

**SIMONNE DA COSTA AMARAL**

**ESTUDO DE MISTURAS LATERITA-ASFALTO DA REGIÃO  
METROPOLITANA DE BELÉM-PA PARA REVESTIMENTOS DE  
PAVIMENTO**

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção do  
Título de Doutora em Engenharia.

Área de Concentração:  
Engenharia de Transportes

Orientadora:  
Prof<sup>a</sup>. Livre-Docente  
Liedi Légi Bariani Bernucci

SÃO PAULO  
2004

Aos meus pais Alberto Coutinho do Amaral  
e Nereyda Costa Amaral e ao meu marido  
Roberto Moreira

Para que me apoiem sempre.

# AGRADECIMENTOS

---

A Deus por deixar sempre alguém ao meu lado, em todos esses anos.

Ao meu marido Roberto, por todo o amor, apoio e compreensão ao longo deste trabalho.

A Profa. Liédi B. Bernucci, pela orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Tecnólogo Edson de Moura, ao “ajudante” de laboratório Erasmo F. Alves e a secretária Diomaria Santos, todos do Laboratório de Tecnologia de Pavimentação, muito agradecida pela simpatia com que me trataram em todos estes anos e pela colaboração na execução dos ensaios.

Ao CEFET do Pará pelo suporte financeiro sem o qual não seria possível a minha estada em São Paulo e em especial, ao Prof. José Inácio Azevedo do Curso de Estradas pela amizade e pela sugestão do tema desta tese.

Ao Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, do Centro de Geociências da U.F.Pa., quero expressar o meu mais profundo reconhecimento pela amizade, orientação na procura das jazidas, pela bibliografia e pelos ensinamentos valiosos.

A ESTACON S/A, em especial à equipe do Laboratório de Asfalto: Eng<sup>os</sup> Civis Archimino L. Tavares e Ricardo Morhy, dos Técnicos em Estradas Srs. Jadeir Albuquerque, Ederson Cruz, Mauro Soares, Antonio Fernandes e demais funcionários que direta e indiretamente ajudaram na coleta, beneficiamento, empacotamento e remessa dos agregados utilizados na pesquisa e pelos ensaios de compactação e ISC. Agradecimentos também a Diretoria de Apoio Operacional, em nome do Sr. Gilberto Bitar e a Superintendência de Máquinas e Equipamentos, em nome do Eng<sup>o</sup> Mecânico Sr. João de Deus Alves, ambos pelas inestimáveis sugestões nos processos de lavagem

da laterita. A todos, o meu muitíssimo obrigado, pois sei perfeitamente que este trabalho só foi possível graças às condições e meios postos à disposição por todos vocês.

A Ipiranga Asfaltos S/A de Manaus e de Paulínia, pelo fornecimento dos ligantes modificados e a Petrobrás de Fortaleza, pela remessa do CAP 50/60 utilizados na pesquisa. Agradecimentos especiais ao amigo Eduardo Pires, pela remessa do ligante de Manaus para São Paulo, muito obrigada.

Ao Laboratório de Pavimentação e Impermeabilização do Departamento de Engenharia civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, em especial para o Eng<sup>o</sup> civil Sr. Rubens Vieira, ao Laboratorista chefe Sr. Luiz Back, e para os demais colegas, pelo carinho, simpatia e apoio técnico de todas as horas bem como pela caracterização de todos os materiais presentes nesta pesquisa.

A Concessionária NovaDutra, em nome dos Srs. José Mário Chaves, Vagner Alba, Rubens Menezes, Geraldo Pereira, Geraldo Damasceno, Nelson Matias e demais funcionários, pela amizade e simpatia com as quais me receberam e também pela execução dos ensaios Marshall, de Umidade Induzida e Resistência à Tração por Compressão Diametral e pela confecção dos demais corpos-de-prova Marshall utilizados na pesquisa e também pelos ensinamentos que muito contribuíram para a minha formação, o meu muitíssimo obrigada.

