

**PROJETOS BÁSICO E EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA
AS OBRAS DE RESTAURAÇÃO, MANUTENÇÃO
E CONSERVAÇÃO DE RODOVIA
C.R.E.M.A. 2ª ETAPA**

Rodovia : BR-153/GO
Trecho : Div. TO/GO/ENTR BR-452(B) (DIV GO/MG) (ITUMBIARA)
Subtrecho : ENTR BR-080(B)/GO-342 (P/BARRO ALTO)/ENTR.BR-060(A)
Segmento : Km 212,8 ao Km 444,6
Extensão : 231,8 km
Códigos SNV : 153BGO0430 a 153BGO0570

**VOLUME 1 – MEMÓRIA JUSTIFICATIVA DO PROJETO
TOMO III**

**PROJETOS BÁSICO E EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA
AS OBRAS DE RESTAURAÇÃO, MANUTENÇÃO
E CONSERVAÇÃO DE RODOVIA
C.R.E.M.A. 2ª ETAPA**

Rodovia : BR-153/GO
Trecho : Div. TO/GO/ENTR BR-452(B) (DIV GO/MG) (ITUMBIARA)
Subtrecho : ENTR BR-080(B)/GO-342 (P/BARRO ALTO)/ENTR.BR-060(A)
Segmento : Km 212,8 ao Km 444,6
Extensão : 231,8 km
Códigos SNV : 153BGO0430 a 153BGO0570

**VOLUME 1 – MEMÓRIA JUSTIFICATIVA DO PROJETO
TOMO III**

Supervisão : Superintendência Regional do DNIT GO/DF
Coordenação : Superintendência Regional do DNIT GO/DF
Fiscalização : Superintendência Regional do DNIT GO/DF
Elaboração : ONA S.A. ENGENHARIA, COMÉRCIO E INDÚSTRIA
Contrato : UT-12 0242/2012-00
Processos : 50612.000.868/2011-41
Edital : 0203/2011-12

MAIO/2013

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO
2. ESTUDOS
 - 2.3 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

1. APRESENTAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

A **ONA S/A - ENGENHARIA, COMÉRCIO E INDÚSTRIA** apresenta ao **DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**, o VOLUME 1 – MEMÓRIA JUSTIFICATIVA DO PROJETO - TOMO III, que faz parte do ***Projeto Básico e Executivo de Engenharia para as Obras de Restauração, Manutenção e Conservação de Rodovia – C.R.E.M.A. 2ª Etapa*** da rodovia:

Rodovia:	BR-153/GO
Trecho:	Div. TO/GO/ENTR BR-452(B) (DIV GO/MG) (ITUMBIARA)
Subtrecho:	ENTR BR-080(B)/GO-342 (P/BARRO ALTO)/ENTR.BR-060(A)
Segmento:	Km 212,8 ao Km 444,6
Extensão:	231,8 km
SNV:	153BGO0430 a 153BGO0570

1.2 COMPOSIÇÃO DO RELATÓRIO VOLUME 1 – MEMÓRIA JUSTIFICATIVA DO PROJETO – TOMO III

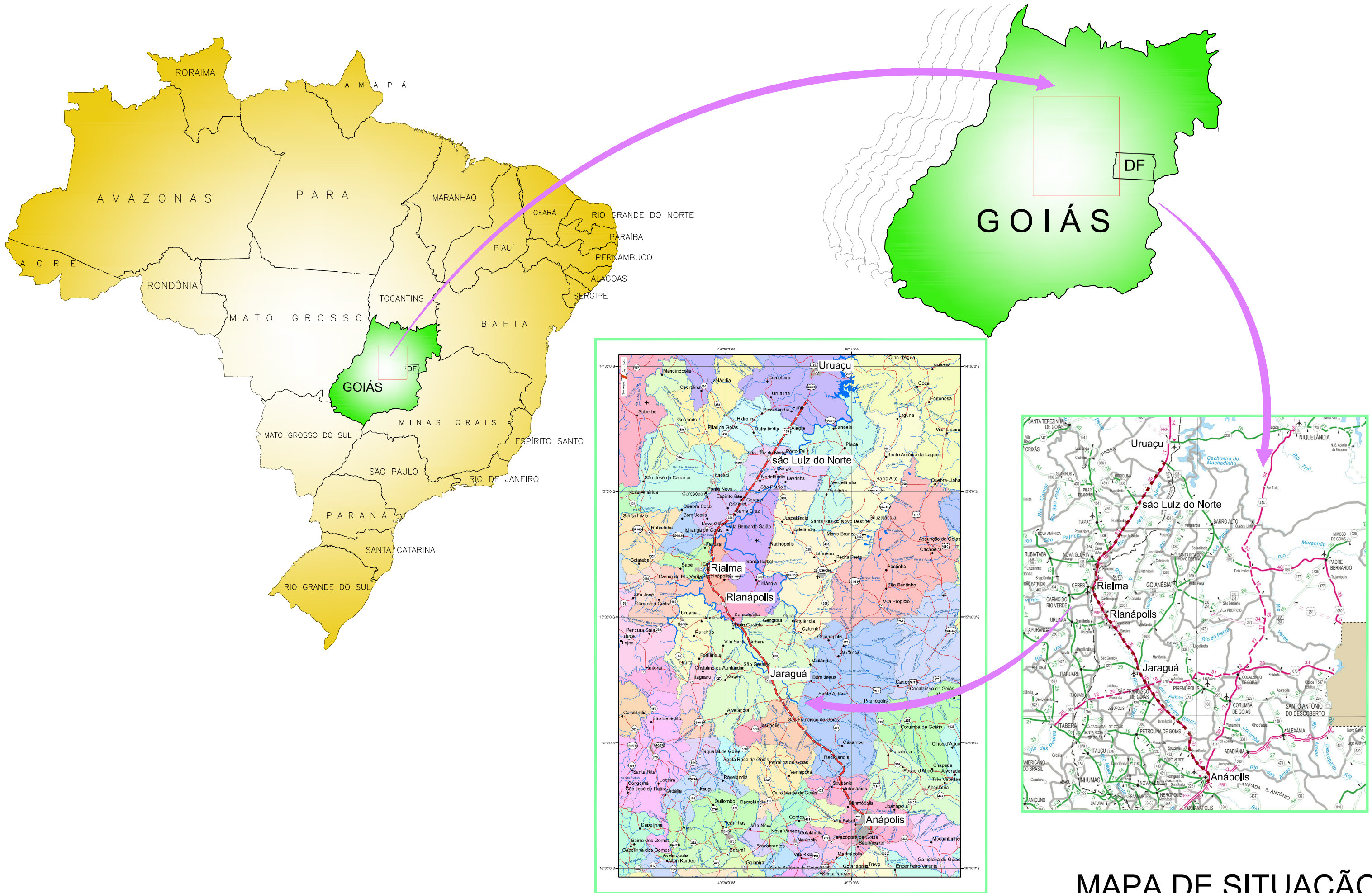
O VOLUME 1 – Memória Justificativa do Projeto – TOMO III compõe-se das partes principais:

1. Apresentação;
2. Estudos
- 2.3 Estudos Geotécnicos.

1.3 COMPOSIÇÃO DO PROJETO BÁSICO

O presente Projeto Básico compõe-se dos seguintes volumes:

- Volume 1 – Memória Justificativa do Projeto
- Volume 2 – Projeto Básico de Execução
- Volume 3A – Relatório Básico de Avaliação Ambiental – RBAA
- Volume 3B – Estudos Geotécnicos
- Volume 3C – Memória de Cálculo de Estruturas (Recuperação das OAE's)
- Volume 3D – Notas de Serviço e Cálculo de Volumes
- Volume 4 – Orçamento e Plano de Execução das Obras



MAPA DE SITUAÇÃO

2.3 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

2.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Índice

2.3.1 Generalidades

2.3.2 Metodologia

2.3.3 Resultados Obtidos

2.3.4 Orientação para o Projeto de Terraplenagem

2.3.5 Apresentação dos Resultados

2.3.1 GENERALIDADES

Se comparado com um projeto de implantação de uma rodovia, o projeto de restauração de um pavimento é igualmente complexo, em virtude do número de fatores a se considerar. Entre os fatores que se referem a condição atual do pavimento existente e a parâmetros que devem ser levados em conta para o projeto de restauração, pode-se citar:

Período de projeto ou vida de serviço que o pavimento restaurado deverá apresentar;

- Deficiências funcionais a serem corrigidas;
- Na hipótese de aproveitamento do pavimento existente, quais aspectos de degradação estrutural devem ser corrigidos ou que estão comprometendo o seu desempenho futuro;
- A adequação ou não da estrutura existente às solicitações que serão impostas pelas cargas do tráfego de projeto;
- Levantamento da condição do pavimento, ou seja, das características de severidade e extensão da degradação de superfície (na medida em que os defeitos existentes dão origem ou aceleram a geração de outros defeitos, além de aumentarem sua severidade com o tempo) e com relação a trincas, por comprometerem o desempenho de camadas de recapeamento a serem eventualmente aplicadas, através do fenômeno da reflexão de trincas;
- Nível de confiabilidade (N_c) requerido para o projeto, o qual é função da importância da rodovia. Quanto maior for N_c , menores serão os custos e a frequência das operações de conservação;
- As práticas construtivas que serão aplicadas, equipamentos disponíveis e experiência e habilidade das construtoras para execução das diversas soluções a serem concebidas;
- Tráfego atuante para o período de projeto (magnitude e frequência das cargas de ei-

xo);

- Restrições orçamentárias e operacionais;
- Materiais de construção disponíveis a distâncias de transporte economicamente competitivas;
- Condições climáticas do local e sua influência na deterioração do pavimento existente.

Documentos de Referência

Estes Estudos foram realizados tendo como referência os documentos:

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA		
Fonte	Código	Descrição
DNIT	-	Manual de Apresentação de Projeto CREMA 2ª Etapa
DNIT	IPR-726	Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários (Escopos Básicos / Instruções de Serviço) - 2006
DNIT	IS-206	Estudos Geotécnicos
DNER	-	Manual de Pavimentação / 1996
DNIT	-	Manual de Pavimentação / 2006
DNIT	IPR-720	Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos - 2006
DNIT	-	Manual de Soluções Técnico-Gerenciais para Rodovias Federais - Volume I – Manutenção e Restauração de Rodovias –2005
DNER	DNER-ME 024/94	Determinação das Deflexões pela Viga Benkelman
DNER	DNER-ES 128/83	Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos-Testemunha de Rodovias de Pavimentos Flexíveis ou Semi-Rígidos para Gerência de Pavimentos em Nível de Rede
DNER	DNER-PRO 08/94	Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos
DNER	DNER-ME 061/94	Delineamento de Linha de Influência Longitudinal da Bacia de Deformação por Intermédio de Viga Benkelman
DNIT	DNIT 005/2003 – TER	Defeitos nos pavimentos asfálticos - Terminologia.
DNIT	DNIT 006/2003 – PRO	Avaliação objetiva da superfície de pavimentos asfálticos - Procedimento.
DNIT	DNIT 007/2003 – PRO	Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimento flexível e semi-rígido para gerência de pavimentos e estudos e projetos - Procedimento.
DNIT	DNIT 008/2003 – PRO	Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos asfálticos - Procedimento.
DNIT	DNIT 009/2003 – PRO	Levantamento para avaliação subjetiva da superfície do pavimento - Procedimento.

Os Estudos Geotécnicos tiveram como referência os Estudos Geológicos e Topográficos e o Projeto Geométrico e foram elaborados para subsidiar os Projetos de Restauração, Pavimentação, Terraplenagem e Drenagem.

Conceitos

Segundo, Balbo¹ o pavimento é definido:

“como uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequado para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação, obrigatórios.

A estrutura do pavimento é concebida, em seu sentido puramente estrutural, para receber e transmitir esforços de maneira a aliviar pressões sobre as camadas inferiores, que geralmente são menos resistentes, embora isso não seja tomado como regra geral. Para que funcione adequadamente, todas as peças que a compõem devem trabalhar deformações compatíveis com sua natureza e capacidade portante, isto é, de modo que não ocorram processos de ruptura ou danificação de forma prematura e inadvertida nos materiais que constituem as camadas do pavimento.

As cargas são transmitidas à fundação de forma aliviada e também criteriosa, impedindo a ocorrência de deformações incompatíveis com a utilização da estrutura ou mesmo de rupturas na fundação, que geram estados de tensão não previstos inicialmente nos cálculos e induzem toda a estrutura a um comportamento mecânico inadequado e à degradação acelerada ou prematura.” (grifo nosso)

Deve-se esclarecer que período ou horizonte de projeto, não deve ser confundida com vida útil ou vida de serviço, esse depende de uma série de fatores que concorrem simultaneamente, critérios de projeto e condições de tráfego não prevista em projeto (volume excessivo ou cargas excedentes), que contribuem sobremaneira para a deterioração precoce dos pavimentos, concedendo vidas de serviço aquém daquelas estipuladas na fase de projeto. Deve ser compreendido que o desempenho de um pavimento não está subordinado exclusivamente à concepção do projeto.

ODA (2003)² alerta que o pavimento, se comparado com outras estruturas usuais da engenharia civil, tem vida curta. É na realidade, construído para ser destruído pelo tráfego num determinado período, seja de 5, 10, 15 ou no máximo 50 anos. Por esse motivo os fatores intervenientes (projeto, construção e manutenção) devem ser muito bem ponderados e eficientemente acompanhados para que não haja surpresas com insucessos prematuros.

Pelo uso continuado, pelo número e pela severidade dos fatores intervenientes é evidente

¹ Balbo, José Tadeu, Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração/José Tadeu Balbo. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

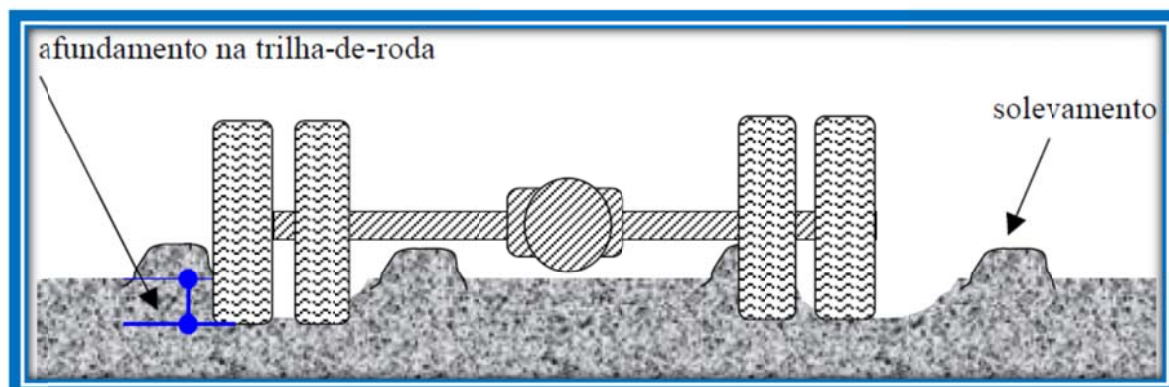
² Notas de Aula - Estradas – Cap. 2 – Considerações Gerais. ODA, S.. UEM, 2003.

que a durabilidade de um pavimento é limitada. Logo, depois de transcorrido algum tempo, o pavimento deverá sofrer uma ação de “rejuvenescimento” que pode ser uma operação tapa-buracos, um recapeamento ou mesmo uma restauração ou reconstrução. Durante cada um destes períodos ou “ciclos de vida”, o pavimento inicia numa condição ótima até alcançar uma condição ruim (ALBANO, 2005) ³.

BALBO (2007) ⁴ alerta que os materiais de construção do pavimento, no decorrer de sua vida de serviço, apresentam processos de danificação e deterioração (degradação) inevitáveis que, paulatinamente, implicam a alteração de suas propriedades mecânicas, ou seja, aquelas que governam seu comportamento sob as ações das cargas de diversas naturezas. Portanto, as propriedades dos materiais alteram-se após a construção, piorando pouco a pouco.

Deterioração

Deterioração são as consequências visíveis do efeito cumulativo das cargas e do meio ambiente sobre os pavimentos. As formas de deterioração associadas ao comprometimento estrutural dos pavimentos e que contribuem significativamente para a redução da serventia de um pavimento são as trincas por fadiga do revestimento asfáltico e a deformação permanente nas trilhas das rodas.



ALBANO (2005) ⁵, citando BALBO (1997), CERATTI (1997) e FERNANDEZ Jr (1999), comenta a complexidade de se estabelecer de modo inquestionável as causas ou a gênese dos defeitos de um pavimento flexível.

Ao se considerar os possíveis mecanismos de ruptura em pavimentos deve-se ponderar que existem sítios geológicos e pedológicos diversos; diferentes condições climáticas e morfológicas; políticas de cargas para diferentes veículos comerciais; utilização de materiais peculiares a cada região; além de tradições construtivas e de projeto muito variadas (BALBO, 2007) ⁶.

Assim, há muitas razões para que não exista um critério universalmente aceito

³ Efeitos dos Excessos de Carga sobre a Durabilidade de Pavimento. ALBANO, J.F. UFRGS, 2005

⁴ Pavimentação Asfáltica – Materiais, Projeto e Restauração. BALBO, J.T. Oficina de Textos, 2007.

⁵ Efeitos dos Excessos de Carga sobre a Durabilidade de Pavimento. ALBANO, J.F. UFRGS, 2005

⁶ Pavimentação Asfáltica – Materiais, Projeto e Restauração. BALBO, J.T. Oficina de Textos, 2007.

pelos técnicos de como se dá a ruptura de um pavimento, nem mesmo um combinação de vários critérios universalmente aceita (BALBO, 2007).

