

ANÁLISE DO CONTROLE DE QUALIDADE DA PAVIMENTAÇÃO DA VIA DE INTERLIGAÇÃO ENTRE AS AVENIDAS AUGUSTO FRANCO E GASODUTO, EM ARACAJU/SE

Natália Braga da Fonseca
Clariana Alda Coelho de Lima
Gessyca Menezes Costa
Universidade Tiradentes
Departamento de Engenharia Civil

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a análise do controle de qualidade do pavimento flexível executado na via de Interligação entre as avenidas Augusto Franco e Gasoduto, na cidade de Aracaju/SE. Foram abordados os principais conceitos de pavimentação e ressaltou-se a importância da realização de um controle de qualidade eficiente durante a execução do pavimento. Foram analisados os ensaios de controle realizados no decorrer da obra nas camadas de sub-base, base e revestimento asfáltico. Os resultados encontrados nas camadas de base e sub-base estavam majoritariamente de acordo com as normas vigentes, mas nas camadas asfálticas, todos os seis ensaios analisados apresentaram não conformidades em pelo menos uma das características averiguadas. No entanto, é possível ponderar que o revestimento executado possui dimensões de pavimentos para tráfego pesado, apesar do tráfego na região ser leve. Assim, os resultados que fogem ao projeto não devem indicar grandes problemas no pavimento da via.

ABSTRACT

The present work aims at the analysis of the quality control of the flexible pavement executed in the interconnection road between the avenues Augusto Franco and Gasoduto, in the city of Aracaju/SE. The main concepts of paving were discussed and the importance of performing an efficient quality control during the execution of the pavement was emphasized. The control tests carried out during the building on the sub-base, base and asphalt layers were analyzed. The results found in the base and sub-base layers were mostly in accordance with the current standards, but in the asphalt layers, all six analyzed tests presented nonconformities in at least one of the characteristics ascertained. Nevertheless, it was taken into account that the executed paving has dimensions suiting heavy traffic, although traffic in the region is light. Therefore, the results escaping the project should not indicate any major problems in the pavement of the road.

1. INTRODUÇÃO

A matriz de transporte brasileira é predominantemente rodoviária. Segundo pesquisas da CNT, esta modalidade corresponde a mais de 61% da matriz de transporte de cargas e de 95% na de passageiros. (CNT, 2017)

Apesar da importância, 50,0% da malha rodoviária apresenta algum tipo de deficiência no pavimento. Se forem considerados também os defeitos na sinalização e geometria a da via, a porção problemática aumenta para 61,8% da extensão. (CNT, 2017)

Para Balbo (2007), o grande problema encontrado em obras rodoviárias no Brasil, é o descaso ou até a falta de um controle de qualidade satisfatório. Falhas na usinagem das misturas asfálticas, déficit na compactação, ausência de um controle de umidade e temperatura, são exemplos de razões que acabam comprometendo o desempenho do pavimento.

Nesse contexto, este trabalho traz um estudo dos procedimentos utilizados para o controle de qualidade de uma obra de pavimentação, através da avaliação do controle realizado na construção de uma avenida na cidade de Aracaju/Se, identificando e analisando falhas em seu processo.

2. PAVIMENTOS

Em Bernucci et al. (2006) pavimento é caracterizado como uma estrutura composta por múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a última superfície de terraplenagem, cuja destinação técnica e econômica é receber os esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima e redistribuí-los para os solos da fundação, além de propiciar melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Tradicionalmente, os pavimentos são classificados de acordo com a função estrutural em dois tipos: rígidos e flexíveis. Yoder e Witczak (1975) e Croney e Croney (1991) são citados por Balbo (2007) como referências do emprego dessa classificação. Este autor, entretanto, considera esta divisão “tão crivada de limitações que acaba se tornando ineficiente”, afirmando necessária a recepção de classificações mais abrangentes e consistentes.