Ao Prof. Edmar Brasileiro da Universidade Federal da Paraíba, ao Prof. Humberto Santana da Universidade Federal do Ceará, a Prof. Maria de Nazareth Vieira da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, ao Prof. Job Nogami da Universidade de São Paulo, ao Prof. Jairo S. Lima da UNESP de Ilha Solteira, aos amigos Hélder de Godoy, Patrícia Nunes Ferreira, Antônio C. Guimarães, Suyen Nakahara e Antonio Carlos da Planservi, primeiro pelo pronto atendimento com meus questionamentos, pelo apoio técnico maravilhoso e pela ajuda na aquisição de publicações que fizeram parte da pesquisa bibliográfica deste trabalho, muito obrigada.

A Secretaria de Saneamento de Belém e ao Departamento de Estradas de Rodagem do Acre pelo fornecimento das declarações constantes do Anexo I. Agradecimentos especiais ao assessor jurídico do DER-ACRE, Sr. Daniel Faria.

A família, aos amigos e colegas do CEFET/Pará e do L.T.P. que de uma forma ou de outra ajudaram na realização deste trabalho, obrigada a todos.

# RESUMO

---

No Estado do Pará, convencionalmente são empregados rocha britada ou seixo rolado natural como agregados nas misturas asfálticas. Nas proximidades da região metropolitana de Belém, não há disponibilidade destes materiais, obrigando o transporte destes agregados de boa qualidade de pedreiras e jazidas distantes mais de 170 Km, aumentando consideravelmente os custos de pavimentação. Com o objetivo de redução de custos, buscou-se o estudo de um outro agregado natural não-convencional, a laterita, abundante nas proximidades de Belém. Três tipos de ligantes asfálticos foram utilizados nas misturas asfálticas pesquisadas: um asfalto convencional CAP de penetração 50-60 proveniente da refinaria da LUBNOR, no Ceará; um asfalto da refinaria da REMAN da Amazônia modificado por asfaltita; e um asfalto-borracha da região sudeste. Uma quarta alternativa da mistura asfáltica foi considerada, empregando conjuntamente laterita e seixo rolado como agregados. Foi realizada uma análise comparativa das misturas asfálticas baseada em ensaios laboratoriais tais como: dosagem Marshall, danos por umidade induzida, deformação permanente em simulador de tráfego, resistência à tração por compressão diametral, módulo de resiliência e fadiga. Um processo inovador foi concebido para separação e lavagem das lateritas. Os resíduos desta seleção de agregados foram testados de modo a viabilizar seu emprego como material de base ou sub-base. Foi realizada também uma breve análise mecanicista de estruturas de pavimentos com o auxílio do programa ELSYM 5. Concluiu-se que as misturas asfálticas com laterita lavada podem ser usadas em revestimentos de pavimento de vias públicas e de rodovias de baixo volume tráfego obtendo-se os melhores resultados para as misturas de laterita-asfalto com o ligante modificado por asfaltita.

Palavras chave: concreção laterítica, revestimento asfáltico, pavimento.

# ABSTRACT

---

Crushed igneous rocks and washed quartzite gravels are conventional aggregates for asphalt mixes in the State of Pará, northern Brazil. However, these materials are not available in many parts of the state, specially near the city of Belem, the state capital. The current practice is to import these high quality aggregates from the few quarries located in remote sites, leading to a considerable increase in construction costs. To cut down costs, it is necessary to look for alternative sources of natural aggregates. This study attempts to present an alternative solution for asphalt mixtures using a non-conventional natural aggregate: laterites, which are widely available in the metropolitan area. Three types of asphalt binders were used: a conventional one – AC penetration of 50-60, an asphalt cement modified by gilsonite, and an asphalt rubber. A fourth type of asphalt mix was considered, using washed quartzite gravels in addition to the laterite. A comparative analysis was conducted using parameters obtained from laboratory tests like Marshall design, stripping test, wheel tracking test, indirect tensile strength, resilient modulus, and fatigue life. An innovative process was developed to clean the laterite by water washing. Residuals from the process were tested regarding its possible use as a material for pavement base or sub-base. Finally, a mechanistic analysis was performed, using ELSYM 5 software. Results indicate a good performance to the hot-mixes and the one with gilsonite modified binder presented the best performance.

Keywords: laterite, hot mix asphalt, pavement.

