

ESTUDO DAS CAUSAS DA DEGRADAÇÃO PRECOCE NO PAVIMENTO DA AVENIDA JULIUS NYERERE NA CIDADE DE MAPUTO

Carlos Rodrigues Cumbane¹ e Henrinque Vasco Filimone².

¹Laboratório de Engenharia de Moçambique, Departamento de Vias de Comunicação, Av. De Moçambique 1081-Maputo- Maputo, Moçambique.

email: carloscumbane@yahoo.com.br

²Laboratório de Engenharia de Moçambique, Direção Geral, Av. De Moçambique 1081-Maputo- Maputo, Moçambique

Sumário

O presente trabalho apresenta os resultados da inspecção e peritagem realizada pelo Laboratório de Engenharia de Moçambique(LEM) às obras de reconstrução da Avenida Julius Nyerere levadas a cabo em 2011, motivadas pela erosão causada pelas chuvas intensas observadas entre os anos 1997 e 2000. As obras consistiram na reposição da via e do sistema de drenagem, no entanto, em 2011 após abertura ao trânsito observou-se ao nível do pavimento a sua degradação precoce, gerando insegurança e desconforto aos usuários da via.

De uma forma geral, concluiu-se que a degradação precoce do pavimento, deveu-se a má selecção e aplicação dos materiais.

Palavras-chave: Via, Pavimento, Camadas, Degradação, Ensaios.

1 INTRODUÇÃO

Entre os anos 1997 e 2000, o Sul de Moçambique, foi assolado por chuvas intensas que provocaram, entre outros danos, a destruição total por erosão do pavimento da Avenida Juluis Nyerere, no troço entre a Praça dos Combatentes e a Rua do Palmar numa extensão de cerca de 2.0km, originando cratera com cerca de 15m de profundidade, e parcialmente o troço entre a Rua do Palmar e a Praça do Destacamento Femenino, numa extensão de cerca de 1.9km, deixando a via sem condições mínimas de transitabilidade cortando os principais corredores de entrada e saída do tráfego do centro da cidade de Maputo para as zonas periféricas.

Dada a importância que a via tem no escoamento do tráfego, em 2011 foram iniciadas as obras de reabilitação /reconstrução com vista à reposição das condições de transitabilidade. O projecto ditou uma solução em pavimento semi-rígido, composto por camada de sub-base em solos estabilizados com cimento (C4), base em agregado britado de granulometria extensa (G2) e o revestimento em betão betuminoso. Dois anos após o início das obras, a reabilitação do pavimento do troço entre a rua do Palmar e a Praça do Destacamento Femenino foi concluída e aberta a circulação do tráfego. Entretanto, cedo observou-se o surgimento de anomalias visíveis ao nível da superfície da camada de desgaste, causando constrangimentos à circulação rodoviária.

Diante deste contexto, o LEM realizou campanhas de ensaios *in situ* e em laboratório nomeadamente o ensaio de carga com placa, penetrómetro Dinâmico de Cone (DCP), CBR, granulometria, estabilidade Marshall e deformação, determinação do teor em betume, bem como a observação visual no troço de 1.9 km para identificar as causas das anomalias observadas numa fase precoce da vida da obra e que culminou com a apresentação das causas prováveis [1].

2. CAUSAS E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

No troço entre a Rua do Palmar e a Praça de Destacamento Femenino foram realizados estudos com o objectivo de caracterizar os materiais aplicados e identificar as causas do surgimento das anomalias. Os resultados obtidos foram analisados e comparados com as especificações do projecto da obra. Para tal, foram realizadas campanhas de inspecção visual [2], ensaios *in situ*, recolha de amostras para posterior caracterização dos materiais que compõem as camadas e realização de ensaios em laboratório.

2.1. Inspeção visual

A inspeção visual foi realizada ao longo do troço entre a Rua do Palmar e a Praça do Destacamento Femenino, da qual foram identificadas as seguintes anomalias:

- Desagregação do material da camada de desgaste em quase toda secção, que pode ter sido causado pela falta de coesão dos materiais que compõem a mistura betuminosa (Fig.1).
- Buracos originados pela desagregação do material, e fendilhamento associado à infiltração da água (Fig.1).



Fig.1. Principais anomalias observadas no pavimento.

- Fendinhamento em pele de crocodilo, denotando ocorrência de fadiga prematura (Fig.2).



Fig.2. Fissuras em pele de crocodilo.