O exemplo mais comum é a inclusão do pavimento semirrígido, que já consta junto aos clássicos no Manual de Pavimentação do DNIT e em diversas publicações que tratam de pavimentos. (DNIT, 2006a; Medina e Motta, 2005; Silva, 2008; AGETOP, 2016; entre outros)

Bernucci et al. (2006) chama os pavimentos flexíveis de pavimentos asfálticos. De acordo com esses autores, os pavimentos asfálticos são formados por quatro camadas principais que repousam sobre o subleito: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito, sendo o revestimento composto por uma mistura constituída de agregados e ligantes asfálticos.

Já os pavimentos rígidos, também chamados pavimentos de concreto de cimento Portland ou concreto-cimento para referirem-se aos pavimentos rígidos, possuem revestimento composto por uma placa de cimento Portland e a subcamada por um material granular, de resistência geralmente equivalente à sub-base de pavimentos asfálticos, sendo, por vezes, assim designado. (Bernucci et al., 2006)

Segundo Medina e Motta (2005) o pavimento semirrígido ocorre quando um revestimento asfáltico é aplicado sobre uma base cimentada.

Este trabalho tratou de uma execução tradicional de pavimento flexível.

3. CONTROLE DE QUALIDADE EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Ao iniciar a execução de uma obra, é indispensável que se faça a escolha de materiais adequados, que atendam especificações vigentes, as quais determinam os índices mínimos de qualidade necessária. O controle de qualidade, quando realizado de maneira adequada, impede falhas patológicas da construção. (Fortes e Merighi, 2004)

Qualidade, segundo a Norma DNIT 011/2004-PRO (DNIT, 2004), é a “totalidade de propriedades e características de um produto, que determina o grau de sua capacidade de satisfazer necessidades explícitas e implícitas do usuário.” As técnicas e atividades operacionais usadas para atender aos requisitos para a qualidade são denominadas, na Norma, controle de qualidade.

O controle de qualidade envolve não somente a realização de ensaios e verificação de resultados conforme suas referências normativas, mas uma análise mais abrangente, incluindo

o atendimento das especificações do empreendimento, da adequação das instalações, da calibração correta dos equipamentos utilizados, dos métodos de documentação dos resultados e da competência técnica dos profissionais envolvidos (Fortes e Merighi, 2004).

Para as camadas em material estabilizado granulometricamente, as Normas do DNIT para reforço do subleito, sub-base granular e base granular exigem o controle da granulometria, do índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR), limites de liquidez e plasticidade, graus de compactação e teor de umidade. Para a obtenção desses parâmetros, são utilizados os ensaios:

- a) Granulometria por peneiramento, conforme método DNER-ME 080/94;
- b) Limite de liquidez, conforme Método DNER-ME 122/94;
- c) Limite de plasticidade, conforme Método DNER-ME 082/94;
- d) Compactação Proctor, conforme Método DNIT 164/2013-ME;
- e) Índice de Suporte Califórnia, conforme Método DNIT 172/2016-ME.
- f) Determinação de umidade com emprego do “speedy test”, conforme Método DNER-ME 052/94;
- g) Massa específica aparente “in situ” com emprego do frasco de areia, conforme Método DNER-ME 092/94;

Para os revestimentos em Concreto Asfáltico, a norma do DNIT 031/2006-ES (DNIT, 2006b) exige o controle da granulometria, teor de ligante, índice de vazios, relação betume/vazios, vazios do agregado mineral, estabilidade e resistência à tração por compressão diametral.

Utilizam-se os ensaios:

- a) Caracterização Marshall, conforme método DNER-ME 043/95;
- b) Extração de Betume, conforme método DNER-ME 053/94;
- c) RTCD – Resistência à tração por compressão diametral, conforme método DNIT 136/2010-ME;

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso refere-se ao controle de qualidade das obras de pavimentação de uma Avenida no município de Aracaju-SE, cujo objetivo é a Interligação da Avenida Augusto Franco com a Avenida Gasoduto no Conjunto Orlando Dantas (Bairro São Conrado) e todos os seus acessos. Este controle compreende coletas de amostras e a realização de ensaios padronizados, com intuito de verificar a conformidade e o atendimento das especificações.

