

REVISTA

ABPV

Associação Brasileira de Pavimentação



PAVIMENTAÇÃO

ANO VII - Nº 25 - Julho a Setembro de 2012 - www.abpv.org.br - ISSN 1809-1865



**Avaliação em Laboratório da
Utilização de Emulsão
com Óleo de Xisto
na Imprimação
de Solos**

**Roner Walisson Ramalho e
Laura Maria Goretti da Motta**



REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano VII – Nº 25 – Jul–Set de 2012

ISSN 1809-1865



Rua Miguel Couto, 105 – Sobrelojas 204 e 205

20070-030 – Rio de Janeiro – RJ

Tel: (21) 2233-2020 / 2263-5794 – Fax: (21) 2233-0709

CONSELHO EDITORIAL

Diretoria da ABPv

COORDENAÇÃO GERAL

Arqtª Georgina Libório Azevedo

georgina@abpv.org.br

MTb 31365-RJ

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Jean Pierre M. Santiago

jpierrems@abpv.org.br

MTb 27170-RJ

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

Presidente: Engº José Pedro dos Santos Vieira Costa

Vice-Presidente: Engº Eduardo Alberto Ricci

Diretor Administrativo: Engº Fernando Augusto Júnior

Diretor Técnico: Engª Michéle Dal Toé Casagrande

Diretor Financeiro: Arqtª Georgina Libório Azevedo

Diretor de Divulgação: Engº Cristiano da Costa Moreira

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

Engº Alfredo Monteiro de Castro Neto; Engº Antônio Fortunato Marcon; Engº Armando Morilha Junior; Engº Atahualpa Schmitz da S. Prego; Engº Carlos Yukio Suzuki; Engº Cássio Eduardo Lima de Paiva; Engº Consuelo Alves da Frota; Engº Cristiano da Costa Moreira; Engº Djalma Rocha A. M. Pereira; Engº Douglas Fadul Villibor; Engº Dultevir Guerreiro Vilar de Melo; Engº Edinaldo Afonso Marques de Mélo; Engº Eduardo Alberto Ricci; Engº Fernando Augusto Jr.; Engº Genésio Almeida da Silva; Arqtª Gilda Collet Bruna; Engº Glicério Trichês; Engº Heitor Roberto Giampaglia; Engº Jacques de Medina; Engº João Menescal Fabrício; Engº João Vicente Falabella Fabrício; Engº João Virgílio Merighi; Engº Jorge Augusto Pereira Ceratti; Engº José Pedro dos Santos Vieira Costa; Engº José Leomar Fernandes Junior; Engº José Tadeu Balbo; Engº José Vidal Nardi; Engº Laura Ma Goretti da Motta; Engª Leni F. M. Leite; Engº Leto Momm; Engª Liedi Legi B. Bernucci; Engª Luciana Nogueira Dantas; Engº Luiz Miguel de Miranda; Engº Marcello Roberto Rangel Pestana; Engº Márcio Muniz de Farias; Engº Márcilio Augusto Neves; Engª Maria da Conceição M. Azevedo; Engª Michéle Dal Toé Casa Grande; Engº Nilton de Souza Campelo; Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo; Engª Prepredigna D. E. Almeida da Silva; Engª Rita Moura Fortes; Engº Silvio Rodrigues Filho; Engº Saul Birman; Engº Walter Canales Sant'ana; Engº Washington Pérez Nuñez.

Tradução: Mariana Ricci

Capa: Alvaro Magalhães

Editoração: Algo+ Soluções – Maristela Carneiro

Revisão: Mariflor Rocha e Marcia Helena Mendes dos Santos

Impressão: Imos Gráfica e Editora Ltda.

Tiragem: 10.000 exemplares – **Periodicidade:** Trimestral



Nossa capa

Pista de pouso e decolagem do Aeroporto Santos Dumond, Rio de Janeiro, RJ

Foto: Georgina Libório Azevedo

Sumário

2 EDITORIAL

3 18ª RPU – SÃO LUIS

7 SEÇÃO DE NOTAS

41ª RAPv Fortaleza - CE

15 ESPAÇO JURÍDICO

A mineração e o possível impasse com o proprietário do solo: há solução!

Victor Athayde

ARTIGOS TÉCNICOS

17 Avaliação em Laboratório da Utilização de Emulsão com Óleo de Xisto na Imprimação de Solos

Roner Walisson Ramalho e Laura Maria Goretti da Motta

28 Considerações sobre o Dimensionamento Hidráulico Estrutural de Pavimentos Permeáveis

Liliane L. C. Alves Pinto, Carlos Yukio Suzuki, Liedi Bernucci, Afonso Virgillis e Rafael Batezini

41 Estudo de Permeabilidade de Misturas Betuminosas de Graduação Aberta

Carlos Eduardo Del Ben Dias da Silva, Cássio Eduardo Lima de Paiva

50 Influência do Uso de Resíduos Industriais como Filer no Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas com Diferentes Procedimentos de Compactação

Lêda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena, John Kennedy Guedes Rodrigues, Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena e Luciana de Figueirêdo Lopes Lucena

ERRATAS

60 Cenário Atual e Quesitos para Implantação de Laboratórios em Concessionárias

Lenice Mirian da Silva e Delma de Mattos Vidal

62 Identificação automática das camadas que compõem o pavimento e Zona Zero com o uso de imagens de GPR

Sandro Henrique de Faria, Carlos Antônio Oliveira Vieira, Paulo Roberto Antunes Aranha, Carlos Alexandre Braz de Carvalho, Edgar Ricardo Ferreira.





EDITORIAL

Esta edição de número 25 circula juntamente com o maior evento de pavimentação do País, que é a Reunião Anual de Pavimentação – RAPv, que está em sua 41ª edição. Mas, neste ano o contexto se expande tendo em vista que serão realizados conjunta e concomitantemente a I ExpoPavimentação, uma feira voltada aos produtos e serviços do setor, e, ainda, o II Simpósio Internacional sobre Pavimentos Asfálticos e Meio Ambiente, promovido pelo ISAP – Sociedade Internacional de Pavimentos Asfálticos.

A cidade de Fortaleza uma vez mais abriga este grande evento, recebendo participantes do Brasil e do exterior, apresentando à comunidade os avanços tecnológicos, estudos, pesquisas e perspectivas para a área de pavimentação.

A Revista PAVIMENTAÇÃO esteve presente em praticamente todos os eventos do setor neste ano de 2012. Assim se deu na Brazil Road Expo, realizada em abril em São Paulo; na Reunião de Pavimentação Urbana, em junho em São Luís, e na Concret Show, também em São Paulo, no mês de agosto. Na 41ª RAPv, a Revista também se faz presente interagindo com o público participante e trazendo, adiante, a cobertura completa do evento.

Nesta edição são apresentados 4 artigos e 2 erratas (inseridas no final da edição) em função de erros gráficos e de revisão que comprometeram a fidelidade dos estudos, veiculados nas revistas de número 23 e 24.

Os artigos inéditos são: Avaliação em laboratório da utilização de emulsão com óleo de xisto na imprimação de solos, dos autores Ronner Walisson Ramalho, do DER/MG, e de Laura Maria Goretti da Motta, da CO-PPE/UFRJ; Considerações sobre o dimensionamento hidráulico de pavimentos permeáveis, de autoria de Liliane L. C. Alves Pinto, Carlos Yukio Suzuki, Liedi Bernucci, Afonso Virgillis e Rafael Batezini, todos oriundos

da Escola Politécnica da USP; Estudo de permeabilidade de misturas betuminosas de graduação aberta, de autoria de Carlos Eduardo Del Ben Dias da Silva e Cássio Eduardo Lima de Paiva, ambos ligados à Unicamp; e, finalizando, um estudo sobre a influência do uso de resíduos industriais como fíler no comportamento mecânico de misturas asfálticas com diferentes procedimentos de compactação, de Lêda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena, John Kennedy Guedes Rodrigues, Adriano Elisio de Figueirêdo Lopes Lucena e Luciana de Figueirêdo Lopes Lucena.

As erratas correspondem aos artigos técnicos: “Cenário atual e quesitos para implantações de laboratórios em concessionárias” da edição 23 e “Identificação automática das camadas que compõem o pavimento e Zona Zero com o uso de imagens GPR” da edição 24.

No Espaço Jurídico, o tema tratado aborda a mineração e os impasses com o proprietário do solo. Naturalmente, nos locais de exploração das jazidas temos diversos procedimentos necessários, como a abertura de vias de transporte, o que, muitas vezes, cria percalços, os quais, seguramente, necessitam ser equacionados.

Mais uma vez, e sempre, agradecemos aos nossos leitores pelo prestígio dado à Revista PAVIMENTAÇÃO. Em todos os eventos temos tomado ciência da receptividade e confiança com que somos abordados. O objetivo é divulgar estudos e pesquisas, primar pela transferência de tecnologia e ensinar a interatividade entre os profissionais da seara da engenharia de pavimentos do Brasil e do mundo.

A todos os participantes da 41ª RAPv desejamos bons estudos, boas trocas de experiências e boas parcerias! A excelência é a nossa meta.

Conselho Editorial



18ª RPU - São Luís - MA

Fotos de Thiago Veloso



1- Haroldo Corrêa Cavalcante Júnior; 2- José Ribamar Barbosa Belo; 3- Maurício Macedo ; 4- José Pedro dos Santos Vieira Costa; 5- Luis Fernando Coimbra Renner; 6- Marcus Aurélio Alves Freitas; 7- Walter Canales Sant'ana.

A capital maranhense sediou pela primeira vez, entre os dias 18 e 20 de junho, a Reunião Pavimentação Urbana em sua 18ª edição. O encontro reuniu profissionais, acadêmicos, autoridades públicas e empresários do setor de infraestrutura rodoviária do Brasil e do exterior.

O evento realizado pela Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv – ocorreu no auditório da Federação das Indústrias do Estado do Maranhão – FIEMA, e teve como parceria, além da própria FIEMA, o Governo do Estado do Maranhão, o Sincopem – Sindicato da Construção Pesada do Estado do Maranhão e a Universidade do Estado do Maranhão – UEMA.

Os trabalhos tiveram início na manhã do dia 18 com apresentação de 22 artigos distribuídos em 5 sessões técnicas. Foram ainda proferidas 12 palestras e apresentados 2 painéis. Dois mini cursos foram realizados com grande sucesso: Pavimentos de Concreto (ABCP) e Drenagem (ABPv/IME).

À noite aconteceu a abertura solene que contou com a presença das seguintes autoridades: José Pedro dos Santos Vieira Costa, diretor-presidente da ABPv;

Maurício Macedo, secretário de Estado da Indústria e Comércio, também representando a Governadora Roseana Sarney; Luís Fernando Coimbra Renner, vice-presidente da Federação das Indústrias do Estado do Maranhão – FIEMA, representando o presidente da FIEMA, Sr. Edilson Baldez; Eng. José Ribamar Barbosa Belo, presidente do Sindicato das Indústrias da Construção Pesada do Estado do Maranhão – Sincopem e diretor-presidente da TERMAC; Marcus Aurélio Alves Freitas, secretário municipal de obras e serviços públicos, e também representando o prefeito de São Luís, João Castelo; Haroldo Corrêa Cavalcante Júnior, presidente da Associação Comercial do Maranhão – ACM e professor Walter Canales Sant'ana – Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

Em homenagem à Pátria e ao Estado anfitrião, houve a execução dos hinos Nacional e do Maranhão, interpretados pelo coral de São João, regido pelo maestro Fernando Mouchereck.

O diretor-presidente da ABPv proferiu seu discurso ressaltando o grande momento pelo qual passam o



Brasil e o Nordeste como um todo. Em seguida, outras autoridades também fizeram uso da palavra (veja no box abaixo).

Foram homenageados com o prêmio Mario Kabalem Restom, por relevantes serviços prestados à área da pavimentação, os engenheiros: José Barros Pereira de Andrade, Luís Frazão de Melo e Alvin e o admi-

nistrador José Ribamar Barbosa Belo. Na abertura oficial da feira, os expositores, os patrocinadores e os apoiadores (agradecimentos) apresentaram ao público seus produtos e serviços.

Na terça-feira um jantar no Grand Hotel São Luís selou a confraternização do encontro. O evento encerrou-se na tarde de quarta-feira, dia 20, com público total de 220 participantes.

O diretor-presidente da ABPv, Eng. José Pedro dos Santos Vieira Costa, na sua fala de encerramento agradeceu a todos que colaboraram em maior ou menor grau para o sucesso do evento. Notadamente, há que se destacar os patrocinadores, expositores, colaboradores, apoiadores, membros do comitê organizador, membros do comitê técnico-científico, autores de trabalho, participantes e visitantes.

Discursos

1. O engenheiro José Pedro dos Santos Vieira Costa – Presidente da ABPv abordou a importância da 18ª RPU para o setor da construção e para o crescimento do país, em que no desenvolvimento pleno pressupõe-se que a mobilidade urbana seja de vital importância. “Ao falarmos de sustentabilidade não podemos nos esquecer da infraestrutura e nessa ocasião haverá a apresentação de novas tecnologias, métodos e o compartilhamento de experiências e conhecimentos”.
2. Administrador José Ribamar Barbosa Belo – Presidente do Sincopem colocou a importância da realização do evento em São Luís, esperado há pelo menos 20 anos, culminando com os 400 anos da cidade, ressaltando um marco positivo ao serem debatidos assuntos relevantes para o setor e tendo como oportunidade o intercâmbio de novos conhecimentos e inovações para os profissionais e o público de interesse.
3. O senhor Luís Fernando Renner – Vice-presidente da FIEMA e representando o presidente da FIEMA, Edilson Baldez, disse que a FIEMA reconhecia a importância da 18ª RPU em São Luís e a parceria celebrada com a ABPv e o Sincopem, atribuindo ao evento a oportunidade de desenvolvimento do setor de grande destaque, principalmente para as cidades.
4. Secretário Maurício Macedo – Secretário de Estado da Indústria e Comércio representando a Governadora Roseana Sarney fez uma breve explanação sobre o momento de oportunidades que o Maranhão passa, “o Brasil cresce o nordeste cresce mais do que o Brasil e o Maranhão cresce mais do que o nordeste”, mostrando que o Governo possui grandes investimentos para o setor da construção em todo o estado. Colocou ainda a importância do evento, que estava trazendo a São Luís temas vitais para o desenvolvimento.



Eng. José de Arimatéa Fonseca Junior recebe a placa em nome do Eng. Luis Frazão de Melo e Alvin do Prof. Walter Canales;



O Adm. José Belo entrega para a Srta. Mirian Teresa Cavalcante de Andrade (neta do Eng. José Barros Pereira de Andrade.);



Eng. José Pedro entrega a placa ao Adm. José Belo um dos homenageados.

Palestras

Palestra 1

Bases estabilizadas quimicamente – exemplos de aplicação urbana – *Fernando Augusto Júnior (Imperpav / ABPv)*

Palestra 2

Soluções de pavimentos urbanos para baixo volume de tráfego e cidades pequenas. *Walter Canales Sant'Ana – Professor (UEMA) – Comissão Organizadora*

Palestra 3

Métodos de Reciclagem a Frio – *Juliano Gewehr – CIBER/ PAVETEC*

Palestra 4

A Cidade onde queremos viver *Domingos Brito (Secretário Municipal de Urbanismo – São Luís)*

Palestra 5

Diretrizes para a Construção de Ciclovias – *Cristiane Bastos – ABCP*

Palestra 6

Drenagem de ruas: princípios e seções típicas – *Francisco José d'Almeida Diogo – IME / ABPv*

Palestra 7

Sustentabilidade em obras de pavimentação asfáltica – *Leni Figueiredo Mathias Leite (CENPES / Petrobras)*

Palestra 8

Aditivo para mezclastibias como facilitador para elproceso de pavimentación *Marcelo A. Martinez – Akzo Nobel Surface-Chemicals*

Palestra 9

Utilização de reciclado em mistura a quente – *Marcelo Zubaran – CIBER / Pavetec*

Palestra 10

Pavimentos permeáveis de peças pré-moldadas de concreto *Cláudio Oliveira, Gerente (ABCP)*

Palestra 11

Pavimentação Sustentável: reaproveitamento do resíduo da construção civil e de material fresado com espuma de asfalto *Valmir Bonfim – Grupo ANE*

Palestra 12

Avenida Quarto Centenário *Pedro Fernandes – Secretário Estadual das Cidades*



Agradecimentos

- EMAP
- Marcosa
- SEBRAE
- AkzoNobet
- Vale
- Entrepasto
- Viação Primor
- Pavetec
- Edeconsil
- Rede Maquinas
- Romanelli
- Sultepa
- Duvel
- Huesker
- Solocap
- Solotest
- Strata
- Associação Brasileira de Cimento Portland
- Ferreira Construção



Encerramento: confraternização dos participantes

A 18ª edição da RPU uma vez mais proporcionou a discussão dos temas mais importantes debatidos por renomados profissionais da engenharia de pavimentos. A contribuição inestimável advém ainda dos acadêmicos e pesquisadores, incansáveis na busca pela

excelência de seus projetos. O evento tornou-se um encontro de todos os agentes envolvidos no setor, inclusive os empresários, que tiveram uma excelente oportunidade de apresentar seus produtos e serviços.





Seção de notas da Revista PAVIMENTAÇÃO

mariana@abpv.org.br

IS-HOKKAIDO 2012 – 2ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM GEOTÉCNICA DE TRANSPORTES

A 2ª Conferência Internacional em Geotécnica de Transportes será realizada na Universidade de Hokkaido no Japão, entre os dias 9 e 12 de setembro, irá promover a troca de informação e conhecimento com relação aos aspectos geotécnicos de projetos, construção, manutenção e monitoramento de pavimentos e infraestrutura de transportes. A conferência irá abordar alguns dos aspectos essenciais para o desenvolvimento da geotécnica de transportes além dos tópicos abordados na 1ª conferência.

25ª CONFERÊNCIA ARRB

A 25ª Conferência ARRB a ser realizada de 23 a 26 de setembro em Perth, na Austrália, irá explorar os resultados das pesquisas na área dos transportes e como refletem na tomada de decisões e formulação de políticas para melhorias na eficácia, sustentabilidade, segurança e acessibilidade, assim como oferecerá oportunidades para troca de conhecimentos e experiências na área de pesquisas.

X SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FERROCIMENTO

O Simpósio a ser realizado em Cuba, de 15 a 19 de outubro, tratará dos avanços, aplicação prática e pesquisas no campo do ferrocimento e compostos finos de cimento reforçado com a participação de especialistas de todo o mundo para promoverem a troca e colaboração técnica para identificarem as lacunas das técnicas e necessidades imediatas da pesquisa.

RIO INFRAESTRUTURA – 3ª FEIRA INTERNACIONAL DE MÁQUINAS, PRODUTOS E SERVIÇOS PARA OBRAS DE INFRAESTRUTURA



A 3ª edição do evento de obras realizado anualmente tem como objetivo demonstrar produtos, tendências e soluções, reunindo em um único local o maior número de expositores de todas as partes do mundo, atraindo um público altamente qualificado, em busca de networking e negócios. A feira será realizada de 7 a 9 de novembro das 14h às 21h no RioCentro – Rio de Janeiro.

TRANSPQUIP LATIN AMERICA



São Paulo irá sediar o encontro das indústrias de infraestrutura para transportes da América Latina, de 21 a 23 de novembro, no Pavilhão Azul da Expo Center Norte. A 5ª edição do encontro reunirá vendedores e compradores de equipamentos e serviços para rodovias, ferrovias, portos, vias fluviais e aeroportos da América Latina. Com projeção internacional, o TranspoQuip fornece uma visão completa desses setores por meio do conhecimento dos mercados e das evoluções tecnológicas de cada uma das modalidades do evento.

BAUMA



A feira Internacional de máquinas, veículos e equipamentos para a construção será realizada em Xangai, China, entre os dias 27 e 30 de novembro.

CONFERÊNCIA RPUG 2012

A conferência RPUG 2012 que será realizada no Hyatt Regency em Minneapolis, MN, de 24 a 27 de setembro, terá



como tema o asfalto borracha – “*When the Rubber Hits the Road*”. O objetivo será a troca de informação entre todos os níveis do governo, construtoras, consultores, universidades, fabricantes de equipamentos, representantes, engenheiros e pesquisadores da **área** de pavimentação e áreas relacionadas.

FEIPLAR COMPOSITES & FEIPUR – FEIRA E CONGRESSO INTERNACIONAIS DE COMPOSITES, POLIURETANO E PLÁSTICOS DE ENGENHARIA – 2012



O Evento contará com 250 expositores nacionais e internacionais em sua 7ª edição, de 6 a 8 de novembro, no Pavilhão Verde do Expo Center Norte em São Paulo. A feira mostrará novidades em produtos acabados, matérias-primas e equipamentos para a fabricação de peças em Composites/Plástico Reforçado, Plástico de Engenharia e Poliuretano. O Congresso Internacional de Plásticos de Engenharia, o Congresso Internacional de Poliuretano, técnicas gratuitas que serão realizadas nos três dias com o objetivo de apresentar, na prática, o desempenho de matérias-primas, equipamentos e processos em composites e poliuretano, ocorrerão simultaneamente ao evento. Haverá homenagens para os melhores desenvolvimentos em Composite/Plástico Reforçado e prêmios para os melhores produtos em plásticos de engenharia com o objetivo de contemplar produtos, empresas e profissionais de destaque no mercado latino-americano de Composites/Plástico Reforçado, Plástico de Engenharia e Poliuretano.

Mais informações: www.tecnologiademateriais.com.br

CURIOSIDADES

BATERIA EM SPRAY – CIENTISTAS DESENVOLVEM TINTA QUE ARMAZENA E TRANSMITE ENERGIA ELÉTRICA

A tinta possui camadas cada uma representando um composto necessário a bateria convencional, receptores de correntes feitos em parte de uma parede única de nanotubos de carbono, um cátodo, um anódio e um separador de polímero, assim descrito pela aluna de pós-graduação da Universidade Rice, Neelam Singh, e sua equipe.

A experiência foi feita com nove baterias do tamanho de azulejos de banheiro ligados em paralelo. Um painel solar sobreposto a uma das baterias que converte a energia de uma luz branca de laboratório. Quando completamente carregados pela energia solar e pela corrente elétrica, as baterias energizam um conjunto de diodos emissores de luz que iluminam as letras da palavra “Rice” por seis horas; as baterias fornecem 2.4 volts de energia contínua. Mesmo depois de 60 ciclos de carga/descarga, uma bateria incomum quase não perdeu capacidade. A equipe também usou a fórmula de spray em azulejos de cerâmica, polímeros flexíveis, vidro, aço inoxidável e em uma caneca de cerveja. Singh e sua equipe, que inclui alunos de pós-graduação da Rice, pesquisadores do Laboratório Nacional de Los Alamos, estagiários de Instituto Rice Quantum e um pesquisador da Université Catholique de Louvain, Bélgica, continuam a aprimorar o trabalho com a bateria spray. Versões futuras deste conceito incluirão eletrólitos para facilitar o uso das baterias tinta em ambientes abertos.

SUPER ÁRVORES ENERGIZADAS PELA LUZ DO SOL RESPIRAM NO OÁSIS URBANO DE SINGAPURA

As super árvores colossais energizadas pelo sol podem ser encontradas no jardim Bay South e está dentro de uma floresta mecânica que consiste de 18 árvores que atuam como um jardim vertical que geram energia solar e servem como dutos de ar para conservatórios próximos, além de coletar água. Para gerar eletricidade, 11 das super árvores têm em suas estruturas sistemas de células fotovoltaicas que convertem a luz do dia em energia que fornece luz e auxilia na tecnologia de águas nos conservatórios no subterrâneo. As árvores que variam entre 25 m e 50 m de altura têm extensas copas que também atuam como reguladores de temperatura, pois absorvem e dissipam o calor, assim como servem de abrigo contra as altas temperaturas de Singapura.

O projeto é de iniciativa do conselho de parques nacionais de Singapura e é parte de um esquema de redesenvolvimento e os organizadores esperam que o jardim se torne um destino de turismo ecológico e uma vitrine de práticas sustentáveis e plantas de todo o mundo.

O MAIOR ATERRO DOS ESTADOS UNIDOS

Da mesma altura que alguns dos mais altos arranha-céus de Los Angeles, mas como moradores apenas ratos e baratas. Bem-vindos ao aterro Puente Hills, o maior depósito de lixo dos Estados Unidos. Mais de 150 metros



de lixo surgem no solo desde 1957. Atualmente, um exército de 1.500 caminhões despejam, seis dias por semana, 12.000 toneladas de dejetos sólidos provenientes de casas e escritórios dos milhões de habitantes de Los Angeles.

“Aqui funcionava uma fazenda de gado leiteiro; um vale cheio de vacas leiteiras. E agora é um lugar de característica geológica feita de lixo”, afirmou Edward Humes, autor de *“Garbology: Our Dirty Love Affair with Trash”* (na tradução livre: “Lixologia: Nosso Mundo Caso de Amor com o Lixo”), um livro que mapeia a história do lixo nos EUA.

Apenas em 2010, os americanos acumularam 250 milhões de toneladas de lixo, e apesar de a reciclagem do lixo nos EUA ter aumentado em 34% desde 1960, Humes acredita que as iniciativas com relação ao lixo ainda não são sustentáveis e afirma ainda que é conveniente rolar o lixo até a o meio fio e vê-lo desaparecer como em um truque de mágica, porém não há mágica alguma nisto. Precisamos usar menos embalagens, menos descartáveis e fazer uso de bens duráveis.

O impacto ambiental causado por aterros varia de acordo com o uso que se faz deles. Entretanto, há os problemas de contaminação do solo e da água subterrânea por resíduos tóxicos, liberação de metano e pestes transmissoras de doenças. Tom Freyberg, editor chefe da *Waste Management World* concorda com Humes que deveríamos tentar reduzir o lixo e reciclar mais. Porém, o que está acontecendo atualmente, comparado com há alguns anos, é que a tecnologia e as práticas com relação ao gerenciamento do lixo melhoraram muito em Puente Hills. As camadas de lixo são meticulosamente separadas por membranas plásticas projetadas para absorverem a infusão de substâncias químicas nocivas impedindo-as de vazarem para a água subterrânea. O produto lixiviado é, então, coletado e filtrado tornando-se seguro. Além disso, de acordo com autoridades de Los Angeles, o metano produzido pela decomposição natural de materiais de dentro da torre de lixo é coletado por uma rede de dutos e incinerado para gerar eletricidade suficiente para abastecer 70.000 casas.

Atualmente, pouco mais da metade de todo o lixo dos EUA é depositado em aterros, um terço é reciclado e o restante é incinerado para gerar eletricidade.

Um estudo recente feito pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) concluiu que a incineração de uma tonelada de lixo emite no mínimo 35% menos gases de efeito estufa e fornece 10 vezes mais eletricidade do que enterrá-lo para depois capturar o metano. O problema é que para a maior parte dos EUA esta é a melhor opção em termos de custo-

-benefício, afirma Peter Borkey, chefe da divisão de resíduos da OCDE. As fábricas de incineração requerem uma grande massa de lixo para valer a pena financeiramente. O que é fácil fazer em áreas densamente povoadas, porém com custos altos com transporte e processamento de lixo em áreas menos povoadas. Borkey acredita que a redução no número de aterros será difícil até que produtores de lixo e autoridades municipais responsáveis pelo manuseio destes recebam os incentivos adequados. Na Alemanha e Escandinávia, os aterros constituem menos de 5% do total do gerenciamento de resíduos. Todo lixo residual que não pode ser incinerado ou reciclado só pode ser confinado em aterros corretamente projetados. A maior parte do que chamamos lixo pode ser reutilizada, transformada em combustível ou em produtos completamente novos.