Os pavimentos rodoviários podem apresentar diversos mecanismos de ruptura na sua estrutura. Segundo ALBANO (2005), DER-SP (2006)⁷, MEDINA e MOTTA (2005)⁸ e GONÇALVES (2002)⁹, entre outros, muitos fatores afetam o desempenho a ser oferecido por um determinado pavimento, além do número de veículos pesados e da carga por eixo a que estão sujeitos, dentre eles se destacam:

1. Dificuldades na elaboração dos projetos, processos construtivos inadequados ou controle tecnológico deficitário, uma vez que:
 - a. A rodovia ocupa uma grande área, o que faz com que haja uma grande variação nas características dos materiais ao longo do trecho e em cada uma das camadas;
 - b. Há muitas limitações nas metodologias e nos procedimentos convencionais de estudos, projetos e controle tecnológico das obras de pavimentação;
 - c. Os coeficientes de segurança são baixos ou indefinidos (os métodos de dimensionamento tradicionais são empíricos e de tratamento determinístico);
 - d. Os estudos geotécnicos realizados durante a etapa de projeto são limitados e devem ser tomados somente como referenciais. Uma vez que os ensaios do subleito são feitos com amostras trabalhadas (as camadas do subleito, nem sempre são trabalhadas pelo equipamento de terraplenagem); as jazidas de materiais ocupam grandes áreas que são sondadas a pequena profundidade e delas são extraídas poucas amostras; a distribuição dos materiais nem sempre é respeitada durante a construção, dentre outras limitações;
 - e. A previsão de evolução do tráfego é aproximada, assim como a expectativa de vida útil da rodovia¹⁰;
 - f. Os processos adotados no controle tecnológico das obras de pavimentação mantêm, ainda, procedimentos e metodologias convencionais que não fornecem subsídios técnicos suficientes para avaliar com precisão a qualidade dos serviços em face da elevada produtividade dos novos métodos e equipamentos de construção

⁷ Avaliação Funcional e Estrutural de Pavimento. DER-SP, 2006.

⁸ Mecânica dos Pavimentos. MEDINA, J e MOTTA, L. M. UFRJ, 2005

⁹ Estudo do Desempenho de Pavimentos Flexíveis a partir de Instrumentação e Ensaio Acelerados. GONÇALVES, F. J. P. – UFRGS, 2002

¹⁰ A vida útil refere-se ao período durante o qual o pavimento apresenta bom desempenho estrutural, ou seja, consegue manter sua estrutura íntegra, não apresentando falhas significativas. Esta condição está associada às atividades de manutenção considerando-se, ainda, o momento mais adequado para a sua reabilitação.

rodoviária (PREUSSLER, 2007) ¹¹.

2. O clima é fator preponderante. MOTTA (1991) ¹² expõe que o clima é um dos fatores que mais afetam o desempenho de um pavimento. Representado por seus elementos básicos, temperatura do ar ¹³ e precipitação, o clima influencia os pavimentos através de diversos mecanismos, tais como a intemperização dos materiais, a alteração dos módulos resilientes ou ainda a alteração das umidades de equilíbrio. MEDINA (1997) ¹⁴ refere-se à ação destrutiva da água nos pavimentos, afirmando que garantir excelentes condições de drenagem é um dos pontos essenciais na manutenção dos pavimentos ¹⁵;
3. As cargas transitantes, seja em número ou magnitude, variam com o tempo e têm efeito destrutivo, também, variável;
4. A intemperização e a degradação das camadas superiores por ação do tráfego e do tempo afetam a integridade do pavimento e sua serventia;
5. A frequência e as práticas de manutenção aplicadas ao longo do tempo.

A estes fatores podem ser somados outros como: a espessura das camadas, a qualidade dos materiais utilizados, os procedimentos executivos adotados, as propriedades do subleito existente, as condições do meio ambiente e, principalmente, o uso da via, representado pelo tráfego de veículos pesados.

Em resumo, não existe ruptura súbita em um pavimento, e sim, uma lenta progressão de defeitos acelerada após um determinado estágio. **A deterioração de um pavimento ocorre de forma gradual ao longo dos anos, em função da qualidade dos materiais, tráfego e clima, e, principalmente, da repetição de deformações resilientes e do acúmulo de deformações permanentes.**

¹¹ PREUSSLER, L.A. (2007). Contribuição ao Estudo da Deformabilidade de Camadas de Pavimento - USP (Dissertação de Mestrado)

¹² Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis - Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas, MOTTA, L. UFRJ, 1991.

¹³ Cabe ressaltar o gradiente térmico predominante no clima tropical, em que o pavimento é aquecido intensamente durante o dia, caracterizando altas temperaturas do revestimento betuminoso e do topo da base (a qual chega a atingir 60°C, principalmente em revestimento de pequena espessura); enquanto seu subleito mantém-se a 25°C durante o dia ou à noite. Assim, esse fenômeno, por si só, ocasiona o movimento descendente da água sob a forma líquida ou de vapor (ALBUQUERQUE E SILVA, 2003).

¹⁴ Mecânica dos Pavimentos. MEDINA, J. Editora UFRJ, 1997.

¹⁵ CARDOSO (1987) citado por ALBUQUERQUE E SILVA (2003) mostrou que de um nível de umidade de 1% abaixo da ótima para mais 2,2% no caso do solo granular, e para ótima mais 2,5%, no caso do solo fino, a deformação plástica cresceu sete vezes para o solo granular e dezessete vezes para o solo fino. Demonstrando que, além da suscetibilidade à umidade da deformação plástica, o solo fino tem mais sensibilidade à umidade do que o solo granular, em termos de deformação plástica. VILLIBOR (1981) citado por ALBUQUERQUE E SILVA (2003), realizando ensaios de umidade in situ (DER M-61) em camadas de base de pavimentos constituídas de solos arenosos finos lateríticos concluiu que os teores de umidade da camada de base estão compreendidos no intervalo 55% a 110% da umidade ótima, estando as parcelas mais secas situadas no topo do pavimento (até 5 cm). Conforme MEDINA (1997), a maioria dos pavimentos brasileiros trabalham com umidades de equilíbrio abaixo da ótima (cerca de 3% abaixo).

PREUSSLER et al (2004) ¹⁶ comenta sobre este tema:

“Geralmente, os problemas de deterioração dos pavimentos originam-se de dois aspectos: falhas de projeto (dimensionamento ou indicação de materiais de qualidade duvidosa) ou falha executiva.

Nos últimos anos, contudo, os autores começaram a observar um grande aumento na frequência de problemas de deterioração precoce nas obras, mesmo quando se tem pavimentos adequadamente projetados e bem executados e controlados. O excesso de carga por eixo, devido às deficiências generalizadas no controle das cargas dos caminhões, tem sido várias vezes evocado como a causa dos defeitos precoces. Mas estudos realizados para a Rodovia Fernão Dias, trecho Belo Horizonte/São Paulo, mostraram que o excesso de carga causa, sim, a redução da vida útil do pavimento, mas pode ser o causador de trincas com idades de 6 meses a um ano. O excesso contribui, mas não é o causador do problema.

Os danos mais comuns que se tem observado são as trincas que surgem na superfície do concreto asfáltico em um período muito curto, inferior a um ano após a execução.”

À medida que o pavimento é solicitado pelas cargas do tráfego, ocorre um acúmulo de deformações permanentes em todas as suas camadas, originando na superfície um tipo de defeito conhecido como afundamento de trilha-de-roda, que se manifesta nos locais onde as rodas dos veículos transitam.

Esses afundamentos, além de prejudicarem a serventia das estradas, são também indesejáveis sob o aspecto da segurança, porque a água pode se depositar nessas áreas e dificultar a governabilidade dos veículos.

Para DNIT (2006) ¹⁷, uma profundidade de 12mm das trilhas-de-roda pode ser utilizada como indicador do comprometimento estrutural do pavimento e, portanto da necessidade de reabilitação dos pavimentos asfálticos. Para BALBO (1997), a profundidade das trilhas-de-roda pode ser utilizada como indicador de necessidade de reabilitação dos pavimentos asfálticos. MOTTA (1991), em seu método de dimensionamento de pavimento flexível, considerou como um dos critérios de ruptura, o afundamento máximo de trilhas-de-roda igual a 16 mm. WATSON (1989) citado por ALBANO (2005) explica que, segundo estudos desenvolvidos na Inglaterra, o melhor momento para a intervenção ocorre quando são detectadas trilhas-de-roda com profundidade de 10mm ou fissuras sobre as trilhas, mesmo antes de ocorrer esta profundidade.

¹⁶ PREUSSLER. E.S et al (2004). Asfalto Modificado por Polímero Empregado na BR-153/GO. Revista Vias Gerais. Março, 2004.

¹⁷ Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. DNIT, 2006.

A deformação, nas trilhas de rodas ocorre, por dois mecanismos: aumento da densidade da mistura devido a pós-compactação do tráfego e a deformação plástica por cisalhamento.

Para recuperação das áreas danificadas é necessário remover a capa asfáltica existente (Capa de rolamento e Binder), através de fresagem, e sua substituição por um novo revestimento.

Segundo PINTO e PREUSSLER (2002) com o crescimento do volume de tráfego, é justificável a construção de uma estrutura capaz de suportar as solicitações cada vez maiores, produzidas pelo tráfego. Esses investimentos iniciais realizados para a construção dos pavimentos serão compensados pelos benefícios decorrentes:

- Redução do custo de transporte;
- Diminuição do tempo de viagem;
- Aumento do conforto e segurança;
- Diminuição das despesas de conservação;
- Redução do índice de acidentes.

Execução dos Estudos

Os solos são produtos da ação contínua de diversos agentes que atuam de forma combinada concorrendo para a formação e desenvolvimento dos mais variados tipos de solos, apresentam-se ordenados em distintos perfis que se desenvolvem principalmente em função das condições ambientais predominantes. Aspectos específicos de cada local, tais como clima, biosfera, material de origem e relevo, assim como o tempo de ação de cada um deles, podem favorecer a formação e evolução de um ou outro tipo de solo. Dentre os diferentes tipos de solos há aqueles que podem ser aplicados com sucesso às obras de construção civil, seja na condição de solos de fundação ou mesmo como material de construção. Para se prever o comportamento geotécnico dos solos quando submetido às solicitações mecânicas e hidráulicas decorrentes dos carregamentos estruturais e mesmo de variações das condições ambientais, na obra em questão, foram desenvolvidos estes Estudos Geotécnicos.

Dentre os diferentes tipos de solos formados sob as condições específicas e particulares em cada região, há aqueles que podem ser aplicados com sucesso às obras de construção civil, seja na condição de solos de fundação ou mesmo como material de construção.

Os Estudos Geotécnicos proporcionam o conhecimento dos materiais dos cortes e aterros, do terreno de fundação destes últimos e das obras-de-arte correntes e, ainda, a localização, a distâncias econômicas de transporte, de ocorrências de materiais com características aceitáveis para execução da pavimentação e demais estruturas necessárias à realização da obra. Deste modo, a execução de uma obra rodoviária demanda inicialmente a escolha de materi-

ais adequados, que devem atender especificações vigentes, as quais determinam os índices mínimos de qualidade necessários.

Para se prever o comportamento geotécnico dos solos quando submetido às solicitações mecânicas e hidráulicas decorrentes de carregamentos estruturais e mesmo de variações das condições ambientais, na obra em questão, foram desenvolvidos estes Estudos Geotécnicos.

O solo ao sofrer solicitações se deforma, modificando o seu volume e forma iniciais. A magnitude das deformações apresentadas pelo solo irá depender de suas propriedades elásticas e plásticas e do carregamento a ele imposto. O conhecimento das tensões atuantes em um maciço de terra sejam elas devido ao peso próprio ou provenientes de um carregamento em superfície (alívio de cargas provocado por escavações) é de vital importância no entendimento do comportamento de praticamente todas as obras de Engenharia geotécnica. Nos solos ocorrem tensões devidas ao seu peso próprio e a carregamentos externos.

Pavimento Novo

Para efeito do projeto os estudos foram divididos em estudos geotécnicos para terraplenagem e para pavimentação e drenagem.

No primeiro grupo foram programados o estudo do subleito, para identificar os horizontes de solo, suas características macroscópicas e determinar suas características físico-mecânicas dos trechos; o estudo dos cortes, para identificar e caracterizar os materiais a serem movimentados na operação de terraplenagem e a pesquisa do lençol freático para instrução do projeto de drenagem profunda.

No segundo grupo foram programados a prospecção de ocorrências de materiais destinadas às camadas dos pavimentos e às obras de arte e serviços complementares; projeção e ensaios de misturas de materiais e de materiais isoladamente, destinados às camadas do pavimento e o estudo de pedreiras e areais.

Pavimento Existente

Os estudos geotécnicos elaborados para subsidiar o projeto de restauração do pavimento compreenderam:

- Avaliação funcional e estrutural do pavimento existente;
- Estudos das camadas granulares da pista existente;
- Estudo de ocorrências de materiais.

A sequência metodológica dos Estudos Geotécnicos compreendeu:

1. Implantação de um eixo de referência no bordo direito (sentido Km 0 ao Entr com a BR-080 na rodovia BR-153 e de Assunção de Goiás ao Entr com a BR-153 na rodovia BR-080) para servir de referência para localização dos locais estudados;

2. A avaliação funcional e estrutural de um pavimento compreende um conjunto de atividades destinadas à obtenção de dados, informações e parâmetros que permita diagnosticar os problemas e interpretar o desempenho apresentado pelo pavimento, de modo a detectar suas necessidades atuais e futuras de manutenção e se prever as consequências da implementação de estratégias alternativas de manutenção.

A avaliação de um pavimento requereu a coleta de dados substanciais, os quais podem ser divididos nas seguintes categorias principais:

- a. Condições do pavimento (incluindo os acostamentos);
 - b. Dados de projeto do pavimento;
 - c. Propriedades dos materiais componentes;
 - d. Volume de tráfego e carregamento;
 - e. Condições climáticas; e
 - f. Considerações de segurança.
3. Sondagem e coleta dos materiais constituintes do pavimento e do subleito, visando a determinação da espessura das diversas camadas e suas características geotécnicas;
4. Prospeção de ocorrências de materiais destinadas às camadas dos pavimentos novos, complementação dos acostamentos, às obras de arte e serviços complementares;
5. Projeção e ensaios de misturas de materiais e de materiais isoladamente, destinados às camadas do pavimento, em reciclagens e segmentos de reconstrução.

Resultados Obtidos

Todos os resultados obtidos nos Estudos Geotécnicos são apresentados no Volume 3B - Estudos Geotécnicos. O linear, os croquis, a localização e as características das ocorrências de materiais são apresentados no Volume 2 – Projeto Executivo.

Observações

Neste estudo, as informações sobre os solos somente são colocadas como referenciais, apesar de terem sido realizados com o máximo cuidado, não significa garantia que estas investigações revelaram as verdadeiras condições que se descobrirão durante o progresso dos trabalhos.

As dificuldades para uma perfeita caracterização e previsão do comportamento dos solos advêm do fato que o solo é um material trifásico (constituído por partículas sólidas, líquido e gás) ¹⁸, heterogêneo e anisotrópico ¹⁹, além das deficiências próprias das amostragens. Seu

¹⁸ FASE SÓLIDA: Caracterizada pelo seu tamanho, forma, distribuição e composição mineralógica dos grãos.

FASE GASOSA: Ar, vapor d'água e carbono combinado. É bem mais compressível que as fases líquida e sólida.

FASE LÍQUIDA: Preenche os vazios dos solos. Pode estar em equilíbrio hidrostático ou fluir sob a ação da gravidade ou de outra

comportamento é função do nível de tensões, do tempo e do meio em que está inserido e das condições de contorno, além da relação tensão-deformação, que não é linear e não é única.

Antes de serem executados o serviço de restauração e pavimentação é recomendável que sejam realizados os que podem ser chamados "estudos definitivos do pavimento", entre eles, a execução de sondagem de forma estratégica, em função do grau de conhecimento que se tem das camadas de terraplenagem nos segmentos homogêneos, em função dos levantamentos na fase de projeto, dos executados durante a obra e dos resultados dos ensaios de controle.

A obtenção das características mecânicas de pavimentos em uso, através de ensaios de laboratório, além de exigir um investimento considerável, apresenta inconvenientes devidos à dificuldade de reproduzir em laboratório, as condições reais de campo, e ainda, a necessidade de intervenção destrutiva em vias existentes e em operação. Ressalva-se, entretanto, que há sempre a necessidade de realizar algumas sondagens para determinação das espessuras das camadas, e coleta de materiais para elaboração de ensaios de laboratório.

2.3.2 METODOLOGIA

2.3.2.1 SUBLEITO

Definido, juntamente com a Fiscalização, que não serão introduzidas modificações no traçado e na plataforma existente, nos segmentos em projeto, mesmo em terceira faixa, e que há necessidade de readequação das interseções existentes, com o intuito de melhorar suas características técnicas para atender ao aumento de volume de tráfego, aos novos padrões da frota usuária, para melhorar as condições de visibilidade ou para eliminar pontos críticos de acidentes.

Para subsidiar o projeto de readequação das interseções, em cada uma, foi lançado um eixo paralelo ao existente, onde foram realizados furos de sondagem a cada 100m. Estes eixos

forma.

ÁGUA CAPILAR: Eleva-se pelos interstícios capilares formados pelas partículas sólidas, devido a ação das tensões superficiais oriundas a partir da superfície líquida da água.

ÁGUA ADSORVIDA: É uma película de água que adere às partículas de solos muito finos devido a ação de forças elétricas desbalanceadas na superfície dos minerais argilosos.

ÁGUA DE CONSTITUIÇÃO: Faz parte da estrutura molecular da parte sólida.

ÁGUA HIGROSCÓPICA: A água que ainda se encontra no solo seco ao ar livre.

As águas Livre, Higroscópica e Capilar podem ser totalmente eliminadas a temperatura práticas de 100°C.

¹⁹ *Os materiais podem ter uma estrutura interna em que as partículas são dispostas de tal forma que o número de contatos partícula a partícula numa direção seja diferente do número de contatos noutra direção e nesta situação diz-se que a sua estrutura tem anisotropia inerente, neste caso, sendo uma propriedade do material. Pode acontecer que ao se aplicar cargas no material provoque uma reorganização das partículas, ou seja, a estrutura adquiriu uma anisotropia devido a aplicação da carga, ou uma anisotropia induzida.*

Nos solos, além da anisotropia inerente, quando são aplicadas cargas surge nos mesmos a anisotropia induzida. Pode, portanto, ocorrer anisotropia inerente seguida da induzida. Este fato pode ocorrer em maior ou menor escala dependendo do formato das partículas constituintes do solo. (CABRAL, 2005)

distam 20m do eixo existente e tem aproximadamente 500m para cada lado do centro da interseção existente, totalizando um levantamento de 1000m.

O espaçamento máximo entre dois furos de sondagem no sentido longitudinal no subleito (fundação do aterro, uma vez que o subleito será construído com material de empréstimo, lateral ou concentrado) é de 100 m.

