos geralmente ocorrem por falta de controle tecnológico e os mais comuns são:

- execução de revestimento asfáltico a quente em dias chuvosos ou em temperaturas baixas, de modo a gerar esfriamento excessivo da massa e, consequentemente, comprometimento da sua compactação;
- aplicação da massa asfáltica sobre imprimação ou pintura de ligação não rompida;
- aplicação da imprimação ou da pintura de ligação de forma inadequada ou insuficiente;
- serviços de pintura de ligação com excesso de ligante, levando à perda do revestimento já executado;
- compactação com uso de equipamento de baixa eficiência: falta de compactação apropriada das camadas, causando deformações e afundamentos excessivos ou rupturas localizadas;
- taxa de ligante asfáltico inadequada;
- espessuras das camadas de sub-base, base e revestimento diferentes (menores) do que as definidas em projeto;
- serviço de terraplenagem executado com altura menor que a determinada em projeto, trazendo, além dos prejuízos financeiros, instabilidade no leito estradal;
- realização de drenagem em área alagada (solo mole) utilizando bueiros, quando seria necessária a substituição do solo por outro de maior resistência, provocando infiltração de água no subleito e na sub-base e o surgimento de borrachudos e trincas generalizadas no pavimento.

É importante comentar que, infelizmente, os erros cometidos na etapa de construção são os mais frequentes.

ESTUDOS
6 | CONTROLE DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

PAVIMENTOS

Segundo Yoder e Witczak (1975), o pavimento é uma estrutura composta por camadas construída sobre uma fundação (terreno natural) denominada de subleito, que recebe em sua superfície solicitações do tráfego de veículos com rodas flexíveis (pneus) e, historicamente, pode ser dividido em duas categorias: flexível ou rígido.

O pavimento flexível pode ser constituído de uma camada de rolamento de pequena espessura, aplicada sobre camadas de base e de sub-base construídas sobre o subleito compactado. O pavimento rígido é constituído por placa de concreto de cimento Portland e pode ou não ter uma camada de sub-base entre a placa e o subleito. A quantidade de camadas e suas espessuras variam com a qualidade do material do subleito, com o tráfego que irá solicitar o pavimento e as características dos materiais que irão compor a estrutura do pavimento, sendo que as camadas mais próximas da superfície devem ter melhores características (maior resistência) e, consequentemente, poderão apresentar custos mais elevados.

O pavimento rígido pode ser constituído de (Figura 1):

- PLACA DE CONCRETO DE CIMENTO: camada que desempenha ao mesmo tempo o papel de revestimento e de base;
- SUB-BASE: camada construída, algumas vezes, com o objetivo de evitar o bombeamento do solo do subleito;
- REFORÇO DO SUBLEITO: nem sempre é necessário.

Dependendo das características de suporte do subleito e do tráfego, um pavimento flexível pode ser constituído por uma das seguintes formas:

- REVESTIMENTO, BASE, SUB-BASE e REFORÇO DO SUBLEITO (Figura 2);
- REVESTIMENTO, BASE e SUB-BASE;
- REVESTIMENTO e BASE.

A principal diferença entre os dois tipos de pavimentos está na forma como ocorre a distribuição das cargas para o subleito (Figura 3).





Figura 1: Pavimento rígido constituído por placa de concreto, sub-base e reforço do subleito



Figura 2: Pavimento flexível com revestimento, base, sub-base e reforço do subleito

Fonte: adaptado de TRANSPORTATION ENGINEERING (2016)