O tráfego da região tem predominância de veículos de passeio, mas há também a circulação de ônibus e caminhões, com isso fez-se necessário concepção de pistas duplas separadas por um canteiro central, cada pista com largura de 9 metros, divididos em três faixas de rolamento, como também a construção de duas pontes: sobre o rio Poxim, também com duas pistas de 9 metros com três faixas cada, e rio Pitanga, com uma pista de 9 metros com três faixas de rolamento.

4.1. Processo Executivo

Para a pavimentação das pistas de rolamento foram executados serviços de terraplanagem e pavimentação, compostos pelas seguintes etapas:

- a) Terraplanagem
- b) Regularização do subleito;
- c) Sub-base com espessura 30 cm, implementados em duas camadas, utilizando solos estabilizados granulometricamente sem mistura, identificados como areia fina siltosa com

presença de pedregulhos;

d) Base com espessura de 15 cm, utilizando mistura em solo-brita numa proporção de 50%:50%;

e) Imprimação utilizando asfalto diluído de cura média do tipo CM-30 à razão de 1,2 kg/m².

f) Camada de ligação ou “Binder” com espessura de 4,0 cm, em concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) na faixa B do DNIT utilizando ligante asfáltico do tipo CAP 50/70.

g) Pintura de Ligação

h) Capa de rolamento com espessura de 4,0 cm, em concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) na faixa C do DNIT utilizando ligante asfáltico do tipo CAP 50/70.

4.2. Metodologia

Para a elaboração desse trabalho, foi feita uma análise geral dos ensaios realizados durante a obra de pavimentação da avenida e, a partir desta análise, selecionados ensaios de sub-base, base, binder e camada de rolamento em três trechos para um estudo mais detalhado.

Nos relatórios, variam as quantidades de amostras testadas em cada trecho da obra, com a maioria dos trechos não alcançando sequer cinco amostras, número mínimo para formação de amostras de um lote, conforme Metodologia para Controle Estatístico, definida pela Norma DNER-PRO 277/97. Para esse trabalho, apenas uma amostra por camada em cada trecho foi analisada.

Nas camadas de sub-base e base foram realizados, em laboratório, análise granulométrica por peneiramento, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação Proctor e Índice de Suporte Califórnia. Em campo, foram executados os ensaios de determinação da massa específica aparente “in situ” com emprego do frasco de areia e determinação da umidade com emprego do speedy test.

Nas camadas asfálticas, foram realizados os ensaios Marshall, ensaio de extração de betume, e ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

Como dito, foram selecionados três trechos da obra para análise dos resultados:

a) O trecho 1, entre as estacas E86+0,00 e E100+0,00, fica em frente ao condomínio Parque das Aves, terminando na cabeceira da ponte sobre o Rio Poxim.

b) O trecho 2, entre as estacas E107+0,00 e E119+0,00, fica após a ponte sobre o Rio Poxim, próximo à sede da empresa Torre e dando acesso ao Bairro São Conrado.

c) O trecho 3, entre as estacas E164+0,00 e E178+7,00, está localizado no final do eixo 5, próximo à sede da empresa Codise e termina na lateral do Ferreira Costa.

Em cada um deles, foi analisada pelo menos uma amostra de base, de sub-base, de binder e capa de rolamento.

4.3. Resultados e Discussões

Nesta seção serão apresentados e analisados os resultados obtidos nos ensaios selecionados.

Para as camadas granulares, o projeto de pavimentação adotou os valores mínimos definidos nas normas do DNIT de sub-base (DNIT, 2010b) e base (DNIT, 2010c) para pavimentos de tráfego pesado (apesar do tráfego esperado ter predominância de veículos leves).

Para as camadas de asfalto, o projeto determinou a camada de binder com teor ótimo de

asfalto de 4,5% e granulometria na “Faixa B” do DNIT e a capa de rolamento com teor ótimo de asfalto de 5,3% e granulometria encaixando-se na “Faixa C”, além de fluência variando entre 2 mm e 4,5 mm, para as duas camadas. Para os demais parâmetros, foram adotadas as exigências da norma do DNIT para concreto asfáltico (DNIT, 2006b) para pavimentos com tráfego pesado.