- Deformação pelo adensamento da mistura betuminosa devido a passagem dos veículos (recompactação), ou da deformação das camadas adjacentes (Fig.3).



Fig.3. Desagregação do material da camada de desgaste.

- Com recurso a poços abertos no local e inspecção visual foi possível caracterizar o material que constituía as camadas de sub-base e de base, tendo-se constatado que ambas as camadas foram construídas com Agregado Britado de Granulometria Extensa (ABGE), com espessura total que varia de 400mm a 420mm, conforme ilustrado na Fig. 4.



Fig.4. Camada de base e sub-base.

- O sistema de drenagem construído mostrou um funcionamento deficiente, pois, para além de ser de fácil obstrução, em determinados pontos do pavimento, foram notáveis pontos de concentração de água sem condições para o adequado escoamento.

2.2 Composição do Pavimento

Dos dados fornecidos pelo dono da obra, constatou-se que o pavimento proposto pelo projectista consistia em:

- 40 mm de camada de desgaste em betão betuminoso;

- 150 mm de camada de Base constituído por agregado britado de granulometria extensa (G2);
- 200 mm de solos estabilizados com cimento (C4) e;
- Solo de fundação (G7).

No entanto, das sondagens feitas ao pavimento apenas foi possível distinguir a camada de desgaste, sendo que as camadas de sub-base e de base eram constituídas do mesmo material (Agregado Britado de Granulometria Extensa) perfazendo uma espessura total que variava de 400 a 420mm, e o solo de fundação constituído em solos naturais (G7).

3. ENSAIOS REALIZADOS.

A previsão do comportamento estrutural do pavimento foi feita, conjugando os resultados dos ensaios laboratoriais e os resultados dos ensaios conduzidos no local da obra.

3.1 Solos de fundação

Para melhor caracterizar os materiais de fundação, foram realizados os seguintes ensaios:

- Identificação e caracterização de solos e ,
- Índice de Californeano (CBR).

3.1.1 Resultados dos ensaios

Dos ensaios realizados sobre estes materiais foram obtidos os resultados indicados nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1. Distribuição granulométrica do material por peneiro.

Abertura da malha(mm)	26,5	19,0	13,2	4,75	1,18	0,425	0,075
Material que passa (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	99,98	88,3	13,97

Quadro 2. Valores de CBR para diferentes energias de compactação.

Energia	100	97	95	93	90
Índice de CBR(%)	34	28	24	21	18

3.2 Material da sub-base e base

Para a caracterização do material da sub-base e da base foram realizados os seguintes ensaios:

- Análise Granulométrica [3].
- Limites de consistência [4].
- Massas volúmicas e absorção da água [5].
- Capacidade de carga (CBR) [6].
- Determinação do teor de humidades *in situ* [7].

3.2.1 Apresentação dos resultados de ensaios

Os agregados usados para a construção da base e sub-base apresentaram os seguintes resultados:

- Massa volúmica de 2,423kg/m³.

- 1.9% de Absorção.
- Índice de CBR de 75% quando compactado á uma energia de 98% de Mod AASHTO.
- A distribuição granulométrica e respectivo fuso [8], limites de consistência e teores de humidades constam do Quadro 3 e Fig.5.

Quadro 3. Fuso e resultados da análise granulométrica e limites de consistência

Abertura da malha (mm)	Limites especificados		Material passado (%)			
	Inferior	Superior	Amostra-1	Amostra-2	Amostra-3	Amostra-4
50,000	100	100				
37,500	100	100	100	100	100	100
26,500	84	94	98,12	98,56	99,39	100
19,000	71	84	85,17	88,77	92,13	88,55
13,200	59	75	69,75	75,46	78,16	76,01
4,750	36	53	46,07	50,71	51,05	45,83
2,000	23	40	37,85	41,99	39,06	35,67
0,425	11	24	26,42	28,64	23,14	21,67
0,075	4	12	17,65	19,06	15,27	14,83
Limite de Liquidez (%)			38	36	34	33
Limite de Plasticidade (%)			24	24	22	21
Índice de plasticidade (%)			14	12	12	12
Teor de Humidade (%)			8,8	8,9	8,7	9,6

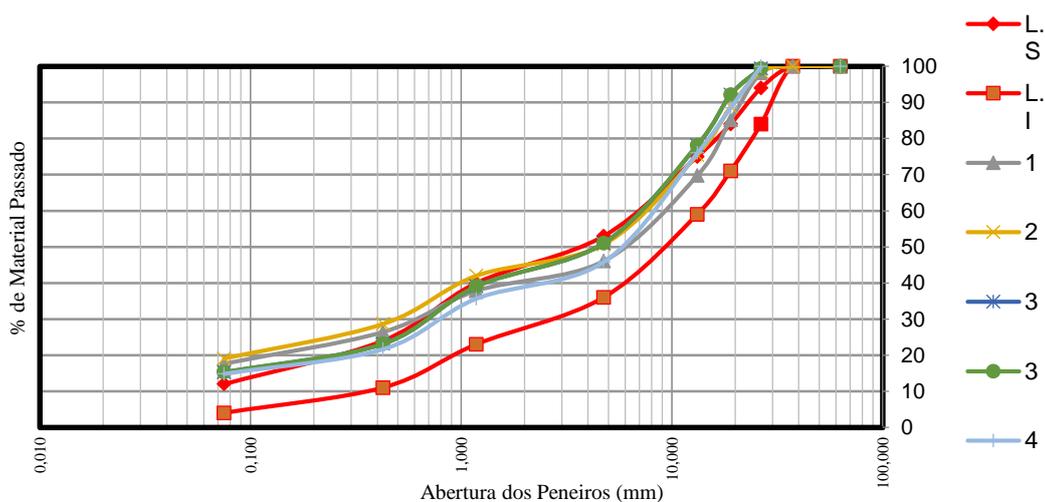


Fig.5. Curvas dos materiais da camada de sub-base e base.

3.6 Camada de desgaste

No troço em estudo foram extraídos carotes em zonas seleccionadas para observação (Fig.6 e 7), determinação da espessura da camada e posterior realização de ensaios laboratoriais.



Fig.6. Aspecto do carote extraído.



Fig.7. Avaliação *in situ* da consistência do carote extraído.

Assim, dos carotes extraídos foram realizados os seguintes ensaios :

- Análise granulométrica,
- Estabilidade marshall e deformação [9],
- Teor em betume [10] ,
- Baridade Máxima teórica [11],
- Compactação da Mistura [12].

Os resultados de ensaios acima descritos são apresentados nas Quadros 4 e 5, na Fig 8.

Quadro 4. Resultados da caracterização da mistura betuminosa.

Parametros	Un	Local (km)							
		0	0+300	0+500	0+700	0+900	1+100	1+300	1+500
Baridade do carrote	(kg/m ³)	2189	2188	2193	2197	2161	2227	2232	2191
Baridade máxima teórica	(kg/m ³)	2418	2402	2413	2422	2396	2406	2427	2411
Compactação	(%)	90,5	91,1	90,9	91,1	90,5	92,6	91,9	90,6
Porosidade	(%)	9,4	8,9	9,5	9,3	9,7	7,9	8,2	8,9
Teor em Betume		5,1	5,3	5,2	5,2	5,7	5,1	4,9	5,4

Quadro 5. Resultados da análise granulométrica da mistura betuminosa

Abertura	1	2	3	4
	Pk 0+067	Pk 0+260	Pk 0+570	Pk 1+010
(mm)	Porcentagem do material que passa			
19,000	100	100	100	100
13,200	100	100	100	98,6
9,500	98,6	99,0	98,6	96,7
4,750	67,0	62,3	62,2	66,1
2,360	43,3	40,8	39,1	46,6
1,180	30,2	28,2	25,6	30,2
0,600	21,7	20,2	17,2	17,7
0,300	15,9	14,9	11,5	11,3
0,150	10,5	10,0	6,1	7,0
0,075	6,4	5,9	1,7	3,6
<0,075	6,1	5,7	0	0

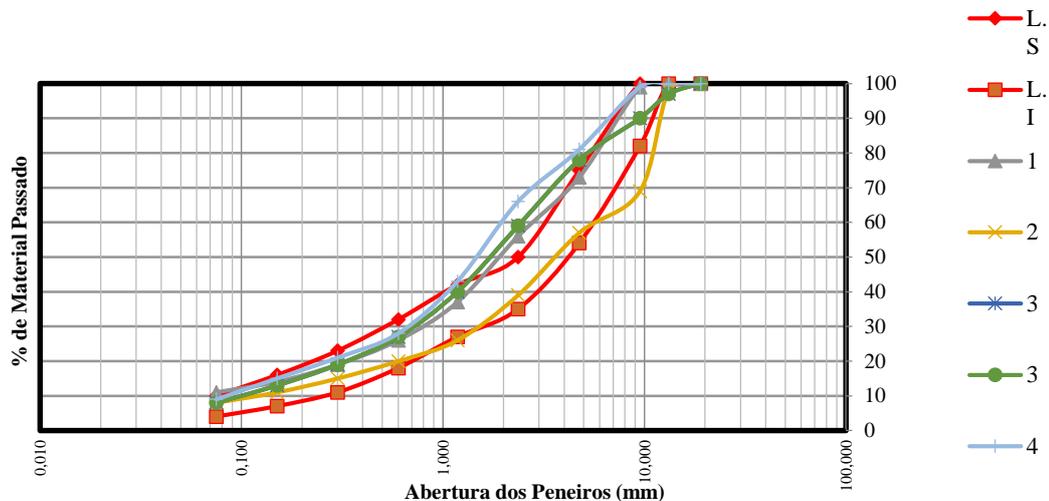


Fig.8. Curvas granulométricas dos materiais da camada de desgaste em relação ao fuso [13].

3.3 Ensaios realizados in situ

Por forma a determinar-se as características mecânicas e de deformabilidade das camadas de base e sub-base, permitindo assim simular as condições de carregamento e a capacidade de carga do pavimento foram conduzidos os seguintes ensaios:

- DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) [14] e,
- Ensaio de carga com placa (de 300mm de diâmetro) [15], cujos resultados são apresentados nos Quadros 6 e 7.

Quadro 6. Resultados do ensaio de DCP

Profundidade	camada	DN	CBR	Módulo de Elasticidade
(mm)	(mm)	mm/pancada	(%)	(MPa)
295,0	295,0	2,6	110,0	405,6
410,0	115,0	1,1	110,0	979,6
655,0	245,0	3,4	93,0	304,3
990,0	335,0	8,4	28,0	116,9

Do ensaio de carga com placa obteve-se por aproximação, a recta que relaciona a carga aplicada e as deflexões registadas no pavimento (Fig 9).

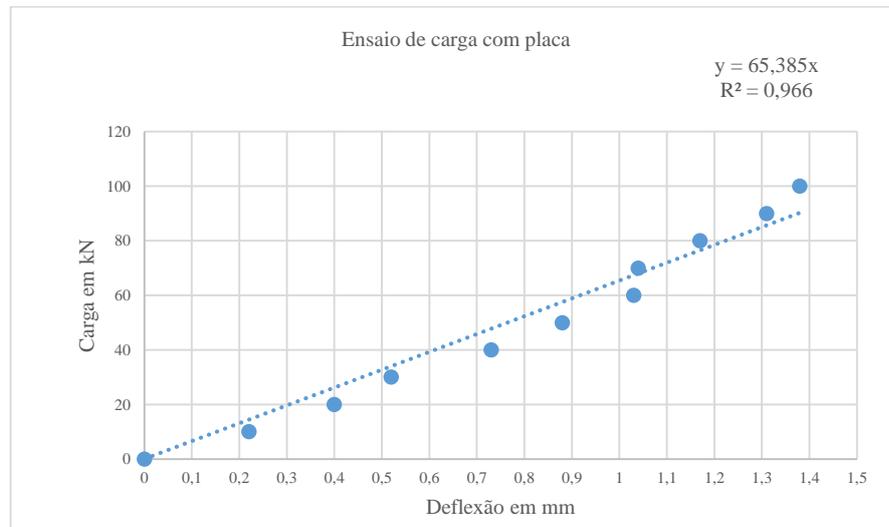


Fig.9. Relação entre a carga e a deflexão.

4. CONCLUSÕES

De uma forma geral, pode-se concluir que a degradação precoce do pavimento deveu-se a má selecção, aplicação dos materiais, (deficiente controlo de qualidade) e ao deficiente funcionamento do sistema de drenagem. Estas conclusões são sustentadas pelos resultados dos ensaios realizados sobre os materiais que constituem as camadas do pavimento, onde constatou-se:

Os materiais aplicados nas camadas de base e sub-base para além de apresentarem-se fora do fuso especificado pelo projecto (G2), apresentam um elevado índice de plasticidade e um valor do CBR abaixo do especificado [16]. A este factor, associa-se a má aplicação, facto observado nos valores da penetração por pancadas no ensaio de DCP [17] e pelas deflexões registadas no ensaio de carga em placa, que demonstram que o pavimento naquelas condições de construção apresenta um comportamento flexível [18].