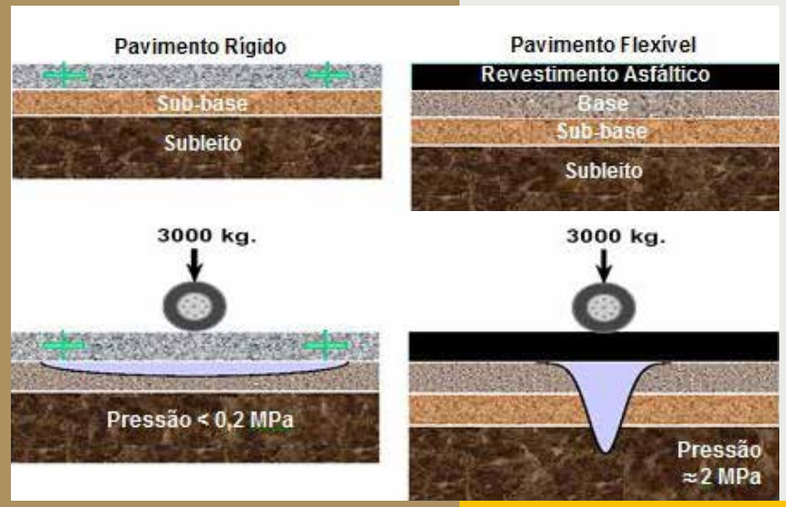

Figura 3: Distribuição de cargas nos pavimentos rígido e flexível

Fonte: adaptado de TRANSPORTATION ENGINEERING (2016)

CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO

A execução das camadas do pavimento (Figura 4) deve sempre atender às recomendações técnicas do órgão responsável pela obra. Para isso, após a definição da estrutura do pavimento que será executado, é necessário fazer análise de todas as normas e especificações de serviço correspondentes aos diferentes tipos de materiais que serão aplicados na construção do pavimento.

A Figura 5 mostra todas as informações necessárias que devem ser obtidas antes e durante a execução das camadas do pavimento.





Regularização e reforço do subleito

Fonte: TORC (2016)

Figura 4: Execução das camadas do pavimento





Camadas de sub-base e base

Fonte: FERNANDES (2016) e TECHNE (2009)





Revestimento asfáltico

Fonte: GEWEHR (2013) e PESCARINI (2011)

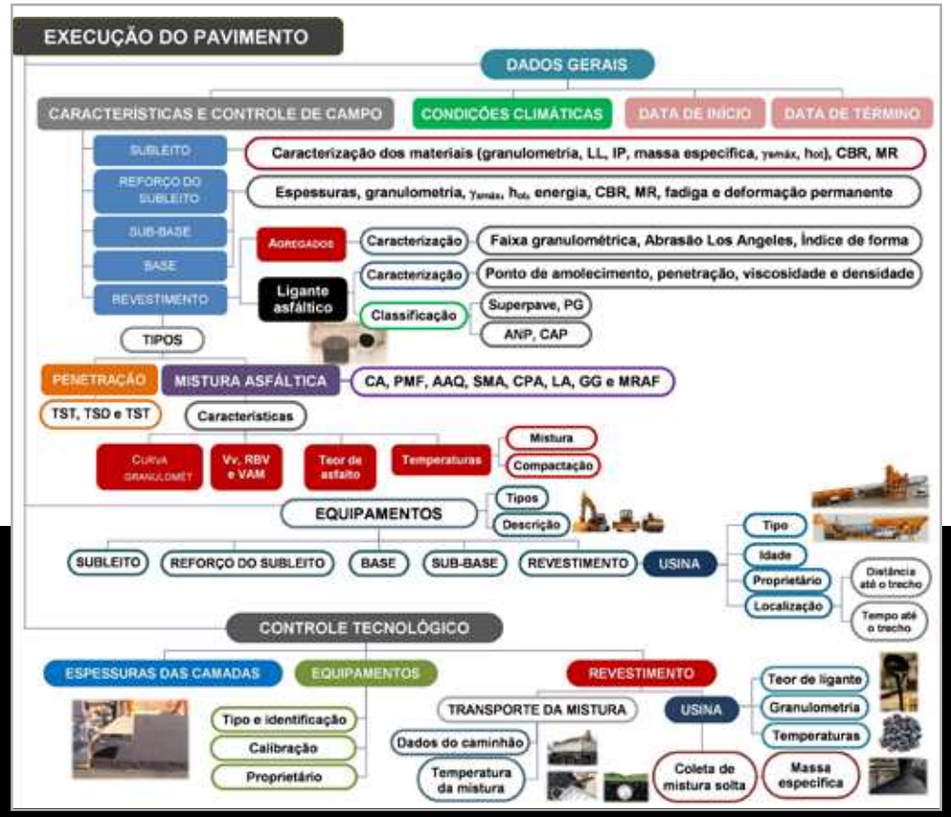

Figura 5: Atividades que devem ser realizadas durante a etapa de execução do pavimento