4.3.1. Sub-base

Os resultados obtidos nos ensaios realizados na camada de sub-base podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados para a camada de sub-base

PARÂMETRO	SUB-BASE			PROJETO
	TRECHO 1	TRECHO 2	TRECHO 3	
ÍNDICE DE GRUPO (IG)	0,00	0,00	0,00	0,00
ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC) (%)	35,00	25,00	26,00	≥ 20,00
EXPANSÃO (%)	0,02	0,07	0,05	≤ 1,00
UMIDADE ÓTIMA (%)	8,30	6,90	8,70	
DENSIDADE MÁXIMA (g/dm ³)	2.044,00	1.989,00	2.044,00	
UMIDADE (%)	7,00	6,80	8,60	Até mais 1% ou menos 2% com relação à ótima
DENSIDADE SECA (g/dm ³)	2.064,00	2.037,00	2.044,00	
GRAU DE COMPACTAÇÃO (GC) (%)	101	102	100	≥ 100,00

Todas as amostras atendem as exigências para a camada de sub-base, ou seja, o Índice de Grupo é zero, o Índice de Suporte Califórnia é maior ou igual a 20%, a Expansão é menor ou igual a 1%, o Grau de Compactação igual ou superior a 100% da energia do Proctor intermediário e umidade variando até mais 1% ou menos 2%, em relação à umidade ótima.

4.3.2. Base

Para a camada de base, os resultados constam na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados para a camada de base

PARÂMETRO	BASE			PROJETO
	TRECHO 1	TRECHO 2	TRECHO 3	
FAIXA GRANULOMÉTRICA	D	C	Fora de Faixa (Peneira 3/8" não se enquadra na Faixa C)	Faixas A, B, C ou D do DNIT
LIMITE DE LIQUIDEZ (LL) (%)	NL	NL	NL	≤ 25,00
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP) (%)	0,00	0,00	0,00	≤ 6,00
ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC) (%)	90,00	98,00	92,00	≥ 80,00
EXPANSÃO (%)	0,03	0,00	0,05	≤ 0,50
UMIDADE ÓTIMA (%)	5,90	7,00	5,90	
DENSIDADE MÁXIMA (g/dm ³)	2.233,00	2.234,00	2.114,00	
UMIDADE (%)	6,40	7,50	6,40	Até mais 1% ou menos 2% com relação à ótima
DENSIDADE SECA (g/dm ³)	2.247,00	2.250,00	2.161,00	
GRAU DE COMPACTAÇÃO (GC) (%)	101	101	102	≥ 100,00

As amostras dos trechos 1 e 2 atendem integralmente às exigências de projeto: as granulometrias enquadram-se nas Faixa “C” ou “D” do DNIT, o Limite de Liquidez encontrado é inferior ou igual a 25% e o Índice de Plasticidade inferior ou igual a 6%, o Índice de Suporte Califórnia é maior ou igual a 80% e a Expansão menor ou igual a 0,5%.

Já no trecho 3, a amostra apresenta granulometria que não se enquadra apenas no especificado para a peneira 3/8" da “Faixa C” do DNIT. Os demais parâmetros enquadram-se no projeto.

4.3.3. Camada de ligação ou Binder

Os resultados dos ensaios realizados na camada de *binder* no trecho 1 encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados para a camada de binder no trecho 1

BINDER - TRECHO 1					
PARÂMETRO	RESULTADO				PROJETO
FAIXA GRANULOMÉTRICA	B				Faixa B do DNIT
TEOR DE ASFALTO (%)	3,9				4,5 (± 0,3)
PARÂMETROS MARSHALL	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	
ÍNDICE DE VAZIOS (VV) (%)	5,13	5,52	5,16	5,27	4,00 - 6,00
RELAÇÃO BETUME/VAZIOS (RBV) (%)	63,20	61,30	63,00	62,50	65,00 - 72,00
ESTABILIDADE (kgf)	909,80	904,10	906,90	906,93	≥ 500,00
FLUÊNCIA (mm)	3,00	3,60	3,30	3,30	2,00 - 4,50
RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (RTCD) (Mpa)	1,01				≥ 0,65

A curva granulométrica da mistura enquadrou-se na faixa “B” do DNIT.