A mistura betuminosa da camada de desgaste, para além de apresentar-se com um teor de ligante baixo, apresenta elevada porosidade e reduzida compactidade [19], o que influencia a estabilidade e a deformação da camada de desgaste.

5. RECOMENDAÇÕES

Identificadas as possíveis causas da degradação do pavimento da Av. Julius Nyerere, recomenda-se:

- Aos construtores para que durante a construção observem os processos construtivos do projecto bem como as especificações aprovadas para a realização da obra.
- As equipas de controlo de qualidade dos laboratórios dos estaleiros e fiscalização deverão estar ao nível da obra.
- Ao Laboratório de Engenharia de Moçambique (LEM), é de extrema importância que sensibilize aos donos de obra, construtores, fiscais e projectistas a proceder ao controlo de qualidade dos materiais desde a fase do projecto, construção e monitoria na fase pós construção.
- É de extrema importância que o LEM se capacite na realização dos ensaios de deflexão (FWD, Viga de Beklemen, e entre outros).
- Aos projectistas que disponibilizem ao dono da obra toda a informação relativa ao projecto de forma que possa ter elementos de suporte para qualquer alteração que a obra possa necessitar.

6. AGRADECIMENTOS

À Direcção do Laboratório de Engenharia pela oportunidade que concedeu aos autores para tornar possível a realização deste trabalho, ao Conselho Municipal da Cidade de Maputo e Gabriel Couto e Afaplan pela colaboração.

Aos Dr Eng Américo Dimande, Eng Afonso Ronda, Eng Tayob, e ao Milord Mazive pelo incentivo e o apoio dado na elaboração do trabalho.

7. REFERÊNCIAS

1. LEM, Relatório (31.486) sobre Reabilitação da Avenida Julius Nyerere, Fevereiro 2014.
2. Dr G.J. Jordaan, Practical Approach of Pavement Rehabilitation Investigation and Design, Pretoria 2006.
3. Committee of South Road Authority (CSRA), The wet preparation and sieve analysis of gravel, sand and soils sample, Technical Method for Highways (TMH) 1 Method A1(b), Pretoria, 1986.
4. Committee of State Road Authority (CSRA), The determination of the Liquid Limit of Soils by mean og flow curves method and Plastic Index, TMH1 Method A2 and A3, Pretoria, 1986.
5. Committee of State Road Authority (CSRA), The determination of the dry bulk density, apparent relative density and water absorption of aggregate retained on 4.75mm sieve, TMH1 Method B14, Pretoria, 1986.
6. Committee of State Road Authority (CSRA), The Determinations of California Bearing Ratio, of untreated soils and Gravels, THM1 Method A8, Pretoria, 1986.
7. Committee of State Road Authority (CSRA), The determination of Maximum Dry Density and Optimum Moisture Content, TMH1 Method A7 and A3, Pretoria, 1986.
8. Division of Road and Transport Technology, CSIR, Draft of Standard Specifications for Roads and Bridge, pp 3600-2, Grading limits for combined aggregates and mix proportions, september, 1998.
9. Committee of State Road Authority (CSRA), The Determinations of Binder Content, TMH1, Method C7 (a, b e, c), Pretoria, 1986.
10. Committee of State Road Authority (CSRA), The Determinations maximum Theoretical Relative Density of Asphalt Mixes, THM1 Method C4, Pretoria, 1986.
11. Colto Clause 8206-pp 8200-9, table 8206/3.
12. Division of Road and Transport Technology, CSIR, Draft of Standard Specifications for Rodas and Bridge, pp 4200-4, Table 4203/1- Requirement for asphalt mixes, september, 1998.
13. Measurement of the in situ strength of soil by Dynamic Cone Penetrometer (DCP), draft TMH6, method ST6, Pretoria, 1984.
14. NF P94-117-1, norme Française, Portance des Plate-Formes, Parte1.
15. Committee of State and Road Authority, guidelines for constructions materials–Technical Recommendations of Highways, Pretória 1985.
16. Road Agency, South Africa Pavement Engineering Manual, chapter 10, table 40, typical DCP penetration rates for Roads Building material, RSA, 2013.
17. Road Agency, South Africa Pavement Engineering Manual, chapter 10, pp, 95 table, 43 Behaviour States for Granular Base pavements, RSA, 2013.
18. Division of Road and Transport Technology, CSIR, Draft of Standard Specifications for Rodas and Bridge, pp 4203/1, Requirement for asphalt mixes, september, 1998.