Fonte: MAGALHÃES JUNIOR e ODA (2017)

É importante que, junto com o projeto, sejam fornecidas as informações de todos os materiais que serão utilizados na construção das camadas do pavimento, assim como do material do subleito. Além disso, antes de iniciar a construção também é muito importante verificar a disponibilidade e as condições dos equipamentos necessários para produção, transporte, espalhamento e compactação dos materiais.

CONTROLE TECNOLÓGICO DA EXECUÇÃO DO PAVIMENTO

Uma obra rodoviária, para ser implantada, passa por diversas etapas, começando com o planejamento global, projeto detalhado de cada componente até finalizar com a construção. Em todas as etapas é fundamental que a qualidade seja sempre colocada como o fator mais relevante. Assim como em qualquer tipo obra, a construção do pavimento deve ser executada respeitando as normas, procedimentos e especificações do respectivo órgão fiscalizador, seja municipal, estadual ou federal, de forma que as características técnicas essenciais sejam atendidas.

As exigências de controle de qualidade e os métodos de ensaio são especificados para se assegurar que a obra responda às normas de qualidade mínima apropriadas ao desempenho esperado. No entanto, é importante salientar que existem parâmetros de aceitação e rejeição dos serviços, que devem ser atendidos e verificados através do controle tecnológico. As atividades de controle da qualidade também poderão descobrir falhas no projeto e, assim, indicar mudanças que podem melhorar a qualidade dos serviços executados.

As empresas contratante e executante devem sempre utilizar procedimentos documentados para especificar os métodos de medição, inspeção e ensaios, além dos critérios de aceitação aplicados na avaliação da obra e dos processos, durante todas as etapas. Junto com os procedimentos devem ser especificadas as tolerâncias e os valores esperados de desempenho com indicação quanto à sua aprovação ou não.

A má qualidade dos serviços, muitas vezes, está relacionada com a atuação precária da fiscalização ou com a falta de recursos materiais e humanos para um acompanhamento eficaz. Outro fato que pode contribuir com a baixa qualidade dos serviços é que ocorrem casos em que as licitações são feitas apenas com o projeto básico. Embora legalmente permitidas, acarretam a necessidade de revisão da planilha orçamentária quando concluído o projeto executivo. No caso de obras rodoviárias, um problema que acontece muitas vezes é que, como não são realizadas inspeções em quantidade suficiente para se conhecer as condições do local da obra, o pavimento é subdimensionado, não atendendo ao tráfego da via.

A utilização de projeto inadequado, sem atender às normas técnicas adequadas, pode ocasionar diversos problemas. Para evitar que isso aconteça, o projeto deve ser analisado antes do início das obras e a equipe técnica deve verificar quais as recomendações e procedimentos que atendam às especificações técnicas referentes à construção de cada camada do pavimento, assim como a disponibilidade de todos os materiais e equipamentos necessários para a construção de um pavimento que proporcione excelente desempenho ao longo da sua vida útil.

Um dos principais problemas e causas de defeitos é a utilização de materiais de baixa qualidade, tanto no revestimento, seja asfáltico, seja em concreto, quanto nas camadas inferiores, que compõem a infraestrutura dos pavimentos rodoviários. Considera-se que essa prática seja responsável pela deterioração prematura de pavimentos, gerando prejuízos para o Poder Público e para a sociedade. Isso pode ser evitado se for realizado o controle tecnológico, que tem como objetivo garantir a conformidade às especificações, verificando, por meio de ensaios e medições, a qualidade dos serviços, dos materiais e suas respectivas aplicações.