Quanto aos parâmetros Marshall da mistura, a relação betume/vazios (62,5%) está abaixo do valor mínimo indicado, de 65%, o que pode comprometer a durabilidade da mistura. Os demais parâmetros estão dentro dos limites estabelecidos, ou seja, índice de vazios (5,3%) entre 4% e 6%, estabilidade (906,9 kgf) igual ou superior a 500 kgf e fluência (3,3 mm) entre 2,0 e 4,5 mm.

O teor de asfalto (3,9%) encontra-se abaixo dos limites indicados na norma, ou seja, mais ou menos 0,3% em relação ao teor ótimo indicado no traço, que é de 4,5%. A deficiência de ligante causa um enfraquecimento da mistura e diminui sua resistência à formação de trincas, uma vez que a resistência à tração é bastante afetada.

Apesar disso, a resistência à tração por compressão diametral encontrada (1,01 Mpa) é consideravelmente superior ao valor mínimo estabelecido na Norma, 0,65 Mpa.

Para o trecho 2, os resultados para a camada de binder podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados para a camada de binder no trecho 2

BINDER - TRECHO 2		
PARÂMETRO	RESULTADO	PROJETO
FAIXA GRANULOMÉTRICA	B	Faixa B do DNIT

BINDER - TRECHO 2					
PARÂMETRO	RESULTADO				PROJETO
TEOR DE ASFALTO (%)	5,0				4,5 (± 0,3)
PARÂMETROS MARSHALL	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	
ÍNDICE DE VAZIOS (VV) (%)	3,82	4,11	-	3,97	4,00 - 6,00
RELAÇÃO BETUME/VAZIOS (RBV) (%)	74,70	73,20	-	73,95	65,00 - 72,00
ESTABILIDADE (kgf)	614,20	-	-	614,20	≥ 500,00
FLUÊNCIA (mm)	5,10	-	-	5,10	2,00 - 4,50
RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (RTCD) (Mpa)	0,41				≥ 0,65

A curva granulométrica da mistura enquadra-se na faixa “B” do DNIT.

O teor de asfalto (5,0%) encontra-se acima dos limites indicados em projeto, ou seja, mais ou menos 0,3% em relação ao teor ótimo indicado na composição da mistura, que é de 4,5%. O excesso de ligante pode causar o fenômeno de exsudação na camada de CAUQ.

Apesar do índice de vazios médio (4,0) enquadrar-se nos limites do projeto, um dos corpos de prova testados apresenta valor (3,82%) abaixo do limite inferior de 4%; a relação betume/vazios (74%) ultrapassa o valor máximo de 72% indicado, o que pode comprometer a estabilidade da mistura. Apesar disso, a estabilidade encontrada (614,2 kgf) atende às exigências (igual ou superior a 500 kgf). Já a fluência (5,1 mm) é superior à máxima permitida (4,5 mm), indicando um material mais suscetível ao acúmulo de deformações plásticas.

Ressalta-se ainda que apenas dois corpos de prova foram submetidos ao ensaio Marshall, apesar da norma do ensaio exigir um mínimo de três exemplares.

A resistência à tração por compressão diametral encontrada (0,41 Mpa) é inferior ao valor mínimo estabelecido em projeto, 0,65 Mpa, o que indica uma baixa resistência mecânica do revestimento quando solicitado pelo tráfego de veículos, o que pode resultar em defeitos no pavimento, como o surgimento de trincas prematuras.

Para o trecho 3, os resultados para a camada de binder podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados para a camada de binder no trecho 3

BINDER - TRECHO 3					
PARÂMETRO	RESULTADO				PROJETO
FAIXA GRANULOMÉTRICA	Fora de Faixa				Faixa B do DNIT
TEOR DE ASFALTO (%)	4,7				4,5 (± 0,3)
PARÂMETROS MARSHALL	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	
ÍNDICE DE VAZIOS (VV) (%)	4,43	4,22	3,76	4,14	4,00 - 6,00
RELAÇÃO BETUME/VAZIOS (RBV) (%)	70,40	71,40	73,80	71,87	65,00 - 72,00
ESTABILIDADE (kgf)	1.449,90	908,60	-	1.179,25	≥ 500,00
FLUÊNCIA (mm)	3,00	5,10	-	4,05	2,00 - 4,50
RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (RTCD) (Mpa)	0,63				≥ 0,65

A curva granulométrica não se enquadra integralmente na faixa “B” do DNIT. A distribuição granulométrica do agregado está relacionada ao entrosamento entre as partículas e consequente atrito entre elas, influenciando diversas propriedades importantes das misturas asfálticas, como rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente, entre outras.

O teor de asfalto (4,7%) atende aos limites indicados em projeto: mais ou menos 0,3% em relação ao teor ótimo indicado no traço, que é de 4,5%.

O índice de vazios médio (4,1%) atende aos limites do projeto, mas uma das amostras testadas apresentou valor (3,76%) abaixo do limite inferior de 4%. Os demais parâmetros Marshall da mistura estão dentro dos limites estabelecidos pelo projeto, A relação betume/vazios (71,8%) atende ao projeto (65% a 72%) e a estabilidade (1179,3 kgf) também se enquadra nas exigências (igual ou superior a 500 kgf). Apesar da fluência média (4,05 mm) atender ao projeto, nota-se que no corpo de prova 2 o resultado encontrado (5,10 mm) é superior ao máximo permitido em projeto (4,50 mm), possível indicativo de um material plástico.

A resistência à tração por compressão diametral encontrada (0,63 Mpa) é inferior ao valor mínimo estabelecido na norma, 0,65 Mpa, indicando de uma baixa resistência mecânica do revestimento quando solicitado ao tráfego de veículos, podendo resultar em defeitos no pavimento, como o surgimento de trincas.

4.3.4. Capa de Rolamento

Os resultados dos ensaios realizados na capa de rolamento no trecho 1 encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados para a capa de rolamento no trecho 1

CAPA - TRECHO 1					
PARÂMETRO	RESULTADO				PROJETO
FAIXA GRANULOMÉTRICA	C				Faixa B do DNIT
TEOR DE ASFALTO (%)	4,6				4,5 (± 0,3)
PARÂMETROS MARSHALL	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	
ÍNDICE DE VAZIOS (VV) (%)	5,98	6,33	6,38	6,23	4,00 - 6,00
RELAÇÃO BETUME/VAZIOS (RBV) (%)	63,00	61,50	61,40	61,97	65,00 - 72,00
ESTABILIDADE (kgf)	618,00	-	766,60	692,30	≥ 500,00
FLUÊNCIA (mm)	-	-	-	-	2,00 - 4,50
RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (RTCD) (Mpa)	0,82				≥ 0,65

A curva granulométrica da mistura enquadrou-se na faixa “C” do DNIT, considerando as tolerâncias específicas.

O teor de asfalto (4,6%) encontra-se abaixo dos limites indicados no projeto, ou seja, mais ou menos 0,3% em relação ao teor ótimo indicado no traço, que é de 5,3%.

Por sua vez, o índice de vazios (6,2%) está acima do limite superior do projeto, de 5%, resultando numa relação betume/vazios (62%) abaixo do o valor mínimo indicado, de 75%, o que pode comprometer a durabilidade da mistura. A estabilidade (692,3 kgf) está dentro das

exigências de projeto, igual ou superior a 500 kgf, e os valores de fluência não constam nos resultados.

A resistência à tração por compressão diametral encontrada (0,82 Mpa) é superior ao valor mínimo estabelecido na norma, 0,65Mpa.

Para o trecho 2, os resultados para a camada de rolamento podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados para a capa de rolamento no trecho 2

CAPA - TRECHO 2					
PARÂMETRO	RESULTADO				PROJETO
FAIXA GRANULOMÉTRICA	C				Faixa B do DNIT
TEOR DE ASFALTO (%)	4,6				4,5 (± 0,3)
PARÂMETROS MARSHALL	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	
ÍNDICE DE VAZIOS (VV) (%)	5,82	5,44	-	5,63	4,00 - 6,00
RELAÇÃO BETUME/VAZIOS (RBV) (%)	63,60	65,20	-	64,40	65,00 - 72,00
ESTABILIDADE (kgf)	639,70	962,90	-	801,30	≥ 500,00
FLUÊNCIA (mm)	-	-	-	-	2,00 - 4,50
RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (RTCD) (Mpa)	0,91				≥ 0,65

A curva granulométrica da mistura enquadra-se na faixa “C” do DNIT.

O teor de asfalto (4,6%) encontra-se abaixo dos limites indicados, ou seja, mais ou menos 0,3% em relação ao teor ótimo indicado no traço, que é de 5,3%. Como dito anteriormente, o baixo teor de ligante enfraquece a mistura e diminui sua resistência à tração, podendo resultar em trincas na pista de rolamento.

Quanto aos parâmetros Marshall da mistura, o índice de vazios (5,6%) é superior ao valor máximo permitido (5%), o que pode provocar a oxidação excessiva do ligante asfáltico, reduzindo a vida útil do concreto asfáltico, além de facilitar a permeabilidade de ar e água, e a R.B.V. (64,4%) é inferior ao limite mínimo de 75%, podendo comprometer a durabilidade da mistura. O valor de estabilidade (801,3 kgf) atende ao projeto, sendo igual ou superior a 500 kgf. Os valores de fluência não constam no relatório.

A resistência à tração por compressão diametral encontrada (0,91 Mpa) é superior ao valor mínimo estabelecido, 0,65 Mpa.

Para o trecho 3, os resultados para a camada de rolamento podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados para a capa de rolamento no trecho 3

CAPA - TRECHO 3					
PARÂMETRO	RESULTADO				PROJETO
FAIXA GRANULOMÉTRICA	C				Faixa B do DNIT
TEOR DE ASFALTO (%)	4,6				4,5 (± 0,3)
PARÂMETROS MARSHALL	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA	
ÍNDICE DE VAZIOS (VV) (%)	4,16	4,29	4,63	4,36	4,00 - 6,00
RELAÇÃO BETUME/VAZIOS (RBV) (%)	71,60	70,90	69,20	70,57	65,00 - 72,00

CAPA - TRECHO 3					
PARÂMETRO	RESULTADO				PROJETO
ESTABILIDADE (kgf)	969,40	590,50	-	779,95	≥ 500,00
FLUÊNCIA (mm)	3,50	2,50	-	3,00	2,00 - 4,50
RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (RTCD) (Mpa)	0,45				≥ 0,65

A curva granulométrica da mistura enquadra-se na faixa “C” do DNIT.

O teor de asfalto (4,6%) encontra-se abaixo dos limites indicados em projeto: mais ou menos 0,3% em relação ao teor ótimo indicado no traço, que é de 5,3%, indicando possível diminuição da resistência à tração da mistura.

Apesar disso, o índice de vazios (4,4%) se enquadra nos limites do projeto: entre 3% e 5%. A estabilidade e a fluência também atendem às exigências, ou seja, estabilidade (780 kgf) igual ou superior a 500 kgf e fluência (3,0 mm) entre 2 mm e 4,5 mm. Já a relação betume/vazios (70,6%) é inferior ao mínimo de projeto, 75%, o que pode comprometer a durabilidade da mistura.

A resistência à tração por compressão diametral encontrada (0,45 Mpa) é inferior ao valor mínimo estabelecido, 0,65Mpa, o que indica uma menor resistência mecânica do revestimento quando submetido ao tráfego de veículos, podendo resultar em defeitos no pavimento, como o surgimento de trincas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O surgimento de defeitos em um pavimento em maior ou menor espaço de tempo será em função das suas condições técnicas ou executivas e da exposição ao tráfego e aos agentes naturais.

A revisão de literatura indicou que a maneira mais eficaz de evitar ou ao menos minimizar patologias nos pavimentos é através de um controle eficiente dos materiais empregados e da execução e compactação das camadas.

No estudo de caso, nas camadas de base e sub-base, todos os resultados encontrados se enquadravam nas normas vigentes com exceção de uma amostra, que apresentou granulometria fora de faixa, mesmo que por pouco.

Nas camadas asfálticas, por outro lado, nenhuma das seis amostras analisadas apresentou todos os resultados de acordo com as especificações. Foram encontradas não conformidades em diversos aspectos, como teor de asfalto, relação betume/vazios, volume de vazios e granulometria. Em três das amostras, o valor encontrado no ensaio de resistência a tração por compressão diametral não atendia às exigências normativas.

Além dos valores fora de norma, foi observada incompatibilidade em alguns dos resultados, como variações no teor de asfalto que não afetavam o volume de vazios ou considerável variação de um mesmo parâmetro em corpos de prova moldados a partir de uma mesma amostra de asfalto, por exemplo, o que pode sugerir deficiência de acurácia na realização dos ensaios.

Apesar disso, é importante considerar que o revestimento executado na Avenida do Estudo foi dimensionado e analisado considerando valores utilizados em pavimentos com tráfego pesado, apesar do tráfego na região ser leve, predominado por carros de passeio. Assim, os resultados, apesar de não atenderem inteiramente ao projeto não devem, em rigor, indicar grandes problemas no pavimento da via.

Ressalta-se ainda que foram analisados ensaios de apenas uma amostra por camada em somente três trechos da avenida, amostragem insuficiente para verdadeiramente se analisar a qualidade do pavimento, principalmente considerando a extensão total da obra. Dessa forma, é impossível afirmar que os resultados estudados representam corretamente a realidade da via. Para tal, seria necessário um estudo mais completo, englobando mais amostras e mais trechos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGETOP (2016) *Manual de Pavimentação Urbana*. Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas, Goiânia.
- Balbo, J. T. (2007) *Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração*. Oficina de Textos, São Paulo.
- Bernucci, L. B. et al. (2006) *Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras: ABEDA, Rio de Janeiro.
- CNT (2017) *Pesquisa CNT de rodovias*. Confederação Nacional do Transporte, Brasília.
- Cronney, D. e Cronney, P. (1991) *The design and performance of road pavements*. 2ª. ed. McGraw-Hill.
- DNER (1994ª) *DNER-ME 052/94: Solos e agregados miúdos - determinação da umidade com emprego do "speedy"*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER (1994b) *DNER-ME 053/94: Misturas betuminosas - percentagem de betume*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER (1994c) *DNER-ME 080/94: Solos - análise granulométrica por peneiramento*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER (1994d). *DNER-ME 082/94: Solos - determinação do limite de plasticidade*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER (1994e). *DNER-ME 092/94: Solo - determinação da massa específica aparente "in situ", com emprego do frasco de areia*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER (1994f). *DNER-ME 122/94: Solos - determinação do limite de liquidez*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER (1995). *DNER-ME 043/95: Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNER (1997). *DNER-PRO 277/97: Metodologia para controle estatístico de obras e serviços*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DNIT (2004) *DNIT 011/2004-PRO: Gestão da qualidade em obras rodoviárias - Procedimento*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2006a) *DNIT: Manual de Pavimentação*. 3ª. ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2006b) *DNIT 031/2006-ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2010ª) *DNIT 136/2010-ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2010b) *DNIT 139/2010-ES: Pavimentação - Sub-base estabilizada granulometricamente*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2010c) *DNIT 141/2010-ES: Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2013) *DNIT 164/2013-ME: Solos - Compactação utilizando amostras não trabalhadas*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- DNIT (2016) *DNIT 172/2016-ME: Solos - Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- Fortes, R. M. e Merighi, J. V. (2004) *Controle tecnológico e controle de qualidade: um alerta sobre a sua importância*. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.
- Medina, J. D. e Motta, L. M. G. D. (2005) *Mecânica dos Pavimentos*. 2ª. ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- Silva, P. F. A. (2008) *Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos*. 2ª. ed. Pini, São Paulo.

Yoder, E. J.; Witzak, M. W. (1975) *Principles of Pavement Design*. 2ª. ed. John Wiley & Sons.

Natália Braga da Fonseca (nbfonseca@outlook.com)
Clariana Alda Coelho de Lima (clariana-lima@hotmail.com)
Gessyca Menezes Costa (gessyca.menezes@souunit.com.br)
Departamento de Engenharia Civil, Universidade Tiradentes
Av. Murilo Dantas, 300. Bairro Farolândia – Aracaju, SE, Brasil