# SUMÁRIO

---

	<b>página</b>
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xii
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1–ENQUADRAMENTO TEMÁTICO.....	1
1.2–OBJETIVOS DO TRABALHO.....	2
1.3–AÇÕES NECESSÁRIAS AO DESENVOLVIMENTO DA TESE...	3
1.4–ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	3
<b>CAPÍTULO 2: FORMAÇÃO, CONCEITUAÇÃO E APLICAÇÃO DA LATERITA.....</b>	<b>5</b>
2.1–INTRODUÇÃO.....	5
2.2–LATERITA.....	5
2.3–LATERITIZAÇÃO.....	7
2.4–AS LATERITAS DA AMAZÔNIA.....	8
2.5–PERFIL LATERÍTICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM.....	14
2.6–A LATERITA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	20
2.7–A LATERITA EM REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS.....	23
2.8–CONTROLE AMBIENTAL NA EXPLORAÇÃO DAS LATERITAS.....	27
2.8.1–Procedimentos Necessários a Legalização de Exploração de Materiais Naturais de Construção na Região Metropolitana de Belém e Adjacências.....	29
2.8.2– Experiência do Distrito Federal.....	31



<b>CAPÍTULO 3: MATERIAIS UTILIZADOS NAS MISTURAS ASFÁLTICAS E SEUS MÉTODOS CARACTERIZADORES.....</b>	<b>36</b>
3.1–INTRODUÇÃO.....	36
3.2–ESCOLHA DA JAZIDA DE LATERITA.....	36
3.3–MATERIAIS EMPREGADOS NAS MISTURAS DE LATERITA – ASFALTO.....	53
3.3.1–Agregados Graúdos.....	53
3.3.1.1–Concreção laterítica.....	53
3.3.1.2–Seixo de rio.....	56
3.3.2–Agregado Miúdo.....	57
3.3.3–Material de Enchimento.....	59
3.3.4–Ligantes Asfálticos.....	60
<b>CAPÍTULO 4: MÉTODOS AVALIADORES DAS MISTURAS DE LATERITA – ASFALTO E DO REFUGO DA LATERITA LAVADA.....</b>	<b>63</b>
4.1–INTRODUÇÃO.....	63
4.2–ENSAIO MARSHALL.....	63
4.3–UMIDADE INDUZIDA (AASHTO T 283 – 89).....	68
4.4–SIMULADOR DE TRÁFEGO DE LABORATÓRIO.....	69
4.5–ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	71
4.6–ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	73
4.7–ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL COM TENSÃO CONTROLADA.....	75
4.8–ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO DE SOLOS UTILIZANDO AMOSTRAS TRABALHADAS, DE ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA E MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE SOLOS.....	78
<b>CAPÍTULO 5: PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>81</b>

5.1–INTRODUÇÃO.....	81
5.2–ESTUDO DE CASO DE LATERITA – ASFALTO DO ESTACIONAMENTO DO DNIT EM BELÉM.....	81
5.3–MISTURAS ASFÁLTICAS PROPOSTAS NA TESE.....	85
5.3.1–Preparação dos agregados.....	85
5.3.2–Formulação das misturas asfálticas.....	85
5.3.3–Produção e compactação das misturas asfálticas.....	88
5.3.4–Dosagem Marshall.....	89
5.3.5–Ensaio de umidade induzida.....	99
5.3.6–Ensaio de deformação permanente.....	99
5.3.7–Ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral.....	105
5.3.8–Ensaio de determinação do módulo de resiliência por compressão diametral.....	106
5.3.9–Ensaio de fadiga por compressão diametral.....	108
5.4–AVALIAÇÃO DO REFUGO DA LATERITA LAVADA.....	111
5.4.1–Curvas granulométricas da laterita in natura e do refugo da laterita.....	111
5.4.2–Ensaio de compactação de solos utilizando amostras trabalhadas..	112
5.4.3–Ensaio de Índice Suporte Califórnia.....	113
5.4.4–Ensaio de módulo de resiliência de solos.....	114
5.5–ANÁLISE ESTRUTURAL.....	116
5.5.1–Equações de Fadiga.....	123
5.5.2–Considerações.....	123
5.6–REVESTIMENTOS USUAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM.....	125
5.6.1–Análise Estrutural.....	131
5.7–SUGESTÕES PARA O PROCESSO DE LAVAGEM DA LATERITA.....	134
5.7.1–Estimativa da quantidade de material gerado após a lavagem da laterita in natura, por m <sup>2</sup> , para revestimento e base.....	137

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