É importante observar que, para o controle tecnológico adequado, uma equipe deverá acompanhar as operações de usinagem, outra equipe executará as operações de preparo do subleito, outra equipe os serviços de execução de base e sub-base e ainda outra equipe os serviços de execução da camada de rolamento. Além disso, é essencial que o laboratório especializado esteja localizado o mais próximo possível da obra, para garantir a qualidade da camada executada, em espaçamentos adequados que representem uma boa amostragem do serviço, com controle de deformabilidade, acabamento, geometria, espessuras etc.

RESULTADOS DA PESQUISA

O principal resultado da pesquisa são os produtos que poderão ser utilizados pelas empresas para execução das obras de pavimentação: Manual de Boas Práticas de Obras de Pavimentação e o Aplicativo de Controle Tecnológico de Pavimento – ConTecPav.

Como exemplos dos resultados são apresentados, a seguir, de forma resumida, parâmetros que devem ser avaliados no controle tecnológico de execução e que foram utilizados para desenvolver o sistema de controle tecnológico de dois tipos de materiais empregados nas camadas do pavimento e suas respectivas normas: base de BGS e revestimento de concreto asfáltico.

Além disso, será apresentado um exemplo de execução de um material que foi detalhado no Manual de Boas Práticas de Obras de Pavimentação e também uma amostra de como pode ser utilizado no Aplicativo de Controle Tecnológico.

Outro fato que pode contribuir com a baixa qualidade dos serviços é que ocorrem casos em que as licitações são feitas apenas com o projeto básico. Embora legalmente permitidas, acarretam a necessidade de revisão da planilha orçamentária quando concluído o projeto executivo



CONTROLE TECNOLÓGICO

Base de Brita Graduada Simples – BGS

A brita graduada é produto de uma "estabilização granulométrica", em que são determinadas as proporções de materiais de granulometrias diferentes, produzindo uma mistura que atenda a uma especificação (faixa granulométrica) e que, corretamente compactada, resulta em um produto final com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade.

A BGS pode ser empregada nas camadas de base (Figura 6) ou de sub-base e deve ser produzida em usina apropriada (DNIT, 2006).

A Tabela 1 apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da camada de base e sub-base de brita graduada simples, BGS, considerando um quilômetro de extensão.



Figura 6: Execução de camada de base de BGS
Fonte: MARQUES (2015)

Tabela 1: Ensaios para o controle tecnológico de base e sub-base de BGS

Ensaios	Normas	Quantidade	Descrição
A - Índice de forma, IF >0,5 e % de partículas lamelares ≤ 10%	DNER-ME 086/94	3 ensaios	1 amostra representativa de acordo com a norma
A - Perda com Na_2SO_4 <20%, e com $MgSO_4$<30%	DNER-ME 089/94	3 ensaios	
A - Desgaste por abrasão Los Angeles, LA≤50%	DNER-ME 035/98	3 ensaios	
A - Equivalente de areia ≥ 55%	DNER-ME 054/98	3 ensaios	
M - Análise granulométrica	DNER-ME 080/94	4 ensaios	1 ensaio a cada 300 m
M - Equivalente de areia	DNER-ME 054/98	4 ensaios	1 ensaio a cada 300 m
M - Compactação*	DNER-ME 129/94	4 ensaios	1 ensaio a cada 300 m
M - Índice de suporte Califórnia, ISC, e expansão	DNER-ME 049/94	4 ensaios	1 ensaio a cada 300 m
E - Umidade higroscópica	DNER-ME 052/94 DNER-ME 088/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m
E - Massa específica aparente seca "in situ"	DNER-ME 092/94 DNER-ME 036/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m
E - Grau de compactação	DNIT 137/2010–ES	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m

Nota: A - Aceitação do material antes da execução; M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.
*Energia de compactação indicada no projeto, adotando-se no mínimo a do Proctor Modificado. Na usina de solos, deve ser coletado o mesmo número de amostras, na saída do misturador.
A tolerância admitida umidade higroscópica é de ±1,0% em relação à umidade ótima.