Os estudos do subleito objetivaram basicamente caracterizar os materiais que servirão de suporte aos pavimentos novos. Para tanto se procedeu a análise em quatro etapas:

1. **Estudo Preliminar:** Definido a necessidade de readequar as interseções existentes foi elaborado um plano de sondagem, onde foram estabelecidos os pontos de sondagem, com ou sem coleta de amostras, nos pontos de importância para elaboração dos projetos de terraplenagem, de pavimentação e ao próprio estudo geotécnico, tais como:
 - Seções centrais das gargantas, encostas íngremes, zonas coluviais e de tálus, com o objetivo da definição da profundidade da rocha;
 - Travessia de região pantanosa ou com presença de turfa, com definição da profundidade da camada mole;
 - Trechos apresentando material pouco coesivo, já estabilizado, como solos siltosos, arenosos, etc;
 - Trechos com presença do lençol freático;
 - Trechos que apresentam grandes erosões ou erosões em crescimento (sondagem visual);
 - Outros pontos similares que venham a interferir na elaboração dos projetos
2. **Inspecção Expedita e Coleta de Amostras:** Para a identificação das diversas camadas de solos previu-se a execução de sondagens sobre o eixo projetado, espaçadas longitudinalmente de 100 em 100m, tanto nos aterros como nos cortes, com uma profundidade mínima de 1,50 m abaixo do terreno natural ou do greide projetado.

Nos cortes foram verificadas a presença de material de 3ª categoria, presença e profundidade do lençol freático e profundidade dos diversos horizontes.

As amostras de solo correspondentes a cada horizonte foram coletadas, ensacadas e etiquetadas para posterior identificação e encaminhadas ao laboratório.
3. **Ensaio de Laboratório:** Todas as amostras coletadas foram submetidas aos ensaios:
 - Análise Granulométrica de solos por peneiramento (DNER-ME 080/94);

- Determinação do limite de liquidez (DNER-ME 122/94);
 - Determinação do limite de plasticidade (DNER-ME 082/94);
 - Determinação do Índice de Suporte Califórnia de Solos utilizando amostras não trabalhadas (DNER-ME 049/94); e
 - Compactação, determinação de umidade ótima e densidade máxima (DNER-ME 129/94).
4. **Análise dos Resultados:** Após os ensaios de laboratório e os cálculos correlatos procedeu-se à determinação do índice de grupo, classificação e análise estatística dos dados segundo a metodologia do DNIT.
- Todos os furos de sondagem, de subleito e corte, foram lançados no perfil longitudinal do Projeto Geométrico, juntamente com a classificação nos horizontes atravessados e observações quanto ao impenetrável e nível d'água (NA), constituindo o perfil geotécnico do trecho.
5. **Índice de Suporte de Projeto:** O comportamento estrutural de um pavimento depende das propriedades de cada camada. Como as propriedades do subleito e as condições de drenagem variam ao longo de uma rodovia, fora do controle do projetista, o trecho a ser projetado precisa ser dividido em segmentos homogêneos nos quais o subleito e as condições de drenagem sejam constantes. As condições de umidade das camadas do pavimento devem ser assumidas como estando na de equilíbrio que é bem próxima da ótima.

Como existe grande diversidade e uma enorme diferença de comportamento apresentada pelos diferentes solos, estabelecer um segmento homogêneo implica em incluir um solo em um determinado grupo composto por solos de características e propriedades geotécnicas similares, objetivando principalmente estimar o provável comportamento dos solos do segmento sob o ponto de vista de engenharia. Assim a análise estrutural é realizada, na maioria das vezes, em trechos com grande extensão, sendo inviável, por aspectos de ordem executiva, construtiva e financeira, se promover o diagnóstico a cada estaca do trecho em estudo, embora no caso de zonas de comportamento anômalo, seja necessária esta prática.

O estabelecimento de um segmento homogêneo implica na necessidade de se utilizar limites numéricos para representar solos com características muito variáveis. Assim se forem agregados em um segmento solos com um mesmo parâmetro físico, os resultados finais jamais fornecerão informações mais completas além das dos próprios parâmetros considerados. Deve ser bem entendido que os estudos realizados represen-

tam a realidade dos solos onde foram sondados, assim, corre-se o risco da supervalorização dos solos a eles associados.

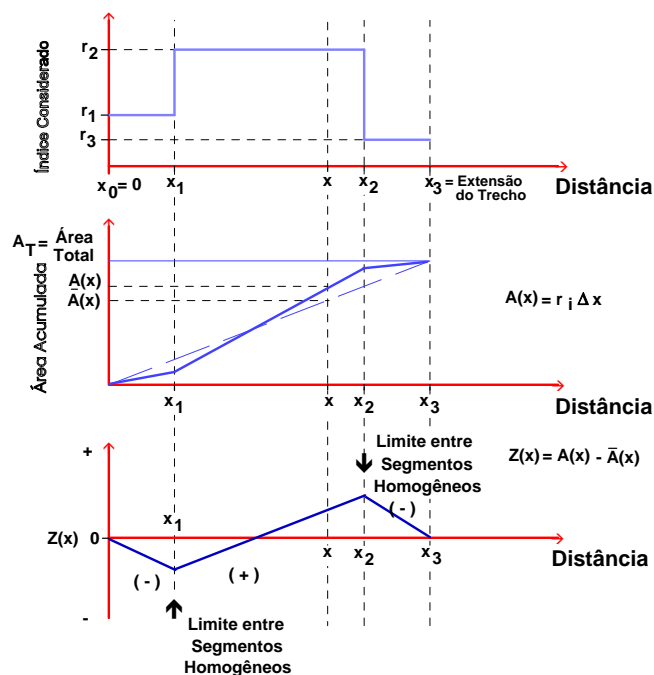
O estudo definitivo do solo do subleito, somente pode ser feito em estradas com terraplanagem concluída, no projeto os estudos do subleito foram feitos previamente à terraplanagem. Desta forma o projeto da rodovia em questão engloba os projetos de terraplanagem e pavimentação.

De posse dos resultados dos ensaios, foi elaborado um gráfico linear das características físicas e mecânicas dos materiais constituintes do subleito, procedendo-se inicialmente à divisão do trecho em segmentos homogêneos, obedecendo às variações das características dos materiais ocorrentes ao longo do trecho.

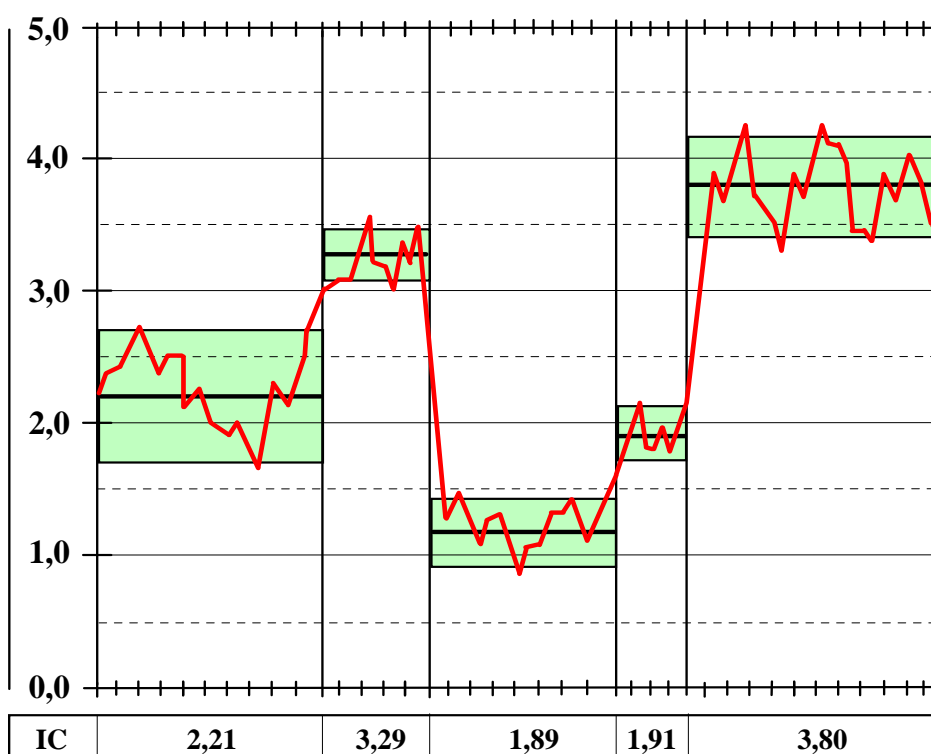
No item 4.6 – Avaliação Global do Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006) é desenvolvido um método para dividir o trecho em segmentos sequenciais que apresentem comportamento homogêneo, quando da avaliação estrutural. O processo é baseado no método das diferenças acumuladas da AASHTO, que consiste na seguinte sequência de cálculo:

- Calcula-se o valor médio para toda a rodovia do parâmetro a ser analisado (no caso de pavimentos novos o ISC é o parâmetro usado);
- Calcula-se a diferença entre o valor pontual e o valor médio;
- Calculam-se os valores acumulados das diferenças;
- Plota-se um gráfico onde as abscissas são as distâncias e as ordenadas, os valores acumulados das diferenças.

A variação do coeficiente angular da curva assim obtida indica uma mudança do comportamento médio de um determinado segmento para outro, caracterizando matematicamente, as extremidades dos segmentos homogêneos.



Método das Diferenças Acumuladas



Aplicação do Método para um dos Índices de Condição

No projeto foram estudados o ISp para a situação de Pavimento Novo.

Os segmentos homogêneos foram definidos em função do índice de suporte do subleito, deixando-se de lado uma eventual classificação geológica que não agregaria informações relevantes ao Projeto e levaria à criação de numerosos segmentos com resultados negativos do ponto de vista da construção e encarecimento do trecho devido a maiores dificuldades de construção em consequência da multiplicidade da espessura do pavimento.

Como as camadas constituintes da terraplenagem são, em geral, compostas por materiais disponíveis nas proximidades da obra a ser realizada, os resultados dos ensaios de subleito, cortes e empréstimos laterais foram englobados em um mesmo item. Esta consideração deve-se ao fato que nos casos de aterro sem compensação longitudinal, o material que comporá o subleito será proveniente dos empréstimos laterais. Os parâmetros que serão considerados para a divisão em termos de homogeneidade, serão aqueles que mais interessam para o desempenho e eficácia do pavimento, o estaqueamento ou quilometragem e o Índice de Suporte Califórnia.

Adaptando este método para as condições de projeto é possível, por um meio gráfico, determinar os segmentos homogêneos. O mesmo Manual recomenda que a extensão máxima para um segmento homogêneo seja inferior a 5 km e, por razões de cunho construtivo, devem ter uma extensão mínima de 200 m.

Os segmentos homogêneos serão definidos em função do índice de suporte do subleito, deixando-se de lado uma eventual classificação geológica que não agregaria informações relevantes ao Projeto e levaria à criação de numerosos segmentos com resultados negativos do ponto de vista da construção e encarecimento do trecho devido a maiores dificuldades de construção em consequência da multiplicidade da espessura do pavimento.

Para obtenção dos valores estatísticos alguns resultados devem ser abandonados por não representarem o subleito. Para tanto foram abandonados os resultados dos furos:

- Que estivessem enquadrados fora do intervalo definido como aceitável pelo Highway Research Board:

$$X_{max} = \bar{X} \pm 2,5 \cdot \sigma, \text{ para } 9 \leq N \leq 20 \text{ e } X_{max} = \bar{X} \pm 3 \cdot \sigma, \text{ para } N > 20$$

Como forma de garantir que os valores do ISC provêm de um mesmo universo;

- Que não atingiram o subleito;

- Dos que representavam a primeira camada do solo, adotou-se os resultados do material subjacente e que melhor caracteriza o comportamento do subleito;
- Nos locais de aterros superiores a 0,60 m e junto aos quais não foram indicadas caixas de empréstimo, sendo orientados materiais oriundos de outros locais com valores mais altos de ISC;
- Nos locais de aterros inferiores a 0,60 m, onde o material do subleito não tem condições geotécnicas de dar suporte ao pavimento, neste caso orientou-se a remoção e substituição por material a ser definido no projeto de pavimentação.

Como o CBR foi obtido com amostras moldadas em laboratório, a um grau mínimo de compactação e como esta condição será imposta no campo, adota-se tomar para CBR de projeto, o valor:

$$IS_p = \bar{X} - K\sigma$$

Onde:

\bar{X} = média;
 K = coeficiente tabelado em função do número de determinações (Tabela a seguir)
 σ = desvio padrão da amostra

Quadro 2.3.1 - TABELA DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL

N	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	21
K	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
α	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01

n = n° de amostras

k = coeficiente multiplicador

α = risco do Executante

Para estimar a homogeneidade do segmento, uma medida comumente empregada é o coeficiente de variação (CV), que representa o desvio padrão expresso como porcentagem da média.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100$$

Onde:

\bar{X} = média;
 σ = desvio padrão da amostra

Significa, portanto, o desvio padrão (σ) expresso em porcentagem da média (m). CV é adimensional, um número puro usualmente expresso em forma de porcentagem. Quanto menor for o CV mais homogêneo é o conjunto de dados. Geralmente, um valor CV inferior ou igual a 25% indicará que o conjunto é razoavelmente homogêneo.

- ☒ Baixos CV < 10%
- ☒ Médios 10 < CV < 20%
- ☒ Altos 20 < CV < 30%
- ☒ Muito Altos CV > 30%

Classificação Segundo a TRB - TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (Antiga HRB)

Classificar um solo significa incluí-lo em um determinado grupo composto por solos de características e propriedades geotécnicas similares.

Objetivo principal de se classificar um solo sob o ponto de vista de engenharia de classificar um solo é estimar seu provável comportamento ou ao menos orientar o programa de investigação necessário.

Para se prever o comportamento geotécnico dos solos quando submetido às solicitações mecânicas e hidráulicas decorrentes de carregamentos estruturais e mesmo de variações das condições ambientais, foi desenvolvido, ao longo dos anos, distintos sistemas de classificação de solos para uso em engenharia civil.

Formas de classificação dos solos:

- pela origem → solos residuais e solos transportados (aluviais, coluviais...);
- pela sua evolução pedogenética → classificação pedológica dos solos;
- por características peculiares: estrutura, ...;
- pelo tipo e comportamento das partículas constituintes: são sistemas de classificação dos solos baseados em propriedades – índices, são as mais empregadas em engenharia.

No Brasil, em se tratando de obras de pavimentação, pode-se separar os sistemas de classificação de solos em duas grandes vertentes. A primeira é representada pelas classificações tradicionais de solos, desenvolvidas originalmente em países de clima temperado e posteriormente adotadas no Brasil. São as classificações TRB – Transportation Research Board, também recomendada pela AASHTO - American Association of State Highways and Transportation Officials, e a classificação USCS - Unified Soil Classification System, proposta pela ASCE- American Society of Civil Engineers. (DNER, 1996)

Uma segunda vertente de classificação de solos é representada pela Metodologia MCT– Miniatura Compactada Tropical, proposta inicialmente em 1980 por Nogami e Villibor, pesquisadores da USP, com fins de determinação das propriedades dos solos visando sua aplicação em camadas de pavimentos.

A classificação TRB é adotada pela maioria dos órgãos públicos nacionais.

A classificação de solos segundo o TRB (antiga HRB), que surgiu com o Método de Dimensionamento do Índice de Grupo (IG) e baseia-se em ensaios normais de caracterização de solos, tais como: granulometria, limites de liquidez e de plasticidade.

A classificação dos solos deve ser vista como o primeiro passo para estudar o provável comportamento dos solos, sem esquecer que os solos possuem propriedades descritivas e de

estado (RAMOS, 2003).

A Classificação TRB foi desenvolvida para solos de clima temperado e frio e a rigor não se aplicam diretamente aos solos tropicais. Algumas limitações ocorrem principalmente em razão das diferenças existentes entre a natureza das frações de argila e areias, de solos de regiões tropicais e regiões temperadas, para as quais tal classificação foi desenvolvida.

Nos solos lateríticos ou tropicais, a fração de argila possui óxidos de ferro e/ou alumínio hidratados, bem como argilosminerais que conferem baixa expansibilidade e alta capacidade de suporte quando compactados. Quanto à fração arenosa, pode conter elevada percentagem de concreções de resistência inferior à da areia tradicional (de quartzo). A presença de mica e/ou feldspato nos solos saprolíticos reduz a densidade seca, a capacidade de suporte e o índice de plasticidade, aumentando o teor de umidade ótima e a expansão do solo.

Sendo assim, as limitações quanto às classificações tradicionais podem ser resumidas em repetibilidade dos resultados dos ensaios e falta de correlação entre classificação e comportamento geotécnico (propriedades mecânicas e hidráulicas) (FORTES, 2005).

Essa classificação estrangeira, embora inadequada aos solos tropicais, foi utilizada por constituir uma referência aos profissionais ligados a solos no Brasil, por ser uma classificação amplamente difundida, e por recomendada pelo Manual de Pavimentação (DNIT, 2006).

Na classificação do TRB, os solos seguem uma ordem decrescente de qualidade de A1 a A8. São divididos em três grupos:

- Solos Granulares ($P_{200} < 35\%$)
 - A1 – Pedregulho;
 - A2 – Areia Siltosa / Argilosa; e
 - A3 – Areia Fina.
- Solos Finos ($P_{200} > 35\%$)
 - A4 e A5 – Solos siltosos;
 - A6 e A7 – Solos argilosos.
- Solos Altamente Orgânicos – A8

O método de classificação TRB apresenta informações qualitativas sobre o comportamento do material como subleito. Ele apresenta apenas duas categorias de qualificação de solos como subleito, atribuindo às classes A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6 e A-2-7 comportamento de excelente a bom, e às classes A-4, A-5, A-6, A-7-5 e A-7-6 comportamento de fraco a pobre. O critério adotado para atribuição de adjetivos às classes de solos fundamenta-se em informações sobre a granulometria e nos valores de limites de liquidez e de plasticidade dos solos, de modo que um solo será tanto melhor quanto mais à esquerda estiverem classificados na tabela de classificação TRB.

No Quadro 2.3.2 estão relacionadas as principais características esperadas para os solos classificados pela de acordo com o TRB e seu possível comportamento como aterro.