IV SEMANA DE ENGENHARIA CIVIL DE MATO GROSSO - FORMAÇÃO E PROFISSIONALIZAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A Universidade Federal de Mato Grosso irá sediar, entre os dias 29 de outubro e 1 de novembro, o seminário anual que contará com palestras, mini cursos, apresentação e exposição da cultura e folclore de Mato Grosso. O evento contará com a participação de professores e alunos de engenharia civil de todas as universidades de Mato Grosso, profissionais e empresas de engenharia civil em geral e objetiva propiciar um debate sobre a necessidade de aperfeiçoamento da formação e profissionalização dos profissionais de engenharia civil através do intercâmbio de novas tecnologias com outros centros de conhecimento e pesquisa, palestras sobre os temas envolvidos e sistemas utilizados em obras. Mato Grosso tem passado por transformações devido ao seu desenvolvimento com forte ligação com o agronegócio, além da preparação para os jogos da Copa – FIFA 2014, por isso a Universidade vê a necessidade de recursos financeiros vultosos e pesquisas de ponta, assim como a absorção de conhecimento sobre as inovações tecnológicas no âmbito de engenharia civil para a solução de problemas, como impactos ambientais gerados pelas obras de infraestrutura que podem comprometer a sustentabilidade.

INSTITUTO PAVIMENTAR E O SENAI PROMOVEM CURSO

O Instituto Pavimentar e o SENAI promoveram com apoio das empresas CIBER e TEREX, no período de 6

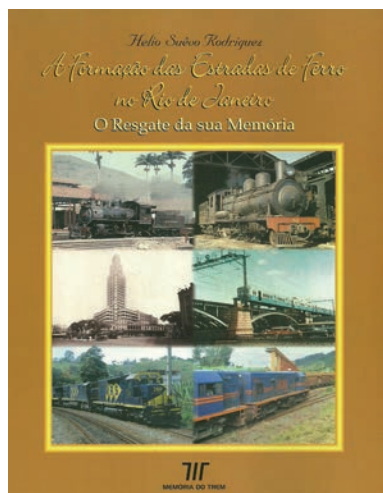


a 17 de fevereiro de 2012 um curso para formar multiplicadores dos futuros discentes do SENAI, em OPERAÇÃO DE USINA DE ASFALTO, na cidade de Porto Alegre/RS. O objetivo desses cursos vai além da simples operação de usina, é necessário conscientizar o profissional sobre seu posicionamento nas etapas da construção de uma rodovia. O vice-presidente do Instituto Pavimentar, Armando Morilha, ministrou o módulo “Noções de Pavimentação Asfáltica” em que foram abordados conceitos sobre: o que é um pavimento, o projeto de uma rodovia, a implantação de uma rodovia e como se constrói um pavimento desde a terraplenagem até a execução do revestimento. Esta introdução permite ao profissional reconhecer a sua posição e a importância do segmento. Além da simples operação de usina, os cursos tiveram como objetivo conscientizar o profissional sobre seu posicionamento nas etapas da construção de uma rodovia. O Instituto Pavimentar segue, assim, gabaritando multiplicadores capazes de atualizar e qualificar profissionais para a manutenção e operação das máquinas, e contribuir para a melhoria da qualidade das obras de pavimentação asfáltica no País.

LANÇAMENTO DO LIVRO “MEMÓRIA E PRESERVAÇÃO FERROVIÁRIA”

O Engenheiro Civil especializado em Engenharia Ferroviária Hélio Suêvo Rodriguez lançou em comemoração aos 150 anos da ferrovia no Brasil, em 30 de abril de 2004, o livro intitulado “A Formação das Estradas de Ferro no Rio de Janeiro: O Resgate da sua Memória”, relatando a história de diversas estradas de ferro construídas no Estado do Rio de Janeiro.

“MEMÓRIA E PRESERVAÇÃO FERROVIÁRIA”



O Engenheiro Civil com especialização em Engenharia Ferroviária, Hélio Suêvo Rodriguez lançou em comemoração aos 150 anos da Ferrovia no Brasil o livro intitulado “A Formação das Estradas de Ferro no Rio de Janeiro: O Resgate da sua memória”, relatando a história das diversas Estradas de Ferro formadas no Estado do Rio de Janeiro, além de um capítulo sobre as Estradas de Ferro Brasileiras.

O livro com 192 páginas é indicado para Autoridades Governamentais nos níveis Federal, Estadual e Municipal, Técnicos ligados a área de Transportes, Universidades, Operadores e Ferrovias de carga e passageiros, Associações de Classe, Preservacionistas, Pesquisadores e Historiadores Ferroviários.

Mais informações: hsuevo@yahoo.com.br

REINAUGURAÇÃO DA BIBLIOTECA DO CLUBE DE ENGENHARIA

O clube de Engenharia reinaugurou sua biblioteca no dia 16 de julho.



CLUBE DE ENGENHARIA

O presidente do Clube de Engenharia, engenheiro Francis Bogossian e sua diretoria, tem a honra de convidá-lo(a) para a reinauguração da biblioteca da instituição totalmente revitalizada.

Dia 16 de julho, às 18 horas
Avenida Rio Branco, nº 124, 22º andar

“A Biblioteca-guardiã da história da engenharia nacional”
Criada em 1º de Setembro de 1884

R.V.S.P.: 21 2178-9228

PATROCÍNIO

BRASIL
MILHARES ANOS DE PROGRESSO

PETROBRAS



Cursos da ABPv

Controle da Qualidade em Pavimentação Viária –
24 a 27/04/2012.

Professor: Eng. Paulo Sérgio Peterlini.



Curso de Drenagem Rodoviária –
26 a 28/06/2012.

Prof.: Cel Eng Francisco José d'Almeida Diogo, M.Sc., Prof. IME



Curso de Sinalização de Obras –
10 a 12/04/2012.

Professor: Eng. Nelson José Rodrigues Mattos



CURSOS E EVENTOS 2012:

- ✓ 41ª RAPV – 03 A 05/10
- ✓ RECICLAGEM DE PAVIMENTOS – 22 A 24/10
- ✓ PAVIMENTAÇÃO URBANA – 05 A 08/11
- ✓ SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS – 21 A 23/11
- ✓ ESTUDO DE TRÁFEGO PARA PROJETO DE PAVIMENTOS 04 A 06/12
- ✓ DRENAGEM DE FERROVIAS E AERÓDROMOS – 11 A 14/12





fields

QUANDO UM ATLETA
FALAR QUE PASSOU
POR UMA LONGA
ESTRADA ATÉ SUBIR
AO PÓDIO, ACREDITE.

A
p
e
A

Ministério do
Esporte





A conquista do direito de sediar a Copa do Mundo FIFA de 2014 e os Jogos Olímpicos de 2016 trouxe mudanças positivas para nosso país. Os investimentos em transporte público, portos, aeroportos e infraestrutura geram emprego e renda e abrem oportunidades para muitos setores da economia, em especial para a engenharia nacional. Acesse esporte.gov.br e saiba tudo o que vem sendo feito no campo esportivo para o Brasil continuar criando vitoriosos.





Ceará será sede da 41ª RAPv



Foto: João Vicente Falabella

Fortaleza será palco para o maior evento nacional de pavimentação, a 41ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) realizada pela ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação e o 2º Simpósio Internacional sobre Pavimentos Asfálticos e Meio-Ambiente da ISAP – *International Society for Asphalt Pavements*, entre os dias 1 e 5 de outubro, em parceria com a Universidade Federal do Ceará – UFC, no ExpoCeará, novo centro de feiras e eventos do Estado do Ceará e um dos mais modernos do País.

“O Ceará teve oportunidade em 2009 de receber o evento comemorativo dos 50 anos da ABPv. Na ocasião tivemos ainda um *Workshop* do ISAP, com forte presença internacional. O sucesso daqueles eventos, bem como a inserção nacional e internacional dos nossos pesquisadores e técnicos da área rodoviária, levaram a escolha novamente do nosso estado para a realização dos eventos destas duas importantes associações”, frisa Jorge Soares, chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC e Presidente da Comissão Organizadora dos eventos.

Soares destaca que desta vez o ISAP terá um Simpósio no qual são esperados mais de 100 participantes

de outros países. “Coordenadamente com estes dois eventos, teremos pela primeira vez a ExpoPavimentação, que é um marco na área rodoviária na nossa região. Este tipo de feira é comum no Sudeste e fora do país”. Segundo ele, o volume de obras em andamento e ainda por vir, alinhado ao status atual do Estado no setor viário, justificam um evento deste porte no Ceará, que uma vez mais representa a região Nordeste na área de pavimentação.

Para José Sérgio Fontenele de Azevedo, superintendente do Departamento Estadual de Rodovias – DER, será uma honra sediar no novo Centro de Eventos do Ceará estes importantes eventos. “Vejo como uma grande oportunidade para se promover o intercâmbio entre técnicos e profissionais da Engenharia Rodoviária de diversos países, nivelar conhecimentos, discutir alternativas, agregar novos valores e novas tecnologias e apreciar produtos e equipamentos de primeira linha”, finaliza.

Para maiores informações acesse o site www.rapv.org.br.



Victor Athayde*

A mineração e o possível impasse com o proprietário do solo: há solução!

Como já foi dito outras vezes, esta coluna trata de assuntos jurídicos relacionados à pavimentação. Nos últimos números, tratamos do Direito Administrativo (notadamente voltado ao processo licitatório).

Nessa mesma Revista PAVIMENTAÇÃO (edição jun/jul/ago de 2011), tratamos do Processo Administrativo Minerário, que é o meio para se obter o direito de minerar.

Naquela ocasião ficou demonstrado que a União Federal administra os bens minerais, essenciais à atividade de pavimentação e que dispensam exemplificação.

Vamos abordar neste ensaio, mais uma vez, aspecto do procedimento minerário, com os quais as pessoas relacionadas à pavimentação devem estar familiarizadas: a relação do minerador com o proprietário do bem imóvel onde se encontra a jazida.

Pois bem, é de conhecimento geral, mas não seria ocioso lembrar que o bem mineral (da água; passando pelo saibro e chegando às rochas graníticas, com as quais se faz o paralelepípedo), aliás, o subsolo em geral, é patrimônio da União. É o que se lê na Constituição Federal em seu inciso IX do art. 20.

Mais adiante, no art. 176 e seus parágrafos, a Constituição Federal disciplina que as jazidas constituem propriedade distinta do solo e, nos parágrafos seguintes, condicionam a pesquisa e a exploração do bem mineral à autorização ou concessão da União, garantindo ao proprietário do solo a participação no produto da lavra.

É fundamental lembrar, abrindo parênteses, que quem explorar o bem mineral sem a respectiva autorização está sujeito às penalidades criminais, administrativas e até cíveis (no caso de haver danos ao meio ambiente, por exemplo, deverá haver a recuperação da área degradada ou, nessa impossibilidade, a compensação do dano em outra região).

Estes parênteses comprovam, inclusive, como as matérias de Direito Mineral e Ambiental se comunicam.

Voltando ao tema, ficou clara a opção do legislador em, ao mesmo tempo, estipular que o proprietário do solo (superficial) não tenha direito de propriedade sobre o subsolo, mas, tenha que participar do produto de sua exploração, o qual se convencionou chamar de *royalties*.

A lei estipula um percentual a título de *royalties*, que deve ser a metade do valor da Compensação Financeira – CFEM produto da exploração, mas que pode ser alvo de negociação.

O acordo é fundamental para o aproveitamento do bem mineral, pois a devida autorização do órgão gestor do bem mineral (Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM) e, em alguns casos, até a emissão da Licença Ambiental respectiva estão submetidas à presença do mesmo.

Ocorre que nem sempre a relação do minerador e do superficial é pacífica e, mesmo sendo, pode não haver concordância em relação ao preço do *royalty* e sobre o

* Advogado militante na Área de Direito Ambiental, Direito Administrativo-Público e Direito Minerário, Sócio-Diretor do escritório David & Athayde Advogados (www.da.adv.br), Professor de Pós-Graduação em Perícia Ambiental Judicial, ex-Assessor Jurídico do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo - IEMA, idealizador do Blog www.direitodomeioambiente.blogspot.com/ e-mail: victor@da.adv.br / twitter: @DavidEAthayde

arrendamento das áreas necessárias ao desenvolvimento da lavra.

Sãos dois os possíveis problemas!

Nesses casos, e não é raro, surge um impasse que obstariza o início (ou até continuidade) da lavra.

Ocorre que a legislação em vigor é favorável ao minerador, pois a mineração, além de ser uma atividade de utilidade pública, é privilegiada por regramentos que impedem a sua paralização.

Por isso, existe procedimento judicial através do qual, independente da vontade do superficiário, seja ele quem for, e mesmo sem acordo sobre o valor de *royalties*, o detentor do Direito Mineral fica autorizado a explorar a jazida.

Nesse procedimento, através de perícia, estipular-se-á o valor justo dos *royalties*.

Mas, não são somente os *royalties* que podem ser resolvidos por esse procedimento, porém a garantia de acesso ao local de interesse (da lavra), que é o que se dá o nome de servidão.

Essa possibilidade se estende aos terrenos limítrofes de onde está a jazida e contempla as áreas necessárias ao desenvolvimento da lavra, por exemplo: a) construção de oficinas, instalações, obras acessórias e moradias; b) abertura de vias de transporte e linhas de comunicações; c) captação e adução de água necessária aos serviços de mineração e ao pessoal; d) transmissão de energia elétrica; e) escoamento das águas da mina e do engenho de beneficiamento; f) abertura de passagem de pessoal e material, de conduto de ventilação e de energia elétrica; g) utilização das aguadas sem prejuízo das atividades preexistentes e h) bota-fora do material desmontado e dos refugos do engenho.

Como se vê, a vontade ou a falta dela por parte do superficiário não é preponderante para que a exploração das minas ocorra.

O Direito Brasileiro protege o minerador em caso de impasse sobre a servidão e *royalties*, basta que lance mão de procedimento judicial específico.

Victor Athayde



EQUIPAMENTOS DE LABORATÓRIO

Desde 1988, fabricando equipamentos para laboratório de solos, asfaltos, concretos e agregados. A Solocap é uma empresa inovadora que prioriza a excelência e o bom atendimento, oferecendo a sua empresa a mais completa linha de equipamentos técnicos e científicos de alta qualidade.



SERVIÇOS GEOTÉCNICOS

Dispomos de laboratórios modernos e uma equipe altamente qualificada.

EXECUTAMOS:

- Todos os ensaios físicos geotécnicos em solos, concretos, ligantes e misturas betuminosas.
- Projeto e controle de qualidade para sua obra.



(31) 3047-7460 vendas@solocap.com.br / solocap@solocap.com.br / www.solocap.com.br



ARTIGO TÉCNICO

Este espaço destina-se à publicação de artigos encaminhados à Revista pelos profissionais que se dispõem a colaborar promovendo como os demais técnicos o debate de diversos temas atuais e relevantes. Os artigos devem ser enviados para redacao@revistapavimentacao.org.br de acordo com as normas vigentes no sítio www.revistapavimentacao.org.br. Os trabalhos são apresentados na íntegra, sendo de responsabilidade do autor toda a informação nele contida.

Avaliação em Laboratório da Utilização de Emulsão com Óleo de Xisto na Imprimação de Solos

Roner Walisson Ramalho

DER/MG (rwrvfs@hotmail.com)

Laura Maria Goretti da Motta

COPPE/UFRJ (laura@coc.ufrj.br)

RESUMO

Atualmente existe uma tendência de substituir os asfaltos diluídos na função de imprimação das bases por emulsões asfálticas especialmente preparadas para esse serviço. Os motivos principais são: diminuir o impacto ambiental dos compostos orgânicos voláteis (VOCs) presentes nas diluições e o alto custo dos solventes à base de petróleo usados nos asfaltos diluídos. Neste trabalho foi testada uma emulsão asfáltica à base de óleo de xisto, desenvolvida para substituir o asfalto diluído de petróleo (ADP CM-30), tradicionalmente utilizado no Brasil para imprimação. Avaliou-se o comportamento dessa emulsão para o serviço de imprimação de base, no que se refere à penetração em três tipos de solos (arenoso, cascalho de quartzo argiloso e laterítico) encontrados no estado de Minas Gerais. Utilizou-se a taxa definida em laboratório de 1,0 l/m² tanto para o Asfalto Diluído de Petróleo (ADP CM-30) como para a emulsão de xisto sendo feita análise quantitativa de penetração, impermeabilização, coesão e aderência, entre o solo e a camada imprimada. As amostras de solo foram submetidas aos ensaios de: limites de liquidez e plasticidade, granulometria por peneiramento e sedimentação; compactação Proctor; CBR e expansão na energia intermodificada, definida pelo DER-MG. Foram produzidos corpos de prova compactados e imprimados com a emulsão e o CM-30. Também foi utilizado um ensaio especial de arrancamento com equipamento DIPEA que ajudou a definir a qualidade da imprimação. As imprimações realizadas com a emulsão nos três solos apresentaram comportamento satisfatório em relação às imprimações com o ADP CM-30, em termos de penetração, coesão, aderência e impermeabilização, nas mesmas condições de ensaio.

Palavras-chave: Imprimação, Permeabilidade, Aderência, DIPEA, Emulsão, Asfalto diluído.

ABSTRACT

Currently there is a tendency to replace the cutback asphalt in the role of prime coat on base course for a asphalt emulsions specially prepared for this service. The main reasons are: reducing the environmental impact of volatile organic compounds (VOCs) present in the dilution and the high cost of petroleum-based solvents used in cutback. In this study was tested a modified asphalt emulsion, designed to replace the MC-30 cutback, traditionally used in Brazil for primer. The objective was to compare the performance of penetration sealing, cohesion and adhesion between the soil and the primed layer on the two products. These behaviors were evaluated in three base material soils (sandy, gravel and clay). The test specimens were produced at different moisture contents, compressed and primed with the emulsion and cutback. The products were added on a rate defined in the laboratory of 1.0 l/m². The samples were subjected to tests of characterization. It was also used a special test equipment with DIPEA pullout for measure the quality of prime coat. The prime performance with emulsion in the three soils showed to be satisfactory in relation to the cutback asphalt in terms of penetration, cohesion, adhesion and permeability on the same test conditions.

Keywords: Prime coat, Permeability, Adhesion, Cohesion, Emulsion, Cutback asphalt, DIPEA



I INTRODUÇÃO

O principal uso do asfalto diluído de petróleo (ADP) atualmente na pavimentação é em serviço de imprimação de base de pavimento. Segundo a norma DNER ES-306/97, revisada em 2010 com denominação DNIT ES 144/2010, esse serviço consiste na aplicação de camada de material betuminoso sobre a superfície de base concluída, antes da execução do revestimento, objetivando conferir coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência entre essa camada e o revestimento a ser executado.

Também é possível a utilização do asfalto diluído em serviços de tratamento superficial, porém há uma tendência cada vez mais acentuada de redução de seu emprego em serviços por penetração, devido a problemas de segurança e de riscos ambientais pela emissão de hidrocarbonetos orgânicos voláteis (VOCs) segundo Bernucci et al. (2008). Os asfaltos diluídos não são mais usados em países como o México e Argentina. Muitos outros países estão tomando providências similares para evitar a poluição ambiental (Logaraj, 2009). A Argentina já tem especificação de emulsão para imprimação desde 2001 (Agnus Dei, 2011).

Uma das dificuldades da substituição do asfalto diluído pela emulsão está no fato de que nem sempre os glóbulos de asfalto presentes nas emulsões convencionais conseguem penetração adequada em todos os tipos de solo, especialmente os mais finos. Assim, é necessário o desenvolvimento de uma linha de emulsões especiais para conseguir as condições necessárias de impermeabilização, coesão superficial e permitir condições de aderência entre a camada de base e de revestimento a ser executado, tão eficiente como as que se conseguem com o ADP.

Durante as décadas de 1990 e 2000, foram desenvolvidos produtos asfálticos especiais modificados com óleos de xisto provenientes da SIX – Petrobras, emulsionados, destinados a revestimentos de pavimentos de baixíssimo volume de tráfego, denominados “tratamento antipó”. Esse produto teve aplicação continuada em várias regiões, especialmente no Paraná, próximo à própria unidade de obtenção do óleo de xisto. Essas experiências de uso desse produto à base de xisto em tratamento antipó foram analisadas, dentro

do programa CTPETRO – Fundo Setorial do Petróleo e Gás Natural, denominada Projeto Antipó, tendo como parceiros a COPPE/UFRJ, a USP, a UFMG, a UFPR e o CENPES. Dentro desse escopo foram desenvolvidas algumas dissertações visando definir as melhores práticas de dosagem e aplicação desse produto, incluindo propostas de análise da penetração no solo, tais como Dantas Neto (2001), Castro (2003), Duque Neto (2004).

Na tentativa de amenizar os impactos ambientais causados pela utilização de materiais potencialmente poluidores, e, ao mesmo tempo, buscar emulsões que cumpram o mesmo papel dos asfaltos diluídos de petróleo, foi lançada, recentemente, no mercado rodoviário brasileiro, uma emulsão asfáltica para aplicação em serviços de imprimação, sob a denominação CM ECO XISTO, cuja base de formulação se iniciou com o estudo já referido do produto de xisto para tratamento antipó.

O CM Eco Xisto é um produto composto com frações do óleo de xisto, especialmente formulado para imprimação de superfícies de bases concluídas, sendo aplicado antes da execução de um revestimento betuminoso qualquer como acontece no caso do asfalto diluído. Seu objetivo também é aumentar a coesão superficial e impermeabilizar a base, além de promover aderência entre a base e o revestimento. Apesar da sigla CM trata-se de um produto emulsionado.

Nesse contexto se insere a presente pesquisa que teve por objetivo principal estabelecer um processo de avaliação do desempenho em laboratório de uma emulsão de imprimação em comparação aos requisitos geralmente aceitos para o serviço tradicional com asfalto diluído de petróleo. Maiores detalhes podem ser vistos em Ramalho (2011).

Para alcançar esse objetivo, foram realizados vários procedimentos:

- avaliação do comportamento de uma emulsão asfáltica à base de óleo de xisto própria para o serviço de imprimação de base granular no que se refere à penetração comparativamente a um tipo de ADP (CM-30), utilizando uma metodologia baseada em Villibor (1981);
- testes com três tipos distintos de solo (arenoso, argiloso e laterítico), encontrados facilmente no estado de Minas Gerais;
- foi utilizada taxa equivalente à do Asfalto Diluído de Petróleo (ADP) para os testes;



- os critérios de análise foram vinculados à quantificação de: penetração no solo, impermeabilização da superfície imprimada, por ensaios de permeabilidade, coesão e aderência entre a base e o revestimento, por meio de ensaio de arrancamento inicialmente proposto por Pereira (2002) para estudo de geotêxteis.

A pesquisa foi realizada em um laboratório do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER/MG).

2 MATERIAIS ASFÁLTICOS EMPREGADOS NA IMPRIMAÇÃO EM LABORATÓRIO

A emulsão de imprimação estudada é uma emulsão asfáltica à base de óleo de xisto, fornecida pela empre-

sa produtora, especialmente formulada para a aplicação em imprimação de bases granulares compactadas, de nome comercial CM Eco Xisto.

Os ensaios da emulsão foram realizados no laboratório do Departamento de Apoio Tecnológico da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro (DAT) com apoio da COPPE/UFRJ e na empresa Compasa do Brasil – Asfalto e Serviços, Curitiba – PR. As especificações da emulsão de imprimação do fabricante são apresentadas na tabela 1 e os resultados dos ensaios de caracterização de duas amostras da emulsão com óleo de xisto estão resumidos nas tabelas 2 e 3, feitos em dois laboratórios distintos. Na tabela 4 estão os resultados da caracterização de uma amostra do ADP usado nesta pesquisa.

Tabela 1: Especificação do CM Eco Xisto (Icomcel, 2009)

MÉTODOS DE ENSAIOS ABNT	ENSAIOS	ESPECIFICAÇÕES CM Eco Xisto
NBR 14491	Viscosidade Saybolt Furol, segundos. 25°C 50°C	18 – 30 12 – 20
NBR 14376	Resíduo por destilação, % mínima.	50
NBR 14393	Peneiração, peneira, % em peso máximo.	0,1
NBR 6570	Sedimentação, 5 dias em peso, máx.	5

Tabela 2: Resultados dos ensaios da amostra de emulsão com óleo de xisto feitos na DAT – Prefeitura do Rio de Janeiro (2010)

Métodos	Ensaio	Unidade	Valor especificado para emulsão convencional		Resultados
			Mínimo	Máximo	
NBR 14393	Peneiração, peneira % em peso máximo	%, peso	-	0,1	0,00
NBR 6569	Desemulsibilidade	%	-	=	0,02
NBR 6299	pH	-	-	=	3,51
NBR 14491	Viscosidade Saybolt Furol, 50°C	S	-	30,0	14,0

Tabela 3: Resultados dos ensaios da amostra de emulsão com óleo de xisto feitos na Compasa do Brasil Asfaltos e Serviços, PR (2010)

Métodos	Ensaio	Unidade	Valor especificado pelo fabricante		Resultados
			Mínimo	Máximo	
NBR 6567	Carga da partícula	-	Positiva	-	Positiva
NBR 14491	Viscosidade Saybolt Furol, 50°C	S	-	30,0	14,0
NBR 14376	Resíduo da emulsão	%	50,0	-	51,8
NBR 14393	Peneiração, peneira % em peso máximo	%, Peso	-	0,1	0,02
NBR 6570	Sedimentação, 5 dias	%	-	5,0	2,6



Tabela 4: Especificações do CM 30 e resultados da amostra de ADP deste estudo, feitos na Solocap (2011)

Métodos	Ensaio	Unidade	Valores especificados		Resultados
			Mínimo	Máximo	
NBR 14491	Viscosidade S. Furol 25°C	SSF	75	150	120,2
NBR 11341	Ponto de fulgor	C°	> 50	-	64
NBR 6568	Resíduo de destilação	%	> 50	-	56,6

No controle de qualidade do material betuminoso em suas obras, o DER/MG exige dois ensaios para o asfalto diluído de petróleo (ADP CM-30) segundo a recomendação técnica de recebimento de materiais betuminosos no local da obra RT-02.38:

- um ensaio de viscosidade Saybolt Furol a 50°C e a 25°C (ABNT NBR 14491/2007);
- um ensaio de ponto de fulgor (DNIT-ME 148/ABNT NBR 11341).

3 SOLOS

Para as três amostras de solo escolhidos para esta pesquisa, representando tipos encontrados no estado de Minas Gerais (arenoso, cascalho de quartzo argiloso e laterítico), foram feitos ensaios convencionais para a caracterização geotécnica: granulometria, compactação CBR, expansão e limites de Atterberg. Para a classificação dos solos foi utilizado o sistema HRB (Highway Research Board) ou TRB (Transportation Research Board).

A compactação dos três solos utilizados neste estudo foi executada em três teores de umidades (hot – 1%, hot, e hot + 1%), para que as imprimções com o ADP CM 30 e a emulsão com xisto fossem testadas nessas condições, na energia intermodificada. Essa energia corresponde a 44 golpes por camada no cilindro Proctor e 5 camadas, e é usualmente empregada pelo DER/

MG em obras de pavimentação para base de baixo volume de tráfego. Foi adotada a energia de compactação do Proctor Intermodificado para moldar os corpos de prova, com o objetivo principal de promover a diminuição dos vazios do solo e dificultar a percolação da água e da imprimação entre os grãos.

Atendendo à recomendação técnica TR 0-46d do DER/MG, foram aplicados os seguintes métodos:

- granulometria por peneiramento (DNER-ME 080/94);
- limite de Atterberg (DNER-ME 082/94; DNER-ME-122/94);
- ensaio de compactação e índice de suporte Califórnia (DNER – ME 49-94);
- densidade real dos grãos finos (DNER-ME 093/94);
- análise granulométrica de solos por sedimentação (DNER 080/94);
- equivalente de areia (DNER-ME 54/94).

Na tabela 5 mostram-se os resultados dos ensaios de caracterização dos três solos em estudo, do Índice Suporte Califórnia (ISC) e na tabela 6, a composição granulométrica, ensaiada no laboratório do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER/MG).