Concreto Asfáltico

O revestimento asfáltico mais empregado nos pavimentos no Brasil é o concreto asfáltico (CA) (Figuras 7 e 8). Concreto asfáltico é o produto resultante da mistura a quente, em usina apropriada, de agregado mineral graduado, material de enchimento (fíler) e cimento asfáltico, espalhado e comprimido a quente e satisfazendo determinadas exigências constantes da especificação. A mistura é feita em usina fixa, onde são aquecidos os agregados e o material asfáltico. Deve atender à especificação da Norma DNIT 031/2004-ES.



Figura 7: Revestimento de concreto asfáltico
Fonte: GEWEHR (2013)



Figura 8: Execução de concreto asfáltico

Recomenda-se que todo o carregamento de material asfáltico que não atender às especificações técnicas deverá ser devolvido e que a umidade dos agregados nos silos frios seja <2,0%, devendo-se proteger os depósitos de agregados das intempéries, sendo obrigatório este procedimento no caso do emprego de usina de fluxo contínuo.

A Tabela 2 apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da camada de revestimento com concreto asfáltico, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 2: Ensaios para o controle tecnológico de revestimento com concreto asfáltico

Ensaios	Norma	Quantidade	Descrição
M - Granulometria do agregado, de cada silo quente	DNER-ME 083/98	3 ensaios	1 ensaio a cada jornada de 8 horas de trabalho
M - Granulometria do material de enchimento (filer)	DNER-ME 080/94	1 ensaio	
M - Equivalente de areia do agregado miúdo	DNER-ME 054/98	1 ensaio	
M - Cimento asfáltico: ensaio de penetração a 25ºC	ABNT NBR 6576	3 ensaios	para todo carregamento que chegar à obra
M - Cimento asfáltico: ensaio do ponto de fulgor	ABNT NBR 11341	3 ensaios	
M - Cimento asfáltico: índice de susceptibilidade térmica	ABNT NBR 6560	3 ensaios	a cada 100 t
M - Cimento asfáltico: ensaio de espuma		3 ensaios	para todo carregamento que chegar à obra
M - Cimento asfáltico: viscosidade Saybolt-Furol	ABNT NBR 14950	3 ensaios	
M - Cimento asfáltico: viscosidade Saybolt-Furol a diferentes temperaturas, para curva viscosidade x temperatura	ABNT NBR 14950	3 ensaios	a cada 100 t
U - Teor de ligante asfáltico	DNER-ME 053/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 700 m²
U - Granulometria da mistura de agregados	DNER-ME 080/94	10 ensaios	
U - Temperatura do agregado, no silo quente da usina		10 ensaios	
U - Temperatura do ligante asfáltico na usina		10 ensaios	
U - Temperatura da mistura na saída do misturador		10 ensaios	
U - Mistura asfáltica: dano por umidade induzida	AASHTO T 283	3 ensaios	30 kg de massa asfáltica de cada caminhão
U - Características da mistura: adesividade	AASHTO T 209	3 ensaios	
U - Características da mistura: densidade máxima Rice	ASTM D2042	3 ensaios	
E - Temperatura da massa asfáltica na pista antes de iniciar a compactação		10 ensaios	1 ensaio a cada 100 m
E - Grau de compactação da mistura asfáltica	DNIT ES 031/2004	10 ensaios	
G - Controle de Espessura e Cotas		50 ensaios	1 ensaio a cada 20 m
G - Controle da Largura e Alinhamento		50 ensaios	
G - Controle do Acabamento da Superfície com medidores tipo resposta - QI ≤ 35 cont/km (IRI ≤2,7)	DNER PRO 164/94 DNER PRO 182/94	50 ensaios	
G - Deflexões: com viga Benkelman ou FWD - Falling Weight Deflectometer, após 28 dias de cura	DNER ME 024/98 DNER PRO 273	50 ensaios	1 ensaio a cada 20 m por faixa alternada e 40 m na mesma faixa
G - Segurança: valores de resistência à derrapagem, medido com o pêndulo Britânico, VDR ≥ 45	ASTM E 303	10 ensaios	1 ensaio a cada 100 m
G - Segurança: altura de areia: 1,20mm ≥ HS ≥ 0,60mm	ASTM E 965-06	10 ensaios	

Nota: A - Aceitação do material antes da execução; M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução



Figura 9: Exemplo do manual – Execução de reforço do subleito

Fonte: MAGALHÃES JUNIOR e ODA (2017)

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Este manual apresenta todas as atividades que devem ser realizadas para a execução de obras de pavimentação asfáltica. Inicialmente são apresentados os tipos de pavimentos, as camadas que podem constituir a estrutura do pavimento, assim como os materiais que podem ser empregados.