Quadro 2.3.2 - SELEÇÃO DO SOLO (TRB) BASEADO NO COMPORTAMENTO DO ATERRO					
Tipo de Solo		Descrição Visual	Peso Específico Aparente Seco Máximo - Kg/m³	Grau Ótimo de Umidade - %	Possível Comportamento do Aterro
A-1	Mistura bem graduada de fragmentos de pedra e pedregulho, areia grossa, areia média, areia fina com ou sem material fino, não plástico ou fracamente plástico.				
A-1a	Predomínio de fragmentos de pedra ou pedregulho com ou sem material fino bem graduado (menos de 50% passante #10, menos de 30% passante #40 e menos de 15% passante #200, Ip < 6).	Material Granular	1850 - 2280	7 a 15	Bom a excelente
A-1b	Predomínio de areia grossa a média, com ou sem material fino bem graduado (menos de 50% passante #40 e menos de 10% passante #200, Ip <6).				
A-2	Solos granulares variados, com graduação irregular e pouco material fino que não se enquadram nas classes A-1 e A-3 pela maior % passante #40 e/ou plasticidade.				
A-2-4 A-2-5	Materiais granulares cuja fração passante #40 apresenta características dos solos A-4 (A-2-4) e A-5 (A-2-5). Inclui também pedregulhos com % silte e Ip acima dos limites para solo A-1 e areia fina com % silte não-plástico acima dos limites para solo A-3.	Material Granular com Terra	1760 - 2160	9 a 18	Médio a excelente
A-2-6 A-2-7	Semelhantes aos solos A-2-4 e A-2-5, exceto que a fração passante #40 apresenta argila plástica, tendo características dos solos A-6 (A-2-6) e A-7 (A-2-7);				
A-3	Areias finas de praia ou de deserto, sem material silteoso ou argiloso ou com muito pequena quantidade de silte não plástico, e areia fina fluvial mal graduada com pouca areia grossa e pedregulho (menos de 50% passante #40 e menos de 10% passante #200, NP).	Areia e Areia Fina	1760 - 1850	9 a 15	Médio a bom
A-4	solos silteosos não plásticos ou moderadamente plásticos, com % passante #200 > 35%.	Silte e Silte Arenoso	1530 - 2090	10 a 20	Mau a bom
A-5	solos semelhantes ao A-4, com material diatomáceo ou micáceo, podendo ser altamente elástico (alto valor de wl).	Silte Elástico e Argila	1360 - 1602	20 a 35	Não satisfatório
A-6	solos argilosos com % passante #200 > 35%, podendo incluir misturas argilo-arenosas com até 64% de areia e pedregulho, sujeitos a grandes variações volumétricas.	Silte Argiloso	1530 - 1930	10 a 30	Mau a bom
A-7	Semelhantes aos solos A-6, porém mais elásticos, com alto wl e com grandes variações volumétricas.				
A-7-5	Encerra materiais com índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez, podendo ser altamente elástico e sujeito a elevadas mudanças de volume.	Silte Argiloso Elástico	1360 - 1602	20 a 35	Não satisfatório
A-7-6	Inclui materiais com elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez, estando sujeitos a elevadas mudanças de volume.	Argila	1450 - 1850	15 a 30	Mau a médio

Fonte: Elaborado pelo Profº Henry Sanson - Universidade Mackenzie - SP – 1978 / Manual de Pavimentação – DNER/1996

Em função de suas diferentes características granulométricas, os solos tendem a apresentar comportamento mecânicos (resposta às cargas aplicadas) variados. Assim, os solos granulares teriam resistência à penetração elevada, devido ao atrito intergranular e ao entrosamento de partículas. Ao mesmo tempo, sua deformabilidade elástica tende a ser elevada, pois as

partículas têm liberdade o suficiente para rolar uma sobre as outras, devido à baixa coesão e pequena influência das forças de campo em relação aos pesos das partículas. Já nos solos finos coesivos, a resistência à penetração tende a ser baixa, pois as partículas são plaquetas com baixo grau de entrosamento, e sua deformidade elástica tende a ser baixa, devido aos campos eletromagnéticos que existem entre as partículas, os quais se opõem a seus deslocamentos relativos, tendo importância devido ao pequeno peso das partículas.

Os Quadros a seguir fornecem as principais características dos solos, pela classificação TRB, que serão tomadas, no desenvolvimento deste estudo, como experiência para comparação com os resultados obtidos nos resultados dos ensaios obtidos no projeto.

Valores prováveis de ISC de solos classificados pelo sistema HRB.

Quadro 2.3.3 - ISC x TIPO DE SOLO – TRB	
Solo	ISC
A-1-a	40 a mais de 80
A-1-b	20 a mais de 80
A-2-4 e A-2-5	25 a mais de 80
A-2-6 e A-2-7	12 a 30
A-3	15 a 40
A-4	4 a 25
A-5	menos de 2 a 10
A-6 e A-7	menos de 2 a 15

Fonte: Pavimentação Rodoviária - Engº Murillo Lopes de Souza - DNER – 1976

Diversos pesquisadores entre eles Lumb, Moh e Mazhar, Lyon Associates. Gidigas, Nogani e Villibor, Mitchell e Sittar, tem investigado e discutido as limitações das classificações geotécnicas comumente denominadas de ortodoxas, as quais se baseiam nas propriedades-índices: granulometria e limites de Atterberg.

Algumas limitações ocorrem principalmente em razão das diferenças existentes entre a natureza das frações de argila e areias, de solos de regiões tropicais e regiões temperadas, para as quais tais classificações foram desenvolvidas.

Dos estudos de Nogami e Villibor, na COPPE/UFRJ - 1976, resultou na Classificação Resiliente que qualifica os solos quanto ao comportamento mecânico em termos de deformabilidade elástica.

Classificação Expedita

Algumas controvérsias, com a Fiscalização, foram geradas quanto a classificação apresentadas nos boletins de sondagem, para as quais se esclarece que os solos são classificados em função das partículas que os constituem. Com muita frequência, seja porque o projeto não justifica a realização de ensaios de laboratório, seja porque se está em fase preliminar de estudo, em que os ensaios de laboratório ainda não são disponíveis, é necessário descrever um solo sem dispor de resultados de ensaios. O tipo de solo e o seu estado devem ser esti-

mados. Isso é feito meio de identificação tátil e visual manuseando-se o solo e sentindo sua reação ao manuseio, o que pode gerar diferentes interpretações.

Neste sistema de classificação, o primeiro aspecto a considerar é a provável quantidade de grossos (areia e pedregulho) existente no solo. Grãos de pedregulho são bem distintos, mas os grãos de areia podem encontrar-se envoltos por partículas mais finas. Neste caso, podem se encontrar envoltos por partículas mais finas.

Para que se possa sentir nos dedos a existência de grãos de areia, é necessário que o solo seja umedecido, de forma que os torrões de argila se desmanchem. Os grãos de areia podem ser sentidos pelo tato ou manuseio.

Se a amostra de solo estiver seca, a proporção de finos e grossos pode ser estimada esfregando-se uma pequena porção de solo sobre uma folha de papel. As partículas finas (siltes e argilas) se impregnam no papel ficando isoladas as partículas arenosas.

Definido se o solo é uma areia ou um solo fino, resta estimar se os finos apresentam características de siltes ou de argilas, o que normalmente é feito através do teste de ductilidade da amostra. Tentando moldar um solo com umidade em torno do limite de plasticidade nas próprias mãos, nota-se que as argilas se apresentam mais resistentes quando nesta umidade que os siltes.

Como referência são utilizados os seguintes limites, na classificação tátil e visual:

FRAÇÃO	LIMITES
Matacão	> 15 cm
Pedregulho	de 60 mm a 15 cm
Seixo	de 2 mm a 60 mm
Areia Grossa	de 0,60 mm a 2,0 mm
Areia média	de 0,2mm a 0,6 mm
Areia fina	de 0,06 mm a 0,2 mm
Silte	de 0,002 mm a 0,06 mm
Argila	Inferior a 0,002 mm

Índice de Grupo

O índice de grupo é definido por:

$$IG = 0,20.a + 0,005.a.c + 0,01.b.d$$

No qual:

a = parcela do solo que passa na peneira nº 200 superior a 35% e inferior a 75%, expressa por um número entre 0 e 40.

b = parcela do solo passando na peneira nº 200 for superior a 15% e inferior a 55%, expressa por um número entre 0 e 40.

c = parcela do limite de liquidez superior a 40 e inferior a 60, expressa por um numero entre

0 e 20.

d = parcela do índice de plasticidade superior a 10 e inferior a 30, expressa por um número entre 0 e 20.

O índice de Grupo (IG) é um número inteiro variando de 0 a 20, definindo a "capacidade de suporte" do terreno de fundação de um pavimento. Os seus valores extremos representam solos ótimos (IG = 0) e solos péssimos (IG = 20).

Granulometria por Sedimentação

Dos ensaios realizados, o referente a granulometria por sedimentação teve por finalidade a classificação dos solos através do Método da Resiliência do DNER (DNER, 1996).

As amostras de solos secas foram submetidas ao peneiramento em peneiras de malhas quadradas de aberturas padronizadas segundo a seguinte série: peneira de abertura ½" e 3/8", peneira nos. 4, 10, 40, 100 e 200. O peneiramento foi realizado por via seca até a peneira de nº 200. Para as partículas de solo menores do que 0,075 mm (peneira nº 200) utiliza-se o método de sedimentação contínua em meio líquido. Este método é baseado na lei de Stokes, a qual estabelece uma relação entre o diâmetro das partículas e a sua velocidade de sedimentação em um meio líquido de viscosidade e peso específico conhecidos.

Foi utilizado no método de granulometria por sedimentação para determinação da granulometria das classes texturais finas, isto é, do silte e argila.

O Método da Resiliência do DNER (DNER, 1996) apresenta uma classificação para solos finos, denominado Método Indireto, para quando não for possível se realizar o ensaio de módulo de resiliência. Nesta classificação os solos são divididos em três grupos definidos em termos de suas características resilientes e estabelecidas em função do valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR) e da Percentagem de Silte (S) do solo na fração que passa na peneira nº 200 (0,075 mm). A percentagem silte deve ser calculada a partir do ensaio de granulometria por sedimentação, pela expressão:

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

onde:

S = percentagem de silte;

P1 = percentagem, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,005 mm, determinada na curva de distribuição granulométrica;

P2 = percentagem, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,075mm, determinada na curva de distribuição granulométrica.

Os solos da 3ª camada são então classificados (Quadro 2.3.4) através do enquadramento do material do subleito em classes de comportamento resiliente, originalmente desenvolvido para o método de projeto de reforço DNER-PRO 269.

Quadro 2-3.4 - GRUPOS DE SOLOS (DNER, 1996)			
CBR (%)	S (%)		
	≤35	35-65	>65
≥10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

Segundo seu tipo os solos apresentam os seguintes comportamentos quanto a resiliência:

- **Tipo I** – possui bom comportamento, podendo ser utilizado como subleito e reforço, podendo ser utilizado em alguns casos com sub-base.
- **Tipo II** – possui comportamento regular, podendo ser utilizado como subleito e reforço.
- **Tipo III** – possui comportamento ruim, sendo vedado seu emprego em camadas dos pavimentos.

Ensaio de Laboratório: As amostras de solos secas foram submetidas ao peneiramento até sobrar somente as partículas de diâmetro médio inferior a 0,075 mm (peneira nº 200). Utilizou-se o método de sedimentação contínua em meio líquido, que é baseado na lei de Stokes, a qual estabelece uma relação entre o diâmetro das partículas e a sua velocidade de sedimentação (Análise Granulométrica - DNER-ME 051/94).

Análise dos Resultados: Após os ensaios de laboratório e os cálculos correlatos foi feita a análise estatística referente a granulometria e foi classificado o material segundo a metodologia do DNER.

2.3.2.2 EMPRÉSTIMOS

Em decorrência do projeto indicar material em falta nos aterros, foram sondados empréstimos em toda extensão do segmento estudado.

Esta pesquisa teve por objetivo oferecer alternativas que conduzissem à melhor solução de distribuição de massas na terraplenagem, conjugando os aspectos técnicos (características dos materiais disponíveis) e econômicos (menores distâncias de transporte).

Para tanto foram explorados:

Empréstimo Lateral (paralelos ao eixo da estrada, com distância mínima da saia do aterro de 5 m, localizados dentro da faixa de domínio) e

Empréstimo Concentrado (para segmentos em aterros que exigem maiores volumes de materiais foram previstos empréstimos localizados fora da faixa de domínio).

Por questões ambientais, no projeto procurou-se reduzir a utilização de áreas externas à faixa de domínio, assim as caixas de empréstimo laterais foram utilizadas preferencialmente, por serem estreitas podem situar-se dentro da faixa de domínio. Sua construção deve ser feita de forma a evitar a acumulação de água dentro, o que pode ser um problema, princi-

palmente em terreno muito plano, onde há dificuldade no desvio das águas. Deve ser ponderada também a conveniência e a possibilidade de extensos deslocamentos longitudinais para compensação de volumes sob os aspectos de distância de transporte e de interferência do tráfego de obra com o tráfego local.

Na exploração e análise das caixas de empréstimo foi obedecida a seguinte metodologia:

1. **Estudo Preliminar:** Definido o greide de terraplenagem foram estabelecidos os locais a serem sondados, nos pontos de importância para elaboração do projeto de terraplenagem, tais como: segmentos com falta de material para aterro.
2. **Inspecção Expedita e Coleta da Amostras:** Com objetivo de conhecer o comportamento dos solos das regiões que apresentam maior probabilidade de servirem futuramente como áreas de empréstimos localizados na obra rodoviária foram realizadas coletas de solos em um eixo paralelo ao projetado, espaçadas longitudinalmente de 200 em 200m em lados alternados do eixo.

Foi feita a delimitação das áreas dos empréstimos concentrados, em cujos vértices e no centro foram procedidos os furos de sondagem.

No ato da coleta foram registradas algumas observações colhidas “in loco” para subsidiar os trabalhos em análises posteriores: espessura da capa vegetal ou de terra a ser removida; espessura da camada de solo; e tipo do material sondado. E em todos os furos de sondagem, foram determinadas a umidade e a massa específica “in situ” utilizando os seguintes métodos de ensaios:

- Determinação da umidade com emprego do “Speedy” (DNER-ME 052/94);
- Determinação da massa específica “in situ”, com o emprego do frasco de areia (DNER-ME 092/94).

A partir da decisão de proceder a coleta de determinada amostra para, posteriormente, submetê-la aos procedimentos de laboratório visando sua caracterização geotécnica para aplicação em obras rodoviárias, foi coletado cerca de 50 kg de solo para cada amostra. É importante destacar que os materiais colhidos como amostras para a realização do presente estudo foram retirados do horizonte B de cada um dos respectivos perfis pedológicos amostrados.

3. **Ensaio de Laboratório:** Obedeceu a mesma metodologia utilizada na exploração do subleito (Ver sub-item acima).
4. **Análise dos Resultados:** Obedeceu a mesma metodologia utilizada na exploração do subleito (Ver sub-item acima).

5. **Uso dos Materiais:** Para determinar o uso dos empréstimos foram usados os critérios (DNER-ES 282/97):

Corpo do aterro → ISC > 2% e Expansão < 4%

Camada final → ISC > ISp e Expansão < 2%

2.3.2.3 CORTES

Assim como o estudo do subleito as sondagens de corte foram efetivadas à medida da definição do Projeto Geométrico e para sua caracterização foi utilizada a mesma metodologia do estudo do subleito.

As sondagens nos cortes tiveram como finalidades:

- Distinguir a natureza do material de escavação, de modo a permitir a respectiva avaliação e escolha do equipamento apropriado;
- Tomar conhecimento geotécnico dos materiais de corte, de modo a permitir a fixação de seus taludes com maior precisão;
- Para conhecimento das características de compactação dos solos de corte, tendo em vista a construção dos aterros;
- Verificar a presença de umidade ou do lençol freático, a fim de permitir o dimensionamento de drenos profundos, onde for exigido.
- Para caracterização dos materiais dos cortes procedeu-se à análise utilizando a mesma metodologia do estudo do subleito.

Foram coletadas amostras conforme a seguinte metodologia:

- Acima do greide de terraplenagem o material de cada furo foi coletado por horizonte;
- Não foram coletadas amostras abaixo do greide, nos seguintes casos:
 - quando ocorreu camada impenetrável;
 - quando o material acima do greide, durante a sondagem, foi considerado como desqualificável para subleito.

Foram coletadas amostras por horizonte acima do greide de terraplenagem; não foram coletadas amostras abaixo do greide quando ocorreu camada impenetrável ou quando o material acima do greide, durante a sondagem, foi considerado como desqualificável para subleito.

Em todos os cortes projetados foram executadas sondagens até uma profundidade mínima de 1,00 m abaixo do greide projetado, com localizações e cotas referenciadas ao eixo locado. Os furos foram estendidos até uma profundidade de 1,50 m abaixo do greide para verifi-

cação do nível do lençol de água e da profundidade de camadas rochosas.

Procurou-se coletar uma amostra representativa para cada horizonte de material de todo furo de sondagem, no caso onde não ocorreu variação, foi coletada uma amostra a cada 3,0m sondados.

2.3.2.4 ESTUDOS DE MATERIAIS GRANULARES PARA PAVIMENTAÇÃO

O estudo dos materiais granulares compreendeu a localização de ocorrências suficientes, em termos de qualidade e quantidade, em atendimento dos volumes requeridos pelo dimensionamento, e o estudo e pesquisa destas ocorrências. A pesquisa e os estudos foram efetuados visando, primeiramente, a indicação de materiais passíveis de serem empregados “in natura”, no caso de não localização de materiais destes materiais serem estudadas alternativas.

Os estudos de materiais para as camadas do pavimento foram desenvolvidos em quatro etapas:

1. **Estudo Preliminar:** A localização de uma ocorrência é iniciada com a coleta de informações sobre a possível existência de materiais aproveitáveis na região, através de mapas e estudos geológicos, com engenheiros que atuam na região e com os moradores de áreas próximas à estrada. Coletado os dados, o estudo preliminar prosseguiu por meio de vistoria no campo por profissionais especializados, com vistas a identificar áreas potencialmente aproveitáveis. O reconhecimento compreendeu a delimitação destas áreas; a execução de pelo menos nove furos de sondagem na periferia e centro da jazida, que alcançaram a última camada aproveitável e a coleta amostras suficientes para atendimento dos ensaios.

Uma ocorrência foi considerada satisfatória para a prospecção definitiva, quando os materiais coletados e ensaiados, ou pelo menos parte deles, satisfaz as especificações vigentes, ou quando houver a possibilidade de correção, por mistura, com materiais de outras ocorrências (solo, areia ou brita) ou melhorado com cimento.

2. **Inspecção de Campo e Coleta das Amostras:** Nas áreas das ocorrências, julgadas aproveitáveis, foram lançados reticulados de 30 x 30m. Em cada vértice foi executado um furo de sondagem e coletado cerca de 50 kg de solo. No ato da coleta foram registradas algumas observações, tais como: espessura da capa vegetal ou de terra a ser removida e da camada de cascalho e o tipo do material sondado.

No ato da coleta foram registradas algumas observações colhidas “in loco” para subsidiar os trabalhos em análises posteriores: espessura da capa vegetal ou de terra a ser removida; espessura da camada de cascalho; e tipo do material sondado. E em,

pelo menos 50% dos furos de sondagem, foram determinadas a umidade e a massa específica “in situ” utilizando os seguintes métodos de ensaios:

- Determinação da umidade com emprego do “Speedy” (DNER-ME 052/94);
- Determinação da massa específica “in situ”, com o emprego do frasco de areia (DNER-ME 092/94).

A partir da decisão de proceder a coleta de determinada amostra para, posteriormente, submetê-la aos procedimentos de laboratório visando sua caracterização geotécnica para aplicação em obras rodoviárias, foi coletado cerca de 50 kg de solo para cada amostra. É importante destacar que os materiais colhidos como amostras para a realização do presente estudo foram retirados do horizonte B de cada um dos respectivos perfis pedológicos amostrados.

Todas as ocorrências foram amarradas ao estaqueamento através de coordenadas de GPS de precisão (Ver Capítulo referente aos Estudos Topográficos neste Volume). Ao se conhecer a posição particular de um ponto dentro do plano cartográfico adotado, foi possível associar este ponto a informações contidas nos diversos mapas consultados na fase preliminar: mapas geológico, geomorfológico, pedológico e de situação geográfica.

Para definição do volume a ser explorado foram considerados os volumes recomendados pelo Manual de Pavimentação do DNIT para quantidades mínimas de materiais a serem reconhecidas, para cada quilometro de pavimento de estrada, que são aproximadamente as seguintes:

- ☒ Regularização e reforço do subleito 2 500m³
- ☒ Sub-base 2 000m³
- ☒ Base 2 000m³

3. **Ensaio de Laboratório**: As amostras coletadas nas ocorrências de solos foram encaminhadas ao laboratório, onde foram submetidos aos seguintes ensaios:

Todas as amostras:

- Análise granulométrica de solos por peneiramento (DNER-ME 080/94);
- Determinação do Limite de liquidez (DNER-ME 127/94);
- Determinação do Limite de plasticidade (DNER-ME 082/94); e
- Equivalente de Areia (DNER-ME 054/94).

Em furos alternados:

- Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras de solo não trabalhadas (DNER-ME 129/94 – Métodos B e C e intermediário entre o B e o C);

Material laterítico:

Nos solos lateríticos ou tropicais, a fração de argila possui óxidos de ferro e/ou alumínio hidratados, bem como argilosminerais que conferem baixa expansibilidade e alta capacidade de suporte quando compactados. Quanto à fração arenosa, pode conter elevada percentagem de concreções de resistência inferior à da areia tradicional (de quartzo). A presença de mica e/ou feldspato nos solos saprolíticos reduz a densidade seca, a capacidade de suporte e o índice de plasticidade, aumentando o teor de umidade ótima e a expansão do solo.

No caso de materiais lateríticos foram realizados ensaios para determinação da relação sílica-sesquióxido de ferro.

4. **Análise dos Resultados:** Após os ensaios de laboratório e os cálculos correlatos, procedeu-se à determinação do Índice de Grupo, a classificação segundo o TRB e análise estatística para cada grupo de solo, utilizando a metodologia do DNIT (item 4.3.1.2 – Estudo do Subleito – Manual de Pavimentação, DNIT, 2006).

Na análise estatística dos resultados dos ensaios foi utilizada a metodologia do DNER. Chamando $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, os valores individuais de qualquer uma das características citadas, tem-se:

$$X_{\max} = \bar{X} + K\sigma$$

$$X_{\min} = \bar{X} - K\sigma$$

onde: \bar{X} = média aritmética;
 σ = desvio padrão
 K = coeficiente tabelado em função do número de determinações (Tabela a seguir)

TABELA DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL														
N	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	21
K	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
α	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01

$n = n^\circ$ de amostras

k = coeficiente multiplicador

α = risco do Executante

Para estimar a homogeneidade do segmento, uma medida comumente empregada é o coeficiente de variação (CV), que representa o desvio padrão expresso como porcentagem da média, sendo calculado pela expressão:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100$$

Onde:
 \bar{X} = média;
 σ = desvio padrão da amostra

Significa, portanto, o desvio padrão (σ) expresso em porcentagem da média (m). CV

é adimensional, um número puro usualmente expresso em forma de porcentagem. Quanto menor for o CV mais homogêneo é o conjunto de dados. Geralmente, um valor CV inferior ou igual a 25% indicará que o conjunto é razoavelmente homogêneo.

- ☒ Baixos CV < 10%
- ☒ Médios 10 < CV < 20%
- ☒ Altos 20 < CV < 30%
- ☒ Muito Altos CV > 30%

5. **Cubagem das Jazidas:** Na cubagem das jazidas foi utilizada a fórmula prismoidal, onde o volume de terra utilizável de uma sub-área definida por quatro estacas pode ser calculado pela fórmula:

$$VC = \frac{\delta_x \cdot \delta_y \cdot \sum C}{4}$$

Onde: $\sum C$ = somatório das alturas de corte nas quatro estacas.

6. **Uso dos Materiais:** Para determinar o uso das jazidas foram usados os critérios:

Quadro 2.3.5 - Resumo das Especificações para Materiais Granulares na Pavimentação		
	SOLOS NÃO LATERÍTICOS	SOLOS LATERÍTICOS
REFORÇO DE SUBLEITO	<ul style="list-style-type: none"> IG ≤ IG do subleito ISCmin ≥ ISC do subleito e Expansão ≤ 1% 	
SUB-BASE	<ul style="list-style-type: none"> ISCmin ≥ 20% IG= 0 Expansão ≤ 1% 	<ul style="list-style-type: none"> Relação molecular sílica/sesquióxido R≤2 IG= 0 Expansão ≤ 1,0% IG pode ser diferente de 0 e expansão pode ser maior que 1,0%, desde que no ensaio de expansibilidade apresente um valor inferior a 10%
BASE	<ul style="list-style-type: none"> Expansão ≤ 0,5% LL≤25% e IP≤6%, quando estes limites forem ultrapassados o equivalente de areia deve ser superior a 30% Los Angeles do retido # 10 > 55% Passando na #200 ≤ 2/3 da passando na #40 	<ul style="list-style-type: none"> Relação molecular sílica/sesquióxido R≤2 e expansão ≤ 0,2%. Expansão pode ser até 0,5%, desde que no ensaio de expansibilidade o valor obtido seja menor que 10%. LL≤40% e IP≤15% Los Angeles do retido # 10 > 65% Passando na #200 ≤ 2/3 da passando na #40
Para N ≤ 5 x 10 ⁶	<ul style="list-style-type: none"> Granulometria pode enquadrar nas faixas A, B, C, D, E e F ISCmin ≥ 60% (energia de compactação do Método B) 	<ul style="list-style-type: none"> ISCmin ≥ 60% (energia de compactação do Método B)
Para N > 5 x 10 ⁶	<ul style="list-style-type: none"> Granulometria pode enquadrar nas faixas A, B, C e D ISCmin ≥ 80% (energia de compactação do Método C) 	<ul style="list-style-type: none"> ISCmin ≥ 80% (energia de compactação do Método C)
BASE DE SOLO MELHORADO COM CIMENTO	<p><u>Solo:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Enquadrar em uma das faixas da especificação LL≤40% e IP≤18% O agregado retido na peneira n° 10 deve ser constituído de partículas duras e duráveis. <p><u>Mistura:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> LL≤25% e IP≤6% Expansão ≤ 0,5% ISCmin ≥ 80% (energia de compactação do Método C) 	

Fonte: Especificações
 DNIT 142/2010-ES – Base de Solo Melhorado com Cimento;
 DNIT 098/2007-ES - Base Estabilizada Granulometricamente com Utilização de Solo Laterítico;
 DNIT 141/2010-ES - Base Estabilizada Granulometricamente,
 DNIT 139/2010-ES - Sub-base Estabilizada Granulometricamente e
 DNIT 138/2010-ES - Reforço de Subleito.

7. **Faixas Granulométricas:** Os materiais destinados a confecção da base devem possuir composição granulométrica satisfazendo uma das faixas do Quadro a seguir de acordo com o número N de tráfego.

Quadro 2.3.6 - FAIXAS GRANULOMÉTRICAS – BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE SEM MISTURA						
Tipos Peneiras	Para N > 5 x 10 ⁶				Para N < 5 x 10 ⁶	
	A	B	C	D	E	F
	% EM PESO PASSANDO					
2"	100	100	-	-	-	-
1"	-	75-90	100	100	-	-
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	100	100
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
Nº 200	2-8	5-15	5-15	5-20	6-20	8-25

Fonte: DNIT 141/2010-ES - Base Estabilizada Granulometricamente

Quadro 2.3.7 - FAIXAS GRANULOMÉTRICAS – BASE DE SOLO MELHORADO COM CIMENTO				
Tipos Peneiras	A	B	C	D
2"	100	100	-	-
1"	-	75-90	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100
Nº 4	25-55	50-60	35-65	50-85
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45
Nº 200	2-8	5-15	5-15	5-20

Fonte: DNIT 142/2010-ES – Base de Solo Melhorado com Cimento

Quadro 2.3.8 - FAIXAS GRANULOMÉTRICAS – BASE DE SOLO LATERÍTICO		
Tipos Peneiras	A	B
2"	100	-
1"	100 - 75	100
3/8"	85 - 40	95 - 60
Nº 4	75 - 20	85 - 30
Nº 10	60 - 15	60 - 15
Nº 40	45 - 10	45 - 10
Nº 200	30 - 5	30 - 5

Fonte: DNIT 098/2007-ES - Base Estabilizada Granulometricamente com Utilização de Solo Laterítico

É desejável que a granulometria dos materiais seja contínua, o que consiste em materiais onde estão presentes todos os tamanhos de partículas, desde o tamanho máximo até o mínimo, o que levará os grãos de diâmetros menores a se encaixarem nos vazios dos de maior diâmetro, proporcionando materiais de alta densidade e grande resistência. Não é desejável que a curva granulométrica apresente "patamares" ou "degraus", mesmo que as percentagens estejam dentro dos limites da faixa. Estes solos são chamados "bem graduados", e sua curva granulométrica é semelhante a curva de Talbot-Füller (para potência 0,5), definida pela expressão:

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n$$

Onde:

P = porcentagem, em peso, passando na peneira de abertura d;

D = tamanho máximo do agregado;

d = abertura nominal de cada peneira, em mm.

Para valores de “n” abaixo de 0,4, há excesso de finos, acima de 0,6 são solos de graduação aberta há deficiência de finos e n entre 0,4 e 0,6 são solos de graduação contínua densa (diâmetros abrangendo praticamente todas as frações granulométricas), são materiais estáveis granulometricamente.

Estudo de Alternativas

Em vista de algumas jazidas não atenderem aos preceitos das especificações DNIT 141/2010-ES ou DNIT 098/2007-ES, para base, buscaram-se alternativas técnicas estudando base de brita graduada e com solo melhorado com cimento.

As bases granulares, por ordem de preferência de seu emprego com revestimento de CBUQ, foram as seguintes:

1. Solo Laterítico;
2. Mistura de dois solos lateríticos ou de um solo laterítico com areia;
3. Solo não laterítico modificado com cimento;
4. Solo laterítico/brita;
5. Solo não laterítico/brita;
6. Brita graduada.

Solo Laterítico

Os solos com comportamento laterítico encontrados na região em estudo não atendem as prescrições da especificação DNIT 098/2007-ES para base, como se verá na sequência. Assim sendo, devem ser continuados os estudos alternativos.

Mistura de dois solos lateríticos ou de um solo laterítico com areia

Devido a falta de materiais com a qualidade necessária para a camada de base na região em estudo, esta alternativa foi utilizada em muitos segmentos da rodovia BR-153/GO em sua pavimentação, apresentando bons resultados.

Para sua efetivação foram exploradas diversas jazidas, sendo extraídos materiais de diferentes granulometria de cada uma das jazidas, sendo posteriormente misturados em usina.

Esta alternativa é tecnicamente viável, com bons resultados, mas economicamente inviável pelo seu elevado custo, não foi estudada.

Solo não laterítico modificado com cimento

O solo-cimento é o produto endurecido resultante da cura úmida de uma mistura homogênea compactada de solo pulverizado, cimento e água que atende a características de qualidade. O solo melhorado com cimento possui características mecânicas e físicas inferiores às

do solo-cimento, onde a adição do cimento busca melhorar os parâmetros relativos à plasticidade, variação volumétrica, e a sensibilidade à água, de forma a possibilitar o emprego do material em pavimentação.

A estabilização química de solos com cimento Portland pode se dar de duas formas distintas a depender do objetivo:

1. No caso de objetivar-se um enrijecimento significativo do solo, empregam-se percentuais em massa em geral acima de 5% e denomina-se esta mistura de solo-cimento (DNER-ES 305/97);
2. No caso de melhoria parcial das propriedades, principalmente trabalhabilidade conjugada com certo aumento de capacidade de suporte, empregam-se percentuais baixos, da ordem de 3%, denominando-se neste caso a mistura de solo melhorado com cimento (DNER-ES 304/97).

No solo melhorado com cimento a adição do mesmo busca melhorar os parâmetros relativos à plasticidade, variação volumétrica, e a sensibilidade à água, de forma a possibilitar o emprego do material em pavimentação. Utilizou-se o cimento CP II-E32 para a estabilização dos solos pela disponibilidade do material no comércio da região em estudo.

Materiais

Os solos estabilizados com cimento são uma mistura de solo natural com cimento e água, que convenientemente compactada, curada e endurecida é capaz de formar um pavimento estável.

Em teoria todos os solos podem ser estabilizados com cimento. As quantidades a adicionar variam com a classe de solo. Na prática, nem todos os solos possuem as características granulométricas e de plasticidade para tornar esta estabilização economicamente viável. Recomenda-se que o teor de argila não supere os 25%, sendo os valores mais desejáveis de 10 a 20%. Do ponto de vista de plasticidade exige-se que o número de plasticidade seja menor que 18 e que o limite de plasticidade seja menor que 40. Desta maneira não é recomendável estabilizar com cimento solos das classes A-2-5, A-2-7, A-5 e A-7. A estabilização com cimento fica apenas recomendada para solos das classes A-1, A-2, A-3 e em alguns casos A-4. Como para os solos A-1 e A-2 só se pode utilizar este tipo de estabilização se as condições forem muito adequadas, assim os solos tipo A-3 apresentam melhores características para estabilização com cimento.

Em solo granulares, sem argilas ou com quantidades reduzidas de argila (número de plasticidade inferior a 6), as partículas têm um comportamento inerte do ponto de vista químico. Logo, ao adicionar o cimento e com a ação da água, há um aumento da coesão com os grãos do solo e, por conseguinte aumento da estabilidade. Por outro lado, a adição de ci-

mento impermeabiliza em certa medida a mistura, o que ainda aumenta mais o efeito estabilizante.

Em solos de textura mais fina deve-se levar em consideração que as reações em curto prazo entre a argila e os íons de cálcio ao hidratar-se o cimento provocam a floculação das argilas, que aumenta de tamanho, e a redução do índice de plasticidade. Em longo prazo, o hidróxido de cálcio reage com o silício e o alumínio dissolvido, formando um material aglomerante que ainda aumenta mais o efeito estabilizante. Nestes solos, os grãos de cimento comportam-se como núcleos, aos quais aderem as partículas que o rodeiam formando regiões floculadas que apresentam ligações oriundas dos fenômenos de cimentação.

Solo Melhorado com Cimento sem Cura ao Ar

A especificação DNIT 142/2010-ES determina que a mistura solo-cimento e água deve ser deixada curar por um período mínimo de 72 horas para que seja espalhada, umedecida, homogeneizada e compactada. Nesse caso o solo é deixado em pilhas para ter a agregação, alteração granulométrica e depois a compactação. MACEDO e MOTTA (2006)²⁰ entendem ser esta uma opção questionável.

A cultura da região do projeto é a mistura e a imediata compactação, neste caso é necessário que sejam tomadas algumas precauções.

Quanto à dosagem da quantidade de cimento, deve procurar estudar as misturas com pequenos teores de forma a se evitar a rigidificação excessiva da mistura, qualificação pertinente aos materiais tratados com ligantes hidráulicos. A fuga dessa rigidificação excessiva se faz sempre benéfica uma vez que misturas tratadas com cimento Portland demandam acomodações volumétricas relativamente grandes, decorrentes fundamentalmente da contração volumétrica experimentada pela mistura durante o processo de “cura” do ligante hidráulico e das expansões / retrações impostas durante a vida em serviço do material tratado em decorrência das variações térmicas verificadas diuturnamente. A busca deste objetivo de facilitar as acomodações volumétricas constitui uma obrigação, capaz de garantir o perfeito desempenho do material tratado com cimento Portland, principalmente ao se ter em conta as enormes dimensões superficiais (longitudinal e transversalmente) que caracterizam uma camada de base, desprovida de quaisquer juntas de dilatação térmica: a missão final constitui em se minimizar a fissuração de padrão ortogonal da camada de base, a qual, infalível, se apresentará tanto mais intensa e severa quanto maior for a rigidificação do material, ou seja, quanto maior for o teor de cimento Portland.

Quanto menor for a quantidade adicionada de cimento Portland, tanto menor será a gravi-

²⁰ MACEDO, M.M.; MOTTA, L.M.G. *Comportamento de solo melhorado com cimento para uso em pavimentação sob carga repetida*. In Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia de Infra-Estrutura de Transporte, 2006, Curitiba.

dade das inevitáveis “trincas de retração térmica”, resta avaliar somente se o teor mínimo é suficiente para garantir o desenvolvimento de forças coesivas compatíveis com as funções a desempenhar pela camada de base.

Na compactação de solos melhorado com cimento é importante não aplicar energias muito elevadas, devendo tomar com referência a energia correspondente à do **Proctor Intermediário**. Assim, no caso dos materiais tratados com ligantes hidráulicos, a busca da densificação máxima é indesejável, uma vez que a redução dos vazios internos limita substancialmente a capacidade do material de processar os trabalhos de retração hidráulica e o diuturno e sistemático de retração/expansão imposto pelas variações térmicas, ou seja, os trabalhos relativos às acomodações volumétricas. Considerando, portanto, a infalibilidade do trabalho de alternância volumétrica, o qual ocorrerá independentemente da condição imposta, a imposição de uma densificação máxima impede ou limita a movimentação no sentido horizontal, condição esta que impõe ao material uma expansão no sentido vertical (sentido da menor dimensão da camada), obviamente que em direção da superfície, uma vez que em sentido contrário qualquer movimentação é bloqueada pela presença do “substratum” inferior.

A mistura de solo com cimento indiscutivelmente melhora o ISC, esta melhora é proporcional ao teor de aglomerante adicionado. No entanto acréscimo indiscriminado do teor de cimento traz, por si só, às vezes, aspectos de ruptura frágil, o que não é desejável.

Ensaio

As amostras foram submetidas aos seguintes ensaios:

- Análise granulométrica de solos por peneiramento (DNER-ME 080/94);
- Limite de plasticidade de solos (DNER-ME 082/94);
- Limite de liquidez de solos (DNER-ME 127/94);
- Equivalente de Areia (DNER-ME 054/94);
- Índice de Suporte Califórnia de Solos, utilizando energias correspondentes ao Proctor intermediário (26 golpes) (DNER-ME 129/94 – Método B).

O ensaio para determinação do CBR foi realizado com corpos de prova preparados do seguinte modo primeiramente foi incorporado cimento ao solo úmido, com posterior mistura entre eles, deixando-se a mistura solta por um período mínimo de 72 horas. A seguir com a mistura preparada moldaram-se os corpos de prova para ensaio do Índice de Suporte Califórnia. Os corpos de prova do ensaio foram imersos em água durante um período de quatro dias, para em seguida serem penetrados. O ensaio do CBR foi realizado até a penetração de 0,5 polegadas, de modo ser possível o traçado, com precisão, da curva de pressão-penetração. No caso de não ser possível atingir a penetração de 0,5 polegadas o corpo de

prova foi destorroado, recomeçando-se o processo da determinação do CBR, como descrito. A seguir foram classificados segundo a TRB, calculados os Índices de Grupo, os resultados dos ensaios submetidos a estudos estatísticos, e comparados com os limites estabelecidos pela especificação DNIT 142/2010-ES, para base melhorada com cimento.

Solo laterítico/brita ou Solo não laterítico/brita

Esta alternativa, também, foi utilizada em diversos segmentos durante a construção da rodovia BR-153/GO, com bons resultados.

Uma dificuldade deste método vem da necessidade de fracionamento da pedra em diâmetros diferentes dos comerciais, para que depois a mesma seja misturada do solo. Este fracionamento é um problema para as pedreiras comerciais, que tem como maiores clientes os construtores de obras civis que necessitam de brita nas granulometrias exigidas pelas normas de concreto.

Brita Graduada

A brita graduada exige fabricação em usina apropriada, rigor na faixa granulométrica, tendo que atender uma faixa de trabalho dentro da faixa B da especificação do DNIT 141/2010-ES, além de ser fornecida na umidade ótima no campo. Entretanto, são raras as pedreiras comerciais que estão em condições de fornecimento de materiais dentro das especificações do DNIT. Indicação da faixa B do DNIT é mais um critério de evitar segregação pelo fornecimento de excesso de material graúdo, sendo admitido ligeiro desvio na faixa granulométrica, porém o valor de CBR e expansão têm que ser atendido rigorosamente.

Conclusão

Com o objetivo de utilizar os materiais abundantes da região, no caso os materiais granulares, foram indicados no presente projeto "*base com solo melhorado com cimento*".

2.3.2.5 PEDREIRA E AREAL

Pedreiras

A prospecção de rochas objetiva provisão de material pétreo adequado, para destinação às camadas do pavimento, ao sistema geral de drenagem e às obras complementares.

Na ocorrência extraíram-se amostras para realização dos ensaios de:

- Desgaste de agregado por abrasão (DNER-ME 035/94);
- Adesividade de agregado graúdo a ligante betuminoso (DNER-ME 078/94);
- Análise granulométrica (DNER-ME 083/94);
- Durabilidade (DNER-ME 089/94);
- Índice de forma (DNER-ME 086/94).

Areais

A prospecção de areais objetiva provisão de material, com granulometria adequada, para utilização nas obras de pavimentação, drenagem e obras-de-arte correntes.

Na ocorrência extraíram-se amostras para realização dos ensaios de:

- Impureza orgânica, método DNER-ME 55/94;
- Equivalente de areia, método DNER-ME 54/97;
- Análise granulométrica, método DNER-ME 83/94.

2.3.2.6 AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO EXISTENTE

2.3.2.6.1 Generalidades

Segundo MEDINA (1997), antes da execução do projeto de reforço de um pavimento se faz necessário o levantamento do estado de degradação atual, tal levantamento é realizado mediante a realização de avaliações estruturais e funcionais no pavimento em estudo. De posse destes resultados, a espessura do reforço é dimensionada.

Os estudos de avaliação dos pavimentos existentes foram iniciados depois de acurada análise das condições por eles externadas, com a finalidade de permitir uma definição das características físicas (ou parâmetros de comportamento) que se mostraram imprescindíveis de determinação. O estabelecimento de diretrizes preliminares e particulares ao projeto de restauração dos pavimentos considerados visou evitar sobreposições e/ou lacunas importantes nos trabalhos a serem efetuados.

Quanto aos parâmetros necessários a uma perfeita avaliação do comportamento do pavimento, verificou-se enquadrarem em dois grandes grupos, definidas pelas características **funcionais** (características superficiais, de deformações permanentes e de deformabilidade) e **estruturais** (perfil constitutivo, espessura das camadas, módulos de rigidez/resiliência e coeficientes de Poisson).

A avaliação de pavimentos foi dividida em dois tipos:

- A **funcional** se refere ao conforto ao rolamento, à segurança, custo do usuário, influências do meio ambiente e aspectos estéticos. São realizadas medições de irregularidade superficiais, de resistência a derrapagem, além de contagem de defeitos que aparecem na superfície de rolamento.

As avaliações funcionais, que consistem na caracterização da degradação superficial e de deformação permanente, traduzem as condições de conforto e segurança do usuário. Objetivam a definição da "natureza" e o "tipo" dos serviços corretivos a serem realizados. Já as avaliações estruturais possibilitam a determinação dos mecanismos que, provavelmente, promoveram a destruição parcial ou total da estrutura do pavimento. Define de forma

quantitativa a “magnitude” dos serviços necessários ao restabelecimento da condição de capacidade de carga do pavimento. Visando se ter uma avaliação completa do estado que o pavimento se encontra, é de fundamental importância o conhecimento dos parâmetros que definem cada grupo de avaliações observadas.

- As **estruturais** possibilitam a determinação dos mecanismos que, provavelmente, promoveram a destruição parcial ou total da estrutura do pavimento. Define de forma quantitativa a “magnitude” dos serviços necessários ao restabelecimento da condição de capacidade de carga do pavimento.

Assim, a avaliação estrutural é realizada para se conhecer as características das várias camadas que compõem o pavimento, quanto à sua resistência e deformabilidade sob a ação do tráfego, que são função das propriedades dos materiais e das espessuras das camadas.

A avaliação estrutural de pavimentos constitui-se no conjunto de procedimentos que determinam as respostas da estrutura quando sujeita às cargas do tráfego, traduzida na forma de tensão, deformações e deflexões em determinados pontos do pavimento, de forma que seja possível verificar sua capacidade de resistir aos mecanismos responsáveis pela degradação do pavimento. A partir deste diagnóstico, torna-se possível definir quais serviços serão necessários ao restabelecimento das condições admissíveis aos usuários da rodovia.

Basicamente, os métodos de avaliação estrutural de pavimentos são classificados em ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos.

Os ensaios destrutivos são aqueles onde são removidas amostras das camadas do pavimento para determinação, em laboratório, das suas características.

São realizados por meio de sondagens, onde são abertos poços nos bordos das faixas de tráfego. As sondagens objetivam o conhecimento das características geotécnicas das camadas do pavimento e subleito, permitindo a determinação das espessuras de cada camada do pavimento.

Os ensaios não destrutivos possibilitam a avaliação das condições do pavimento sem danificá-los. Para isto são usados equipamentos para a medição das bacias deflectométricas. A viga Benkelman é o aparelho mais divulgado para este fim, porém o desenvolvimento de equipamentos mais sofisticados proporciona a estas avaliações. Tem como vantagens: aumentar a acurácia das medidas; aumentar a produtividade em termos de número de ensaios por dia de trabalho; e simular, de forma mais real possível, as condições de carregamento do tráfego; reduzir os custos dos ensaios; obter, de forma simples, dados da análise estrutural dos pavimentos.

De acordo com o DNER-PRO 10, a época do ano mais indicada a realização de levantamentos deflectométricos é imediatamente após a estação chuvosa, onde o subleito se encontra na condição mais desfavorável. Entretanto, isto não é sempre possível.

A avaliação das características, funcionais e estruturais do pavimento existente, serão estudadas com mais detalhes na sequência deste volume.

2.3.2.6.2 Avaliação Funcional

A avaliação das características funcionais do pavimento existente inclui:

- Avaliação Objetiva do Pavimento, ou Inventário de Superfície, pelo DNIT-PRO 05/2003 (Substitui o DNER-PRO 08-78), cadastrando-se os defeitos ocorrentes;
- Condição de Superfície (DNER-ES 128-83), de forma a se obter o trincamento do segmento;
- Levantamento de Irregularidades longitudinais e transversais (IRI);
- Flechas nas trilhas de roda (DNER-ES 128-83), definindo a Irregularidade Transversal.

No projeto serão aplicados os procedimentos do DNIT, tomando o cuidado de não cair em armadilha, como classificar o pavimento através de um único parâmetro, como o IGG (Índice de Gravidade Global). Por exemplo, pode-se chegar a um valor IGG = 100 (conceito mau), capaz de traduzir, ao mesmo tempo duas condições comportamentais completamente distintas:

- 0% de fissuração e 100% de deformação permanente;
- 100% de fissuração e 0% de deformação permanente,

as quais demandam, naturalmente, soluções corretivas substancialmente distintas.

Um diagnóstico confiável é fundamental para que os responsáveis pelo processo de tomada de decisões relativas ao tipo, a como e quando deverão ser realizadas intervenções em um determinado pavimento possam compreender o desempenho oferecido e, então, se permitirem lançar mão de medidas que efetivamente possibilitem o controle dos mecanismos que estão concorrendo para a queda da serventia do pavimento.

Outro aspecto importante a ser destacado é o fato de que o estabelecimento de um diagnóstico correto acerca das condições oferecidas por um pavimento em um determinado momento de sua vida de serviço não é uma tarefa simples e envolve uma dose considerável de estudos e de experiência.

Os estudos de avaliação dos pavimentos existentes foram iniciados depois de acurada análise das condições por eles externadas, com a finalidade de permitir uma definição das carac-

terísticas físicas (ou parâmetros de comportamento) que se mostraram imprescindíveis de determinação. O estabelecimento de diretrizes preliminares e particulares ao projeto de restauração dos pavimentos considerados visou evitar sobreposições e/ou lacunas importantes nos trabalhos a serem efetuados.

Assim, a Consultora acredita ser fundamental promover análises individuais e distintas das condições de degradação superficial (fissuras, panelas, remendos, desgaste, etc.), das condições de deformação permanente (irregularidade longitudinal, flechas nas trilhas de roda, afundamentos localizados e nas trilhas, escorregamentos do revestimento betuminoso e as deformações permanentes atribuíveis à consolidação diferencial e/ou à ruptura de maciços terrosos) e das condições de deformabilidade elástica dos pavimentos rodoviários a avaliar.

Defeitos de Superfície

Os defeitos são relacionados com a ação do tráfego e as condições ambientais. O conhecimento dos tipos, severidade e intensidade dos vários defeitos podem influenciar na necessidade de tratamentos especiais associados aos serviços convencionais de reabilitação.

O cadastramento dos defeitos de superfície, identificados e agrupados segundo suas naturezas e gêneses foi executado de forma contínua. Concomitantemente faz-se o cadastramento de pontos notáveis, tais como início e final de pontes, interseções, etc.

Com os dados do levantamento superficial pôde-se simular então, com bastante precisão, o índice de gravidade global (DNIT – PRO 06/2004), bem como obter áreas (DNER – ES 128/83) e/ou extensões comprometidas.

Quadro 2.3.9 - PESOS DE RESPONSABILIDADE ESTRUTURAL DAS DEGRADAÇÕES SUPERFICIAIS		
NATUREZA DO DEFEITO		PESO DE RESPONSABILIDADE
Fissuras e Trincas Isoladas	FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR	0,20
FC-2	J e TB	0,50
FC-3	JE e TBE	0,80
ALP, ATP e ALC, ATC		0,90
O e P		1,00
EX		0,50
D		0,30
R		0,60

Identificar os mecanismos que controla o desempenho de um pavimento requer a ponderação relativa dos efeitos das duas fontes de solicitações mecânicas:

- Clima, na forma de variações de temperatura e de umidade;
- Tráfego, seja pela degradação estrutural gerada pelas tensões aplicadas pelos veículos de carga, seja pelo desgaste da superfície produzido pela passagem de todos os tipos de veículo.

A estas duas ações externas opõem-se as condições intrínsecas do pavimento, especialmente:

- As propriedades dos materiais das camadas (natureza, compactação, problemas construtivos);
- As condições de drenagem, superficial e profunda;
- A estrutura do pavimento existente.

Levantamento de Campo

Avaliação das Características de Degradação Superficial

O processo de avaliação consistiu na identificação das manifestações de ruína de ocorrência superficial, considerando suas naturezas e respectivas gêneses. Em seguida promoveu-se a ordenação e o agrupamento dos defeitos em grandes famílias, principalmente aqueles relacionados com o trincamento e demais manifestações de ruínas superficiais mais significativas. Ressalta-se a preocupação de se segmentar as degradações de formas a enquadrá-las em famílias de forma individualizada e particular para cada tipo de revestimento asfáltico existente; o resultado desta fase do trabalho para revestimentos do tipo Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e Tratamento Superficial Duplo (TSD), após conveniente síntese, pôde ser expresso conforme indicados nos Quadros a seguir.

QUADRO 2.3.10 - IDENTIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS DEGRADAÇÕES SUPERFICIAIS (REVESTIMENTO-TIPO: CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE)						
NATUREZA DA OCORRÊNCIA SUPERFICIAL					CODIFICAÇÃO	
AUSÊNCIA APARENTE NA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO					OK	
TRINCAS ATRIBUÍDAS À FADIGA OU À DEFORMAÇÃO PERMANENTE EXCESSIVA	TRINCAS ISOLADAS	FISSURAS INCIPIENTES			FI	FC-1
		LONGITUDINAL	NO BORDO		TLB	
			NO EIXO		TLE	
			NA TRILHA		TLT	
		TRANSVERSAL	NO BORDO		TTB	
			NO EIXO		TTE	
	NA TRILHA		TTT			
	TRINCAS INTERLIGADAS	"JACARÉ"	SEM EROSÃO ACENTUADA NOS BORDOS DAS TRINCAS		J	FC-2
			COM EROSÃO ACENTUADA NOS BORDOS DAS TRINCAS		JE	FC-3
TRINCAS ATRIBUÍDAS À RETRAÇÃO TÉRMICA OU À DISECAÇÃO DA CAMADA DE BASE OU REVESTIMENTO		TRINCAS ISOLADAS			TR	FC-1
		TRINCAS PADRÃO TOGONAL DE OR-	BLOCOS SEM EROSÃO NOS BORDOS		TB	FC-2
			BLOCOS COM EROSÃO NOS BORDOS		TBE	FC-3

QUADRO 2.3.10 - IDENTIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS DEGRADAÇÕES SUPERFICIAIS (REVESTIMENTO-TIPO: CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE)						
NATUREZA DA OCORRÊNCIA SUPERFICIAL				CODIFICAÇÃO		
TRINCAS ATRIBUÍDAS AO ESCORREGAMENTO DE MASSA		TRINCAS PARABÓLICAS DE ESCORREGAMENTO		TPE	FC-3	
TRINCAS ATRIBUÍDAS AO MAU COMPORTAMENTO DO ATERRO OU TERRENO DE FUNDAÇÃO		TRINCAS DE RUPTURA POR CISALHAMENTO (ABATIMENTOS DE ATERROS)		TAA	FC-3	
PANELAS (DESAGREGAÇÃO DO REVESTIMENTO E, ÀS VEZES, DA BASE)				P		
PELADAS				PEL		
REMENDOS EXISTENTES (SUPERFICIAIS OU PROFUNDOS)				R		
DESGASTE ACENTUADO NA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO				D		
MIGRAÇÕES PER ASCENSUM		AFLORAMENTO DO LIGANTE (EXSUDAÇÃO)		EX		
		BOMBEAMEN- TO	DE ÁGUA		BA	
			DE ÁGUA COM FINOS		BAF	
DESINTEGRAÇÃO				DSG		
ESPELHAMENTO				ESP		
RUGOSIDADE		MACRO	PROFUNDIDADE DE TEXTURA DEFICIENTE		TEX	
		MICRO	POLIMENTO DAS ASPEREZAS		POL	

Fonte: STRATA (2000)

QUADRO 2.3.11 - IDENTIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS DEGRADAÇÕES SUPERFICIAIS (REVESTIMENTO-TIPO: TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO)			
NATUREZA DA OCORRÊNCIA SUPERFICIAL			CODIFICAÇÃO
AUSÊNCIA APARENTE DE FALHAS NA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO			OK
ESTRIAS	GENERALIZA- DAS	INCIPIENTES	EGI
		AVANÇADAS	EGA
	NA TRILHA DE RODA	INTERNA	ETI
		EXTERNA	ETE
	INDIVIDUAIS COM DESA- GREGAÇÃO	1ª CAMADA DE AGREGADO	EC1
		2ª CAMADA DE AGREGADO	EC2
TRINCAMENTO DEVIDO A DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS		CLASSE 1	FC-1
		CLASSE 2	FC-2
		CLASSE 3	FC-3
DEGRADAÇÃO GENERALIZADA		PIV CÔNCAVO	DCV
		PIV CONVEXO	DCX
		ZONAS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA	DZA
EXSUDAÇÃO		TRILHA DE RODA EXTERNA	EXE
		TRILHA DE RODA INTERNA	EXI
		JUNTA DE CONSTRUÇÃO	EXC
BACIAS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA			BAA
EROSÃO DO BORDO			EB
DESGASTE SUPERFICIAL			D

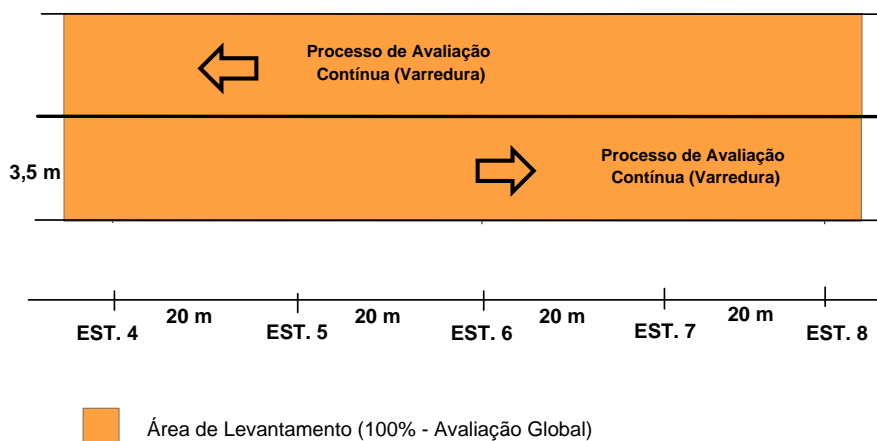
QUADRO 2.3.11 - IDENTIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS DEGRADAÇÕES SUPERFICIAIS (REVESTIMENTO-TIPO: TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO)		
NATUREZA DA OCORRÊNCIA SUPERFICIAL		CODIFICAÇÃO
DESAGREGAÇÃO SUPERFICIAL	1ª CAMADA DE AGREGADO	DS1
	2ª CAMADA DE AGREGADO	DS2
REMENDOS EXISTENTES (SUPERFICIAIS OU PROFUNDOS)		R
PANELAS		P

Fonte: STRATA (2000)

Por outro lado, face ao tipo e à natureza dos defeitos considerados, associados às suas formas de ocorrência, outra substancial modificação nos métodos usuais de avaliação superficial foi feita através de varredura ao longo de todo o trecho, e não como tem sido preconizado, por segmento testemunha que caracteriza um levantamento pontual que pode não traduzir, com a devida acurácia, o verdadeiro grau de degradação pelo pavimento.

O processo usual de se promover o levantamento de estaca em estaca, numa zona previamente delimitada pela semi-seção transversal e pelos 3,0m que antecedem e procedem a estaca (área correspondente a 21,0m²), tem-se mostrado, não raras vezes, inadequado, visto a composição da frota circulante por faixa de tráfego (número de eixos, magnitude e repetibilidade das cargas), a sazonalidade operacional e a alternância (ou distribuição transversal) do tráfego usuário poderem dar origem à surgência e ao desenvolvimento de defeitos de formas bastante singulares nas distintas faixas de tráfego. Com efeito, ocorrem eles, ora de forma localizada, pontual e isoladamente, ora de forma extensa, dispostos segundo distintas configurações geométricas; por vezes, ocorrem em extensões consideráveis, sem caracterizar, contudo uma continuidade total, se alternam em termos da severidade atingida por faixa de tráfego e acontecem segundo distribuições transversais completamente aleatórias.

Assim os levantamentos das distintas famílias de manifestação de ruína foram processados de **forma contínua (Varredura Métrica)**, por **faixa de tráfego**, conforme ilustrado na Figura a seguir.

**Auscultação do Pavimento Através do Processo de Varredura Métrica**

Utilizando o veículo, dois técnicos qualificados e treinados, percorreram a rodovia, a uma velocidade operacional da ordem dos 10 a 20 km/h, observando o pavimento de cada faixa de tráfego e registrando, todos os defeitos superficiais visualizados (pontuais e extensos) constatadas ao longo do trecho. O equipamento eletrônico utilizado permitiu processar, com segurança, o registro automático e contínuo das degradações ocorrentes na superfície do pavimento existente. Para maior facilidade e de forma a homogeneizar a linguagem técnica, os defeitos ocorrentes no pavimento foram previamente identificados e agrupados em famílias genéticas e codificados através de notações simplificadas; a identificação e a codificação das degradações de natureza superficial são aquelas indicadas nos Quadros apresentados acima.

Nos levantamentos efetuados de acordo com a metodologia adotada cada tecla, ao ser acionada, registrou uma ocorrência específica do defeito e vincula, automaticamente, sua posição em relação a quilometragem do trecho. Esta identificação da distância percorrida com a quilometragem foi processada através de um sensor eletrônico digital de alta precisão, capaz de gerar impulsos elétricos com o movimento do veículo e de operar com precisão da ordem de 1,0m por quilômetro (1/1000).

Nos inventários da superfície obtido por segmentos testemunha, com levantamento visual apenas nas imediações de cada estaca, a frequência relativa de ocorrência (f_r) de um defeito é determinada pela relação entre o número de estacas (frequência absoluta - f_a) onde foi detectado o defeito, ocorrente uma ou várias vezes na mesma estaca, e o número total de estacas avaliadas.

No caso do levantamento contínuo, através de um processo de varredura, a definição da frequência de ocorrência, traduz a intensidade de manifestação de cada defeito, requer naturalmente a aplicação de um procedimento mais apurado. Com efeito, a ocorrência de de-

feitos com extensões distintas, podendo acontecer várias vezes entre duas estacas ou até mesmo ao longo de uma seção transversal.

Para se processar os dados desenvolveu-se um procedimento similar aos segmentos testemunha, entretanto mais minucioso, o qual consistiu basicamente em se dividir o intervalo entre duas estacas (20,0m) em intervalos de 1,0m e identificar a existência de cada defeito neste intervalo. A seguir, função do número de vezes em que se verificar a incidência de cada defeito (quantificação numérica dos intervalos afetados) calcula-se a frequência relativa de sua ocorrência por estaca. Para o efeito, lançou-se mão da expressão:

$$f_r = \frac{\text{número de semi - intervalos de 1,0m afetados}}{20} \times 100$$

Tal procedimento faculta a obtenção de uma infinidade de informações, as quais podem ser arquivadas em um Banco de Dados automatizado ou então representadas graficamente em **Lineares Sinópticos**, os quais apresentam a vantagem de facultar análises e interpretações imediatas e consistentes. Nestes lineares constam estaca por estaca e por faixa de tráfego, a representação gráfica das manifestações de ruína verificadas bem como as demais características tradutoras do comportamento funcional dos pavimentos considerados.

1. Levantamento Visual Contínuo: degradações superficiais e deformações permanentes de caráter localizado;
2. Levantamento de Irregularidade Longitudinal: Quociente de Irregularidade;
3. Levantamento da Irregularidade Transversal: Flecha Máxima nas Trilhas de Roda.

O cadastro das flechas em trilhas de roda foi realizada de 40 em 40 metros, alternadas.

Nas fichas do levantamento (ver volume 3B – Estudos Geotécnicos) foram demarcadas as ocorrências em cada estação, bem como os valores das flechas nas trilhas externas e internas e a condição do acostamento.

No caso do levantamento contínuo, através de um processo de varredura, a definição desta frequência de ocorrência, que traduz a intensidade de manifestação de cada defeito, requer a aplicação de um procedimento diferente. Com efeito, a ocorrência de defeitos com extensões distintas, podendo acontecer várias vezes entre duas estacas ou até mesmo ao longo de uma seção transversal, impede a definição da frequência relativa de ocorrência através de uma relação matemática definida por amostragem.

Avaliação das Características de Deformação Permanente

A avaliação das características de deformação permanente, no âmbito da definição das defi-

ciências estruturais de pavimentos, tem sido normalmente estabelecida a partir do levantamento dos graus de irregularidade de seus perfis longitudinal e transversal.

O grau de irregularidade do perfil longitudinal levantado através de perfilômetros do tipo resposta, com definição do quociente de irregularidade – QI, e a irregularidade transversal por meio de réguas planas (régua de 3,0m ou régua-treliça), com definição da flecha máxima ocorrente nas trilhas de roda.

Dentre as principais qualidades do perfilômetro destaca-se:

- O desempenho técnico do equipamento permite a obtenção de resultados confiáveis;
- A operação do equipamento independe das características de suspensão do veículo;
- A velocidade do levantamento é determinada tão somente pelas condições de tráfego da rodovia podendo sofrer variações ao longo do deslocamento sem causar prejuízo à aquisição dos dados;
- A alta produtividade na coleta de dados

Nas características de deformação em perfil, duas componentes de elevada responsabilidade se apresentam, justamente nas trilhas de rodas:

- A irregularidade transversal, produzida pelos afundamentos plásticos ou de consolidação; e
- A irregularidade longitudinal, atribuída aos afundamentos plásticos ou de consolidação, localizados ou generalizada, ondulações e corrugações.

Inicialmente, como realizado para a avaliação das características de degradação superficial, foi promovida uma análise individual e particularizada das condições de deformação permanente externadas pelo pavimento estudado, expresso conforme indicado nos Quadros a seguir para revestimentos do tipo Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e Tratamento Superficial Duplo.

QUADRO 2.3.12 - IDENTIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES PERMANENTES (REVESTIMENTO-TIPO: CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE)			
NATUREZA DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE			CODIFICAÇÃO
DEFORMAÇÕES PERMANENTES			IRREGULARIDADE LONGITUDINAL
NAS			IRREGULARIDADE
TRILHAS DE RODA			TRILHA EXTERNA
			TRANSVERSAL
			TRILHA INTERNA
AFUNDAMENTOS LOCALIZADOS	NAS	SEM SOLEVAMENTO LATERAL (COMPACTAÇÃO ADICIONAL)	ATC
	TRILHAS DE RODA	COM SOLEVAMENTO LATERAL (DISTORÇÃO PLÁSTICA)	ATP
	ENTRE TRILHAS DE RODAS E BORDOS DA PISTA	SEM SOLEVAMENTO LATERAL (COMPACTAÇÃO ADICIONAL)	ALC
		COM SOLEVAMENTO LATERAL (DISTORÇÃO PLÁSTICA)	ALP
REFLUIMENTO/ESCORREGAMENTO DO REVESTIMENTO		REFLUIMENTO LATERAL	RL
		ESCORREGAMENTO LONGITUDINAL	EL
ONDULAÇÃO			O
CORRUGAÇÃO			C
EMPOLAMENTO (CALOTAS COM TRINCAS DENDRÍTICAS)			EMP
DEFORMAÇÕES PERMANENTES ATRIBUÍDAS AO COMPORTAMENTO DE MACIÇOS TERROSOS		ESTUFAMENTO	EST
		CONSOLIDAÇÃO DIFERENCIAL	AC
		RUPTURA POR CISALHAMENTO	AR

Fonte: STRATA (2000)

QUADRO 2.3.13 - IDENTIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES PERMANENTES (REVESTIMENTO-TIPO: TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO)			
NATUREZA DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE			CODIFICAÇÃO
DEFORMAÇÕES PERMANENTES			IRREGULARIDADE LONGITUDINAL
NAS			IRREGULARIDADE
TRILHAS DE RODA			TRILHA EXTERNA
			TRANSVERSAL
			TRILHA INTERNA
AFUNDAMENTOS LOCALIZADOS	NAS	SEM SOLEVAMENTO LATERAL (COMPACTAÇÃO ADICIONAL)	ATC
	TRILHAS DE RODA	COM SOLEVAMENTO LATERAL (DISTORÇÃO PLÁSTICA)	ATP
	ENTRE TRILHAS DE RODAS E BORDOS DA PISTA	SEM SOLEVAMENTO LATERAL (COMPACTAÇÃO ADICIONAL)	ALC
		COM SOLEVAMENTO LATERAL (DISTORÇÃO PLÁSTICA)	ALP
ONDULAÇÃO			O
CORRUGAÇÃO			C
DEFORMAÇÕES PERMANENTES ATRIBUÍDAS AO COMPORTAMENTO DE MACIÇOS TERROSOS		ESTUFAMENTO	EST
		CONSOLIDAÇÃO DIFERENCIAL	AC
		RUPTURA POR CISALHAMENTO	AR

Fonte: STRATA (2000)

O levantamento das irregularidades foi executado utilizando um perfilógrafo a laser capaz de coletar simultaneamente os dados relativos a irregularidade longitudinal e transversal. O equipamento é composto de 3 unidades “lasers” e de um sistema transdutor de distância de alta precisão, um rack controlador das atividades das unidades laser, aquisição, conversão e filtragem dos dados, e também de um notebook responsável pelo controle do sistema como um todo.

Observação

Os levantamentos foram executados durante o mês de **maio de 2012**. A análise dos defeitos de superfície mostra um pavimento em estado regular, após vários anos com manutenções esporádicas, não apresenta deformações permanentes (trilhas de roda), deformações plásticas e depressões, as trincas são poucas, e sua seção transversal está perfeitamente conformada. Entretanto com a desagregação e o desgaste do revestimento, que são uma constante, vêm as panelas, causadas pela infiltração de água, daí os remendos. As condições da superfície existentes no início do levantamento, com inúmeras panelas, remendos e desagregação, estão sendo “mascaradas” pelas intervenções do Programa Emergencial. Alguns segmentos apresentam altos índices de degradação, mais em função da manutenção precária, e da dificuldade de drenagem superficial (vegetação invadindo o acostamento).

2.3.2.6.3 Avaliação Estrutural

A condição estrutural de um pavimento denota sua adequação ou sua capacidade de resistir à deterioração provocada pela passagem das cargas do tráfego e pode ser avaliada através de:

1. **Avaliação Destrutiva:** Abertura de poços de sondagem para identificação da natureza e das espessuras das camadas do pavimento e para coleta de amostras que serão ensaiados em laboratório. Ensaios “in situ” podem ser realizados, como a determinações de umidade e densidade.
2. **Avaliação Não Destrutiva:** Consiste na medição dos deslocamentos verticais de superfície (“deflexões”), que são os parâmetros de resposta cuja medida é mais simples e confiável.

Avaliação Destrutiva - Camadas do Pavimento Existente

Na exploração e análise do pavimento existente foi obedecida a seguinte metodologia:

1. **Estudo Preliminar:** Foram estabelecidos os locais a serem sondados nos pontos de importância para elaboração do projeto de restauração.
2. **Inspeção Expedita e Coleta das Amostras:** Para conhecer as características dos materiais empregados e as condições estruturais das camadas do pavimento existentes

foram abertos poços de sondagem, a uma distância média de 2 Km, com dimensões de 0,6 x 0,6 metro, metade na pista e a outra metade no acostamento, onde foi possível visualizar a estrutura de pavimento. Na ocasião foram coletadas amostras da base, sub-base, reforço de subleito e subleito até a cota mínima de 0,60 metro abaixo do revestimento.

Furos de Sondagem Destrutivos

Para o planejamento dos furos de sondagem foram consideradas duas normas:

- A Instrução de Apresentação de Projeto – CREMA – 2ª Etapa determina no item 5.2.2:

"Furos de sondagem em cada segmento homogêneo para a caracterização das camadas dos pavimentos (granulometria e índices físicos) e determinação das espessuras.

Em segmentos problemáticos (locais com deformações ou deflexões elevadas), a fim de se identificar as causas dos problemas, deverão ser feitos ensaios complementares (densidade "in situ", ensaios de compactação e CBR e verificação do nível d'água). Caso seja aplicado o método DNER PRO 269/94 (TECNAPAV) deverão ser feitos ensaios de granulometria por sedimentação em amostras representativas de solos do subleito da pista existente".

- O Método da Resiliência Indireta do DNER – (DNER-PRO 269/94 - TECNAPAV) determina que (DNIT, 2006 – pág 157):

"Devem ser efetuadas sondagens a cada dois km, introduzindo-se mais poços de sondagem no caso de haver uma mudança na estrutura do pavimento. Em cada ponto de sondagem devem ser determinadas expeditamente características das camadas do pavimento e do subleito."

Considerando as recomendações das normas serão executados furos de sondagem a cada 2km, no máximo, para caracterização das camadas do pavimento, sendo executados ensaios completos (granulometria, índices físicos, densidade "in situ", ensaios de compactação, CBR e granulometria por sedimentação da camada do subleito) nas amostras coletadas.

Para complementar aos ensaios de caracterização foram realizados ensaios DCP – Penetrômetro Dinâmico de Cone, que segundo BERNUCCI et al (2008) ²¹:

²¹ BERNUCCI et al (2008) - Pavimentação asfáltica - Formação básica para engenheiros - Rio de Janeiro : PETROBRAS: ABEDA

"Os ensaios penetrométricos consistem na forma mais simplificada de avaliar resistência in situ; ensaios com cone sul-africano ou penetrômetro dinâmico de cone (DCP – dynamic cone penetrometer) vêm sendo bastante difundidos na pavimentação e empregados como forma de avaliar a resistência e em correlações com o ISC (Kleyn, 1975; Röhm, 1984; Livneh, 1989; Trichês e Cardoso, 1999). Na atualidade, tem sido crescente a utilização de ensaios não-destrutivos em pista, evitando a retirada de materiais ou procedimentos detalhados e lentos de campo".

Como determina a IS-212 serão executados furos de sondagem, através toda a estrutura do pavimento, das pistas de rolamento e acostamentos, no bordo da pista com o acostamento, utilizando pá e picareta para coleta de amostras e efetivação da medição das espessuras das camadas e coleta de amostra das camadas para as análises determinadas pelas normas.

Os furos de sondagem serão recompostos seguindo as recomendações para remendo profundo, ou seja, serão aplicados materiais selecionados que atendam as normas para subleito, sub-base e base do DNIT e receberão como revestimento PMF – Pré Misturado a Frio ou CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

Ensaio

No ato da coleta foram registradas algumas observações colhidas "in loco" para subsidiar os trabalhos em análises posteriores: espessuras camadas e tipo do material sondado.

Em todos os furos de sondagem, para cada uma das camadas granulares, foram determinadas a umidade e a massa específica "in situ" utilizando os seguintes métodos de ensaios:

1. Determinação da umidade com emprego do "Speedy" (DNER-ME 052/94);
2. Determinação da massa específica "in situ", com o emprego do frasco de areia (DNER-ME 092/94).

A partir da decisão de proceder a coleta de determinada amostra para, posteriormente, submetê-la aos procedimentos de laboratório visando sua caracterização geotécnica para aplicação em obras rodoviárias, foi coletado cerca de 50 kg de solo para cada amostra.

1. **Ensaio de Laboratório:** Obedeceu a mesma metodologia utilizada na exploração dos materiais granulares (Ver subitem na sequência).
2. **Análise dos Resultados:** Obedeceu a mesma metodologia utilizada na exploração dos materiais granulares (Ver subitem sequência).

Avaliação não Destrutiva - Deflexões

No caso das rodovias em questão, procurou-se avaliar as características globais de deformabilidade elástica do pavimento existente através da determinação das linhas de influência

dos assentamentos reversíveis obtidas em ensaios de carga dinâmica (bacias de deformação) realizados com a Viga Benkelmann. Em seguida, com base em suas análises e interpretações utilizando procedimentos teóricos procurou-se caracterizar estruturalmente o pavimento existente.

De forma a propiciar a mais adequada definição dos segmentos homogêneos, elegeu-se como representante das características de deformabilidade elástica, a deflexão reversível máxima - D_{max} , impropriamente considerada de forma isolada como um **parâmetro estrutural**. Este parâmetro, embora individualmente não seja suficiente para caracterizar estruturalmente um pavimento, quando considerado combinadamente com as características de degradação superficial e de deformação em perfil.

Viga Benkelmann

Os ensaios não destrutivos determinam o grau de adequação estrutural por intermédio da aplicação de um carregamento conhecido e medição da deflexão superficial correspondente. Os equipamentos mais conhecidos para esta avaliação são a Viga Benkelmann e os defletômetros de impacto Falling Weight Deflectometer (FWD).

A viga de Benkelman foi e é, de longe, o equipamento de medida de deflexões mais difundido no Brasil, sendo que inclusive as normas vigentes no país para projetos de restauração de rodovias têm seus modelos de cálculo fundamentados em padrões de deflexão medida com a viga de Benkelman (referência ao engenheiro do Bureau of Public Roads dos EUA que inventou o dispositivo na década de 1950).

No DNER-PRO-11 a recomendação é de que a determinação das deflexões seja realizada através da Viga Benkelman, pois este era o único aparelho disponível no Brasil em 1979. De acordo com o trabalho de Rocha Filho (1996), onde foi realizado um estudo experimental a fim de se investigar a confiabilidade das leituras obtidas através da Viga Benkelman, os resultados obtidos em um pavimento flexível rodoviário mostraram que a leitura mais confiável que pode ser obtida com a viga é a deflexão máxima (D_0). Contudo, ainda assim, existe uma incerteza da ordem de 4 a 10%, levando a incertezas ainda maiores nas previsões de desempenho dos pavimentos. Quanto ao raio de curvatura (RC), os resultados mostraram que existe uma incerteza da ordem de 20% em sua determinação. Os erros experimentais crescem com o afastamento da carga, chegando a 50% a 1,2 m. Portanto, a Viga Benkelman não permite leituras confiáveis da bacia de deflexões, embora esta bacia possa ser lida durante o ensaio (NOBREGA, 2003) ²².

Segundo o DNER ME 024/94, o ensaio para a determinação da deformação recuperável,

²² NÓBREGA, E. S. (2003) - Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos. UFRJ

através de Viga Benkelman, tem início com a localização dos pontos de medida, que devem ser locados a uma distância prefixada do bordo do revestimento, variável conforme a largura da faixa de tráfego. O caminhão deve posicionar-se centrando um dos conjuntos de rodas duplas traseiras sobre o ponto a ser ensaiado. A ponta da viga Benkelman deve posicionar-se sobre o ponto a ser ensaiado, entre os pneus da roda dupla. Libera-se a trava da viga, liga-se o vibrador e faz-se a leitura inicial. Desloca-se então o caminhão, no mínimo 10 metros para frente, e faz-se a leitura final. Com o objetivo de determinar o raio de curvatura da bacia de deformação, faz-se uma medida deslocando o caminhão 25 cm do ponto em estudo, fazendo-se nova leitura.

Ainda de acordo com a DNER ME 024/94, a diferença entre as leituras final e inicial, multiplicada pela relação entre as dimensões da viga, corresponde à deflexão real ou verdadeira. Através de uma dedução matemática, determina-se o raio de curvatura da bacia de deflexões.

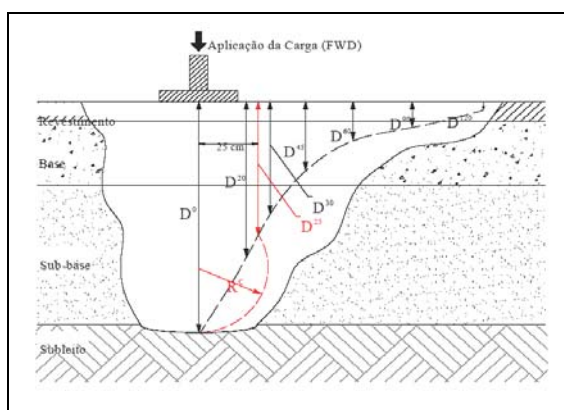
Os resultados obtidos nos levantamentos são organizados em bancos de dados específicos. A avaliação estrutural permite a determinação de vida em serviço remanescente, em termos do número de solicitações equivalentes do eixo-padrão e o dimensionamento do reforço. A medida da deflexão oferece uma boa estimativa da resposta estrutural de um pavimento, quando solicitado pelo tráfego usuário (no caso, considera-se o eixo padrão de 8,2 toneladas).

Pode-se atribuir a seguinte escala para conceituação dos valores da deflexão:

DEFLEXÃO	CONCEITO
≤ 50	Baixa
50 – 80	Média
> 80	Alta

Bacia de Deformação

Define-se “bacia de deformação” como os assentamentos resultantes do efeito de uma carga aplicada no pavimento, que se dissipa na medida em que se afasta do seu ponto de aplicação.



As medidas foram feitas com o vibrador da régua em funcionamento, fazendo a leitura inicial, L_0 , em centésimos de milímetros. O caminhão foi deslocado à frente, lentamente, por 25 centímetros, coincidindo a referência do mesmo com a marca de 25 centímetros da régua. Neste momento, foi feita a leitura intermediária, L_{25} , em centésimos de milímetros. Com o caminhão em

movimento, procede-se da mesma forma, efetuando-se as leituras L_{50} , L_{75} , L_{100} , L_{150} , L_{200} , L_{250} e a leitura final, L_f .

A deflexão do pavimento, nos pontos correspondentes aos diversos deslocamentos, é calculada através da seguinte fórmula:

$$D_n = (L_n - L_f) \cdot \frac{a}{b}$$

Onde:

L_n = leitura nos pontos correspondentes aos diversos deslocamentos do veículo

L_f = leitura final, em centésimos de milímetros

a/b = constante da viga, obtida pela relação de braço da Viga Benkelmann.

Análise do Raio de Curvatura

Quanto maior o raio de curvatura, melhor é considerado a distribuição de cargas na estrutura. O método DNER PRO 11/79 define limite mínimo para este parâmetro em 100. Como tendência observada nas medidas de deflexão, o raio de curvatura tem um aumento significativo após a restauração, e durante a vida em serviço os valores diminuem (SILVA, 2011²³).

Em princípio as grandes deflexões poderiam estar simplesmente sendo produzidas por deficiências de qualidade das camadas inferiores do pavimento, em especial do subleito. Mas nem sempre é o que acontece e a situação fica mais clara quando se avalia em conjunto a deflexão com o grau de curvatura de acordo com os seguintes casos:

Baixas deflexões e grandes raios de curvatura

Pavimento em bom estado, tanto nas camadas superiores como nas inferiores.

Baixas deflexões e pequenos raios de curvatura

A camada superior pode estar com qualidade deficiente, em princípio o problema não se concentra nas camadas inferiores porque as deflexões são baixas mas o caso requer uma investigação mais cuidadosa.

Altas deflexões e grandes raios de curvatura

Em princípio o caso significa grandes deflexões no subleito que é onde deve estar concentrado o problema de falta de qualidade de materiais ou umidade excessiva, independentemente da qualidade dos materiais das camadas superiores que podem ter qualidade satisfatória ou não.

Altas deflexões e pequenos raios de curvatura

Pavimento totalmente condenável.

²³ SILVA, A.H.M da (2011) – Avaliação do Comportamento de Pavimentos com Camada Reciclada de Revestimentos Asfálticos a Frio com Emulsão Modificada por Polímero – USP (Dissertação de Mestrado) – São Paulo, SP.

Parâmetros de Avaliação das Superfícies Deformadas

Fabrizio et al (1988)²⁴ desenvolveram programa de avaliação estrutural de pavimentos flexíveis através da interpretação de bacias de deformações medidas com a viga Benkelman.

Esta metodologia de avaliação consiste na determinação de parâmetros ditos representativos da condição estrutural de um pavimento asfáltico, tais como o raio de curvatura da superfície deformada (R), o produto do raio pela deformação elástica máxima (d), o índice de curvatura superficial, o índice de curvatura da base, o índice de destruição da base, a inclinação da deformação elástica, a abscissa do ponto de inflexão da superfície deformada e o achatamento da mesma, resumida no Quadro.

PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DEFORMADAS

PARÂMETRO DE AVALIAÇÃO	FÓRMULA	"MAU" ESTADO
Raio de Curvatura	$\frac{6250}{2 \cdot (d_0 - d_{25})}$	< 100 m
Produto R. d ₀	R. d ₀	< 5500
Índice de Curvatura Superficial	d ₀ - d ₃₀	> 25 x 10 ⁻² mm
Índice de Curvatura da Base	d ₃₀ - d ₆₀	> 10 x 10 ⁻² mm
Índice de Destruição da Base	d ₃₀ - d ₆₀	> 40 x 10 ⁻² mm
Achatamento da Bacia	$\frac{(d_0 + d_{30} + d_{60})}{3 \cdot d_0}$	Valores Elevados

Valores de Índice de Curvatura da Base superiores a 10 x 10⁻² mm correspondem a subleitos com CBR iguais ou inferiores a 10%.

2.3.2.6.4 SEGMENTOS HOMOGÊNEOS

O método aplicado para Avaliação e Diagnóstico de Pavimentos foi concebido com a finalidade de propiciar, aos engenheiros projetistas, um procedimento capaz de permitir a definição clara do estado de sanidade externado pelo pavimento. Para o efeito, procurou-se primeiramente definir e considerar a enorme gama de variáveis que normalmente interfere em seu quadro sintomático, tendo sido elas enquadradas em três grandes grupos: as degradações superficiais, as deformações permanentes e a deformabilidade elástica.

Considerando a forma particularizada de levantamento e de avaliação efetuada, com identificação e quantificação de distintos universos de defeitos, a solução teórica para o problema consistiria basicamente em se pesquisar procedimentos eminentemente analíticos, capazes de permitir se processar a "**divisão preliminar**" do trecho em segmentos homogêneos referentes a cada uma das características físicas levantadas; obviamente, os procedimentos a serem estabelecidos deveriam garantir, *a posteriori*, condições de se inter-relacionar, mate-

²⁴ FABRÍCIO, J. M., GONÇALVES, E. A., FABRÍCIO, O. F.; 1988. "Metodologia Não Destrutiva para Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis Através da Interpretação das Bacias de Deformação"; 23a Reunião Anual de Pavimentação, Volume 3, V Seção Técnica, Florianópolis

maticamente, os vários índices caracterizadores do pavimento calculados estaca por estaca. Para se **caracterizar os segmentos homogêneos** relativo a cada um dos parâmetros levantados, julgou-se ser suficiente a consideração individual dos respectivos índices definidores das condições do pavimento existente. A seguir, para se processar a **divisão do trecho em segmentos homogêneos** optou-se por um processo matemático, capaz de eliminar a subjetividade da análise pessoal. Assim, por se tratar da avaliação de índices individualizados, considerou-se um processo de tratamento apoiado numa consistente análise de delimitação estatística, capaz de facilitar ainda a detecção e a eliminação de eventuais valores fora do universo de estudo, o método *Analysis Unit Delineation by Cumulative Differences* ou *das Diferenças Acumuladas*.

Na definição dos segmentos homogêneos relativos a cada índice de caracterização através da análise de delimitação unitária pelo método das diferenças acumuladas (Ver item 2.3.2.1, deste capítulo), se promoveu normalmente a detecção e a eliminação de eventuais excrescências (valores espúrios). Complementarmente, a título de propiciar uma melhor avaliação da variação dos valores naquele segmento, adotaram-se, como fronteiras horizontais, delimitadoras da amplitude do intervalo, os valores definidos pelos limites $\bar{x} \pm \sigma$ (valor médio mais e menos o desvio-padrão da população ocorrente).

Aplicado o método das diferenças acumuladas para a divisão do trecho em segmentos que exteriorizam distintos comportamentos homogêneos - por família de características físicas - o passo seguinte consistiu em definir o **valor representativo** do índice considerado em cada segmento delimitado; para tanto se selecionou o **valor médio** como o mais adequado.

Assim, uma vez definidas as fronteiras dos segmentos homogêneos relativamente aos três grupos considerados estabeleceram-se os **segmentos homogêneos finais**, traduzidos por uma fronteira comum, definida pela constância dos valores dos três grupos considerados; a extensão de cada segmento homogêneo foi ditada pela constância dos valores médios dos três parâmetros, visto que a alteração de qualquer um deles - mesmo que os outros dois permanecessem constantes - determina a existência de um novo segmento homogêneo.

2.3.2.6.5 ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL

No Brasil, de modo geral, o estado de superfície dos pavimentos flexíveis é avaliado em termos do Índice de Gravidade Global (IGG). Este índice engloba os defeitos de superfície em termos de extensão e severidade, e aponta diferentes pesos para os diferentes tipos de defeitos. Quando os níveis de tolerância são ultrapassados, o pavimento passa a sofrer operações de conserva com relativa frequência e, ainda, aumenta a possibilidade de abertura de panelas na pista.

O Índice de Gravidade Global (IGG) é obtido por meio da fórmula:

$$IGG = \sum IGI \text{ onde: } \sum IGI = \text{somatório dos Índices de Gravidade Individuais.}$$

O IGG está associado aos seguintes conceitos (DNIT-PRO 06/2003):

IGG	CONCEITO	
$0 < IGG \leq 20$	Ótimo	NECESSITA APENAS DE CONSERVAÇÃO ROTINEIRA
$20 < IGG \leq 40$	Bom	APLICAÇÃO DE LAMA ASFÁLTICA - Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas
$40 < IGG \leq 80$	Regular	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEAMENTO - pavimento trincado, com "panelas" e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.
$80 < IGG \leq 160$	Ruim	RECAPEAMENTO COM CORREÇÕES PRÉVIAS - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas - remendos superficiais ou profundos
$IGG > 160$	Péssimo	RECONSTRUÇÃO - defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Deterioração do revestimento e das demais camadas - infiltração de água e descompactação da base

2.3.3 RESULTADOS OBTIDOS

2.3.3.1 SUBLEITO

Definido, juntamente com a Fiscalização, que não serão introduzidas modificações no traçado e na plataforma existente, nos segmentos em projeto, nem mesmo em terceira faixa, e que há necessidade de readequação das interseções existentes, com o intuito de melhorar suas características técnicas para atender ao aumento de volume de tráfego, aos novos padrões da frota usuária, para melhorar as condições de visibilidade ou para eliminar pontos críticos de acidentes.

Para subsidiar o projeto de readequação das interseções, em cada uma, foi lançado um eixo paralelo ao existente, onde foram realizados furos de sondagem a cada 100m. Estes eixos distam 20m do eixo existente e tem aproximadamente 500m para cada lado do centro da interseção existente, totalizando um levantamento de 1000m.

O estudo do subleito dos pavimentos novos foi desenvolvido em duas etapas:

1. A primeira etapa – sondagem do eixo de locação - foi desenvolvida depois da definição do traçado, quando foram programadas e efetuadas sondagens, a pá e picareta, para reconhecimento dos materiais no subleito da pista a ser implantada. Estas sondagens foram realizadas de 100 em 100m, numa profundidade de 1,00m abaixo do terreno natural;
2. A segunda etapa – o aprofundamento das sondagens de corte foi desenvolvida depois de definido o traçado definitivo e lançado o greide de projeto. As sondagens dos cortes foram aprofundadas até 1,50m abaixo da cota do greide de terraplenagem.

Para todos os furos foram elaborados boletins de sondagem, onde constam as classificações expeditas dos materiais quanto à textura, cor e posição do lençol freático (se identificado), tendo sido coletadas amostras foram submetidas aos ensaios de caracterização (limite físico

e granulometria), compactação e CBR, estabelecidos pela metodologia descrita anteriormente.

Após a conclusão dos estudos de campo e de laboratório, os materiais foram classificados segundo a TRB, sendo, ainda, calculados os Índices de Grupo. Os resultados dos ensaios foram submetidos a estudos estatísticos, objetivando caracterizar os materiais a serem utilizados no dimensionamento do pavimento.

Estes trabalhos foram programados sob a ótica de uma terraplanagem nova.

Rodovia BR-080

Foram executados furos de sondagens de subleito nos seguintes locais do segmento em estudo:

1. ~~Entroncamento BR-080/BR-414 (Trevo de Dois Irmãos) km 94,08 a km 95,08 extensão 1,00 km 11 furos de sondagem;~~
2. ~~Entroncamento BR-080/Estrada de Ligação BR-080/BR-414 (Trevo da Estrada de Ligação) km 110,7 a km 111,7 extensão: 1,00 km 11 furos de sondagens. Entre os km 110,9 a km 111 deverá ser executado furo de sondagem a percussão para verificar a existência de solo mole, uma vez que foi constatada a presença de solo saturado;~~
3. ~~Entroncamento BR-080/GO-080 (Trevo para Goianésia) km 125,74 a km 126,74 extensão: 1,00 km 11 furos de sondagens;~~
4. ~~Acesso para Barro Alto (A) km 129,84 a km 130,84 extensão: 1,00 km 11 furos de sondagens;~~
5. ~~Acesso para Barro Alto (B) km 132,1 a km 133,1 extensão: 1,00 km – 11 furos de sondagens; Entre os km 133 a km 133,1 deverá ser executado furo de sondagem a percussão para verificar a existência de solo mole, uma vez que foi constatada a presença de solo saturado;~~
6. ~~Entroncamento BR-080/GO-438, no Povoado da Placa km 152,46 a km 153,66 extensão: 1,00 km 11 furos de sondagens.~~

~~Portanto, no segmento em projeto da rodovia BR-080, foram executados sondagens em 6 interseções que podem ser readequadas durante a fase de projeto, totalizando 6 km e 66 furos de sondagem.~~

Índice de Suporte de Projeto

~~Na sequência serão apresentados os resultados dos estudos dos índices de suporte do subleito nos seguintes locais do segmento em estudo:~~

TERMO DE ENCERRAMENTO

A **ONA S.A. Engenharia, Comércio e Indústria** encerra o VOLUME 1 – MEMÓRIA JUSTIFICATIVA DO PROJETO - TOMO III, parte integrante do ***Projeto Básico e Executivo de Engenharia para as Obras de Restauração, Manutenção e Conservação de Rodovia – C.R.E.M.A. 2ª Etapa***, da Rodovia BR-153/GO, Trecho: Div. TO/GO/ENTR BR-452(B) (DIV GO/MG) (ITUMBIARA), Subtrecho: ENTR BR-080(B)/GO-342 (P/BARRO ALTO)/ENTR.BR-060(A), Segmento: Km 213,0 ao Km 445,1.