Tabela 5: Características básicas das amostras de solo deste estudo

Solos	Amostra	LL	IP	IG	CLAS.	Golpes	Hot.	Massa esp.	Exp.	ISC
							%	kg/m ³	%	%
Solo laterítico	A1	NL	NP	0	A-1 a	44	7,7	2150	0,02	105
	A2	NL	NP	0	A-2-4	44	7,5	2140	0,02	250
Solo arenoso	B	NL	NP	2	A-4	44	8,1	2105	0,08	89,4
Cascalho de quartzo argiloso	C	51,2	19,9	0	A-2-7	44	8,3	2049	0,02	95





Tabela 6: Composição granulométrica (%) das amostras de solo deste estudo, peneiramento e sedimentação

Amostras	Designação	Composição Granulométrica (%)					
		Argila	Silte	Areia			Pedregulho
				Fina	Média	Grossa	
Solo Laterítico	A1	7	4,8	14,8	-	3,2	70,2
	A2	8	2	23,6	-	2,7	63,7
Solo Arenoso	B	12,2	23,8	64,0%	-	-	-
Cascalho Q.Argiloso	C	10,5	3,5	3,5	-	3,0	79,5

Devido à granulometria da amostra C (79,5% de pedregulho 3,0% de areia grossa, 3,5% de areia fina), com frações pouco significativas de silte e argila, esse solo foi classificado pela HRB como A-2-7 e definido como cascalho de quartzo. No entanto, durante a compactação foi percebida mudança significativa da granulometria (Ramalho, 2011), daí passar a ser designado como “argiloso” neste trabalho.

4 ENSAIO DE IMPRIMAÇÃO

Os ensaios de imprimação em laboratório foram realizados com o objetivo de se estudar comparativamente o comportamento do asfalto diluído de petróleo (CM 30) e da emulsão de imprimação, conforme já citado. Foi elaborado um método de imprimação em laboratório, baseado nos programas “Básico e Complementar” desenvolvidos por Villibor (1981). Na definição de algumas condições de aplicação dos materiais asfálticos, foi utilizada a norma rodoviária DNIT-ES 144/2010 (Pavimentação – Imprimação).

5 MOLDAGENS NO LABORATÓRIO

Para avaliar os resultados dos ensaios de imprimação foram moldados corpos de prova no cilindro Proctor e na energia Intermodificada, para os três solos deste estudo. Esses solos foram estudados para utilização em camada de base de pavimento rodoviário de baixo a médio volume de tráfego em obras do DER/MG.

Os ensaios de imprimação em laboratório foram divididos em duas fases: a primeira para se conhecer a taxa de ligante com variação de umidade dos solos, e a segunda para a determinação das espessuras já com a taxa de imprimação definida, como mostra a figura 1.

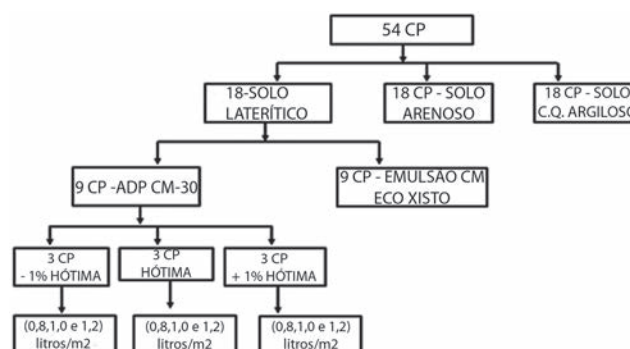


Figura 1: Esquema da determinação da taxa de imprimação usada neste estudo

Para a fase de Determinação da Taxa de Imprimação foram feitos os seguintes passos:

- foram moldados 54 corpos de prova, com distribuição de 18 corpos de prova para cada solo (laterítico, arenoso e cascalho de quartzo argiloso);
- dos 18 corpos de prova para cada solo, nove foram imprimados com a emulsão com xisto e os outros nove o foram com o CM 30;
- nos nove corpos de prova de cada solo para cada produto a ser imprimado, foram testadas três taxas de aplicação (0,8; 1,0 e 1,2 litro/m²) para cada teor de umidade (hot - 1%, hot, e hot + 1%);
- os corpos de prova foram extraídos dos moldes em um extrator mecânico manual, foram parafinados nas laterais exceto na área a ser imprimada e colocados em repouso por 24 horas. Nessa fase houve certa dificuldade na hora de parafinar os corpos de prova, necessitando muito cuidado nessa execução. Muitas vezes foi necessário moldar outros corpos de prova;
- aplicava-se a taxa prevista de imprimação com auxílio de uma pistola de pressão utilizada em serviços de pintura jateada, de modo a obter uma aplicação uniforme dos materiais asfálticos sobre os corpos de prova compactados;





- a quantidade de material betuminoso aplicado nos corpos de prova foi calculada de acordo com a área de aplicação do mesmo e das taxas testadas (0,8, 1,0 e 1,2 litro/m²);
- foi utilizada uma balança eletrônica digital com precisão de 0,01 g e com capacidade máxima de 10 quilos, para o controle da taxa de aplicação;
- os corpos de prova foram deixados em repouso na temperatura ambiente, por um período de 48 horas após a realização da imprimação. Esse foi o período estabelecido para que ocorresse a penetração da imprimação e para se observar a cura do CM-30, e a ruptura da emulsão de imprimação correspondente à execução da imprimação na primeira fase;
- após o período de 48 horas, visualmente foi observada a interação dos materiais betuminosos como os solos em estudo, a quantidade de material betuminoso na superfície dos corpos de prova, verificação da coesão e penetração, definindo a taxa de imprimação.

Na segunda fase dos ensaios, foram moldados 36 corpos de prova: 12 corpos de prova para cada tipo de solo, sendo que para cada tipo de solo seis corpos de prova foram moldados e imprimados com CM-30 e seis corpos de prova foram moldados e imprimados com a emulsão de imprimação para cada solo. Para cada tipo de imprimação três corpos de prova foram moldados e imprimados com 15 minutos após a compactação e três corpos de prova com moldados e imprimados com 24 horas após a

compactação. Utilizou-se a taxa de aplicação de 1,0 litro/m², definida na primeira fase, para os dois li-gantes, para cada tipo de solo e para os três teores de umidade (hot – 1%, hot, e hot + 1%), como mos-tra a figura 2.

Após a compactação, os corpos de prova foram re-tirados dos moldes e parafinados, exceto na área a ser imprimada, ou seja, na superfície superior. Fo-ram adotados dois tempos para se executar a im-primação: 15 minutos e 24 horas após moldagem dos corpos de prova. O tempo de repouso após a realização da imprimação foi um período 48 horas, estabelecido para garantir que ocorresse a penetra-ção e que se observasse a cura do CM-30, e a ruptu-ra da emulsão, que ocorrem para as duas formas de execução da imprimação nessa fase. Após o período definido, os corpos de prova foram submetidos ao rompimento para a determinação da espessura de penetração da imprimação em relação às umidades de compactação. A espessura de penetração é dada pela média de cinco medidas realizadas nos pedaços do corpo de prova com a utilização de um paquíme-tro digital.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS PENETRAÇÕES

Os ensaios de imprimação nos três tipos de solo com as aplicações da emulsão de imprimação e do asfal-to diluído de petróleo CM 30 foram realizados com o mesmo tempo de ruptura e cura de 48 horas após a imprimação, e por rompimento dos corpos de prova posteriormente, foram verificadas as espessuras de penetrações.

Os resultados analisados em conjunto apresentados a seguir na tabela 7, representam corpos de prova que foram compactados na energia do Proctor intermodifi-cada, com variação dos teores de umidade hot-1%, hot e hot+1% e imprimados à taxa de 1,0 l/m².

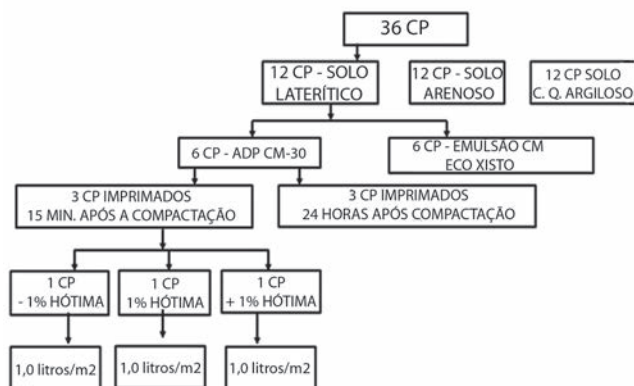


Figura 2: Esquema da determinação da penetração da imprimação usada neste estudo



Tabela 7 – Resultados das penetrações do ADP e da emulsão usadas neste trabalho (Ramalho 2011)

PENETRAÇÃO (mm)			
Umidade	Solo laterítico	Solo arenoso	Solo argiloso
Imprimação com emulsão com xisto com 15 minutos após a compactação			
Umidade ótima -1%	7,28	6,32	8,34
Umidade ótima	7,24	8,02	9,28
Umidade ótima +1%	7,06	5,24	11,6
Imprimação com ADP com 15 minutos após a compactação			
Umidade ótima -1%	11,6	9,22	9,72
Umidade ótima	11,6	10,66	9,26
Umidade ótima +1%	11,9	10,9	12,0
Imprimação com emulsão com xisto com 24 horas após a compactação			
Umidade ótima -1%	5,8	4,6	8,92
Umidade ótima	6,02	5,48	7,14
Umidade ótima +1%	4,3	5,02	9,02
Imprimação com ADP com 24 horas após a compactação			
Umidade ótima -1%	9,6	9,48	14,34
Umidade ótima	7,2	9,2	12,66
Umidade ótima +1%	5,8	9,6	14,44

São comparados os resultados de penetrações da emulsão de imprimação e o asfalto diluído de petróleo CM 30, nos três tipos de solos nas seguintes situações:

1. espessura de penetração com solo imprimado em relação aos tempos de secagens dos corpos de prova preestabelecidos de 15 minutos e 24 horas após a compactação para os teores de umidade;
2. espessura de penetração com solo imprimado em relação ao tempo de secagem dos corpos de prova preestabelecido de 15 minutos após a compactação para os dois ligantes;
3. espessura de penetração com solo imprimado em relação ao tempo de secagem dos corpos de prova preestabelecido com 24 horas após a compactação para os dois ligantes.

Analisando a primeira situação da espessura de penetração em relação aos tempos de secagens de 15 minutos e 24 horas pós-compactação, para as três umidades, tabela 7, vê-se que a média dos valores das penetrações para o **solo laterítico**, com a emulsão com 15 minutos tendeu a se manter constante. Também se vê que são superiores aos da imprimação de 24 horas. Essa situação era esperada, tendo em vista as características do solo, com espaços pequenos entre partículas finas. A secagem superficial maior promovida pelas 24 horas pós-compactação pode induzir a penetração

antecipada da água da emulsão no solo o que faz com que as partículas da emulsão penetrem menos causando ruptura precoce. Na imprimação com emulsão com 15 minutos ainda não houve secagem superficial suficiente, e a emulsão irá penetrar à medida que o solo for secando gradativamente até ocorrer a sua ruptura.

Para a imprimação com o ADP a penetração no solo laterítico ficou constante e elevada com 15 minutos pós-compactação, tabela 7, mesmo com pouca secagem na superfície do corpo de prova, levando-se em consideração o tipo de diluente (querosene), houve penetração conjunta com a secagem. Já para a imprimação em 24 horas pós-compactação, com a secagem maior da superfície dos corpos de prova, os teores de umidades de compactação foram determinantes na penetração do CM 30. A tendência da redução das espessuras de penetração era esperada, visto que o diluente do CM 30 tende a penetrar e evaporar mais rápido no material mais seco.

No **solo arenoso** as espessuras médias de penetração da emulsão nas três umidades e nas condições de imprimação com 15 e 24 horas pós-compactação, tabela 7, mostram que as penetrações caíram visivelmente com o aumento e com a diminuição do teor de umidade



em torno da ótima. Essa tendência de redução dos valores das penetrações é mais sentida nos solos de textura mais fechada ou visivelmente finos, segundo Dantas (1959). Como esse solo tem composição granulométrica de 64% de areia fina, 23% de silte e 12,2% de argila, retém alguma umidade devido ao silte e argila, com tendência a dificultar a penetração do resíduo asfáltico, considerando a água da emulsão. As espessuras foram sempre maiores com imprimação após 15 minutos. Já as imprimações com 15 minutos e 24 horas pós-compactação com o CM 30, as médias das penetrações foram mais espessas em ambos os tempos em relação à emulsão, devido à secagem superficial do corpo de prova, ao diluente e a viscosidade do ADP. A influência do teor de umidade também foi diferente nesse caso, e crescente com a umidade.

Na análise da superfície das duas imprimações com a emulsão de imprimação, com 15 minutos e 24 horas pós-compactação, visivelmente, ambas apresentam boa interação na relação solo/emulsão, formando uma película mais consistente em suas superfícies, ao contrário das imprimadas com o ADP CM 30 no solo arenoso.

No **solo cascalho de quartzo argiloso** os resultados apresentados na tabela 7 mostram as espessuras médias de penetração deste estudo em três condições de umidade e nas condições de imprimação com 15 e 24 horas pós-compactação, com a emulsão e com o ADP, com penetrações altas, devido à quebra significativa dos grãos pela energia de compactação adotada, resultando em mudança da faixa granulométrica, tornando a textura superficial mais aberta, mas sem muita presença de argila propriamente.

Essa análise confirma os estudos realizados por Villibor, Nogami e Fabbri (1989), que revelaram que a penetração da imprimação é maior nos solos com menor porcentagem de argila, inferindo-se que depende do tipo de fino existente no solo. Tal inferência é justificada por Dantas (1959) ao afirmar que a penetração de uma imprimação betuminosa é mais difícil de ser obtida em bases de propriedades coesivas.

Na segunda situação analisam-se todos os solos e a espessura de penetração com imprimação com 15 minutos após a compactação, com os dois produtos

asfálticos. Constatou-se que nos três solos estudados neste trabalho, as espessuras das penetrações com a utilização da emulsão ficaram menores que as com o asfalto diluído de petróleo. Essa constatação pode ser vista de forma geral na tabela 7.

Na terceira situação, com imprimação com 24 horas após a compactação, com os dois produtos asfálticos, constatou-se também que, para os três solos deste trabalho, as espessuras da penetração com a emulsão ficaram menores do que aquelas com ADP, conforme resultados apresentados na tabela 7. Isso mostra que os diluentes dos produtos betuminosos aplicados na imprimação foram determinantes para essas espessuras de penetração. No entanto, as penetrações observadas para a emulsão são todas de espessuras aceitáveis na prática da técnica de imprimação. Por exemplo, Villibor (1981) sugere intervalo admissível de penetração entre 4 e 13 mm, e também na nova especificação de emulsões asfálticas brasileiras, que inclui emulsão para imprimação (IBP, 2010).

Considerando a utilização da mesma taxa de 1,0 l/m² de imprimação para os dois produtos betuminosos em estudo, vale ressaltar que os resultados apresentados na tabela 3 e tabela 4, referentes ao ensaio de resíduo do ADP (56,6%) e da emulsão (51,8%), mostraram-se bem próximos na quantidade de asfalto em suas composições. Portanto, o resíduo asfáltico disponível para formar a película imprimada é semelhante nos dois produtos.

7 ENSAIO DE ADERÊNCIA

Com o objetivo de se estudar comparativamente o comportamento do ADP e da emulsão de xisto, foi buscado um método de teste da imprimação em laboratório, que permitisse avaliar a aderência da camada imprimada. O método escolhido foi baseado na pesquisa realizada por Pereira (2002), que propôs um ensaio de campo para avaliação da aderência de geotêxteis às camadas do pavimento em sua pesquisa.

Para avaliar os resultados dos ensaios de aderência foram confeccionadas seis bandejas de chapa de ferro com espessura mínima de três milímetros, e dimensões de 0,30 ´ 0,30 ´ 0,07 metro. As compactações dos corpos de prova dentro dessa bandeja foram execu-



tadas em duas camadas prensadas sob carga de uma tonelada em cada, em uma prensa hidráulica modelo EVA com capacidade máxima de 100 toneladas, para os solos deste estudo.

Os ensaios de aderência em laboratório foram realizados em duas fases: na primeira foi feita a imprimação com emulsão ou com ADP, para cada solo, na taxa de aplicação de 1,0 litro/m² e no teor de umidade ótima. Na segunda, cada corpo de prova foi submetido à colagem das placas e ao procedimento do ensaio de aderência propriamente dito com o equipamento Di-pea. Na Figura 3 mostram-se os passos desse ensaio e o equipamento necessário para promover o arrancamento da parte imprimada da amostra. Na tabela 8 estão apresentados os resultados desse ensaio que permitiu comparar a efetividade dos dois produtos testados na promoção da aderência da camada imprimada.

As bandejas com as amostras imprimadas foram deixadas em repouso ao ar livre, por 48 horas após a realização da imprimação, período estabelecido para a penetração da imprimação e para a cura do CM 30, ou a ruptura da emulsão de imprimação, na chamada primeira fase do ensaio de aderência.



Figura 3: Passos do procedimento do ensaio de aderência deste estudo

Tabela 8: Resumo do ensaio de aderência dos solos em estudo.

Solo	Placas	Aderência Nm	Espessura arrancamento – Média (mm)	Temperatura ambiente
Imprimação com emulsão de xisto				
Laterítico	1; 2; 3	1,3; 1,2; 0,9	8,3; 10,7; 8,7	26°C
Arenoso	1; 2; 3	0,5; 0,4; 0,3	7; 7; 8	24°C
Cascalho de quartzo argiloso	1; 2; 3	0,5; 0,3; 0,3	12,7; 12,7; 11,3	26°C
Imprimação com ADP				
Laterítico	1; 2; 3	1,0; 1,4; 1,8	14; 14,7; 10,7	26°C
Arenoso	1; 2; 3	0,3; 0,3; 0,3	8,3; 9; 9,7	24°C
Cascalho de quartzo argiloso	1; 2; 3	0,5; 0,3; 0,3	14,7; 10,7; 11,3	26°C

A tabela 8 apresenta os resultados das imprimações realizadas com a emulsão e o ADP nos três solos em estudo: espessuras das penetrações após o arrancamento, a aderência para cada placa arrancada e a temperatura na hora da execução do ensaio. Para a utilização da emulsão e do ADP na imprimação, nos três solos em estudo e nas mesmas condições de execução do ensaio de aderência, foi possível verificar que:

- a espessura de arrancamento, nas três placas para cada solo, foi menor quando imprimadas com a emulsão, e confirmam as espessuras de penetração observadas no ensaio de imprimação;
- a aderência medida para cada solo em estudo, imprimados com os dois produtos betuminosos, foi similar.

- a espessura de arrancamento, nas três placas para cada solo, foi menor quando imprimadas com a emulsão, e confirmam as espessuras de penetração observadas no ensaio de imprimação;
- a aderência medida para cada solo em estudo, imprimados com os dois produtos betuminosos, foi similar.

8 ENSAIO DE PERMEABILIDADE

A permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento de água. Todos os solos são mais ou menos permeáveis. O conhecimento do valor da permeabilidade é muito importante em várias





obras de engenharia, inclusive em pavimentos. Graves problemas de construção estão relacionados com a presença da água. O conhecimento da permeabilidade dos materiais e de sua variação ao longo do tempo ou das condições construtivas é necessário para a resolução de vários desses problemas (Daniel, 1994).

No caso presente, há sempre a expectativa de que a imprimação funcione também como uma forma de diminuir a entrada de água na base de um pavimento. Portanto, fez-se uma avaliação relativa da medida da entrada de água pela superfície de corpos de prova preparados com e sem imprimação, sem pretensão de discussão de todas as possíveis variações das características das várias formas de medida da permeabilidade propriamente dita. Escolheu-se uma forma de ensaio disponível no laboratório do DER/MG capaz de fazer essa comparação sem grandes ajustes. Assim, foram preparados corpos de prova dos três materiais como uma forma de avaliar a efetividade da imprimação, que tem como um dos seus objetivos tornar a base menos permeável à água. Como todos os ensaios foram executados sob as mesmas condições e em temperaturas semelhantes, não houve correção de viscosidade da água nem se considerou a viscosidade do resíduo asfáltico aderido ao solo após a imprimação e cura.

Foi utilizado para essa avaliação um permeâmetro de carga variável para determinar um coeficiente de permeabilidade “K”, relativo em cada caso, como uma medida se a drenabilidade do solo se modifica pela película de resíduo asfáltico presente na superfície, e se também muda dependendo de qual material foi usado para formá-la. Para executar o ensaio de permeabilidade de carga variável é estabelecido um gradiente hidráulico e em seguida passa-se à percolação d’água, anotando-se para intervalos de tempos iguais os volumes escoados, assim como as temperaturas. Faz-se uma série dessas anotações, e a média obtida dessas leituras será o resultado. Admite-se que esse valor represente a “permeabilidade” relativa de uma base executada com ou sem imprimação.

Para comparar o comportamento do ADP e da emulsão na imprimação dos três solos deste trabalho, foram assim realizados procedimentos (baseado em Engesolos, 1985) com a seguinte sequência: execução do ensaio de permeabilidade de um corpo de prova sem imprimação para cada solo e do ensaio de permeabilidade

de dois corpos de prova imprimados com a emulsão e com o CM 30, para cada solo desta pesquisa, na taxa de aplicação de 1,0 litro/m² e teor de umidade ótima. Os corpos de prova foram moldados no cilindro Proctor, na energia intermodificada e no teor de umidade ótima de cada um dos solos do estudo. No ensaio de permeabilidade, os corpos de prova de cada solo puro foram deixados em repouso durante 24 horas após a moldagem. Os corpos de prova imprimados foram deixados em repouso na temperatura ambiente, por um período de 48 horas após a realização da imprimação.

Para ilustrar a execução do ensaio de permeabilidade deste estudo, são mostradas algumas etapas do ensaio com os corpos de prova sem imprimação na sequência de fotos da figura 4. Os resultados comparativos do ensaio de permeabilidade para cada tipo de solo, puro e imprimado com a emulsão e com o ADP estão indicados na tabela 9, a seguir.

Os resultados apresentados na tabela 9 mostram que para o solo laterítico, a permeabilidade utilizando a emulsão foi superior à permeabilidade com o ADP, mas ambas são menores que a do solo puro. Para o solo arenoso, as permeabilidades dos corpos de prova imprimados ficaram menores, mas com diferença menor em relação ao material puro. Já para o solo cascalho de quartzo argiloso, a permeabilidade utilizando o ADP foi superior à permeabilidade com utilização da emulsão, mas ambas foram significativamente menores do que a do solo puro. Portanto, diminuiu-se a capacidade de “infiltrabilidade” de água em dois dos materiais estudados de forma mais efetiva e menos em um.



Figura 4: Procedimentos do ensaio de permeabilidade realizado neste estudo



Tabela 9: Valores comparativos de permeabilidade com emulsão com xisto e com ADP

Amostras	Constante de permeabilidade – K		
	Puro	Emulsão com xisto	ADP
Condição do ensaio			
Laterítico	$4,64 \times 10^{-5}$ cm/s	$8,63 \times 10^{-6}$ cm/s	$3,72 \times 10^{-6}$ cm/s
Arenoso	$2,22 \times 10^{-5}$ cm/s	$4,76 \times 10^{-5}$ cm/s	$7,09 \times 10^{-5}$ cm/s
Cascalho de quartzo argiloso	$7,89 \times 10^{-5}$ cm/s	$1,53 \times 10^{-6}$ cm/s	$6,81 \times 10^{-6}$ cm/s

9 CONCLUSÃO

Com base no que foi mostrado neste trabalho, conclui-se que, nas mesmas condições de aplicação do asfalto diluído, a emulsão de imprimação estudada apresentou resultados satisfatórios para os solos testados. Conclui-se também que capacidade de penetração está ligada à secagem superficial do solo compactado. Os resultados da espessura de penetração nos corpos de prova dos solos (laterítico e arenoso) imprimados com a emulsão com 24 horas pós-compactação foram menores que as espessuras com 15 minutos pós-compactação.

É perceptível que a penetração está ligada à textura superficial do solo compactado. Nos corpos de prova do solo cascalho de quartzo argiloso observou-se que

a textura superficial ficou mais aberta que nos corpos de prova com os outros dois solos (laterítico e arenoso). Isso possibilitou maior penetração, levando-se em consideração a aplicação da emulsão e do asfalto diluído de petróleo na temperatura ambiente e a quantidade de resíduos dos dois materiais na mesma ordem de grandeza.

No ensaio de imprimação desenvolvido por Villibor (1981) e na proposição do IBP (2010) sobre a utilização das emulsões na pavimentação e em especial para a imprimação de base granular, enviada à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a faixa de penetração aceitável é de 4 a 13 mm. Essas faixas foram atendidas com utilização da emulsão de imprimação para três solos bem distintos.

REFERÊNCIAS

- BERNUCCI, L.; MOTTA, L. M. G; CERATTI, J. A. P; SOARES, J. B. *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. 2ª ed., Rio de Janeiro: PETROBRAS e ABEDA, 2008.
- CASTRO, C. A. A. *Estudo da Técnica de Antipó Com emulsão de Xisto em Pavimentos para Baixo volume de Tráfego*. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Civil. COOPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2003. 88p.
- DANIEL, D. E. *State-Of The art: Laboratory Hydraulic Conductive Test for Saturated Soils. Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil*. Philadelphia, ASTM STP 1142, 1994, p. 30-78.
- DANTAS, J. M. *Tratamento Contra o Pó, Imprimações, Pinturas de Ligação, Tratamentos Superficiais, Macadames betuminosos*. Curso de Especialização Rodoviária, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1959.
- DANTAS NETO, S. A. *Materiais Asfálticos para Uso em Pavimentação*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília, DF, 2001.
- DNER ES 306/97. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Norma Rodoviária, Especificação de serviço – Pavimentação / Imprimação. 1997. Disponível em www.dnit.gov.br/ipr_new/download_normas.htm. Acesso em: 5 ago. 2009.
- DNIT ES 144/2010. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Pavimentação asfáltica – Imprimação, Especificação de Serviço*. 2010. Disponível em www.dnit.gov.br/ipr_new/download_normas.htm. Acesso em: 10 nov. 2010.

DUQUE NETO, F. *Proposição de metodologia para escolha de solo e dosagem de Antipó com emulsão de xisto*. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. 139p..

ENGESOLOS. Ensaio Rotineiros. *Manual de Laboratório de Solos*. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Engesolos Ltda, 1985.

IBP. Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. *Proposição à ANP de nova especificação de emulsões asfálticas para pavimentação*. 2010.

INCOMCEL COMÉRCIO E REPRESENTAÇÃO LTDA. Histórico da Industrialização do Xisto. 2009. Disponível em: www.cmecoxisto.com.br. Acesso em 17 nov. 2009.

LOGARAJ, S. "Camada de base (Prime - Coat) sem solvente". *Revista O ASFALTO*. 5ª ed. Publicação Bimestral – maio/junho. IBP, 2009.

PEREIRA, A. S. *Utilização de Geotêxtil em Reforço de Pavimentos Aplicado em Um trecho Experimental*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

RAMALHO, R. W. *Avaliação em laboratório da utilização de emulsão com óleo de xisto na imprimação de solos*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 2011.

VILLIBOR, D. F. *Pavimentos econômicos*. Normas Considerações. Tese de Doutorado. Departamento de vias e transporte e Topografia. Escola de Engenharia de São Carlos USP. São Paulo, Brasil, 1981. Roner Walisson Ramalho



ARTIGO TÉCNICO

Considerações sobre o Dimensionamento Hidráulico de Pavimentos Permeáveis

Liliane L. C. Alves Pinto

Doutora pela Escola Politécnica da USP.
E-mail: rlap@uol.com.br

Carlos Yukio Suzuki

Professor Doutor da Escola Politécnica da USP.
E-mail: suzuki@planservi.com.br

Liedi Bernucci

Professora Livre Docente da Escola Politécnica da USP.
E-mail: liedi@usp.br

Afonso Virgillis

Mestre pela Escola Politécnica USP.
E-mail: avirgiliis@prefeitura.sp.gov.br

Rafael Batezini

Mestrando pela Escola Politécnica da USP.
E-mail: rafael.batezini@planservi.com.br

RESUMO

Além da função precípua de suportar as cargas de tráfego, o pavimento permeável tem sido cogitado atualmente como uma alternativa tecnológica sustentável, visando principalmente o gerenciamento de cheias. Conceitualmente, o pavimento permeável difere daqueles tradicionais, uma vez que o mesmo permite infiltração da água através de um revestimento poroso, retardando e minimizando desta forma o volume de escoamento superficial, o qual, muitas vezes, é responsável pelas frequentes inundações nas cidades. Além da drenagem superficial, os pavimentos permeáveis melhoram as condições de atrito pneu-pavimento, reduzem a ocorrência de *spray* em pista e diminuem a propagação de ruído, apresentando-se como uma solução alternativa interessante do ponto de vista ambiental e de segurança viária. Apesar das vantagens apontadas, o pavimento permeável apresenta algumas limitações quanto a sua utilização, devendo ser devidamente concebido e projetado, caso contrário os desempenhos funcional e estrutural do sistema poderão ficar comprometidos. As principais desvantagens desta tecnologia são: a falta de experiência em termos de projeto e execução das estruturas, a possibilidade de colmatção do revestimento, o risco de contaminação do lençol freático, a ruptura mecânica da estrutura pela má convivência com a água, a possibilidade do reservatório se tornar uma fonte de criação de fungos e bactérias e, conseqüentemente, a ineficiência hidráulica do dispositivo quando este não for devidamente projetado e executado. O objetivo deste trabalho é apresentar alguns procedimentos de cálculo comumente adotados e os principais aspectos a serem considerados no dimensionamento hidráulico desses pavimentos.

Palavras-chave: Pavimentos Sustentáveis, Pavimento Permeável, Dimensionamento Hidráulico, Controle de Cheias.

ABSTRACT

In addition to the primary function of supporting traffic loads, permeable pavements currently have been considered a sustainable technological alternative aimed mostly at flood management. Conceptually, the permeable pavement differs from the traditional ones once it allows water infiltration through the porous surface course, delaying and thus minimizing the amount of runoff, which is often responsible for frequent floods in cities. Besides to surface drainage, permeable pavements improve the conditions of tire-pavement friction, reduce *spray* and decrease noise spread, providing an interesting alternative for both, environmental and road safety. Despite numerous advantages pointed, the permeable pavement has some limitations including the need to be properly designed and planned, otherwise the functional and structural performance of the system may be compromised. The main disadvantages of this technology is the lack of experience design and structures implementation, the possibility of clogging the wearing course, the risk of groundwater contamination, the mechanical distress of the structure due its poor interaction with water, the possibility that the reservoir becomes a source of fungi and bacteria creation, and consequently hydraulic inefficiency of the device when it is not properly designed. The objective of this work is to present some procedures commonly adopted to design these structures and the main aspects to be considered in the hydraulic analysis of these pavements.

Keywords: Sustainable Pavements, Permeable Pavement, Hydraulic Design, Flood Control.



I INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o sistema de drenagem superficial urbano tem sido desenvolvido com o objetivo de retirar o mais rápido possível as águas precipitadas das áreas pavimentadas de interesse e lançá-las em pontos adequados a jusante.

As soluções comumente adotadas, na maioria das vezes aumentando-se a velocidade de escoamento, simplesmente transferem o problema da inundação de um local para outro, comprometendo as populações a jusante da bacia, reduzindo os benefícios originados pelo sistema implantado.

Em vista das medidas convencionais de pavimentação que vêm sendo empregadas, com o conseqüente aumento das áreas impermeáveis, as inundações têm aumentado em frequência e magnitude, aumentando a ocorrência de erosões, assoreamentos, problemas de produção de lixo e deterioração da qualidade da água. Portanto, é necessário que o meio técnico/científico adote medidas que auxiliem e/ou propiciem a infiltração e o retardo do escoamento superficial direto (ESD). Neste sentido, a utilização dos pavimentos permeáveis, que são dispositivos de acréscimo de infiltração, busca a manutenção das condições de pré-desenvolvimento no âmbito hidrológico. Entretanto, é importante destacar que estes dispositivos atuam na microdrenagem e auxiliam as estruturas de macrodrenagem no controle de cheias.

Pretende-se com a implantação dos pavimentos permeáveis diminuir a frequência de inundações decorrentes de precipitações de curta duração, embora, dependendo dos casos em que os volumes precipitados sejam relativamente elevados, sabe-se que este tipo de solução pode apresentar eficiência reduzida.

Nos pavimentos convencionais, a água de chuva precipitada deve escoar sobre sua superfície e ser retirada o mais rápido possível por um sistema de drenagem superficial. Procura-se sempre evitar que ocorra infiltração pelo revestimento, de tal forma que a água livre não venha a saturar o subleito e as demais camadas subjacentes do pavimento, prejudicando o comportamento mecânico da estrutura.

Para a mitigação dos efeitos da impermeabilização do solo urbano, no sistema de pavimento permeável, além da finalidade de suportar as cargas do tráfego, a estrutura deve funcionar como um reservatório, armazenando temporariamente a água que é deixada

infiltrar propositalmente pelo revestimento drenante. Assim sendo, a camada de base da estrutura deve ser constituída de material granular ou estabilizada com aglomerante hidráulico, apresentando volume de vazios tal qual garanta boa capacidade drenante, elevada resistência mecânica durante o período em que a estrutura permanece na condição saturada e, conseqüentemente, capacidade de reservação de água adequada às características do local de implantação.

Os principais motivos que têm levado à utilização cada vez mais intensa dos pavimentos permeáveis em diversos países são:

- aumento das superfícies impermeáveis devido ao rápido crescimento populacional urbano;
- mudanças climáticas;
- drenagem na superfície de rolamento que evite a formação de poças d'água;
- redução do nível de ruídos ao ser comparado ao pavimento convencional.

As ilustrações da figura 1 mostram o desempenho satisfatório de um pavimento permeável do tipo sem infiltração, durante um evento chuvoso, e a execução do mesmo, a qual é realizada similarmente a um pavimento convencional.



Figura 1- Pavimento permeável com revestimento de concreto poroso asfáltico e blocos de concreto permeável, e detalhes de execução. Fonte: Acervos de Liliane L. C.A Pinto e de Afonso de Virgiliis

O objetivo deste trabalho é apresentar os principais aspectos a serem considerados na concepção dos pavimentos permeáveis e alguns procedimentos que vêm sendo utilizados para o dimensionamento hidráulico dessas estruturas.



2 ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NO PROJETO

O fluxograma mostrado na figura 2 apresenta de maneira esquemática os principais aspectos a serem considerados durante a elaboração de projeto de pavimentos permeáveis.



Figura 2 - Fluxograma de projeto

2.1 FUNÇÃO DO PAVIMENTO

A questão fundamental é verificar qual será a principal função do pavimento, ou seja, se ele tem por finalidade atenuar a vazão de pico das chuvas mais intensas, melhorar a qualidade da água ou proporcionar um reservatório para eventual reutilização da água armazenada. Com base nisso, serão definidas a chuva de projeto (Intensidade, Duração e Frequência - IDF) e as descargas no reservatório para estimativa dos volumes de água a serem retidos ou detidos pelo pavimento.

2.2 TIPOS DE USO

O sistema de pavimento permeável pode ser implantado em diversos locais para os mais diferentes usos, tais como: calçadas, estacionamento de veículos de passeio, vias urbanas para tráfego leve, pátios de armazenamento de containers, entre outros.

Nesse sentido, a concepção do pavimento permeável deverá reter-se, principalmente, ao tipo de uso ou local de implantação do sistema, sendo que a definição dos materiais e espessuras das camadas a serem utilizadas deverá atender concomitantemente aos anseios mecânicos e hidráulicos envolvidos.

2.3 CONDIÇÕES DO SUBLEITO E ESCOLHA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

Do ponto de vista hidráulico o pavimento permeável apresenta poucas limitações. Dentre estas, destaca-se a capacidade de infiltração do subleito, que deve ser uma das primeiras considerações a serem feitas previamente à definição do sistema a ser utilizado.

As características hidrogeotécnicas do material do subleito poderão induzir o tipo de funcionamento da estrutura-reservatório. Caso o subleito apresente material granular ou arenoso, este permitirá “Infiltração Total” da água armazenada. Porém, quando o material for argiloso ou de baixa permeabilidade, este será considerado “Sem Infiltração”, e todo o volume de água deverá ser encaminhado a um sistema de drenagem.

Em situações intermediárias, em que há a ocorrência de solos pouco permeáveis, o reservatório será considerado tipo “Infiltração Parcial”. Neste caso o pavimento é concebido como reservatório de retenção e um tubo de descarga é instalado no fundo do reservatório, sendo que parte da água será infiltrada no subsolo e outra parte será conduzida a uma saída pelo tubo de descarga para o sistema de drenagem.



Os principais parâmetros a serem considerados para a definição de pavimentos sem infiltração são:

- presença de lençol freático a menos de 1,5m de profundidade em relação à cota final do pavimento;
- ocorrência de solo argiloso no subleito com taxa de infiltração inferior a 8 mm/h;
- condições topográficas e geométricas que possibilitem ao reservatório uma espessura mínima de 0,15 cm.

Como principais limitações dos pavimentos permeáveis podem-se citar:

- impacto negativo sobre o lençol freático e o escoamento subterrâneo, quando a água armazenada estiver contaminada;
- ineficiência nos dispositivos de drenagem hidráulica do sistema devido à concepção inadequada, problemas construtivos e falta de manutenção, sendo esta última responsável pela colmatação precoce do revestimento, inabilitando o correto funcionamento do sistema como um todo.

Apresenta-se a seguir na figura 3 o esquema com três possíveis concepções de sistemas de pavimento permeável.

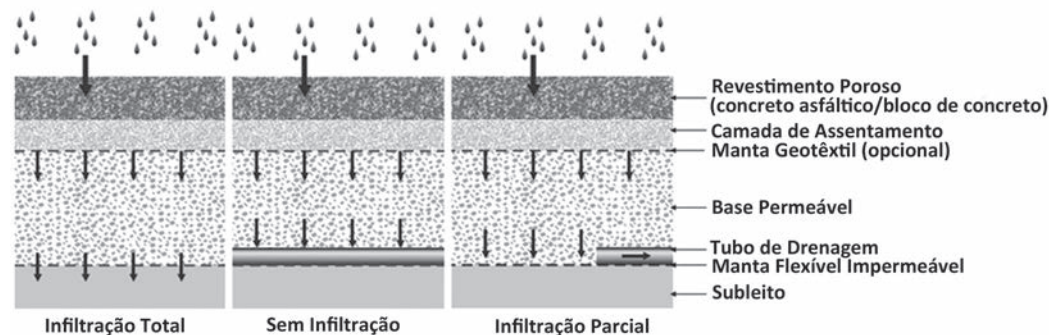


Figura 3 - Tipos de pavimentos permeáveis.

Fonte: Adaptado de Interpave - The Precast Concrete Paving and Kerb Association (2004)

De acordo com o Guia de Projeto, Construção e Manutenção de Pavimentos Permeáveis com Blocos de Concreto da Interpave - *The Precast Concrete Paving and Kerb Association* do Reino Unido, a tabela 1 recomenda o sistema de pavimento permeável apropriado para cada tipo de condição de infiltração do subleito, enquanto a tabela 2 apresenta recomendações do tipo de infiltração em função da classificação do solo.

Tabela 1 - Guia para Seleção do Tipo de Sistema de Infiltração

Características		Sistema de Infiltração		
		Total	Parcial	Sem
Coeficiente de permeabilidade do subleito (cm/s)	$10^{-6} - 10^{-3}$	✓	✓	✓
	$10^{-8} - 10^{-6}$	X	✓	✓
	$10^{-10} - 10^{-8}$	X	X	✓
Presença do lençol freático a menos de 1,0 m		X	X	✓
Presença de poluentes no subleito		X	X	✓

Tabela 2 – Tipo de Infiltração em função da Classificação do Solo

Classificação de Solo	Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)	Valores Típicos de CBR (%)	Tipo de Infiltração
Argila	$10^{-10} - 10^{-8}$	2 - 5	Sem infiltração
Silte argiloso	$10^{-9} - 10^{-8}$	3 - 6	Sem infiltração
Areia argilosa	$10^{-9} - 10^{-6}$	5 - 20	Parcial
Areia mal graduada	$5 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-6}$	10 - 40	Parcial
Areia bem graduada	$5 \cdot 10^{-6} - 10^{-4}$	10 - 40	Total/Parcial
Cascalho arenoso bem graduado	$10^{-9} - 10^{-6}$	30 - 80	Total





Para situações em que não forem utilizadas mantas geotêxteis entre o material mais fino sub ou sobrejacente ao graúdo previsto para constituir a camada reservatório, haverá a necessidade de se prever um material intermediário servindo de filtro para evitar a migração de finos, colmatção dos vazios e eventuais recalques indesejáveis na estrutura.

A fim de evitar a interpenetração dos materiais, os agregados adjacentes deverão apresentar granulometria atendendo aos seguintes critérios:

$$\frac{D_{15} \text{ mat. graúdo}}{D_{85} \text{ mat. fino}} \leq 5 \quad \text{– entupimento}$$
$$\frac{D_{50} \text{ mat. graúdo}}{D_{50} \text{ mat. fino}} \leq 25 \quad \text{– uniformidade}$$

Em função da concepção adotada, o reservatório poderá ser do tipo retenção ou detenção e, consequentemente, deverá ser analisado o tipo de material a ser empregado na interface entre o reservatório e o subleito. Isto é fundamental para o dimensionamento hidráulico do sistema de esgotamento e conexão com a microdrenagem adjacente.

As declividades longitudinais e transversais, tanto da superfície como do fundo da estrutura, deverão ser estudadas visando aumentar a eficiência hidráulica do pavimento.

2.4 TIPOS DE MATERIAIS – REVESTIMENTO E RESERVATÓRIO

O desempenho do reservatório dependerá fundamentalmente do tipo de revestimento superficial a ser adotado para o pavimento permeável. Os revestimentos podem ser constituídos de diferentes materiais, tais como: concreto asfáltico poroso, concreto de cimento Portland permeável e de blocos pré-moldados de concreto poroso, vazados ou com juntas especiais alargadas que possibilitem a infiltração das águas.

Cada tipo de material apresenta permeabilidade específica e, consequentemente, diferente desempenho hidráulico e suscetibilidade à colmatção.

Os diversos tipos de materiais apresentam diferentes resistências e formas de transmissão de esforços exigindo um procedimento de cálculo estrutural parti-

cular para cada caso. Da mesma forma, cada material exige um método específico de dosagem, além de um procedimento construtivo diferenciado, em termos de equipamento e mão de obra.

Os materiais mais empregados em bases e sub-bases de pavimentos permeáveis são os granulares não estabilizados e com pouca porcentagem de finos passando na peneira 200. Para melhorar a estabilidade desses materiais, têm sido utilizadas, com relativo sucesso, pequenas porcentagens de ligantes asfálticos ou aglomerantes hidráulicos do tipo cimento Portland.

Para atender tanto aos requisitos de estabilidade, quanto aos de permeabilidade, é importante que a porosidade do material esteja em torno de 30% a 40%. Essa faixa de porosidade é necessária para que a camada possua vazios suficientes para armazenar temporariamente a água, evitando, ao mesmo tempo, a redução do módulo de resiliência da camada em vista da sua condição saturada.

3 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Quando o pavimento permeável tem a função precípua de resistir às cargas de tráfego, o mesmo deve ser dimensionado mecanicamente de acordo com os critérios do órgão contratante pela execução da obra.

No caso de pavimentos com comportamento flexível poderão ser utilizados os métodos da PMSP – SIURB, do DER/SP, do DNIT e da AASHTO. No caso de pavimentos rígidos poderão ser empregados os procedimentos da PCA e da AASHTO.

Porém, cabe ressaltar que os critérios mencionados e consagrados na prática atual foram concebidos, em sua grande maioria, por métodos empíricos, para revestimentos com materiais densos. Nesse sentido, pavimentos compostos de materiais não convencionais, como é o caso dos pavimentos permeáveis que possuem revestimento com elevados índices de vazios, deverão ser dimensionados empregando-se cuidados específicos. Para todos os casos anteriores e, principalmente, quando as cargas são excepcionais ou eventuais, é recomendável efetuar uma avaliação mecanicista complementar de desempenho estrutural confrontando-se através de *softwares* apropriados os



deslocamentos, as tensões e as deformações atuantes, bem como aquelas resistentes correspondentes dos materiais, em diversos pontos críticos da estrutura em análise.

Normalmente, as espessuras calculadas para atender aos requisitos estruturais e hidráulicos são diferentes recomendando-se, nesse caso, a utilização do maior valor obtido entre os dois critérios mencionados.

4 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

O dimensionamento hidráulico dos pavimentos permeáveis deve levar em consideração os seguintes aspectos:

- permitir que a água infiltre pelo revestimento poroso ou através de juntas abertas de maneira eficiente, de forma a reduzir o escoamento superficial;
- ser capaz de armazenar temporariamente a água infiltrada nas camadas granulares subjacentes, sem perder a estabilidade mecânica, antes de liberar a água livre para o sistema de drenagem convencional ou permitir que ocorra infiltração pelo subleito.

Para atender ao primeiro item é necessário conhecer as características de permeabilidade dos materiais destinados ao revestimento, sua capacidade estrutural e sua resistência ao fenômeno de colmatação dos poros ao longo do tempo.

Na falta de dados mais precisos, tem-se admitido, conforme propõe o método da UNIGROUP, coeficientes de infiltração pelo reservatório da ordem de 40%, ou seja, 60% da água precipitada sobre o pavimento escoando atingindo o sistema de drenagem superficial.

Contrariamente aos pavimentos tradicionais, a declividade transversal da superfície deverá ser relativamente baixa, diminuindo, portanto, a velocidade do escoamento superficial e propiciando ou facilitando a infiltração para a camada reservatório.

Para o segundo item, o princípio de dimensionamento hidráulico do pavimento permeável é o mesmo de projeto de reservatórios para amortecimento de cheias, em que a variação do volume a ser armazenado na estrutura é dada pela seguinte equação:

$$E - S = \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

Na qual,

E = vazão de entrada ou vazão afluente, m^3/s

S = vazão de saída, ou vazão efluente, m^3/s

dv = variação volumétrica

dt = variação no tempo

Em vista disto, é necessário conhecer os parâmetros envolvidos para se definir os hidrogramas afluente e efluente, a partir dos quais é possível estimar o volume de amortecimento. O hidrograma afluente depende do regime pluviométrico (curvas IDF) e das condições de infiltração (função do tipo de revestimento a ser empregado), enquanto o hidrograma efluente dependerá das condições de funcionamento, permitindo ou não a infiltração no subleito, além da capacidade hidráulica dos dispositivos de esgotamento e lançamento final da água reservada no sistema de drenagem.

Apresenta-se a seguir o método da Curva Envelope (*Rain Envelope Method*), e outros procedimentos mais simplificados que têm sido utilizados para dimensionar as espessuras ou profundidades das estruturas reservatórios que constituem os pavimentos permeáveis.

4.1 MÉTODO DA CURVA ENVELOPE

Cálculo do Volume Máximo de Armazenamento

Para a condição em que a área de contribuição é igual à área do pavimento permeável, o volume máximo de armazenamento é dado pela equação 2, a qual simula o balanço de massa dinâmico entre as vazões afluente e efluente do sistema pavimento permeável.

$$V_{\max} = \Sigma (V_e - V_s) \quad (2)$$

Na qual,

V_{\max} = volume máximo de armazenamento, mm

V_e = volume acumulado de entrada ou afluente, f (IDF) mm

V_s = volume acumulado de saída ou efluente, mm

$$i = \frac{a \cdot T^b}{t + c} \quad (3)$$

Portanto,

$$V_e = \beta \frac{a \cdot T^b}{t + c} \cdot \frac{t}{60} \quad (4)$$



Na qual,

i = intensidade da chuva, $\frac{\text{mm}}{\text{h}}$
 T = período de retorno, anos
 t = duração da chuva de projeto, min
 a, b, c = parâmetros estatísticos da equação
 β = produto do coeficiente de escoamento pela razão entre as áreas de contribuição e do dispositivo.

$$V_s = \gamma \cdot h \cdot q_s \cdot \frac{t}{60} \quad (5)$$

Na qual,

q_s = vazão de saída constante do dispositivo, $\frac{\text{mm}}{\text{h}}$
 γ = razão entre as áreas de percolação e do dispositivo em planta
 h = profundidade média do reservatório, mm
 t = duração da chuva, min.

O volume máximo do reservatório será obtido pela diferença entre V_e e V_s , no tempo. Admitindo-se que a área de percolação é igual à área do dispositivo em planta, a equação para obtenção de V_{max} é:

$$V_{\text{max}} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \cdot \sqrt{\beta \cdot T^b} - \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{q_s} \right)^2 \quad (6)$$

• Cálculo da Altura do Reservatório

Portanto, a partir da equação 7 pode-se obter a espessura da camada reservatório, como segue:

$$h = \frac{V_{\text{max}}}{n} \quad (7)$$

Na qual,

n = porosidade do material de enchimento do reservatório

As porosidades (n) dos materiais de base e sub-base (quando houver), necessárias para definir a espessura efetiva dos reservatórios devem ser especificadas a partir de ensaios e da seguinte equação:

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{G_s \cdot \gamma_w} \quad (8)$$

Na qual,

γ_d = massa específica seca do material, $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

γ_w = massa específica da água, $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

G_s = densidade real dos grãos

Na falta de resultados de ensaios, têm sido adotados valores entre 0,30 e 0,40 para a porosidade dos materiais granulares não estabilizados.

Do ponto de vista hidráulico é desejável que depois de cessada a chuva, a água localizada na estrutura do pavimento seja drenada em no máximo 72 horas, sendo que o tempo de retenção da água no interior da estrutura deve ser da ordem de 24 horas. Isso se dá, principalmente, em função da possibilidade de ocorrência de eventos de chuva sucessivos.

O cálculo dos tempos de esvaziamento do reservatório, de percolação e de escoamento pelo pavimento pode ser efetuado através das expressões mostradas a seguir:

• Cálculo do Tempo de Esvaziamento do Reservatório

$$t_{\text{esv}} = \frac{h}{q_s} \quad (9)$$

Na qual,

t_{esv} = tempo de esvaziamento, h

Tempo de Percolação e de Escoamento

O tempo em que a água permanece no interior da estrutura possui notável importância para os pavimentos convencionais, tendo em vista os efeitos danosos do tráfego pesado sobre os materiais saturados, ocasionando redução na capacidade de suporte da fundação, aumento da deflexão e conseqüente diminuição na vida útil do pavimento.

Cedergren (1987) recomenda nesses casos que o tempo de percolação (t_s) de drenagem seja inferior à uma hora e estabelece os critérios para este cálculo, baseando-se na equação de Darcy:

$$Q = k \cdot i \cdot A \quad (10)$$

Na qual,

k = coeficiente de permeabilidade do material, cm/s

i = declividade resultante, cm/cm

A = seção transversal, cm^2

A partir da equação, determina-se a velocidade de percolação (v_s):



$$v_s = \frac{Q}{A_{ef}} = \frac{k \cdot i \cdot A}{A_{ef}} \quad (11)$$

$$A_{ef} = n \cdot A \quad (12)$$

Na qual,

A_{ef} = área efetiva da seção transversal considerada

$$v_s = \frac{k \cdot i}{n} \quad (13)$$

Os tempos de percolação (t_s) e de escoamento (t_e), correspondentes às velocidades de percolação (v_s) e de escoamento (v_e), serão dados, respectivamente por:

$$t_e = \frac{L_R}{v_e} \quad (14)$$

$$t_s = \frac{L_R}{v_s} \quad (15)$$

$$t_s = t_e \cdot n \quad (16)$$

4.2 PROCEDIMENTOS EXISTENTES

O dimensionamento do pavimento permeável no tocante à capacidade de armazenamento da camada reservatório tem sido elaborado a partir de vários procedimentos, entre eles:

a) Procedimento de Bettess (1996) para sistema sem infiltração no solo:

$$h = \frac{D \cdot R \cdot i}{n} \quad (17)$$

Na qual,

h = espessura total da camada reservatório, m

D = duração total da chuva, h

R = relação entre a área drenada e a área de infiltração

n = porosidade do material granular

i = intensidade pluviométrica, m /h

Admite-se neste procedimento que toda a água precipitada na superfície durante um período pré-estabelecido infiltra pelo revestimento. Assim, a estrutura deve ter capacidade para armazenar todo volume infiltrado independentemente da parcela que é lançada na rede de drenagem de águas pluviais.

b) Método do Interlocking Concrete Pavement Institute (SMITH, 2001):

$$h = \frac{\Delta Q_c \cdot R + P - f \cdot Te}{n} \quad (18)$$

Na qual,

h = espessura total da camada reservatório, m

ΔQ_c = precipitação da área de contribuição externa ao pavimento permeável para uma dada chuva de projeto, m

R = relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável (A_c/A_p)

A_c = área de contribuição, m²

A_p = área de pavimento permeável, m²

P = precipitação de projeto, m

f = taxa de infiltração no solo, m/h

Te = Tempo efetivo de enchimento da camada reservatório, geralmente igual a 2 horas, h

Neste procedimento, o reservatório mostrado na figura 4 deve ter altura suficiente para armazenar o volume de água infiltrada durante um período de 2 horas, descontando-se apenas a parcela que infiltra pelo subleito neste mesmo intervalo de tempo.

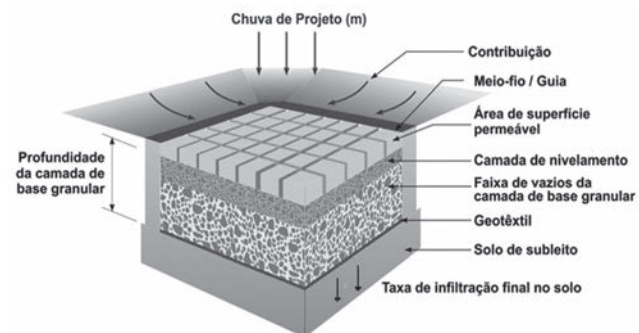


Figura 4 - Parâmetros de projeto para o dimensionamento da camada de reservatório para pavimentos permeáveis intertravados de concreto.

Fonte: Adaptado de Smith (2001)

c) Método do UNI-GROUP USA

Neste procedimento, o qual foi proposto pela MANUFACTURERS OF UNI PAVING STONES (1998), o dimensionamento da camada reservatório é efetuado adotando-se um tempo pré-estabelecido de retenção da água no reservatório, e coeficiente de infiltração para blocos com juntas especiais igual a 0,40:

$$L_R = \frac{B \sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{S_1} \quad S_R = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} \quad (19)$$



Na qual:

B = comprimento da área de drenagem, m;

S_1 = declividade longitudinal, m/m;

S_2 = declividade transversal, m/m;

S_R = declividade resultante na direção do fluxo, m/m.

$$h = \frac{L_R \cdot f \cdot P}{k \cdot S_R} \quad (20)$$

Na qual:

k = coeficiente de permeabilidade do material de base, m/h

f = coeficiente de infiltração (0,40 para blocos com juntas especiais);

P = precipitação de projeto, m;

h = profundidade do reservatório (adotar no mínimo 0,10 m), m;

A Figura 5 exemplifica alguns dos parâmetros das equações descritos anteriormente.

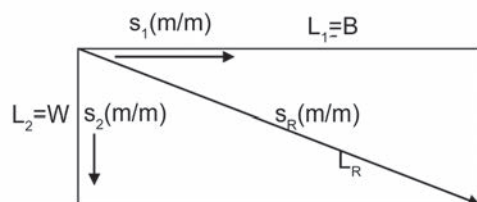


Figura 5 - Parâmetros da equação proposta pela UNI-GROUP referentes à área de drenagem

Fonte: Adaptado de *The Department of Civil Engineering - The Texas A&M University System* (1998)

Neste método o reservatório deve ter capacidade para armazenar 40% da água precipitada e infiltrada na su-

perfície. Admite-se que o tempo de retenção da água no interior da estrutura varie de 6 a 24 horas, e que será calculado empregando-se a fórmula de Darcy, levando em consideração a permeabilidade do material selecionado para constituir a camada de base/sub-base do pavimento.

Como na formulação deste procedimento não está sendo considerada nenhuma infiltração pelo subleito, caso o tempo de retenção seja relativamente elevado, é recomendável o projeto de um sistema complementar de retirada e lançamento de água para a rede de drenagem pluvial.

Analisando os diversos procedimentos de cálculo existentes, verificou-se que não existe um consenso para a definição da precipitação de projeto, já que ela depende regionalmente da duração e do período de retorno considerados. Entretanto, cabe ressaltar que esse tipo de estrutura formada pela base porosa da pavimentação convencional atua no tocante à hidráulica, na bacia onde está instalada e pode ser considerado um dispositivo para controle/mitigação dos efeitos da impermeabilização na fonte produtora, ou seja, na bacia onde esse efluente é gerado.

Portanto, tendo em vista as inúmeras combinações de variáveis envolvidas, é importante avaliar durante o desenvolvimento do projeto a que condições do fluxo de pico (que inclui o escoamento superficial atuando em conjunto com o subsuperficial) pretendem-se atender, conforme Figura 6.

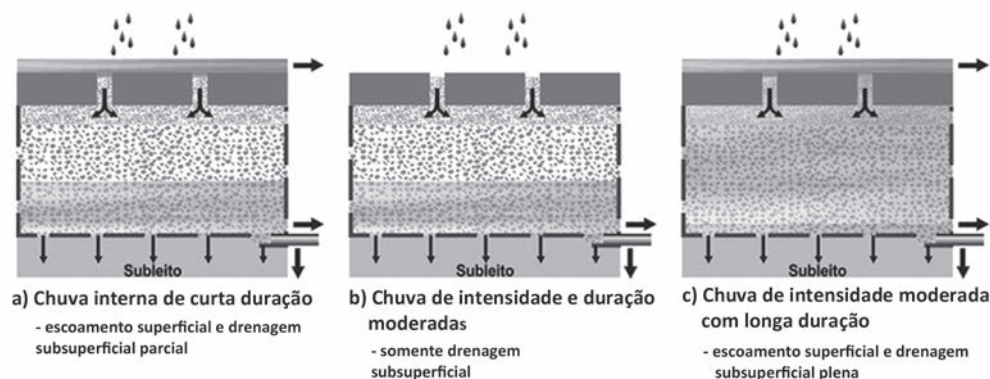


Figura 6 – Formas de escoamento superficial e drenagem subsuperficial

5 ESTUDO DE CASO

A fim de exemplificar o exposto, elaborou-se um estudo de caso que ilustra as diferenças existentes em cada metodologia apresentada, a partir da situação hipotética mostrada na figura 7. Para tanto, adotou-se como hipótese de cálculo:

- Via de tráfego leve - via local
- Largura total da via = 10 m
- Declividade transversal da via = 1,0%
- Declividade do fundo do reservatório = 1,0%
- Comprimento do reservatório para coleta pelo dreno de fundo = 20 m
- Precipitação de projeto = 60 mm
- Porosidade do material da camada reservatório (n) = 0,40
- TR=10 anos
- Duração da chuva = 1h
- Considera-se que foi utilizada uma manta flexível impermeável no fundo do reservatório impossibilitando a ocorrência de infiltração da água no subsolo
- Revestimento com concreto asfáltico poroso

Para retratar o procedimento efetuado durante a elaboração de um projeto, conforme figura 7, efetua-se a seguir a verificação hidráulica e estrutural da estrutura.

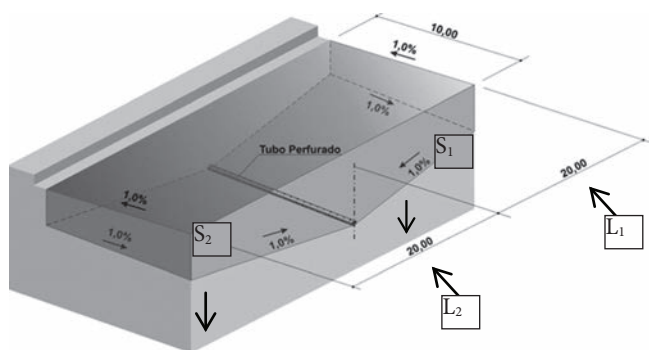


Figura 7- Croqui esquemático da situação adotada - via local com 10 m de largura

5.1 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

O dimensionamento do pavimento permeável no tocante à capacidade de armazenamento da camada reservatório pode ser elaborado a partir de:

a) Procedimento de Bettess

$$h = \frac{1 \cdot 1 \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{0,40} = 0,15\text{m}$$

Admite-se neste procedimento que toda a água precipitada na superfície durante um período pré-estabelecido infiltra pelo revestimento. Assim, a estrutura deve ter capacidade para armazenar todo o volume infiltrado, independentemente da parcela que é lançada na rede de drenagem de águas pluviais.

b) Método do *Interlocking Concrete Pavement Institute*

$$h = \frac{0 \cdot 1 + 60 \cdot 10^{-3} - 0 \cdot 1}{0,40} = 0,15\text{m}$$

Nota-se que a espessura encontrada para este procedimento é exatamente a mesma encontrada no procedimento anterior, uma vez que a equação de Smith (2001) se reduz à equação de Bettess (1996) quando se considera que não existe precipitação da área de contribuição externa ao pavimento permeável, ou seja, a relação entre a área de contribuição e a área do pavimento permeável é igual a 1, e que a água não infiltra no subsolo.

Em virtude da geometria de fundo do reservatório, às vezes, não ser uniforme, há necessidade da utilização de outra equação para a definição da espessura resultante da camada reservatório, vencido o comprimento crítico calculado, de maneira a evitar o transbordamento do pavimento.

Pode-se, então, calcular a espessura em função do comprimento e da declividade ponderados para cada trecho, conforme equação a seguir adaptada de Acioli (2005):

$$h' = h + \left(\frac{S_1 \cdot L_1}{2} + \frac{S_2 \cdot L_2}{2} \right) \quad (21)$$

Na qual:

- h' = espessura média da camada reservatório, mm
- h = espessura da camada reservatório, mm
- S₁ = declividade adotada no projeto na direção de montante, m/m
- L₁ = comprimento do reservatório na direção de montante, m
- S₂ = declividade adotada no projeto na direção de jusante, m/m
- L₂ = comprimento do reservatório na direção de jusante, m.

Portanto, para o caso em estudo tem-se:



$$h' = 0,15 + \left(\frac{0,01 \cdot 20}{2} + \frac{0,01 \cdot 10}{2} \right) = 0,30 \text{m}$$

c) Método do UNI-GROUP USA

Neste procedimento o dimensionamento da camada reservatório é efetuado adotando-se um tempo pré-estabelecido de retenção da água no reservatório e coeficiente de infiltração para blocos com juntas especiais igual a 0,40:

$$L_R = \frac{10 \sqrt{0,01^2 + 0,01^2}}{0,01} = 14,14 \text{ m}$$

$$S_R = \sqrt{0,01^2 + 0,01^2} = 0,01414 \text{ m/m}$$

Considerando-se que a permeabilidade do material da base é igual a 120 m/h, tem-se que:

$$h = \frac{14,14 \cdot 0,40 \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{120 \cdot 0,01414} = 0,20 \text{m}$$

O tempo previsto de retenção de água no reservatório sem o emprego de drenos tubulares é estimado pelo cálculo do tempo de escoamento, conforme mostrado a seguir:

A tabela 4 a seguir apresenta a espessura total do pavimento (H_{eq}) em função do valor do CBR do subleito.

Tabela 4 – Espessura Total do Pavimento

CBR (%)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20
H_{eq} (cm)	75	56	48	42	37	33	30	27	25	23	21	18	14

Com relação ao revestimento, a referida instrução de projeto define como espessura mínima, considerando-se um tráfego leve, os valores de 0,040m para PMQ (pré-misturado a quente) e 0,035m para CAUQ (concreto asfáltico usinado a quente). Em função de o revestimento asfáltico ser do tipo poroso para os pavimentos permeáveis, sugere-se a utilização de uma espessura mínima de 0,040 m, como considerado na sequência deste estudo de caso.

Uma vez calculada a espessura total do pavimento e prefixadas as características do revestimento, utiliza-se a inequação abaixo para o dimensionamento das demais camadas do pavimento.

$$t_s = \frac{L_R}{v_s} = \frac{L_R \cdot n}{k \cdot i}$$

$$t_e = \frac{t_s}{n} = \frac{L_R}{k \cdot i} = \frac{14,14}{120 \cdot 0,01414} = 8,33 \text{h}$$

Portanto, aplicando-se as metodologias descritas às características do pavimento hipotético mostrado na Figura 7, chegou-se aos resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo das espessuras da camada reservatório

Método	Precipitação (mm)	n	h (m)
Bettes (1996)	60	0,40	0,30
ICPI (2001)	60	0,40	0,30
UNI GROUP (1998)	60	0,40	0,20

5.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Para realização do dimensionamento estrutural foi utilizada a IP-04 da Prefeitura do Município de São Paulo – Instrução para o Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis para Tráfego Leve e Médio.

De acordo com esta instrução, o número N de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf correspondente à Via Local Residencial é caracterizado pelo valor de 10^5 .

$$H_R \cdot K_R + H_B \cdot K_B + H_{SB} \cdot K_{SB} \geq H_{eq} \quad (22)$$

Onde:

H_R , H_B e H_{SB} = Espessuras das camadas de revestimento, base e sub-base, respectivamente;

K_R , K_B e K_{SB} = Coeficientes estruturais das camadas de revestimento, base e sub-base, respectivamente.

Considerando-se que a base e sub-base serão compostas pelo mesmo material, a equação geral se reduz à:

$$H_R \cdot K_R + (H_B + H_{SB}) \cdot K_B \geq H_{eq} \quad (23)$$



Na tabela 5 sugerem-se alguns dos coeficientes estruturais típicos de materiais usualmente empregados na composição de pavimentos permeáveis.

Tabela 5 - Coeficientes estruturais das camadas do pavimento

CAMADA DE PAVIMENTO	COEFICIENTE ESTRUTURAL(K)
Revestimento Asfáltico do tipo Pré-misturado Aberto a Quente, Camada Porosa de Atrito	1,20
Blocos Pré Moldados de Concreto Poroso	1,00
Base de Brita Graduada Simples, Macadame Hidráulico, Betuminoso e Estabilizados Granulometricamente	1,00

Para o presente estudo de caso foram consideradas as seguintes premissas:

- Via local residencial;
- $N = 10^5$;
- CBR do subleito = 10%
- Revestimento de concreto asfáltico poroso - $H_r = 0,04m$ ($K=1,2$)
- Base de macadame hidráulico ($K=1,0$)
- H_{eq} obtido a partir da tabela 4 = 0,25 m

Dessa maneira,

$$4 \cdot 1,2 + H_b \cdot 1,0 \geq 0,25$$

$$H_b \geq 0,20 \text{ m}$$

De acordo com o dimensionamento estrutural, é necessário que a espessura da base seja de 0,20 m, enquanto que para o caso dos dimensionamentos hidráulicos, as maiores espessuras encontradas foram de 0,30m. Dessa maneira, deve-se optar pelo uso da espessura obtida por meio do dimensionamento hidráulico, ou seja, o maior valor entre os dois procedimentos estudados.

Analisando-se os resultados obtidos pode-se perceber que não há correspondência entre eles. Isso reforça a orientação de que quando da elaboração de um projeto de pavimento permeável, o projetista deve analisar as peculiaridades de seu empreendimento, a fim de que possa optar pela formulação que melhor se aplica.

Entretanto, quanto menor a espessura da camada reservatório, menor será sua capacidade de reservação e, conseqüentemente, de amortecimento. Portanto, o ideal é que a análise técnica seja associada também, a uma análise de custo-benefício.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Do ponto de vista hidrológico e hidráulico, como se pôde observar pela pesquisa bibliográfica realizada, não existe ainda um critério único e consagrado a ser adotado para o dimensionamento de pavimentos permeáveis. O seu dimensionamento dependerá do conhecimento dos dados pluviométricos, características hidrogeotécnicas dos materiais envolvidos e do subsolo, condições de contorno da área adjacente e resistência à colmatação do revestimento ao longo do tempo.

O importante é procurar conceber adequadamente o pavimento, levando-se em consideração os diversos aspectos abordados neste trabalho, de tal forma que, de fato, o mesmo possa, concomitantemente, amortecer as vazões de pico das chuvas intensas, armazenar temporariamente o volume de água infiltrado e resistir aos esforços devido às cargas de tráfego previstas.

Até o momento, não há um consenso entre o melhor tipo de revestimento poroso e os materiais de base e sub-base mais eficientes do ponto de vista de permeabilidade.

É necessário destacar que a água induzida a infiltrar na estrutura deverá ficar armazenada por um período que não sature os materiais e prejudique drasticamente a sua resistência mecânica. E, além disso, que não permita o escoamento muito rápido para o sistema de drenagem pluvial, tornando inócuo o objetivo de retardar os picos das inundações ou armazenar determinado volume de precipitação, na bacia onde foi implantado o dispositivo.

Quando não for prevista a utilização de manta geotêxtil entre a sub-base granular e o subleito ou entre a camada de assentamento dos blocos, sugere-se a execução de camada de material de filtro obedecendo aos critérios de Terzaghi. Isso tem por finalidade



evitar a migração de finos no contato entre materiais granulares miúdos e graúdos, o que propicia a colmatação precoce desse tipo de pavimento. Durante a execução da obra devem ser tomados cuidados para que não ocorra carreamento de materiais finos, a fim de se evitar o entupimento e a obsolescência precoce do dispositivo.

De qualquer maneira, deve-se ressaltar que este tipo de dispositivo é extremamente eficiente quando bem projetado e executado e devido a sua facilidade de execução, similar ao pavimento convencional, deve em futuro próximo se transformar em uma opção muito interessante do ponto vista hidrológico/hidráulico para atuar como medida mitigadora dos efeitos da impermeabilização do solo urbano e atendendo à critérios estruturais.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte.** Dissertação de Mestrado. (I. d. Sul, Ed.) Porto Alegre, 2005.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Design and construction of urban stormwater management systems.** New York: ASCE, 1992. 724 p.

BETTES, R. **Infiltration Drainage** - Manual of Good Practice. Report R156, CIRIA . Londres, 1996.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban Drainage.** 2004. DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. **Maryland Stormwater Manual**, State of Maryland. Baltimore, Maryland, 1999.

CEDERGREN, H. R. **Drainage of highway and airfield pavement.** Robert E. Krieger Publishing Company, Inc., FL, 1987.

Procurando atender os preceitos apresentados no trabalho foram executados pavimentos experimentais em pátio de estacionamento de veículos leves no campus da USP – São Paulo, com dois tipos de revestimentos, os quais têm mostrado há cerca de dois anos bom desempenho hidráulico e mecânico.

Considerando os resultados promissores obtidos em vários estudos realizados no Brasil e no exterior, por exemplo, os pavimentos permeáveis experimentais construídos na USP – São Paulo, recomenda-se que os estacionamentos e vias de acesso para pedestres nas Arenas e Centros Esportivos previstos para a Copa do Mundo e Olimpíadas a serem realizadas no país utilizem esta alternativa de pavimentação.

PINTO, L. L. C. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. 255 p.

SMITH, D. R. **Permeable Interlocking Concrete Pavements.** Washington, DC: Interlocking Concrete Pavement Institute - ICPI, 2001.

THE DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING - THE TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM. **Drainage Design and Performance Guidelines for Uni Eco-stone Permeable Pavement.** UNIGROUP U.S.A. - Manufacturers of Uni Paving Stones, 1998.

VIRGILIIS, A. L. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias.** Dissertação de Mestrado. São Paulo, SP, Brasil. 2009. 185 p.



Estudo de Permeabilidade de Misturas Betuminosas de Graduação Aberta

Carlos Eduardo Del Ben Dias da Silva

Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas.

Cássio Eduardo Lima de Paiva

Engenheiro Civil, Doutor, Professor. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas.

RESUMO

A malha rodoviária brasileira tem grande importância para o desenvolvimento do País. Observando-se que esta malha é predominantemente de pavimento flexível, o estudo das propriedades de misturas betuminosas se torna indispensável. Com o desenvolvimento tecnológico de asfaltos com polímeros elastoméricos, novas aplicações estão se mostrando viáveis e tecnicamente interessantes. Em algumas dessas aplicações, espera-se que estas misturas tenham uma permeabilidade adequada para o escoamento das águas precipitadas. Em vista disto, foi desenvolvido no Laboratório de Estradas de Engenharia Civil da Universidade de Campinas – UNICAMP, um estudo de caracterização da permeabilidade de diferentes misturas betuminosas. Este trabalho apresenta os resultados encontrados para quatro misturas betuminosas que pudessem caracterizar um amplo leque de misturas de granulometria aberta.

Palavras-chave: Pavimento Asfáltico, Camadas Betuminosas, Permeabilidade.

ABSTRACT:

The Brazilian highway network is of great importance for the development of the country. As it is mainly constituted by flexible pavement, it becomes imperative the study of the properties of bituminous mixtures. With the technological development of asphalt with elastomeric polymers, new applications are being considered feasible and technically interesting. It is expected in some of these applications that these mixtures have an adequate permeability for the flow of rain water. Therefore, a study on the characterization of the permeability of different bituminous mixtures was developed in the laboratory for civil engineering of the University of Campinas (Laboratório de Estradas de Engenharia Civil da Universidade de Campinas – UNICAMP). This work presents the results of four bituminous mixtures that could characterize a broad spectrum of mixtures of open granulometry.

Keywords: Asphalt pavement, Bituminous layers, Permeability.

I INTRODUÇÃO

A partir da década de 1950, nos Estados Unidos, meios técnicos especializados começaram a estudar o uso de misturas asfálticas com granulometria porosa devido à grande preocupação nos dias de chuva quanto ao rolamento, provocando o efeito da aquaplanagem. Contudo, conforme o conceito tradicional, um revestimento deve ser impermeável, assim um revestimento composto por camada drenante ou porosa aplicada sobre camada subjacente impermeável, cumpre duas

funções: selar a estrutura do pavimento e evitar o escoamento superficial das águas precipitadas. O estudo visa avaliar a permeabilidade de quatro diferentes misturas asfálticas através de um permeâmetro de carga constante com diferentes alturas de coluna de água, relacionando a confiabilidade da medida com a distribuição granulométrica.

A caracterização da permeabilidade de misturas betuminosas foi realizada para quatro tipos de diferentes misturas:





- Pré-misturado aberto a quente, utilizado como camada de ligação na Rodovia dos Bandeirantes (SP 348).
- Camada Porosa de Atrito (CPA).
- Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ – faixa “B”.
- Base Reciclada da SP 147 (Piracicaba – Limeira) – faixa média – faixa grossa com emulsão asfáltica.

2 AS MISTURAS BETUMINOSAS POROSAS E A SUA UTILIZAÇÃO

As misturas betuminosas porosas têm sido introduzidas principalmente para garantir a segurança dos veículos durante grande precipitação climática. O emprego deste tipo de solução permite que águas precipitadas se infiltrem na camada e seu escoamento se realize transversalmente através desta camada porosa. Dessa forma, o escoamento da lâmina de água não ocorre superficialmente e permite o pleno contato entre o pneu e a superfície do pavimento.

A aceleração e frenagem do veículo são alterações de velocidade que dependem do atrito entre o pneu do automóvel e a superfície de rolagem. O coeficiente de atrito pode ser influenciado pelos seguintes fatores:

- característica do material de que é constituído o pneu (Borracha);
- drenagem potencial, ou seja, os caminhos por onde a água sai da pista (micro canais), definidos pela macro textura da superfície do pavimento e o desenho (forma e profundidade dos sulcos) da superfície do pneu;
- adesão, resultante da atração molecular entre as superfícies de contato, acentuada pela micro textura (cantos vivos, arestas etc.) dos agregados empregados na camada de rolamento.

Com a graduação da mistura do revestimento que é definida na fase de seu projeto, obtém-se a macrotextura, na qual se definem os canais de escoamento e conseqüentemente a drenabilidade potencial da camada.

A rolagem do pneu de um veículo sobre uma superfície com película de água provoca o “*spray*” desta água,

dificultando a visibilidade dos veículos que o seguem e a visibilidade da sinalização horizontal. Esse “*spray*” é proporcional a largura e número de pneus do veículo. A eliminação do “*spray*” somente se dá através da eliminação da película de água.

Quando precipitações pluviométricas ocorrem e o escoamento superficial do pavimento não é eficiente, forma-se uma película de água diminuindo ou eliminando o contato entre o pneu e o pavimento, e a esse fenômeno dá-se o nome de aquaplanagem, o que torna os acidentes inevitáveis.

Uma solução para este problema é a adoção de pavimentos drenantes, que permitem um escoamento de água mais eficiente e conseqüentemente um contato melhor entre o pneu e o pavimento. O pavimento drenante preferencialmente é constituído por um pavimento convencional com capa impermeável recoberta com uma camada porosa superficial.

3 CARACTERÍSTICAS DAS MISTURAS ESTUDADAS

O pré-misturado a quente, primeira mistura betuminosa estudada, apresentou a distribuição da granulometria do material granular conforme da curva “C”, constante na tabela 1 apresentada a seguir. A graduação escolhida foi motivada pelo seu emprego no projeto original do pavimento da Rodovia dos Bandeirantes (SP-348) e o artigo desenvolvido por Barros (1978) que apresentou valores medidos da permeabilidade da mistura.

Tabela 1 – Granulometria do binder – pré-misturado aberto a quente

Peneira	Abertura (mm)	Faixa C
2”	50,8	
1.1/2”	38,1	100
1”	25,4	95-100
3/8”	19,0	-
1/2”	12,7	25-60
3/8”	9,52	-
n°4	4,76	0-10
1/8”	3,18	-
N°8	2,36	0-5

Fonte: Barros (1978)



O ligante asfáltico utilizado no binder aberto a quente foi o CAP 20 a fim de assegurar adequada estabilidade e o teor variou entre 2,4% a 2,8%. As temperaturas de aquecimento da mistura são as usuais para o concreto asfáltico (130 °C), em função da viscosidade do ligante. As demais exigências para os agregados são iguais ao concreto asfáltico, tais como rocha sã de boa qualidade, desgaste Los Angeles inferior a 30%, limpa, isenta de torrões de argila, pó entre outras.

A camada porosa de atrito CPA é um pré-misturado a quente com asfalto polímero de acordo com a especificação DNER-ES 386/99 (DNER, 1999) e pode ser empregada como camada sobrejacente ao revestimento com características drenantes e melhor aderência entre o pneu e pavimento.

O cimento asfáltico de petróleo (CAP-20) utilizado foi modificado por polímero SBS com teor entre 4% e 5% em peso e teor ótimo de 4,7 % referente a 100% de peso da mistura de agregados conforme o ensaio Marshall realizado. A energia de compactação utilizada foi de 50 golpes por face.

Na tabela 2, a faixa granulométrica do agregado adotada para a mistura tipo CPA foi a de número V.

Tabela 2 - Características da camada porosa de atrito utilizada

Peneira (ASTM)	Abertura (mm)	Faixa V
¾"	19,0	100
½"	12,5	70-100
3/8"	9,5	50-80
n°4	4,8	18-30
n° 10	2,0	10-22
n° 40	0,42	6-13
n° 200	0,075	3--6

Fonte: DNER-ES 386/99 (DNER, 1999).

O ligante asfáltico utilizado no CPA foi o CAP 20 a fim de assegurar adequada estabilidade e o teor ótimo empregado foi de 4,7%. As temperaturas de aquecimento da mistura são as usuais para o concreto asfáltico (130 °C), em função da viscosidade do ligante. A

energia de compactação empregada foram 50 golpes por face do corpo de prova. As demais exigências para os agregados são iguais ao concreto asfáltico, tais como rocha sã de boa qualidade, desgaste Los Angeles inferior a 18%, limpa, isenta de torrões de argila, pó entre outras.

O concreto betuminoso usinado a quente faixa "B" com polímero foi realizado conforme a ES 313-97 do DNER (1997). O agregado graúdo apresentou desgaste Los Angeles inferior a 40%, índice de forma superior a 0,5 e durabilidade com perda inferior a 12% e o agregado miúdo com equivalente de areia igual ou superior a 55%. A faixa granulométrica utilizada na mistura foi a faixa B apresentada na tabela 3.

Tabela 3 - Granulometria CBUQ com polímero

Peneira (ASTM)	Abertura (mm)	Faixa B	Tolerâncias
1 ½"	38,1	100	±7
1"	25,4	95-100	±7
¾"	19,1	80-100	±7
3/8"	9,5	45-80	±7
n°4	4,8	28-60	±5
n° 10	2,0	20-45	±5
n°40	0,42	10-32	±5
n°80	0,18	8-20	±2
n°200	0,075	3-8	±2

Fonte: DNER – ES 313-97 (DNER, 1997)

O cimento asfáltico utilizado foi o CAP 20 no CBUQ "B" que foi modificado por polímero SBS com teor ótimo de 4,3% em peso. A energia de compactação utilizada foi de 75 golpes por face do corpo de prova, o que resultou em um índice de vazios de 4,82 % da mistura.

A camada de base reciclada foi constituída de resíduos de operação de reciclagem de pavimento altamente trincado da rodovia SP-147. Estes resíduos foram divididos em duas faixas granulométricas: a primeira denominada granulometria média e, a segunda, granulometria grossa. Estas faixas granulométricas estão apresentadas na tabela 4.



Tabela 4 – Granulometria média do resíduo de reciclagem de pavimento trincado da SP-147

Peneira (ASTM)	Abertura (mm)	Faixa granulométrica média	Faixa granulométrica grossa
3/4	19	100	100
1/2	12,5	88,1	78,7
3/8	9,5	74,2	66,3
n°4	4,75	54,6	44,2
n°8	2,36	35,7	27,7
n°16	1,18	20,0	15,7
n°30	0,6	12,3	7,0
n°50	0,3	6,9	5,7
n°100	0,15	3,0	2,9
n°200	0,075	1,0	0,9

As duas misturas betuminosas de constituição de base reciclada foram obtidas pela mistura a frio das partículas trituradas pela máquina recicladora com emulsão catiônica convencional, de forma a constituir corpos de prova de ensaio Marshall, conforme estudo desenvolvido por Liberatori (2005). O teor ótimo obtido para as duas granulometrias foi de 3,0%. A energia de compactação empregada foi de 75 golpes por face. O índice de vazios obtido foi de 13,12% na mistura de granulometria média e de 11,2% na mistura com o triturado de granulometria grossa.

4 DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DAS MISTURAS BETUMINOSAS

A permeabilidade depende dos caminhos disponíveis para a passagem da água e são constituídos pelos vazios comunicantes da mistura. Esses vazios são caracterizados em função da granulometria escolhida para a mistura e dos cuidados empregados na execução da camada de pavimento. Por outro lado, a vazão deste revestimento drenante depende da sua espessura que é definida no projeto do pavimento.

Como o fluxo de água flui através da mistura em regime que é indefinido ou não caracterizado devido à velocidade de escoamento, não se pode usar a lei segundo Darcy, cuja vazão (Q) que ocorre através do material é proporcional ao gradiente hidráulico (i) e à área transversal ao fluxo.

O permeâmetro de carga constante empregado neste estudo foi construído de forma a se conferir e calibrar o equipamento com resultados semelhantes àqueles obtidos por Barros em 1978 e a partir desta semelhança obter-se confiança nos demais resultados. A prefe-

rência por este tipo de equipamento deveu-se, principalmente, pelo pleno controle obtido na altura da carga de coluna de água. Pois, como afirma Tan (1997) que utilizou um permeâmetro de carga variável, o controle da perda de carga precisou ser muito cuidadoso para se obter resultados confiáveis. Esta pesquisa visou caracterizar a relação direta entre as alturas da coluna de água e o valor de permeabilidade obtido.

A permeabilidade característica da mistura estudada foi calculada pelo coeficiente K (CAVICCHIA, 2003).

$$K = \frac{L.H}{T.S.CA} \cdot 100$$

Onde:

l = vazão de água.

T = tempo em segundos.

H = altura média do corpo de prova (cm).

S = seção transversal do corpo de prova. (cm²).

CA = coluna de água (cm).

Em pesquisas anteriores com misturas asfálticas porosas foram adotados os seguintes procedimentos no estudo desenvolvido pela DERSA - Desenvolvimento Rodoviário em 1978 (BARROS, 1978):

1. O corpo de prova (CP) a ser ensaiado é colocado na base de um tubo de PVC;
2. A lateral do corpo de prova é parafinado (para que a vazão ocorra somente na vertical, entre as faces paralelas do corpo).
3. O tubo mais a base do corpo de prova é colocado dentro de um balde adaptado com uma saída de excesso, tipo ladrão, por onde será medida a vazão.

4. Com o auxílio de uma mangueira adaptada em uma torneira de jardim, é injetada a água dentro do tubo, controlando para que a entrada de água seja a mesma quantidade que sai pelo ladrão.
5. Após a estabilização da coluna de água, mede-se a mesma com o auxílio de uma trena.
6. Com o auxílio de uma proveta, mede-se a vazão de água que sai pelo extravasor adaptado no balde durante 60 segundos.

Portanto, ficou estabelecida, para o ensaio com o binder aberto, a altura de 1 metro de coluna d'água constante para simular regime de escoamento crítico.

Com base nestes cuidados laboratoriais, esta pesquisa foi desenvolvida com os seguintes procedimentos:

1. Foi construído um permeâmetro adaptado para o cilindro Marshall com nylon e barras de ferro como mostrado na figura 1.
2. A parede do cilindro Marshall foi pintada com CAP-20 para garantir que a vazão no corpo de prova ocorra somente na vertical.
3. O corpo de prova foi moldado no cilindro previamente impermeabilizado com energia de compactação modificada (75 golpes).
4. Esperou-se o resfriamento do corpo de prova (aproximadamente 2 horas).
5. O cilindro Marshall foi acoplado em um tubo de PVC de 4" série marrom com sistema de anéis de vedação com o mesmo princípio do permeâmetro de solos.
6. Foi adaptado um ladrão a 1 metro da face do corpo de prova no tubo de PVC, conforme estabelecido na pesquisa.
7. Após a estabilização da coluna de água, mediu-se a vazão do corpo de prova em um balde graduado (Becker), durante 30 segundos.

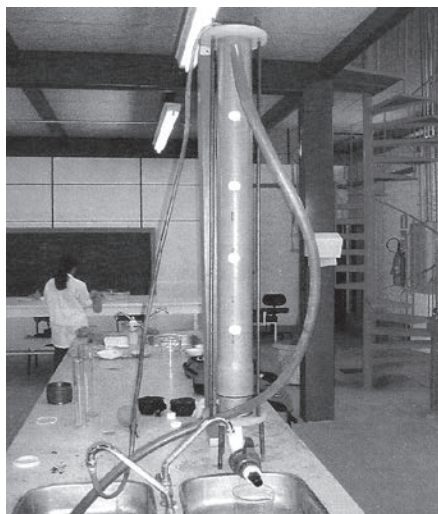


Figura 1 – Permeâmetro de carga constante utilizado nos estudos de permeabilidade das misturas

Segundo Terzaghi (1967), o valor do coeficiente de permeabilidade determinado por meio de um ensaio de permeabilidade depende da temperatura em que ele é realizado. A temperatura considerada de referência é 20 °C. Ensaios realizados em temperaturas diferentes precisam ser convertidos para a temperatura de referência através da seguinte equação:

$$K_{20} = K_T \cdot \frac{v_t}{v_{20}}$$

Onde:

K_{20} - coeficiente de permeabilidade na temperatura de 20 °C (cm/s);

K_T - coeficiente de permeabilidade obtido no ensaio na temperatura de T °C (cm/s);

v_T - viscosidade cinemática do fluido na temperatura T de ensaio (m²/s);

v_{20} - viscosidade cinemática do fluido na temperatura 20 °C (m²/s).

Em misturas betuminosas abertas o escoamento não ocorre no regime laminar e, portanto, o fluxo está no regime não definido ou turbulento. Para ensaios de laboratório com tubos de pequeno diâmetro a velocidade é crítica. Esta situação, segundo Cavicchia (2003), indica o fluxo ocorrendo no regime laminar e a velocidade de escoamento pode ser determinada pela seguinte equação:

$$v = K_1 \cdot i$$

Onde

v - viscosidade cinemática do fluido (cm/s);

K_1 - coeficiente de permeabilidade;

i - gradiente hidráulico.

Conforme a tabela 5, a permeabilidade de misturas betuminosas foi estudada por Zoorob (2002) que classificou e definiu as seguintes classes em função dos valores de seus coeficientes de permeabilidade.

Tabela 5 – Classes da permeabilidade de misturas betuminosas conforme Zoorob (2002)

K(cm/s)	Permeabilidade
10 ⁻⁸	Impermeável
10 ⁻⁶	Praticamente impermeável
10 ⁻⁴	Drenagem baixa
10 ⁻²	Drenagem razoável
10 ⁻¹	Drenagem alta



Para as misturas tipo PMQ, CPA e material reciclado e emulsão foi realizado grande número de ensaios de forma a se buscar boa repetibilidade na pesquisa (SILVA, 2005). Este trabalho apresentou apenas parcialmente os resultados obtidos para as várias misturas analisadas que são apresentados nas tabelas 6 a 10. Para as misturas tipo CPA, material triturado e emulsão e CBUQ “B” foram realizados ensaios com várias alturas de coluna de água.

Tabela 6 – Resultados da permeabilidade obtido em laboratório para o pré-misturado aberto a quente

Mistura	Teor Betume	Q (cm ^{3/s})	h _{cp} (cm)	D (cm)	Área (cm ²)	h coluna água (cm)	Tempo (seg)	K (x10 ⁻¹ cm/s)	Temp. Água (°C)	K _{20o} (x10 ¹ cm/s)
BIN-01	2,8%	327,67	7,18	10,14	80,75	100,00	30,0	2,91	24,0	2,78
BIN-01	2,8%	326,67	7,18	10,14	80,75	100,00	30,0	2,90	24,0	2,77
BIN-01	2,8%	326,00	7,18	10,14	80,75	100,00	30,0	2,90	24,0	2,76
BIN-02	2,6%	316,00	7,16	10,14	80,75	100,00	30,0	2,80	22,0	2,67
BIN-02	2,6%	320,67	7,16	10,14	80,75	100,00	30,0	2,84	22,0	2,71
BIN-02	2,6%	323,00	7,16	10,14	80,75	100,00	30,0	2,86	22,0	2,73
BIN-03	2,4%	322,67	7,14	10,00	80,75	100,00	30,0	2,85	22,0	2,72
BIN-03	2,4%	323,17	7,14	10,00	80,75	100,00	30,0	2,86	22,0	2,72
BIN-03	2,4%	323,33	7,14	10,00	80,75	100,00	30,0	2,86	22,0	2,72

Tabela 7 – Resultados da permeabilidade obtido em laboratório para a camada porosa de atrito

Mistura	Teor Betume	Q (cm ^{3/s})	h _{cp} (cm)	D (cm)	Área (cm ²)	h coluna água (cm)	Tempo (seg)	K (x10 ⁻² cm/s)	Temp. Água (°C)	K _{20o} (x10 ² cm/s)
CPA-01	4,7%	11,45	7,11	10,14	80,75	25,00	60,0	4,03	22,0	3,84
CPA-01	4,7%	11,50	7,11	10,14	80,75	25,00	60,0	4,05	22,0	3,86
CPA-01	4,7%	17,72	7,11	10,14	80,75	50,00	60,0	3,12	22,0	2,97
CPA-01	4,7%	17,75	7,11	10,14	80,75	50,00	60,0	3,13	22,0	2,98
CPA-01	4,7%	22,67	7,11	10,14	80,75	75,00	30,0	2,66	22,0	2,53
CPA-01	4,7%	22,83	7,11	10,14	80,75	75,00	30,0	2,68	22,0	2,55
CPA-01	4,7%	27,17	7,11	10,14	80,75	100,00	30,0	2,39	22,0	2,28
CPA-01	4,7%	27,27	7,11	10,14	80,75	100,00	30,0	2,40	22,0	2,29
CPA-02	4,7%	11,17	7,13	10,17	81,23	25,00	60,0	3,92	23,0	3,65
CPA-02	4,7%	11,08	7,13	10,17	81,23	25,00	60,0	3,89	23,0	3,62
CPA-02	4,7%	18,08	7,13	10,17	81,23	50,00	60,0	3,15	23,0	2,93
CPA-02	4,7%	17,97	7,13	10,17	81,23	50,00	60,0	3,11	23,0	2,89
CPA-02	4,7%	22,30	7,13	10,17	81,23	75,00	30,0	2,61	23,0	2,43
CPA-02	4,7%	22,93	7,13	10,17	81,23	75,00	30,0	2,68	23,0	2,50
CPA-02	4,7%	27,60	7,13	10,17	81,23	100,00	30,0	2,42	23,0	2,25
CPA-02	4,7%	27,87	7,13	10,17	81,23	100,00	30,0	2,45	23,0	2,27
CPA-03	4,7%	11,20	7,13	10,14	80,75	25,00	60,0	3,96	22,0	3,77
CPA-03	4,7%	11,30	7,13	10,14	80,75	25,00	60,0	3,99	22,0	3,80
CPA-03	4,7%	17,90	7,13	10,14	80,75	50,00	60,0	3,16	22,0	3,01
CPA-03	4,7%	17,82	7,13	10,14	80,75	50,00	60,0	3,15	22,0	3,00
CPA-03	4,7%	22,93	7,13	10,14	80,75	75,00	30,0	2,72	22,0	2,57
CPA-03	4,7%	23,07	7,13	10,14	80,75	75,00	30,0	2,68	22,0	2,59
CPA-03	4,7%	27,77	7,13	10,14	80,75	100,00	30,0	2,45	22,0	2,33
CPA-03	4,7%	27,53	7,13	10,14	80,75	100,00	30,0	2,48	22,0	2,31



Tabela 8 – Resultados da permeabilidade obtido em laboratório para a mistura de material triturado para reciclagem de granulometria média e emulsão asfáltica

Mistura	Teor Betume	Q (cm ^{3/s})	h _{cp} (cm)	D (cm)	Área (cm ²)	h coluna água (cm)	Tempo (seg)	K (x10 ⁻² cm/s)	Temp. Água- (°C)	K _{20,0} (x10 ² cm/s)
RC M-1	3,00 %	8,47	6,18	10,14	80,75	25,00	60,0	2,59	27,0	2,20
RC M-1	3,00 %	8,50	6,18	10,14	80,75	25,00	60,0	2,60	27,0	2,20
RC M-1	3,00 %	13,33	6,18	10,14	80,75	50,00	60,0	2,04	27,0	1,73
RC M-1	3,00 %	13,38	6,18	10,14	80,75	50,00	60,0	2,05	27,0	1,74
RC M-1	3,00 %	17,58	6,18	10,14	80,75	75,00	60,0	1,79	27,0	1,52
RC M-1	3,00 %	17,53	6,18	10,14	80,75	75,00	60,0	1,79	27,0	1,52
RC M-1	3,00 %	21,17	6,18	10,14	80,75	100,00	60,0	1,62	27,0	1,37
RC M-1	3,00 %	21,10	6,18	10,14	80,75	100,00	60,0	1,61	27,0	1,37
RC M-2	3,00 %	8,42	6,25	10,17	81,23	25,00	60,0	2,59	26,0	2,25
RC M-2	3,00 %	8,50	6,25	10,17	81,23	25,00	60,0	2,60	26,0	2,27
RC M-2	3,00 %	13,47	6,25	10,17	81,23	50,00	60,0	2,07	26,0	1,80
RC M-2	3,00 %	13,33	6,25	10,17	81,23	50,00	60,0	2,05	26,0	1,74
RC M-2	3,00 %	17,73	6,25	10,17	81,23	75,00	60,0	1,82	26,0	1,58
RC M-2	3,00 %	17,52	6,25	10,17	81,23	75,00	60,0	1,80	26,0	1,56
RC M-2	3,00 %	21,28	6,25	10,17	81,23	100,00	60,0	1,64	26,0	1,42
RC M-2	3,00 %	21,25	6,25	10,17	81,23	100,00	60,0	1,63	26,0	1,42
RC M-3	3,00 %	8,55	6,22	10,17	80,75	25,00	60,0	2,63	27,0	2,23
RC M-3	3,00 %	8,50	6,22	10,17	80,75	25,00	60,0	2,62	27,0	2,22
RC M-3	3,00 %	13,70	6,22	10,17	80,75	50,00	60,0	2,11	27,0	1,79
RC M-3	3,00 %	13,80	6,22	10,17	80,75	50,00	60,0	2,13	27,0	1,80
RC M-3	3,00 %	17,78	6,22	10,17	80,75	75,00	60,0	1,83	27,0	1,55
RC M-3	3,00 %	17,82	6,22	10,17	80,75	75,00	60,0	1,83	27,0	1,55
RC M-3	3,00 %	21,02	6,22	10,17	80,75	100,00	60,0	1,62	27,0	1,37
RC M-3	3,00 %	21,00	6,22	10,17	80,75	100,00	60,0	1,62	27,0	1,37

Tabela 9 – Resultados da permeabilidade obtido em laboratório para a mistura de material triturado para reciclagem com granulometria grossa com emulsão asfáltica

Mistura	Teor Betume	Q (cm ^{3/s})	h _{cp} (cm)	D (cm)	Área (cm ²)	h coluna água (cm)	Tempo (seg)	K (x10 ⁻² cm/s)	Temp. Água- (°C)	K _{20,0} (x10 ² cm/s)
RC G-1	3,00 %	26,33	6,24	10,14	80,75	25,00	30,0	8,14	27,0	6,89
RC G-1	3,00 %	26,17	6,24	10,14	80,75	25,00	30,0	8,09	27,0	6,85
RC G-1	3,00 %	33,67	6,24	10,14	80,75	50,00	30,0	5,20	27,0	4,41
RC G-1	3,00 %	33,33	6,24	10,14	80,75	50,00	30,0	5,15	27,0	4,36
RC G-1	3,00 %	44,00	6,24	10,14	80,75	75,00	30,0	4,53	27,0	3,84
RC G-1	3,00 %	44,17	6,24	10,14	80,75	75,00	30,0	4,55	27,0	3,85
RC G-1	3,00 %	52,00	6,24	10,14	80,75	100,00	30,0	4,02	27,0	3,40
RC G-1	3,00 %	51,67	6,24	10,14	80,75	100,00	30,0	3,99	27,0	3,38
RC G-2	3,00 %	26,27	6,32	10,17	81,23	25,00	30,0	8,22	26,0	6,96
RC G-2	3,00 %	26,33	6,32	10,17	81,23	25,00	30,0	8,24	26,0	6,98
RC G-2	3,00 %	33,50	6,32	10,17	81,23	50,00	30,0	5,24	26,0	4,44
RC G-2	3,00 %	33,50	6,32	10,17	81,23	50,00	30,0	5,24	26,0	4,44
RC G-2	3,00 %	44,47	6,32	10,17	81,23	75,00	30,0	4,64	26,0	3,93
RC G-2	3,00 %	44,60	6,32	10,17	81,23	75,00	30,0	4,65	26,0	3,94
RC G-2	3,00 %	51,87	6,32	10,17	81,23	100,00	30,0	4,06	26,0	3,44

continua





Mistura	Teor Betume	Q (cm ^{3/s})	h _{cp} (cm)	D (cm)	Área (cm ²)	h coluna água (cm)	Tempo (seg)	K (x10 ⁻² cm/s)	Temp. Água- (°C)	K _{20o} (x10 ² cm/s)
RC G-2	3,00 %	51,83	6,32	10,17	81,23	100,00	30,0	4,06	26,0	3,44
RC G-3	3,00 %	25,83	6,45	10,17	80,75	25,00	30,0	8,20	27,0	6,95
RC G-3	3,00 %	26,07	6,45	10,17	80,75	25,00	30,0	8,28	27,0	7,01
RC G-3	3,00 %	33,83	6,45	10,17	80,75	50,00	30,0	5,37	27,0	4,55
RC G-3	3,00 %	33,67	6,45	10,17	80,75	50,00	30,0	5,35	27,0	4,53
RC G-3	3,00 %	43,83	6,45	10,17	80,75	75,00	30,0	4,64	27,0	3,93
RC G-3	3,00 %	43,93	6,45	10,17	80,75	75,00	30,0	4,65	27,0	3,94
RC G-3	3,00 %	51,83	6,45	10,17	80,75	100,00	30,0	4,12	27,0	3,49
RC G-3	3,00 %	51,67	6,45	10,17	80,75	100,00	30,0	4,10	27,0	3,47

Tabela 10 – Resultados da permeabilidade obtido em laboratório para a mistura de CBUQ - faixa B

Mistura	Teor Betume	Q (cm ^{3/s})	h _{cp} (cm)	D (cm)	Área (cm ²)	h coluna água (cm)	Tempo (seg)	K (x10 ⁻⁴ cm/s)	Temp. Água- (°C)	K _{20o} (x10 ⁴ cm/s)
CBUQ-B	4,30%	0,00575	5,93	10,17	81,23	25,00	955,8	0,17	21,0	0,16
CBUQ-B	4,30%	0,5417	5,93	10,17	81,23	50,00	173,7	7,90	21,0	7,70
CBUQ-B	4,30%	1,0736	5,93	10,17	81,23	75,00	5,77	10,45	21,0	10,19
CBUQ-B	4,30%	1,7613	5,93	10,17	81,23	100,00	18,07	12,86	21,0	12,54

A partir de todos os resultados individuais obtidos nos ensaios foram calculados os valores médios para cada mistura estudada. Estes valores são apresentados na tabela 11 e a classificação da mistura conforme o critério de Zoorob (2002).

Tabela 11 – Valores médios de permeabilidade de todos os ensaios realizados

Mistura	h coluna água (cm)	Q (cm ^{3/s})	K 20° (cm/s)	i (h/hcp)	v = K.i (cm/s)	Classificação permeabilidade segundo ZOOROB
BIN	100	323,24	2,69 x 10 ⁻¹	13,97	3,76	Drenagem alta
CPA	25	11,33	3,77 x 10 ⁻²	3,51	0,13	Drenagem razoável
CPA	50	17,84	2,97 x 10 ⁻²	7,02	0,21	Drenagem razoável
CPA	75	22,75	2,52 x 10 ⁻²	10,52	0,27	Drenagem razoável
CPA	100	27,65	2,30 x 10 ⁻²	14,04	0,34	Drenagem razoável
RC M	25	8,49	2,23 x 10 ⁻²	4,02	0,09	Drenagem razoável
RC M	50	13,52	1,77 x 10 ⁻²	8,04	0,14	Drenagem razoável
RC M	75	17,64	1,54 x 10 ⁻²	12,07	0,19	Drenagem razoável
RC M	100	21,18	1,39 x 10 ⁻²	16,09	0,22	Drenagem razoável
RCG	25	26,21	6,95 x 10 ⁻²	3,95	0,27	Drenagem razoável
RCG	50	33,57	4,45 x 10 ⁻²	7,89	0,35	Drenagem razoável
RCG	75	44,24	3,91 x 10 ⁻²	11,84	0,46	Drenagem razoável
RCG	100	51,82	3,19 x 10 ⁻²	15,78	0,54	Drenagem razoável
CBUQ-B	25	0,00006	0,16 x 10 ⁻⁶	4,22	0,000001	Praticamente impermeável
CBUQ-B	50	0,00541	7,70 x 10 ⁻⁶	8,43	0,000065	Praticamente impermeável
CBUQ-B	75	0,01074	10,19 x 10 ⁻⁶	12,65	0,000013	Praticamente impermeável
CBUQ-B	100	0,01761	12,54 x 10 ⁻²	16,86	0,000021	Praticamente impermeável



5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

A partir da equação de determinação da permeabilidade, durante o estudo buscou-se caracterizar a contribuição de cada uma das suas variáveis, assim, realizaram-se ensaios com diferentes alturas de coluna de água e diferentes tempos de medição. A única variável que não foi alterada foi a seção transversal do corpo de prova que, obviamente, depende do diâmetro do permeâmetro.

Os resultados nesta pesquisa mostraram-se compatíveis com os poucos disponíveis na literatura técnica especializada.

A mistura tipo PMQ aberto foi utilizada neste estudo para calibrar o permeâmetro, verificar a estanqueidade da amostra ensaiada e outros cuidados de execução dos ensaios. Esta mistura se mostrou muito aberta e com alta capacidade de drenagem. Os valo-

res obtidos permitiram concluir que o equipamento empregado proporcionou resultados confiáveis.

As misturas tipo CPA e mistura de material triturado com emulsão se mostraram aptas a proporcionar adequada condição de drenagem.

Obviamente, misturas que empregam distribuição granulométrica aberta ou sem frações finas em proporção considerável apresentam misturas mais abertas e com maior permeabilidade.

Os resultados obtidos para a mistura tipo CBUQ faixa B não podem ser consideradas confiáveis, principalmente, devido à saturação do corpo de prova após 48 horas de início do ensaio, período após o qual a percolação é interrompida. Portanto, para este tipo de mistura o permeâmetro empregado não produz resultado confiável.

REFERÊNCIAS

BARROS, S. T.; FABBRO, E. D.; SILVA JR., H. O. Pré-misturado aberto a quente. **Anais do II SEMINÁRIO DERSA - Rodovia dos Bandeirantes**. São Paulo, 1978.

CAVICCHIA, L. R. **Fluxo em Meios Porosos**. Notas de aula de Curso de Pós-Graduação – IC 511. Campinas, 2003.

DNER. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Especificação de Serviço ES 313/97 – Pavimentação**. Concreto Betuminoso. Rio de Janeiro, 1997.

DNER. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Especificação de Serviço ES 386/99 – Pavimentação**. Pré-Misturado a Quente com Asfalto Polímero. Rio de Janeiro, 1999.

LIBERATORI, L.A.; CONSTANTINO, R.; TUCHUMANTEL, O. Cold in Situ Recycling – Reciflex® - at SP/147. A brand new experience. In: **International Symposium on a Pavement Recycling**. 14-16 March, São Paulo, 2005.

SILVA, C. E. D. B. D. **Estudo da Permeabilidade de Misturas Asfálticas de Graduação Aberta**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

TAN, S. A.; FWA, T. F.; CHUAI, C. T. A new apparatus for measuring the drainage properties of porous asphalt mixes. **Journal of Testing and Evaluation**, jul, 1997, v.25, n.4, p. 370-377.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. 2nd Ed. New York: John Wiley and Sons, 1967.

ZOOROB, S. E. Design and construction of hot-mix bituminous surfacings and road pavements. Chapter 12. In: O'FLAHERTY, C. A. **Highways – the location, design, construction and maintenance of road pavements**. 4th ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2002.





ARTIGO TÉCNICO

Influência do Uso de Resíduos Industriais como Fíler no Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas com Diferentes Procedimentos de Compactação

Lêda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena

Professora Doutora, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: ledach@uol.com.br

John Kennedy Guedes Rodrigues

Professor Doutor, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande.

Adriano Elisio de Figueirêdo Lopes Lucena

Professor Doutor, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande.

Luciana de Figueirêdo Lopes Lucena

Professora Doutora, Escola de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

RESUMO

A disposição final dos resíduos sólidos, sem um adequado gerenciamento, acarreta a poluição do solo, do ar e de recursos hídricos, podendo resultar em danos aos seres humanos e ao meio ambiente. Diante desse cenário, empresas do setor produtivo têm adotados “práticas limpas” utilizando a reincorporação de resíduos na cadeia produtiva. O caulim é um dos minerais existentes em maior abundância no Brasil sendo empregado. Entretanto, essas indústrias geram uma quantidade de resíduos que são dispostos no meio ambiente de maneira inadequada, causando grandes impactos ambientais. Outro resíduo encontrado em larga escala são os resultantes do beneficiamento de rochas ornamentais. O presente trabalho tem por objetivo estudar a viabilidade técnica da utilização dos resíduos de caulim e de serragem de granito como fíler nas misturas asfálticas, como forma de minimizar os impactos ambientais causados por tais resíduos. Foram realizados ensaios para caracterizações dos resíduos e ensaios mecânicos de Módulo de Resiliência, de Lottman Modificado e Marshall para verificação os efeitos da incorporação destes fíleres na susceptibilidade de misturas asfálticas à presença de água. O efeito do tipo de compactação, por amassamento e por impacto, teve por objetivo avaliar a influência da compactação no comportamento mecânico das misturas. Os resultados indicam que ambos os fíleres tornam a mistura asfáltica menos susceptível a presença de água, entretanto, o resíduo do granito proporciona uma mistura mais flexível e, portanto, com uma menor probabilidade de fissuras prematuras durante a vida útil do pavimento.

Palavras-chaves: Resíduo, Fíler, Misturas Asfálticas

ABSTRACT

The mainly consequences of the technological development are the scarcity of raw materials and the generation of industrial waste. Without an appropriate management, the final disposal of the solid wastes can cause the pollution of soil, air and hydrological resources. As a consequence, it may occur any kind of damage to the human health and environment. In this context, several productive companies have adopted “clean practices” by using the reincorporation of residues into the productive chain. The kaolin is one of the most abundant minerals in Brazil it is mainly employed at paper and ceramic industries. These kinds of industry, however, generate a huge volume of residues which are inadequately disposed at the environment, provoking many environmental impacts. The residues generated at the ornamental rocks improvement are also found in large amounts in Brazil. This kind of mineral has great relevance at the global economy and Brazil detents many reserves where are extracted more than 450 rocks with different tonalities and standards. This works aims to study the technical viability of the kaolin and granite sawing residues as fillers in the asphaltic mixtures as a way of minimizing the environmental impacts caused by these residues. The mechanical tests of Resilient Modulus, Modified Lottman Test and Marshall Test were conducted to verify the effects of these fillers incorporation in the susceptibility of asphaltic mixtures at water's presence. The analysis of the effect of compaction method, impact and gyration, aimed to evaluate the influence of compaction in the mechanical and volumetric behavior of the mixtures. The achieved results indicate that both fillers turn the asphaltic mixtures less susceptible to the water presence. The use of Granite residue, however, provides a more flexible mixture and, thus, with less probability of presenting premature fissures during the pavement life span.

Keywords: Residue, Filler, Asphalt Mixtures.



I INTRODUÇÃO

No Brasil, a geração dos resíduos sólidos atinge contornos gravíssimos pela ínfima presença de soluções adequadas para a sua correta disposição final. A atividade industrial é uma das maiores responsáveis pelas agressões ao ambiente devido à quantidade e à toxicidade dos resíduos produzidos.

Durante as atividades de beneficiamento de rochas ornamentais e do caulim são gerados resíduos responsáveis pela contaminação direta dos rios ou do próprio solo, além de serem responsáveis pela desfiguração da paisagem.

O volume de resíduo gerado pelo beneficiamento de granito é significativo, gerando problemas no transporte, estocagem, econômicos, de manutenção de depósitos, ambientais e problemas para a população e operários, possibilitando o surgimento de uma doença denominada silicose. De acordo com Rochas de qualidade (1993 *apud*) GONÇALVES, 2000) cerca de 30% do material utilizado para serragem é transformado em pó.

Os impactos ambientais, causados pelas empresas mineradoras de beneficiamento de caulim primário é originado durante o beneficiamento, ou seja, de cada tonelada bruta 70% vira resíduo, e são frequentemente depositadas às margens de rodovias, estradas e sobre a vegetação nativa. Essa postura das empresas vem sendo alvo de severas fiscalizações por parte dos órgãos de proteção ambiental, fazendo com que o resíduo gerado torne-se uma fonte de custos e um limitante no aumento da produção, o que vislumbra um grande potencial de lucro para as empresas que consigam reaproveitar ou incorporar esses resíduos em suas linhas de fabricação (MENEZES, 2007 *apud* PEREIRA, 2008).

Pesquisas realizadas utilizando resíduos industriais em substituição ao filler convencional indicaram que a utilização de resíduos como material alternativo minimiza os impactos ambientais causados por sua deposição no meio ambiente, além de agregar valor a um material atualmente visto como sem valor econômico. Gradativamente, tem-se aumentado o uso de resíduos como filler em revestimentos asfálticos, promovendo o desenvolvimento sustentável sem comprometer o comportamento mecânico, físico e químico das misturas asfálticas.

O filler serve de material de enchimento de vazios, contribuindo para o fechamento da mistura, modificando a trabalhabilidade, diminuindo a susceptibilidade à água e a resistência ao envelhecimento. Puzinauskas (1983) relatou, baseado na realização de ensaios Marshall e ensaios de Imersão-Compressão, que a susceptibilidade à presença de água nas misturas asfálticas pode ser diminuída, e até eliminada, pela utilização do filler.

O revestimento asfáltico é responsável por absorver as solicitações cíclicas do tráfego e transmiti-las às camadas subjacentes e ao subleito. Por sua vez, o aumento do número de veículos e o excesso de cargas aliados com a susceptibilidade de misturas asfálticas à presença de água podem tornar os revestimentos asfálticos mais rígidos e conseqüentemente sujeitos a fadiga prematura.

As ações das intempéries nos pavimentos apresentam grande influência na durabilidade destes, pois as ações do calor e da chuva juntamente com a sobrecarga aplicada pelos veículos automotores aumentam a presença de água no interior dos pavimentos, o que provocará uma deterioração prematura destes. Os custos necessários para as atividades de conservação e manutenção das vias poderiam ser reduzidos se houvesse uma diminuição desta susceptibilidade

Os resultados da Pesquisa realizada pela CNT (2006) mostram que as deficiências na infraestrutura rodoviária comprometem a integração com as demais modalidades, gerando restrições operacionais e dificultando o crescimento da intermodalidade. Todo crescimento econômico do país tem de ser precedido por uma situação favorável dos sistemas de transportes, o que requer melhorias significativas da rede atual, além da expansão do sistema rodoviário nacional.

Portanto, a utilização dos resíduos do caulim e do granito, como filler em misturas asfálticas, é uma alternativa a ser considerada, pois, a sua adoção minimizaria o impacto ambiental ocasionado pela sua disposição inadequada e pode vir a proporcionar melhorias no comportamento mecânico das misturas asfálticas.

O objetivo deste trabalho foi o de estudar o comportamento mecânico, físico e mineralógico de misturas asfálticas contendo resíduos provenientes do benefi-



ciamento do caulim e da serragem do granito, considerando seu aproveitamento para as camadas de rolamento, de forma a estabelecer o teor adequado de material reaproveitado a fazer parte da composição da mistura, bem como avaliar qual dentre os fileres estudados proporciona melhor comportamento às misturas asfálticas em relação à susceptibilidade à presença de água. Para atingir o fim proposto foram realizados ensaios de módulos de resiliência moldados utilizando o Compactador Giratório Automático (SGC - *Superpave Gyrotory Compactor*).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos oriundos do beneficiamento do caulim (Figura 1-a) e da serragem do granito (Figura 1-b) têm sua disposição inadequada na região em que é produzido, ocasionando efeitos nocivos ao meio ambiente. Por outro lado, sua composição física é similar aos agregados miúdos e fileres utilizados na pavimentação, bem como estudos anteriores realizados com este material. Os fatores supracitados foram adotados como critérios a sua utilização nesta pesquisa.

A serragem do granito foi cedida pela empresa de beneficiamento de rochas ornamentais POLIGRAN localizada em Campina Grande – PB e o resíduo do caulim foi disponibilizado por empresas localizadas às Margens da BR-230 no Município de Soledade – PB. A seguir, serão descritos em detalhes os ensaios realizados.

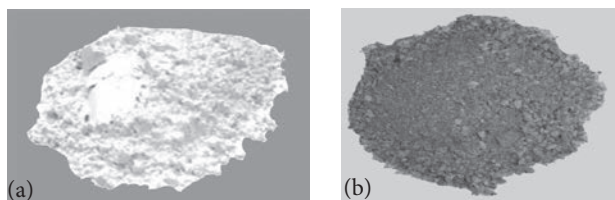
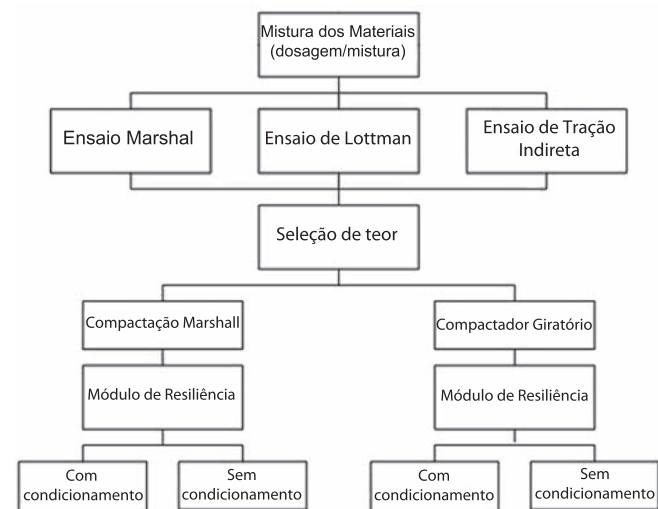


Figura 1- Resíduos utilizados (a) Caulim (b) Granito

Foram realizados ensaios de caracterização física e química dos materiais, além de ensaios mecânicos nas misturas asfálticas para verificação do efeito da adição dos resíduos (fileres) sobre a susceptibilidade das misturas asfálticas à presença de água baseado nos parâmetros: Estabilidade, Resistência à Tração (RT), Relação da Resistência à Tração (RRT) e Módulo de Resiliência com o auxílio dos equipamentos Marshall, Pórtico de Tração Indireta por Compressão Diametral,

Pórtico de Lottman e de Aplicação de carga repetida, respectivamente. Os corpos de prova das misturas asfálticas foram compactados segundo metodologia Marshall (compactador automático) e com auxílio do Compactador Giratório (SGC-SUPERPAVE). A sequência dos ensaios realizados encontra-se no Fluxograma 1.

Os agregados foram misturados e estabilizados mecanicamente para apresentar uma distribuição de tamanhos das partículas que se enquadrasse dentro dos limites pré-estabelecidos na faixa “B” do DNIT (DNIT ES 313 – 97). A dosagem foi realizada variando o teor de filer em 3%, 4% , 5% e 6%, o que acarreta pequenas modificações da percentagem volumétrica dos materiais (Tabela 1) e nas curvas de distribuição dos tamanhos de grãos (Figura 2). Após a realização dos ensaios mecânicos Marshall, Lottman e ensaio de Tração Indireta, foi selecionado o teor que apresentou melhor comportamento para a realização dos ensaios subsequentes.



Fluxograma 1 - Sequência de atividades e de ensaios realizados na fase experimental da pesquisa

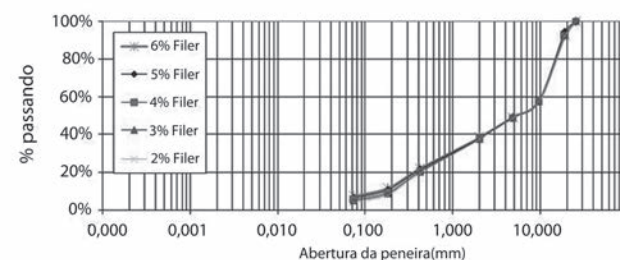


Figura 2- Curvas granulométricas para as misturas com teor de filer de 3%, 4%, 5% e 6%



Tabela I –Variação volumétrica dos agregados em função do teor de filer

Teor de Filer	Brita	Areia	Pó de Pedra
2%	50,0%	16,5%	31,5%
3%	50,0%	16,0%	31,0%
4%	50,0%	15,5%	30,5%
5%	50,0%	15,0%	30,0%
6%	50,0%	14,5%	29,5%

Os ensaios foram realizados com condicionamento e sem condicionamento para avaliar a susceptibilidade das misturas a presença de água.

2.1 ENSAIO MARSHALL

O ensaio Marshall foi realizado segundo a norma do ME 043/95 do DNIT com corpos de prova compactados de forma automática. Foram realizados ensaios Marshall com corpos de prova com incremento da quantidade de fileres de 3,0%, 4,0%, 5,0% e 6,0%.

Para realização dos ensaios Marshall, moldaram-se 6 corpos de prova, para cada um dos 4 teores, perfazendo um total de vinte e quatro corpos de prova (24) para cada resíduo e foram compactados com 75 golpes em cada fase. Destes foram rompidos três com imersão em água e três sem imersão.

2.2 ENSAIO DE TRAÇÃO INDIRETA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio de tração indireta por compressão diametral foi realizado com o Pórtico de Lottman de acordo com o que preconizam as normas DNIT-ME 138/94 e T 283-02 da *American Association of State Highway Officials* (AASHTO). Os corpos de prova foram preparados com o teor ótimo de CAP de 4,5%, com o índice de vazios de 3% a 5%, e com a variação do percentual dos fileres. Nesta etapa foram moldados quatro (04) corpos de prova para cada percentual de filer, totalizando trinta e dois (32) corpos de prova (dezesseis (16) para o filer resíduo de granito e dezesseis (16) para o resíduo de caulim). Todos foram compactados com 75 golpes e rompidos dois (02) corpos de prova com imersão e dois sem imersão a uma temperatura de sessenta graus Celsius (60 °C).

2.3 ENSAIO DE LOTTMAN MODIFICADO

O ensaio de Lottman foi realizado segundo a norma ME 138/94 do DNIT e T 283-02 da AASHTO com o auxílio da prensa Marshall e o pórtico de Lottman. Os ensaios de Lottman Modificado foram realizados com corpos de prova moldados de acordo com as seguintes etapas:

- Primeira Etapa: Mistura CAP + agregados + resíduo de granito: variando o teor de filer entre 3% e 6%.
- Segunda Etapa: Mistura CAP + agregados + caulim: variando o teor de filer entre 3% e 6%.

Foram moldados dezesseis (16) corpos de prova para o filer de resíduo de granito, sendo oito (8) submetidos ao condicionamento e oito (8) sem condicionamento. No ciclo de resfriamento, a temperatura utilizada foi de dez graus Celsius (10 °C), uma vez que esta é a temperatura mínima que pode ocorrer em algumas localidades do Nordeste.

2.4 COMPACTAÇÃO POR AMASSAMENTO – COMPACTADOR GIRATÓRIO

A compactação por amassamento foi estabelecida por critérios volumétricos fixando-se as alturas de corpos de prova com base na norma ME 043/94 do DNIT que tomam como referência o compactador Marshall de diâmetro de base de 10,0 cm, altura de 6,3 cm e massa de 1200g.

Nesta fase experimental foram moldados quatro (04) corpos de prova para cada tipo de filer, resíduos de granito e resíduo de caulim, sendo que metade foi submetida ao condicionamento “Lottman” e a outra metade sem condicionamento (Figura 3).

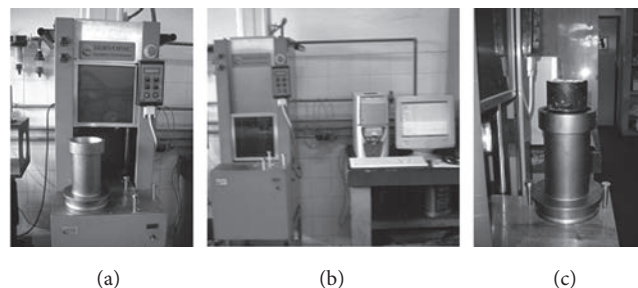


Figura 3 – Compactador giratório (a) Molde e equipamento (b) Ensaio em execução (c) Extração do corpo de prova





2.5 ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA

O ensaio de Módulo de Resiliência foi realizado de acordo com as normas E 468-90 da ASTM e ME 133/94 (DNIT, 1994). A figura 4 apresenta o equipamento utilizado nesta fase experimental.

Nesta fase experimental foram rompidos quatro (4) corpos de prova com o auxílio do compactador giratório (em média 100 giros – critério volumétrico) moldados para cada tipo de filer (5%), resíduo de granito e resíduo de caulim, sendo que metade foi submetida ao condicionamento “Lottman” e a outra metade sem condicionamento.

Nesta fase experimental foram rompidos quatro (4) corpos de prova com o auxílio do compactador Marshall (75 golpes) moldados para cada tipo de filer (5%), resíduo de granito e resíduo de caulim, sendo que metade com submetidas ao condicionamento “Lottman” e a outra metade sem condicionamento (Figura 4).

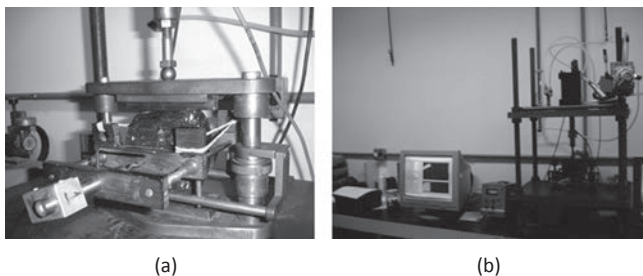


Figura 4 - Equipamento utilizado para realização do ensaio de Módulo de Resiliência

Para a execução do ensaio e do processamento dos dados foram utilizados dois programas de computador desenvolvidos na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) pelo professor Glauco Túlio Persa Fabbri. A figura 5 apresenta as janelas de trabalho do programas de computador utilizados nesta fase experimental.

Na fase inicial de realização do ensaio os primeiros 30 a 40 ciclos de carregamento foram considerados períodos de condicionamento e os ciclos restantes, cerca de 60 a 70 foram considerados para o cálculo do MR.

A adoção de 30 a 40 ciclos de carregamento foi descrita e justificada por Furlan (2006) por entender que durante o período das primeiras aplicações de carga podem resultar em valores do MR incorretos devido a acomodações do corpo de prova, ou seja, a fase visco-

elástica pode não ser “alcançada”. Deste modo, a autora sugere que os primeiros ciclos de carregamento devam ser eliminados para uma melhor homogeneidade e qualidade dos resultados.

Foi fixada, para os ensaios, uma deformação inicial da ordem de 2,5 a 3,0 milésimos de milímetro. Este procedimento foi adotado para preservar a integridade do material sem propiciar o aparecimento de sinais de fadiga.

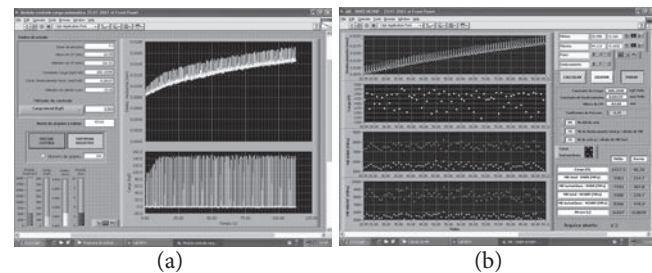


Figura 5 – Janela de trabalho do programa utilizado para realização do ensaio de Módulo de Resiliência e processamento dos dados e cálculo do MR

3 RESULTADOS

3.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

As caracterizações físicas do resíduo do caulim e da serragem do granito, do material que passa na peneira Nº 100, realizada a partir da análise da distribuição dos tamanhos das partículas, obtida com o aparelho analisador de partículas por difração a laser, encontram-se inseridas na figura 6.

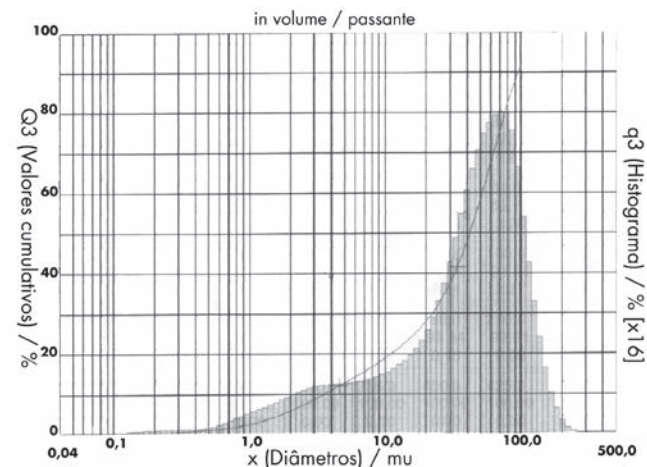


Figura 6a - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do Caulim obtida por difração a laser

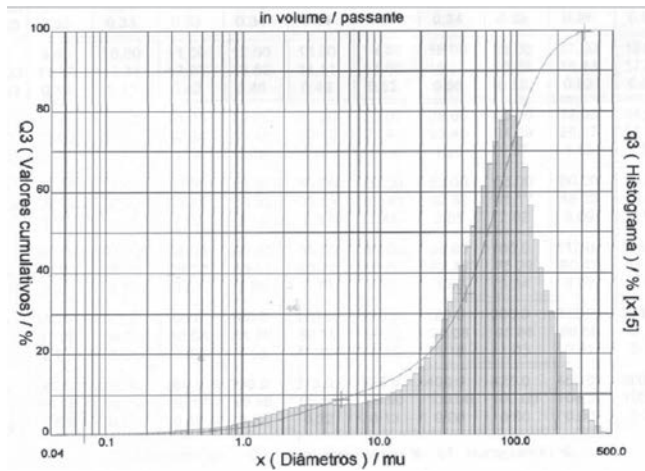


Figura 6 b - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do Granito obtida por difração a laser

Os fileres utilizados atendem as especificações do DNIT para o uso na pavimentação, sendo a distribuição dos tamanhos das partículas do caulim mais fina, ou seja, 80% do filer caulim têm diâmetro inferior a 75 μm , enquanto que para o filer serragem de granito esse percentual é de 65%.

Na figura 7 estão lançados em gráfico, curva de Furler, a distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados utilizados na mistura asfáltica, inseridos na Faixa "B" do DNIT, dentro dos pontos de controle e fora da zona de restrição estabelecida pelo Programa SUPERPAVE.

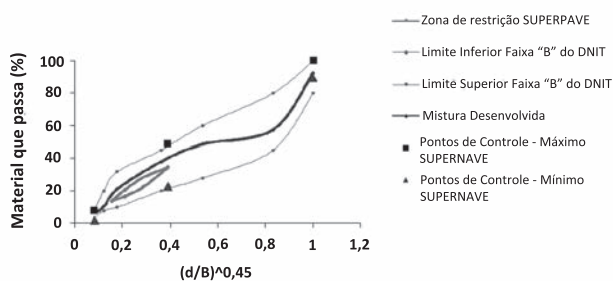


Figura 7 - Distribuição granulométrica - Mistura, Faixa "B", Pontos de controle e Zona de restrição

Foram realizados ensaios de Espectrofotometria por Absorção Atômica com extratos lixiviados e solubilizados para a classificação dos resíduos de acordo com a NBR 10004/2004. Para as amostras de resíduos de caulim e serragem de granito, ensaiadas, todos os constituintes, com exceção do Cádmiu, para o resíduo de caulim, apresentam concentrações inferiores aos limites do anexo F, estabelecidos pela NBR 10004/2004 (ABNT) para análise de extratos lixiviados.

Para os constituintes obtidos com o extrato solubilizado apresentados na Tabela 4.6, observou-se que todos apresentam concentrações inferiores aos limites do anexo G, estabelecido pela NBR 10004/2004, com exceção dos teores cloreto (para o resíduo de caulim), manganês, chumbo e cádmio (para ambos). O resíduo de caulim, segundo os resultados obtidos, foi classificado como "Classe I" (Perigoso). No caso da serragem de granito, foi classificado como resíduo não tóxico e de "Classe II A" (Não Inerte).

3.2 ENSAIO MARSHALL

Na figura 7 estão inseridos os resultados obtidos para a estabilidade Marshall relativos aos ensaios realizados com os corpos de prova moldados com os fileres caulim e de serragem de granito. As respectivas curvas apresentam, também, os valores da estabilidade Marshall em função dos incrementos dos fileres obtidos para os corpos de prova submetidos à imersão em água e sem imersão.

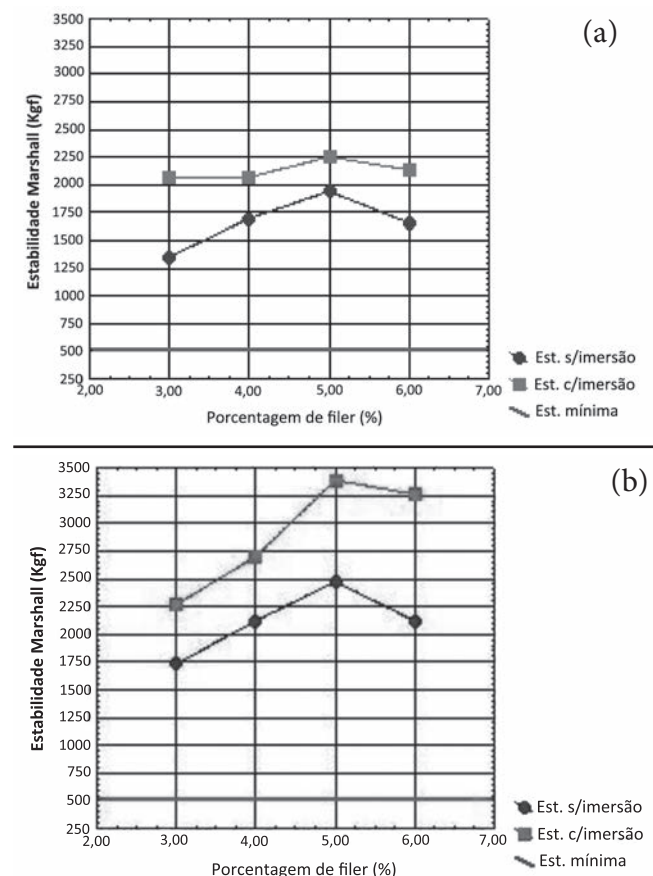


Figura 8 - Média dos valores de Estabilidade Marshall para os corpos de prova moldados com (a) Granito (b) Caulim





Os valores de estabilidade apresentaram tendências crescentes até o percentual de 5% de fíler, após este valor houve queda na estabilidade.

3.3 ENSAIO DE TRAÇÃO DIAMETRAL INDIRECTA

Na figura 9 estão lançados em gráfico os resultados obtidos no ensaio de resistência a tração diametral indireta com os corpos de prova moldados com os fileres caulim e de serragem de granito.

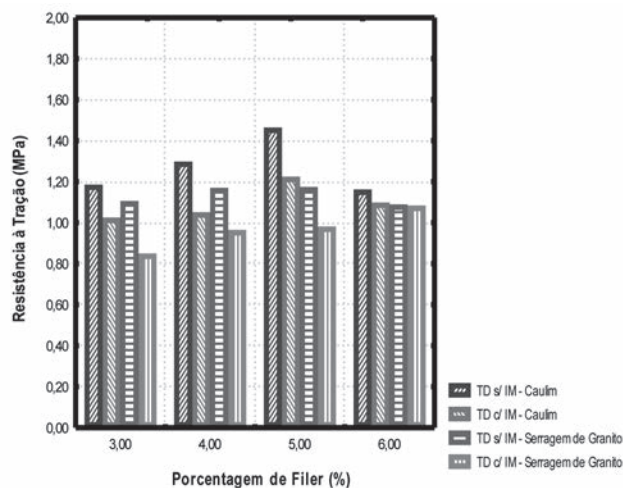


Figura 9 – Resistência à tração diametral indireta para o fíler Caulim

Todos os teores de fíler forneceram valores de Resistência à Tração por compressão diametral superiores ao mínimo exigido pelo DNIT (0,65 MPa). Os valores encontrados situam-se dentro do intervalo de 0,8 a 1,5 MPa referenciados na literatura para este tipo de mistura. A adição de fíler proporciona um aumento da Resistência à Tração para os teores de 3% a 5%, sofrendo um decréscimo no teor de 6%. Este comportamento foi mais evidente nos corpos de prova sem imersão, enquanto que os imersos apresentaram pequenas variações. Esta diminuição entre os teores de 5% e 6% ocorre devido à incorporação de fíler atingir uma quantidade que começa a separar as partículas grossas, prejudicando a compactação da mistura.

3.4 ENSAIO DE LOTTMAN MODIFICADO

Na figura 10 estão lançados em gráficos os resultados da relação da Relação da Resistência à Tração, RRT, obti-

dos com o auxílio do pórtico de *Lottman*, para os corpos de prova moldados com os fileres caulim e de serragem de granito. Os resultados da RRT, para os teores de fíler de caulim e de serragem de granito de 5% e 6%, estão acima dos que são preconizados pela AASTHO (T 283-02 da RRT>70%) e pelo SUPERPAVE (mínimo de 80%).

Ao considerar o teor de 5% de fíler, para as misturas, observa-se que este atende as especificações contidas nas normas do DNIT e do SUPERPAVE baseado nos seguintes parâmetros: Estabilidade; Tração Indireta por Compressão Diametral e Relação da Resistência à Tração (RRT). Entretanto, os valores de Estabilidade para os corpos de prova moldados com os fileres estudados, para este teor, foram significativamente altos, o que pode gerar misturas asfálticas quebradiças sujeitas ao fenômeno da fadiga.

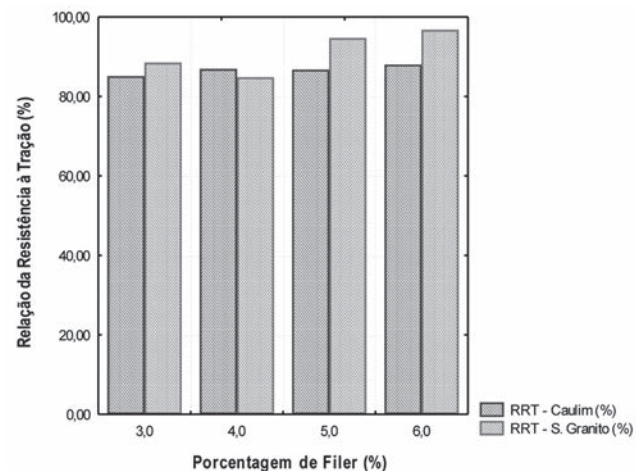


Figura 10 – Relação da resistência retida à tração para os fileres Caulim e Serragem de Granito-3CP

3.5 COMPACTADOR POR AMASSAMENTO (SGC)/LOTTMAN MODIFICADO (RRT)

Com os corpos de prova moldados com o auxílio do compactador giratório (SGC) foram realizados ensaios de Lottman Modificado. Na figura 11 apresentam-se os resultados da Relação da Resistência à Tração.

Os resultados da RRT, para todos os teores, estão acima dos que são preconizados pela AASTHO (T 283-02 da RRT>70%) e pelo SUPERPAVE (T 283-02 da RRT>80%). Tal qual observado no ensaio com a compactação Marshall, os corpos de prova moldados com o fíler da serragem do granito apresentaram valores superiores aos moldados com o fíler do resíduo do caulim.

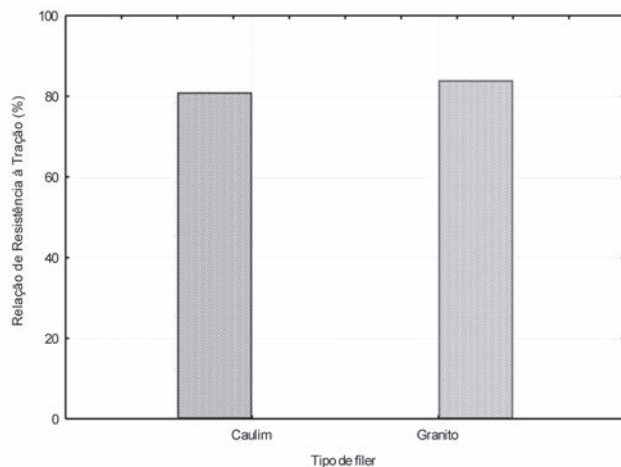


Figura 11 – Relação da Resistência à Tração

As tabelas 1 e 2 apresentam os valores nominais dos índices físicos e mecânicos dos corpos de prova submetidos à compactação por amassamento (SGC) inerentes aos fileres do resíduo de serragem de granito e de caullim (teor de 5%).

Analisando os dados das figuras 10 e 11 é possível inferir que ocorre uma redução nos valores de Resistência à Tração e da Relação da Resistência a Tração quando comparados aos valores obtidos com corpos de prova moldados por compactação de impacto (Marshall).

Tabela 2 – Valores dos índices físicos e mecânicos para os corpos-de-prova submetidos a compactação por amassamento para o filer Granito

Tipo de Compactação	Vazios (%)	Massa específica (g/cm ³)	Relação betume /vazios (%)	Resistência a tração (MPa)	Relação retida a tração (%)
Compactador Giratório	2,29	2,44	87,93	0,85	84,70

Tabela 3 – Valores dos índices físicos e mecânicos para os corpos-de-prova submetidos a compactação por amassamento para o filer Caullim

Tipo de Compactação	Vazios (%)	Massa específica (g/cm ³)	Relação betume /vazios (%)	Resistência a tração (MPa)	Relação retida a tração (%)
Compactador Giratório	1,80	2,45	91,32	0,84	81,60

Os estudos realizados por Sebaaly (2001) indicaram que os métodos de compactação supracitados produzem resultados similares no que se refere à Relação da Resistência a Tração, todavia, foi observado na pesquisa realizada com os fileres caullim e resíduo do granito uma queda desta relação em torno de 28%. A diferença observada neste trabalho, com relação a RRT, pode ser devido aos condicionamentos de temperaturas de refrigeração diferenciados [10 °C (Marshall) / -18 °C (SGC)]. Entretanto, Sebaaly (2001) ressaltaram que a etapa de refrigeração durante o condicionamento não interfere significativamente, o que não foi observado neste trabalho.

3.6 MÓDULO DE RESILIÊNCIA

Com o intuito de verificar o efeito da compactação por amassamento (SGC), por impacto e a deformação da mistura, foram realizados ensaios adicionais de Módulo de Resiliência com corpos de prova moldados com o teor de 5% para os fileres. Ambos os fileres atenderam às especificações do DNIT, da AASHTO e do SUPERPAVE, no que se refere aos resultados de Estabilidade, Resistência à Tração por compressão e Lottman Modificado.

A figura 12 e a figura 13 apresentam o módulo de resiliência para os corpos de prova que passaram pelas etapas de condicionamento e os que não passaram para os fileres de resíduos de serragem de granito e de caullim, respectivamente, utilizando o compactador giratório.

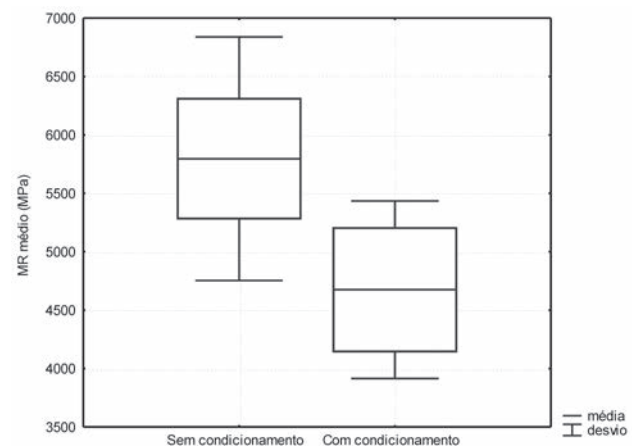


Figura 12 – Módulo de Resiliência para a percentagem de 5% de filer em misturas com condicionamento e sem condicionamento para o filer Granito



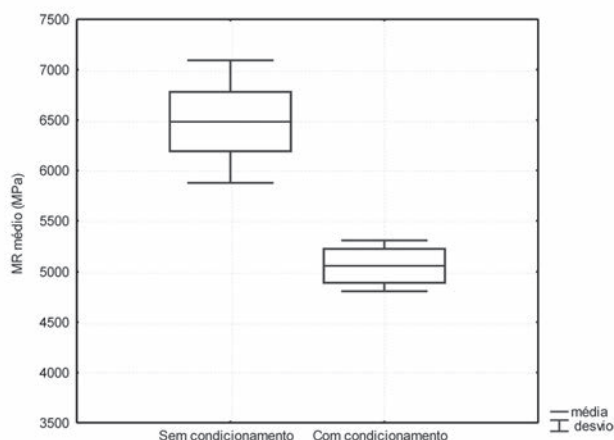


Figura 13 – Módulo de Resiliência para a percentagem de 5% de filer em misturas com condicionamento e sem condicionamento para o filer Caulm

Os valores dos Módulos de Resiliência obtidos, com a utilização de ambos os fileres, estão dentro da faixa citada pela literatura. A tabela 4 e a tabela 5 apresentam a relação entre os parâmetros MR/RT para os fileres estudados. A diminuição do Módulo de Resiliência das amostras condicionadas com relação às que não sofreram condicionamento, para o filer serragem do granito, estão de acordo com os obtidos por Schmidt e Graf (1972 *apud* NEVES FILHO, 2006) em que o Módulo de Resiliência diminui cerca de 50% quando as amostras passaram por processos de saturação .

Tabela 4 - Relação MR/ RT para mistura sem condicionamento para o filer serragem do Granito – compactador giratório

Itens de análise	Valores
Módulo de Resiliência (MR)	5750 MPa
Resistência a tração (RT)	0,84 MPa
MR/RT	6840

Tabela 5 - Relação MR/ RT para mistura sem condicionamento para o filer resíduo do Caulim – compactador giratório

Itens de análise	Valores
Módulo de Resiliência (MR)	6500 MPa
Resistência a Tração (RT)	0,85 MPa
MR/RT	7640

Os valores encontrados para a relação MR/RT estão fora da faixa citadas na literatura. Portanto, julga-se necessário a realização de ensaios com um maior número de corpos de prova para aceitação ou rejeição dos resultados obtidos.

Os altos valores da relação MR/RT podem ser aceitos desde que ocorra uma compatibilidade de deformação entre as camadas da estrutura do pavimento. É importante destacar que o Módulo de Resiliência e a Resistência a Tração da mistura asfáltica são relevantes para o dimensionamento quando se adotam métodos de dimensionamento mecanicistas ou racionais, que tem como base as tensões, as deformações reversíveis e os deslocamentos entre as camadas (DAVID, 2006).

3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA

A utilização dos resíduos industriais como filer, requer, além de comprovada eficiência técnica, que seja economicamente viável. Tomando como parâmetro o Estado da Paraíba, no caso do resíduo de caulim, há uma estimativa de geração de 81.600t/ano (SUDEMA, 2006). Estes resíduos são depositados a céu aberto na região produtora do Estado (Assunção, Soledade, Juazeirinho, Junco do Seridó e Tenório) numa área superior a 900.000m², causando sérios impactos ambientais na região. A granulometria do resíduo produzido é adequada à sua utilização como filer sem qualquer beneficiamento adicional. Deste modo, para as empresas geradoras, a disponibilização do resíduo de caulim para utilização como filer só trará benefícios caso contribua para uma destinação adequada dos seus resíduos sem qualquer ônus adicional.

No caso das empresas consumidoras do resíduo, uma análise de custos leva a perceber que a única modificação substancial se refere à modificação do custo de aquisição do insumo cal em detrimento ao custo alternativo de transporte do resíduo ao local de utilização. Considerando o custo unitário do insumo cal, como sendo de R\$0,25/kg e o custo unitário de transporte (Juazeirinho – João Pessoa) equivalente a R\$0,07/kg, tem-se como resultado uma economia de R\$0,18 a cada Kg de cal que é substituído pelo resíduo de caulim.

Exercício semelhante pode ser feito com relação à serragem de granito no Estado. Anualmente, são geradas cerca de 8.400 toneladas de serragem de granito, inferior ao volume de resíduos oriundos do beneficiamento do caulim, mas significativo para a indústria e igualmente impactante ao meio ambiente. Assim, considerando as mesmas suposições realizadas para a substituição do insumo cal pelo caulim



à exceção do custo unitário de transporte no valor de R\$0,04/kg que corresponderá agora ao transporte Campina Grande – João Pessoa, ter-se-á uma economia de R\$0,21/kg apontando para uma viabilidade econômica de substituição dos resíduos considerados no presente trabalho.

4 CONCLUSÕES

- O resíduo de caulim pode ser classificado como do tipo “Classe I” (Perigoso) e o resíduo da serragem de granito como tipo “Classe II A” (Não Inerte).
- A estabilidade Marshall apresentou tendência crescente com o incremento dos filler. Todos os teores de filler apresentam valores de estabilidade superiores ao mínimo estabelecidos pelo DNIT, sendo os valores obtidos para o resíduo do caulim superiores ao do obtido com o resíduo serragem do granito.
- Todos os valores da resistência à tração foram superiores ao mínimo estabelecido pelo DNIT e apresentaram tendências crescentes com o incremento de filler, sendo os valores obtidos para o resíduo do caulim superiores ao do obtido com o resíduo serragem do granito.
- As misturas asfálticas avaliadas apresentaram resultados da Relação de Resistência à Tração (RRT) acima dos valores mínimos recomendados pela AASHTO e pelo SUPERPAVE, sendo que os corpos de prova moldados com o filler serragem do granito apresentaram melhor adesividade em detrimento aos que utilizaram como filler o outro resíduo.
- Em relação ao módulo de resiliência, para o filler do resíduo de serragem do granito, os resultados encon-

tram-se dentro da faixa citados na literatura enquanto que para os corpos de prova moldados com o resíduo de serragem de granito o condicionamento dos corpos de prova provocou uma diminuição no Módulo de Resiliência com relação aos não condicionados.

Os resultados obtidos para este estudo de caso indicam que as misturas asfálticas, cuja composição contém filler do resíduo de serragem de granito nas proporções estudadas, apresentam uma menor deformação e uma menor susceptibilidade à presença de água quando comparadas com as misturas em que foi utilizado o filler resíduo do caulim. Entretanto, desde que seja observada, no dimensionamento do pavimento, a compatibilidade de deformação entre as camadas, os resíduos de serragem de granito e de caulim podem ser utilizados como filler em Concretos Asfálticos.

5 AGRADECIMENTOS

- Ao CNPq, pelo apoio financeiro na realização deste projeto de pesquisa.
- À ATECEL – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior pela disponibilização do laboratório para a realização dos ensaios.
- Ao UAEC/UFCG – Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.
- Ao Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP-STT pela disponibilização dos laboratórios.

6 REFERÊNCIAS

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa Rodoviária**. CNT/SEST/ SENAT, Florianópolis, 2006.

DAVID, D. **Misturas asfálticas recicladas a frio**: estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsinado. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE. **DNIT – EM 313/97: Especificação de Serviço**: Pavimentação-Concreto betuminoso. Rio de Janeiro, 1997.

FURLAN, A.P. **Considerações acerca da adesão e da suscetibilidade à umidade de misturas asfálticas densas à luz de algumas propriedades mecânicas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2006.

GOLÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte do granito como adição para produção de concreto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

MENEZES, R.R. - Utilização do Resíduo do Beneficiamento do Caulim na Produção de Blocos e Telhas Cerâmicos. **Revista Matéria**, 12 (01). Rio de Janeiro, 2007.

NEVES FILHO, A. S. , **Avaliação da Adição de Dopes no Comportamento de Misturas Asfálticas a Quente**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2006.

PEREIRA, L. M. **Influência do Resíduo de Caulim nas Propriedades Físico-Mecânica do Porcelanato**. In: 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Pernambuco, 2008.

PUZINAUSKAS, V. P. Filler in Asphalt Mixtures. **Research Report No. 69-2 (RR-69-2)**, Asphalt Institute. Kentucky, USA, 1983.

ROCHAS DE QUALIDADE., Granito, Mármore e Pedras Ornamentais. **Cetmag Desenvolve Equipamentos para Lama Abrasiva**. São Paulo. Edição 115, 1993.

SEBAALY, P. E. Evaluation of Moisture Sensitivity Properties of Adot Mixtures on US 93. **Final Report**. Arizona Department os Transportation. Arizona, 2001.

SCHMIDT, R.J.; GRAFF; P.E.; The Effect of Water on the Resilient Modulus of Asphalt Treated Mixes, **Proc., Association of Asphalt Paving Technologists**, Vol. 41, pp. 118–162, 1972.

SUDEMA.- SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Cadastro Industrial**. João Pessoa: SUDEMA, 2006.



ERRATA

REVISTA Nº 23

Cenário Atual e Quesitos para Implantação de Laboratórios em Concessionárias

Lenice Mirian da Silva

Mestranda em Engenharia Civil. Grupo CCR NovaDutra, R. Helena David Neme nº 180 – apto 14 – Jardim São Dimas – Cep 12.245-310, São José dos Campos – SP, Brasil.
E-mail: le_mirian@yahoo.com.br.

Delma de Mattos Vidal

Doutora em Engenharia Civil. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA – Divisão de Engenharia Civil – Departamento de Geotecnia. Praça Marechal Eduardo Gomes nº 50 – CTA – Vila das Acácias – Cep 12.228-900, São José dos Campos – SP, Brasil.
E-mail: delma@ita.br.

RESUMO

Um laboratório de ensaios capaz de atender as necessidades de uma concessionária no que se refere a serviços de manutenção ou implantação é um importante aliado para atingir as metas e contribuir para a evolução da tecnologia rodoviária. Ele atua em todas as fases dos serviços necessários ao bom desempenho da via (projeto, controle de qualidade e monitoramento), no treinamento de equipes técnicas de modo a garantir a qualidade dos ensaios e no desenvolvimento de pesquisas. Este ar-

tigo tem por objetivo discutir o cenário atual no Brasil no que se refere aos laboratórios e ensaios mais realizados/solicitados pelas concessionárias, os quesitos para a implantação de laboratórios que atendam suas necessidades e os procedimentos para garantir a qualidade de suas atividades, incluindo um exemplo de programa interlaboratorial.

Palavras-chave: Laboratório, Tratamento de Dados, Garantia da Qualidade, Programa Interlaboratorial, Concessionárias.

Pág. 38

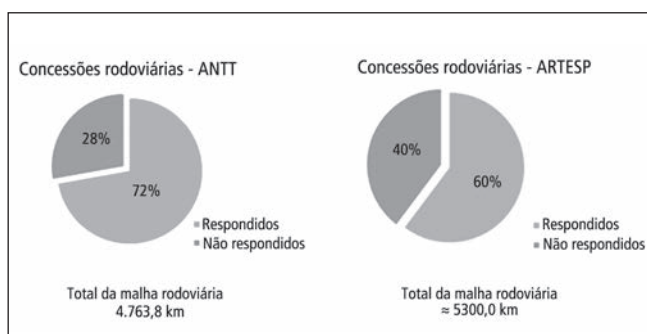


Figura 1 – Distribuição das respostas em relação à malha rodoviária. Fonte: Silva (2011)

Pág. 44

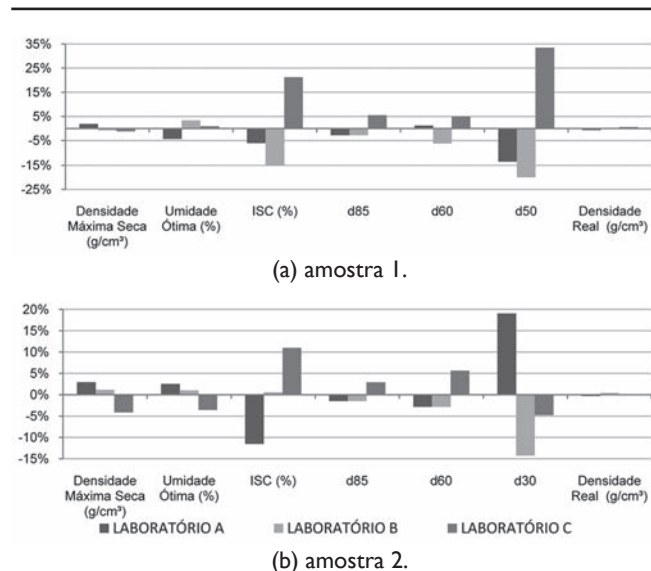


Figura 4 - Diferença percentual nos ensaios.



Identificação automática das camadas que compõem o pavimento e Zona Zero com o uso de imagens de GPR

SANDRO HENRIQUE DE FARIA, M.Sc.

IF Sul MG. E-mail: sandro.faria@ifsuldeminas.edu.br

Carlos Antônio Oliveira Vieira, PhD

UFSC. E-mail: carlos.vieira@ufsc.br

Paulo Roberto Antunes Aranha, Dr.

UFMG. E-mail: aranha@igc.ufmg.br

Carlos Alexandre Braz de Carvalho, Dr.

UFV. E-mail: cbraz@ufv.br

Edgar Ricardo Ferreira, Dr.

IF Sudeste MG. E-mail: edgar.ferreira@ifsudestemg.edu.br

RESUMO

Este artigo traz a análise do desempenho do RADAR de penetração no solo (GPR) como ferramenta na determinação das espessuras das camadas de um pavimento rodoviário flexível e da região de Zona Zero entre as antenas emissoras e receptoras do GPR, de uma maneira automática apoiado em testes integrados de GPR e dados geotécnicos. O experimento foi realizado em uma obra de reconstrução na rodovia Presidente Dutra (BR116), município de Pirai (RJ). Para atingir os objetivos do trabalho, foi elaborada uma metodologia direcionada à identificação das espessuras das camadas de pavimentos flexíveis de modo automatizado, incluindo a região da Zona Zero, que, apesar de não pertencer à estrutura do pavimento, faz parte do radargrama e

deve ser identificada para a posterior exclusão. A metodologia se baseia na utilização de informações de textura e blocos de *pixels* na classificação, diferentemente dos processos de classificação tradicionais onde se leva em consideração apenas as informações dos níveis de cinza. Os resultados, de uma maneira geral, se mostraram potencialmente relevantes, uma vez que os de classificação para as classes 1 (Zona Zero) e 3 (macadame) foram satisfatórios. No entanto, houve confusão entre os “blocos” classificados para as classes 2 (revestimento) e 4 (subleito). A metodologia e a sequência empregada estão apresentadas neste artigo de forma sucinta.

Palavras-chave: GPR; Sensoriamento remoto; Pavimentação, *MaxVer*; Transformada *Wavelet*.

Pág. 24

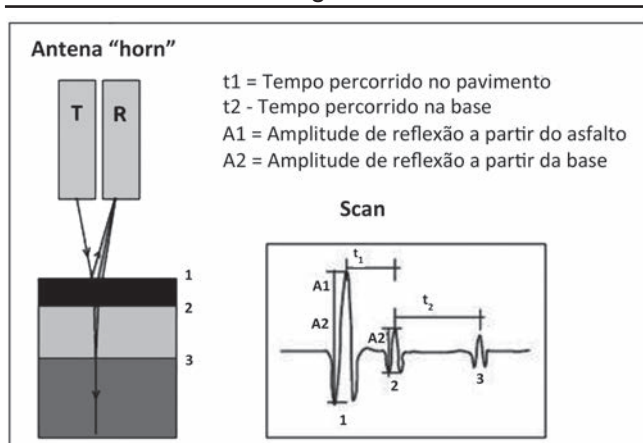


Figura 01. Princípio básico da técnica GPR com antena "horn" para análise de pavimento (SAARENKETO, 2006)

Pág. 33

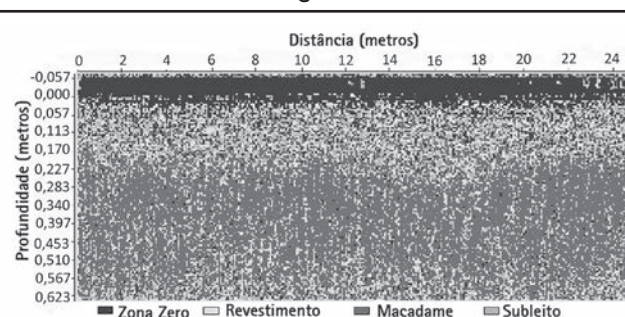


Figura 11. Imagem temática para os coeficientes vertical da imagem obtida a 30 cm da borda da reconstrução, bloco 4x4



Pág. 33

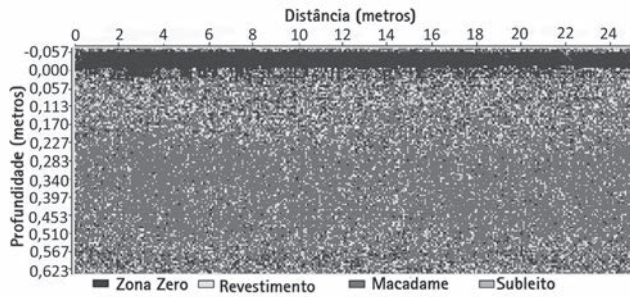


Figura 12. Imagem temática para os coeficientes diagonal da imagem obtida a 1 metro da borda da reconstrução, bloco 4x4.

Pág. 33

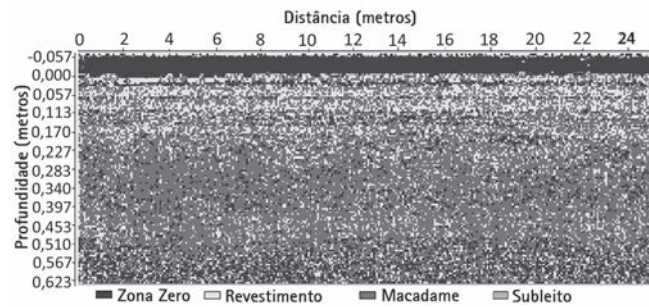


Figura 13. Imagem temática para os coeficientes horizontal da imagem obtida a 1 metro da borda da reconstrução, bloco 4x4.

Pág. 34

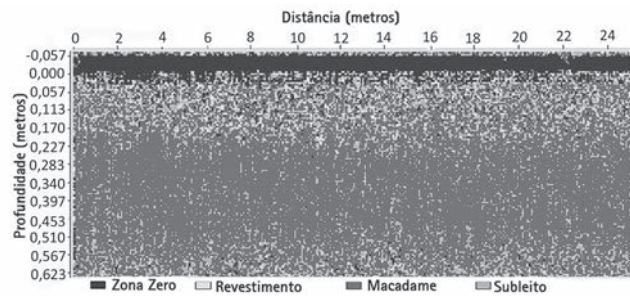


Figura 14. Imagem temática obtida para os coeficientes vertical da imagem obtida a 1 metro da borda da reconstrução, bloco 4x4.

Revista PAVIMENTAÇÃO

Normas básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

1. A Revista PAVIMENTAÇÃO é uma publicação técnica e científica de divulgação da ABPv. As contribuições para a revista devem ser de caráter exclusivamente técnico e estão abertas aos sócios e aos profissionais da Engenharia Rodoviária, Ferroviária e Aeroportuária nacional e internacional.
2. A Revista pode também apresentar eventualmente matérias especiais redigidas pelo seu corpo técnico editorial e pela diretoria da ABPv como forma de divulgação de opiniões ou comentários considerados relevantes como “voz” da ABPv.
3. Os artigos e contribuições como nota técnica, inéditos, podem ser enviados em qualquer época do ano para serem publicados em uma das quatro edições anuais ou até no ano seguinte dependendo do número de matérias selecionadas.
4. Os trabalhos, sejam científicos, sejam técnicos ou de outra natureza encaminhados para eventual publicação, serão submetidos a avaliação de três profissionais que compõem o Comitê Técnico-Científico da Revista, escolhidos de acordo com o perfil do material a ser julgado. Aos avaliadores não será dado a conhecer os autores do artigo ou trabalho antes da avaliação e também é vedada a divulgação para os autores da identidade dos avaliadores.
5. Os avaliadores recebem da ABPv um questionário indicativo dos itens a serem avaliados em cada contribuição para Revista PAVIMENTAÇÃO, podendo sugerir três opções de encaminhamento:
 - (i) O trabalho é aceito para publicação;
 - (ii) O trabalho não é aceito para publicação e será então devolvido aos autores;
 - (iii) O trabalho poderá vir a ser aceito caso os autores concordem em fazer algumas modificações sugeridas por um ou mais avaliadores.
6. Cabe à Diretoria da ABPv julgar os casos omissos e autorizar a publicação de contribuições de caráter não técnico, eventualmente, em função dos assuntos abordados e da disponibilidade de espaço.
7. O resultado da avaliação de qualquer material encaminhado à Revista PAVIMENTAÇÃO será levado ao conhecimento dos autores dos mesmos informando o destino que será dado à sua contribuição que pode ser: publicação imediata no próximo número a ser lançado, publicação em número subsequente devido ao excesso de contribuições ou não publicação.
8. O Autor ou autores das contribuições aceitas para publicação devem concordar com a reprodução de seu material sem nenhum direito a qualquer custo de direitos autorais já que a ABPv é uma entidade sem fins lucrativos e a Revista PAVIMENTAÇÃO destina-se preferencialmente aos sócios e não será utilizada para venda com fins lucrativos.
9. As contribuições para a Revista PAVIMENTAÇÃO devem ser encaminhadas de preferência por meio digital, podendo estar em formato PDF somente na fase de julgamento pelo Comitê. Os originais deverão ser produzidos em programa Microsoft Word. As figuras deverão ser fornecidas em separado, com resolução mínima de 300dpi. Caso a foto seja digital, a resolução deverá ser de no mínimo de 3.2 mega pixels. Não sendo as fotos do(s) autor(es), este(s) será(ão) responsável(eis) por declarar os créditos das mesmas e obter a autorização para publicação. Nos gráficos, evitar utilizar cores e dar preferência a símbolos que possam distinguir claramente as informações relevantes da figura. Nas tabelas não devem ser utilizadas formatações, bordas ou sombreamentos. As tabelas devem ser bem nítidas, identificadas com numeração própria e título. As equações podem ser criadas por um aplicativo externo, podem ser feitas com fontes de símbolos ou com o editor de equações do próprio programa usado para o trabalho. Em qualquer caso, elas devem ser numeradas consecutivamente ao longo do documento. As unidades deverão ser expressas no SI.
10. As contribuições podem ser de no mínimo 2 e de no máximo 15 páginas em formato A4, editoradas em fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. Número maior de páginas poderá ser aceito em casos excepcionais a critério da Editoria da Revista.
11. Os textos deverão ser escritos em português, em linguagem adequada e correta, sendo de responsabilidade do(s) autor(res) a revisão ortográfica, as referências bibliográficas devem seguir o padrão ABNT, tipo por citação de sobrenome e ano (ex. MATHEUS, 1994) e preferencialmente os artigos devem apresentar um resumo de 200 a 300 palavras, resumo em inglês de igual conteúdo do resumo em português (ABSTRACT) e indicar de 3 a 5 palavras-chaves. Artigos em outros idiomas podem eventualmente serem aceitos a critério da Editoria da revista.
12. Estas especificações podem ser eventualmente revistas a critério da Editoria da Revista e da Diretoria da ABPv a qualquer tempo, cabendo aos artigos e contribuições já submetidos se adequarem seguindo as regras existentes à época da submissão do seu material.