Para cada tipo de material são apresentadas as condições gerais e as específicas (relacionadas aos materiais e equipamentos) para a execução da camada destinada, assim como a lista de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico. Também é apresentado no final do manual o aplicativo desenvolvido para controle tecnológico da execução do pavimento. A Figura 9 apresenta como exemplo a execução do serviço de reforço do subleito.

APLICATIVO DE CONTROLE TECNOLÓGICO DE PAVIMENTO – ConTecPav

O Aplicativo de Controle Tecnológico de Pavimento – ConTecPav (Figura 10) foi desenvolvido com o propósito de auxiliar na realização do controle de qualidade de execução de obras de pavimentação (Figura 10).



Figura 10: Tela inicial do ConTecPav
Fonte: MAGALHÃES JUNIOR e ODA (2017)

O aplicativo permite que o usuário obtenha os tipos e quantitativos de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico dos materiais e da execução de cada camada da estrutura do pavimento. Para isso, o usuário deve inicialmente inserir os dados da obra que será executada (Figura 11).



Figura 11: Dados necessários para determinar os tipos e quantitativos de ensaios
Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR e ODA (2017)

Em seguida, o aplicativo irá determinar os volumes de materiais de cada camada, que será utilizado para indicar os tipos e quantitativos de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico, assim como a frequência de coleta de dados e as suas respectivas normas (Figura 12).

Figura 12: Ensaios necessários para aceitação dos materiais para o concreto asfáltico do exemplo
Fonte: MAGALHÃES JÚNIOR e ODA (2017)

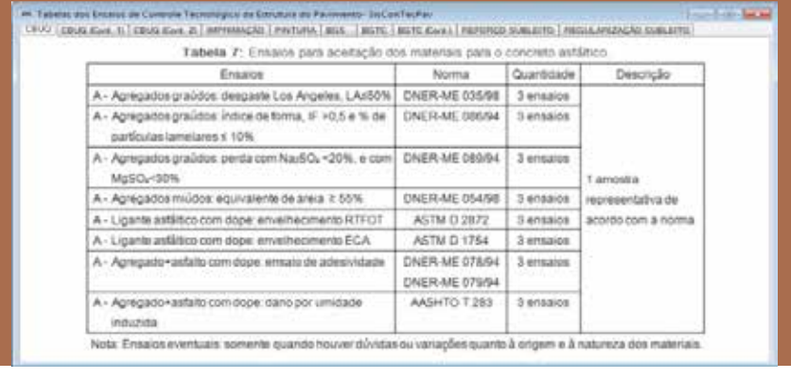

Tabela 7: Ensaios para aceitação dos materiais para o concreto asfáltico

Ensaios	Norma	Quantidade	Descrição
A - Agregados graúdos: desgaste Los Angeles, LA≤50%	DNER-ME 035/98	3 ensaios	1 amostra representativa de acordo com a norma
A - Agregados graúdos: índice de forma, IF >0,5 e % de partículas lamelares ≤ 10%	DNER-ME 086/94	3 ensaios	
A - Agregados graúdos: perda com Na_2SO_4 <20%, e com $MgSO_4$<30%	DNER-ME 089/94	3 ensaios	
A - Agregados miúdos: equivalente de areia ≥ 55%	DNER-ME 054/98	3 ensaios	
A - Ligante asfáltico com dope: envelhecimento RTFOT	ASTM D 2872	3 ensaios	
A - Ligante asfáltico com dope: envelhecimento ECA	ASTM D 1754	3 ensaios	
A - Agregado+asfalto com dope: ensaio de adesividade	DNER-ME 078/94 DNER-ME 079/94	3 ensaios	
A - Agregado+asfalto com dope: dano por umidade induzida	AASHTO T 283	3 ensaios	

Nota: Ensaios eventuais: somente quando houver dúvidas ou variações quanto à origem e à natureza dos materiais.

A Figura 13 apresenta os ensaios necessários para aceitação dos materiais para o concreto asfáltico do exemplo.

Comprimento = 2000 m
Largura = 8 m
Espessura do revestimento = 5 cm
Espessura da base = 20 cm
Espessura da sub-base = 30 cm
Espessura do reforço do subleito = 15 cm



Figura 13: Volume de materiais de cada camada do pavimento do exemplo
Fonte: MAGALHÃES JUNIOR e ODA (2017)

Vale ressaltar que as espessuras das camadas devem ser determinadas pelo método de dimensionamento de pavimentos. O aplicativo apenas permite verificar se as espessuras estão atendendo às especificações do método de projeto de pavimentos do DNER (SOUZA, 1981), mas não faz análise ou previsão do comportamento do pavimento em serviço (Figura 14).

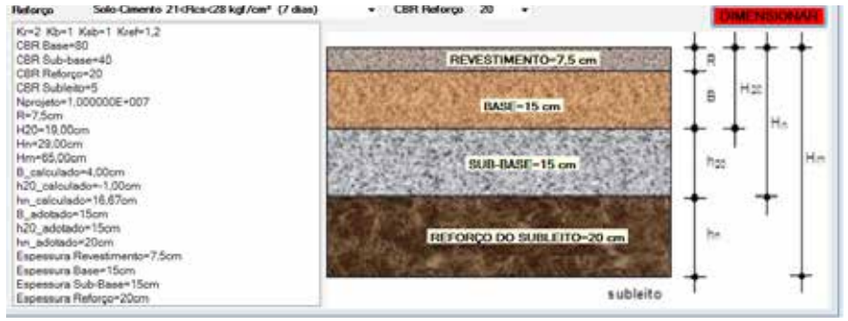

Figura 14: Verificação das espessuras da estrutura do pavimento

Fonte: MAGALHÃES JUNIOR e ODA (2017)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos dez anos, o consumo médio anual de ligante asfáltico (asfalto) no Brasil tem sido de quase 2.500.000 de toneladas, sendo que em 2014 ultrapassou 3.290.000 toneladas, quase que totalmente empregado em serviços de pavimentação asfáltica (ABEDA, 2017). Esperava-se que o asfalto produzido fosse aplicado na construção de novos pavimentos, o que seria possível pavimentar cerca de 500 mil quilômetros (35%) da malha não pavimentada. No entanto, apesar do elevado consumo, a quantidade de rodovias pavimentadas ainda é bem pequena (apenas 12,3%), tendo aumentado apenas 1,5% nesse período. A razão para isso é que, infelizmente, a baixa qualidade das obras tem culminado em pavimentos com reduzida vida útil, exigindo serviços de manutenção e reconstrução precoce, o que implica a utilização da maior parte do asfalto produzido nesses serviços.

Além disso, o estado insatisfatório dos pavimentos ocasiona aumento em custos operacionais (principalmente de transportes), repassados aos custos dos produtos e, consequentemente, eleva os gastos dos usuários. A falta de controle tecnológico durante as etapas de execução do pavimento, aliada ao despreparo das equipes técnicas, é o principal colaborador para essas condições. Uma melhoria na qualidade de uma estrada pode ser obtida durante o processo de construção do pavimento. Para reverter esse quadro, fica evidente a necessidade de ferramentas que possam auxiliar as empresas durante a construção dos pavimentos.

Portanto, espera-se que os produtos obtidos como resultados da pesquisa contribuam para a melhoria da qualidade de execução das obras de pavimentação.



ESTUDOS
6 | CONTROLE DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO - ABEDA. **Consumo de asfaltos no Brasil no período de 2007 a 2016**. Disponível em: <http://www.abeda.org.br/mercado/?target=id-4>. Acesso em: 01 jun. 2017.

APLICAÇÃO de concreto compactado com rolo: com baixo consumo de cimento, concreto rolado pode ser utilizado como pavimentação definitiva ou como base ou sub-base. **Newsletter TECHNE**, ed. 152, nov. 2009. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/152/melhores-praticas-aplicacao-de-concreto-compactado-com-rolo-285783-1.aspx>. Acesso em: 11 nov. 2016.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviária, 2006. 274 p. (IPR. Publ., 719)

____. **Norma DNIT 031/2004 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviária, 2004. 14 p.

____. **Norma DNIT 138/2010 - ES**: Pavimentação - Reforço do subleito -Especificação de serviço. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviária, 2010. 7 p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/especificacao-de-servico-es>. Acesso em: 17 ago. 2018.

____. **Norma DNIT 144/2010 - ES**: Pavimentação asfáltica - Imprimação com ligante asfáltico convencional - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviária, 2010. 7 p.

BRINGET, E. **Obra de recuperação asfáltica da PI-114 começa a receber camada de asfalto**. Disponível em: <http://www.portalcampomaior.com.br/novo/obra-de-recuperacao-asfaltica-da-pi-114-ja-esta-na-segunda-etapa.html>. Acesso em: 01 jun. 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de Rodovias 2016**: Relatório Gerencial. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: 30 maio 2017.

FERNANDES, Keli. Agora vai? Operários retomam obras no asfalto do interior em São Miguel. **Jornal O Líder,** São Miguel do Oeste (SC), 02 fev. 2016. Disponível em: <http://wh3.com.br/olider/noticia/141515/agora-vai--operarios-retomam-obras-no-asfalto-do-interior-em-sao-miguel.html>. Acesso em: 11 nov. 2016.

GEWEHR, Juliano. Asfalto de qualidade: cuidados na pavimentação. Porto Alegre, RS, **Blog do Juliano Gewehr**, 14 fev. 2013. Disponível em: <http://asfaltodequalidade.blogspot.com.br/2013/02/cuidados-na-pavimentacao.html. Publicado em 14/02/2013>. Acesso em: 15 out. 2016.

MAGALHÃES JÚNIOR, Francisco. L. de; ODA, Sandra. **Desenvolvimento de um Sistema de Qualidade das Obras de Infraestrutura de Transportes.** 2017. 208 f. Projeto apresentado ao Programa de Pesquisa 2016. Escola de Contas e Gestão do TCE-RJ, Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Pavimentação (TRN 032)**: notas de aula da disciplina. UFJF, Laboratório de Pavimentação, 2015. Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2015/05/Aulas-1%C2%BA--TVC.pdf>.

PESCARINI, Tania. Pavimentação de vias urbanas. **PINI**, ed. 6, ago. 2011. Disponível em: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/ solucoes-tecnicas/6/pavimentacao-de-vias-urbanas-227267-1.aspx>. Acesso em: 15 abr. 2015.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 3. ed. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNER, 1981. 34 p. (IPR. Publ., 667)

TORC TERRAPLANAGEM OBRAS RODOVIÁRIAS CONSTRUÇÕES (Firma). **Restauração e duplicação na rodovia MG–010 (Confins)**. Disponível em: <http://www.torc.com.br/site/album/28>. Acesso em: 11 nov. 2016.

TRANSPORTATION Engineering: the pavement. Disponível em: <http://www.slideshare.net/arslan000/lecture01-33441631>. Acesso em: 15 nov. 2015.

VOGELSANGER EMPREENDIMENTOS (Firma). **Pavimentação Asfáltica**. Disponível em: <http://vogelsangerempreendimentos.com.br/site/servicos/pavimentacao-asfaltica/>. Acesso em: 11 nov. 2016.

YODER, E. J.; WITCZAK, M. W. **Principles of pavement design**. 2nd ed. New York, John Wiley & Sons, 1975. 728 p.

ESTUDOS
6 | CONTROLE DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO