

REVISTA

ABRV

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO



PAVIMENTAÇÃO

ANO X • Nº 37 • JUL-SET • 2015 • WWW.ABPV.ORG.BR • ISSN 1809-1865

**CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO
DE CÁLCULO DA SUPERELEVAÇÃO
FERROVIÁRIA EM TRANSPORTE DE
CARGAS EM VIAS LASTREADAS**



*Izakiel Bruno Felício Paz
Francisco Heber Lacerda de Oliveira*

Participe do principal evento de
pavimentação urbana do país.

20^a
RPU 2016
01 a 03
de junho
Reunião de Pavimentação Urbana
CentroSul - Florianópolis/SC

Florianópolis, a bela capital catarinense, será palco da 20ª Reunião de Pavimentação Urbana que acontecerá no período de 01 a 03 de Junho de 2016.

Esperamos por você!

Temário para trabalhos técnicos

- ◆ Financiamento aos municípios
- ◆ Materiais para pavimentação
- ◆ Estudos e projetos de pavimentos
- ◆ Manutenção, restauração e gerência de vias
- ◆ Técnica de construção e controle de qualidade de pavimentos
- ◆ Segurança e meio ambiente em vias
- ◆ Abertura e reaterro de valas de redes subterrâneas
- ◆ SMS (Saúde do trabalho, Meio ambiente e Segurança do trabalhador)
- ◆ Acessibilidades
- ◆ Estradas vicinais



Para mais informações: www.rpu.org.br

Realização



Apoio



Local



Organização



EXPEDIENTE



REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano X • Nº 37 • Jul - Set 2015
ISSN 1809 - 1865

Rua Miguel Couto, 105 • Sobrelojas 204 e 205
CEP 20070-030 • Rio de Janeiro • RJ
Tel • (21) 2233-2020 | 2263-5794 Fax • (21) 2233-0709

CONSELHO EDITORIAL

Diretoria da ABPv

EDITORA CHEFE

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 S. Vieira Costa
Vice-Presidente • Engº Eduardo Alberto Ricci
Diretora Financeira • Arqtª Georgina Libório Azevedo
Diretor Administrativo • Engº Fernando Augusto Júnior
Diretora Técnica • Engª Luciana Nogueira Dantas
Diretora de Divulgação • Engª Michéle Dal Toé Casagrande

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 Cassio Eduardo Lima de Paiva • Engª 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 Vicente Falabella Fabrício • Engº João Virgílio Merighi • Engº Jorge Augusto Pereira Ceratti • Engº José Pedro dos S. Vieira Costa • Engº José Leomar Fernandes Junior • Engº José Tadeu Balbo • Engº José Vidal Nardi • Engª 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 Marcílio Augusto Neves • Engª Maria da Conceição M. Azevedo • Engª Michéle Dal Toé Casagrande • Engº Nilton de Souza Campelo • Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo • Engª Prepedigna D. E. Almeida da Silva • Engª Rita Moura Fortes • Engº Rui José da Silva Nabais • Engº Silvano Rodrigues Filho • Engº Saul Birman • Engº Walter Canales Sant'ana • Engº Washington Pérez Nuñez.

Projeto Gráfico e Produção Digital • Luciana Costa Leite
Revisão • Renata Daflon Menezes
Impressão • WalPrint Gráfica e Editora
Tiragem • 10.000 exemplares
Periodicidade • Trimestral

NOSSA CAPA



Foto: "Train line"
Fotógrafo: Wonderwall
Imagem sob licença da Shutterstock.com

Envie sua foto para: abpv@abpv.org.br

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------|----|
| EDITORIAL | 4 |
| SEÇÃO DE NOTAS | 5 |
| ESPECIAL - 44ª RAPv E 18º ENACOR | 15 |
| ESPAÇO JURÍDICO | 22 |

CADERNO DE TECNOLOGIA

| | |
|--------------------------------|----|
| Drenagem: rua e sarjeta | 25 |
| Francisco José d'Almeida Diogo | |

ARTIGO 1

| | |
|--|----|
| Crériterios de verificação de cálculo da superelevação ferroviária em transporte de cargas em vias lastreadas | 33 |
|--|----|

Izakiel Bruno Felício Paz
Francisco Heber Lacerda de Oliveira

ARTIGO 2

| | |
|--|----|
| Avaliação do trincamento de cima para baixo em revestimentos asfálticos de pavimentos rodoviários | 45 |
|--|----|

Lysiane Menezes Pacheco
Lélio Antônio Teixeira Brito
Jorge Augusto Pereira Ceratti

ARTIGO 3

| | |
|---|----|
| O uso de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais e de escória de aciaria como filer em misturas asfálticas | 59 |
|---|----|

Eduardo Valadares Gottardi
João Luiz Calmon
Jamilla Emi Sudo Lutf Teixeira

EDITORIAL

Nesta edição, a Revista PAVIMENTAÇÃO apresenta duas novas abordagens aos leitores. A primeira delas é destinada a tratar, brevemente e de forma objetiva, notícias relevantes sobre pavimentação no Brasil e no mundo. Notadamente, não serão informações com teor técnico, uma vez que a revista fundamenta-se pelos artigos científicos que compõem a maior parte da publicação. Tratam-se, portanto, de assuntos rotineiros de decisões e ações de órgãos públicos, notícias governamentais que interessem à engenharia de pavimentos e outros temas afins.

A outra novidade é a seção Caderno de Tecnologia, um espaço itinerante na Revista destinado a trazer artigos menores sem a predominância do viés científico. Serão temas pontuais selecionados pela pertinência e relevância para a comunidade da pavimentação.

E como primeiro convidado, o Coronel Engenheiro Francisco José d'Almeida Diogo, professor do IME - Instituto Militar de Engenharia e colaborador técnico do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Cel. Diogo discorre no Caderno de Tecnologia sobre o tema “Drenagem”.

Nesta edição trazemos também as notícias da 44ª RAPV – Reunião Anual de Pavimentação, do 18º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária e da 4ª Expopavimentação, ocorridos em agosto, na cidade paranaense de Foz do Iguaçu. O evento surpreendeu pela grande presença de profissionais, acadêmicos, autoridades locais e nacionais e empresários, consagrando o alto nível dos temas e dos trabalhos técnicos apresentados.

Em Espaço Jurídico, o advogado e professor Claudio Millian apresenta a segunda parte de sua abordagem sobre a Responsabilidade do Profissional de Engenharia. Dessa vez, o professor discorre sobre a responsabilidade penal e trabalhista dos engenheiros. Um tema delicado que requer constantes esclarecimentos para os profissionais atuarem com liberdade e segurança.

Na seção de Artigos Técnicos, o primeiro destaque fica por conta do estudo sobre critérios de verificação de cálculo da superelevação ferroviária em transporte de cargas em vias lastreadas. Os autores do estudo são Izakiel Bruno Felício Paz e Francisco Heber Lacerda de Oliveira.

O segundo artigo é uma avaliação do trincamento de cima para baixo em revestimentos asfálticos de pavimentos rodoviários, trabalho elaborado pelos engenheiros Lysiane Menezes Pacheco, Lélío Antônio Teixeira Brito e Jorge Augusto Pereira Ceratti.

O terceiro artigo versa sobre o uso de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais e de escória de aciaria como filler em misturas asfálticas. Os autores Eduardo Valadares Gottardi, João Luiz Calmon e Jamilla Emi Sudo Lutif Teixeira, da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, avaliam o comportamento mecânico e as propriedades de adesividade dos concretos asfálticos produzidos com a incorporação de Resíduos de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (RBRO) e de Escória Moída de Aciaria (EMA) como filler.

A todos uma ótima leitura!



SEÇÃO DE NOTAS

revistapavimentacao@abpv.org.br

Emulsion School Miami 2015



Akzo Nobel Latin America Asphalt School 2015

A Escola de Asfalto América Latina 2015 se realizará de 28 de setembro a 02 de outubro de 2015, em Miami, FL (EUA). Serão proferidas palestras por Alan James, Sundaram Logaraj, TBA e uma sessão pôster constam da programação sobre emulsões.

Informações • Erin.Hibbard@akzonobel.com



Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas realizará o IV Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, um evento técnico-científico de alta qualidade que indica tendências futuras nas áreas técnicas, legais e acadêmicas ligadas ao meio ambiente subterrâneo. Será realizado nos dias 5 e 6 de outubro, em São Paulo.

Participarão representantes de universidades, legisladores, reguladores, consultores e prestadores de serviço para uma rica troca de informações e experiências. Estarão reunidos, os maiores *experts* do setor em palestras e mesas redondas voltadas às apresentações e otimização de tecnologia.

Paralelamente será realizada a FENÁGUA – Feira Nacional de Águas, onde os visitantes terão a oportunidade de conhecer as novidades em produtos e serviços do setor de águas e meio ambiente subterrâneo.

Informações • www.abas.org/cimas



MetrôRio sediará encontro de manutenção metroferroviária com operadoras

Nos dias 7, 8 e 9 de outubro, o Rio de Janeiro abrigará a 40ª Reunião do Grupo Permanente de Autoajuda na Área de Manutenção Metroferroviária (GPAA). Cerca de 20 operadoras de transporte ferroviários nacionais e internacionais participarão do encontro, entre elas a Metrovia de Buenos Aires e o Metrô Lisboa, além de integrantes do corpo diplomático do Consulado do Canadá no Brasil.

O GPAA foi criado com o objetivo de promover o intercâmbio de ideias e troca de soluções em manutenção metroferroviária, além de apresentar os novos desenvolvimentos do setor.

Informações • www.metrorio.com.br



CONEXPO Latin America

A CONEXPO Latin America está dirigida a profissionais envolvidos em todos os segmentos da indústria da construção, com foco no mercado latino-americano de grandes e pequenas empresas, incluindo empreiteiros, produtores de materiais, órgãos governamentais, fabricantes e prestadores de serviços. O evento acontecerá em Santiago, Chile, de 21 a 24 de outubro.

Informações • www.conexpolatinamerica.com



GEOSUDESTE 2015

No período de 26 a 29 de outubro de 2015, os núcleos de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro/Espírito Santo da Sociedade Brasileira de Geologia – SBG promoverão o GEOSUDESTE 2015 – 14º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE e 8º SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, no Centro de Convenções Campos do Jordão, no estado de São Paulo. O tema central é A Importância dos Recursos Naturais na Economia Brasileira.

O Simpósio de Geologia do Sudeste é hoje o segundo maior evento nacional da área de Geociências, tanto em participantes quanto em número de trabalhos técnicos encaminhados, e conta com a participação de universidades, empresas e grandes centros de pesquisa.

Informações • www.acquacon.com.br/geosudeste



57º Congresso Brasileiro do Concreto

A 3ª Conferência Internacional para Melhor Execução de Pavimentos de Concreto será realizada com o lema “Desafios para o futuro da construção com pavimento de concreto sustentável”, dentro do 57º Congresso Brasileiro do Concreto, entre os dias 27 e 30 de outubro, na cidade de Bonito, no Mato Grosso do Sul. Trata-se de um dos eventos internacionais mais importantes, dedicado à discussão e intercâmbio sobre tecnologias ligadas à questão de pavimentos de concreto. A organização é da Universidade de São Paulo (USP) e do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON).

Informações • www.site.ibracon.org.br



18ª NT EXPO - Negócios sobre Trilhos

Trata-se do único evento de equipamentos, infraestrutura, serviços e manutenção ferroviária da América do Sul, onde são apresentadas inúmeras oportunidades de negócios, parcerias, intercâmbio e troca de experiências entre profissionais e empresários do setor ferroviário.

O evento acontece em São Paulo, entre os dias 03 e 05 de novembro.

Informações • www.ntexpo.com.br



Simpósio de Geotecnia do Nordeste

A Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), através do Núcleo Nordeste, em parceria com a Universidade de Campina Grande (UFCG) e o Laboratório de Engenharia de Pavimentos & Geotécnica (LEP) realizarão o 4º Simpósio de Geotecnia do Nordeste - GeoNe 2015, nos dias 05 e 06 de novembro de 2015, em Campina Grande, na Paraíba.

Esse será o primeiro evento deste caráter em Campina Grande e se constituirá num fórum privilegiado de debates sobre a Geotécnica Regional com palestrantes de renome nacional e internacional.

Informações • www.geone.com.br



FENATRAM 2015

Entre os dias 9 e 13 de novembro próximo acontece no Anhembi, em São Paulo, o 20º Salão Internacional do Transporte Rodoviário de Carga – Fenatram.

A Fenatram é o maior e mais completo evento voltado para toda cadeia do Transporte Rodoviário de Carga da América Latina. O espaço é dedicado a tomadas de decisão na renovação de frotas de caminhões, implementos, serviços em geral, além de permitir a experiência única de conhecer, comparar e testar as principais soluções disponíveis para aumentar a performance dos serviços de distribuição.

O evento está há 40 anos no mercado, mostrando que é uma plataforma para reunir empresas interessadas em otimizar a eficiência do setor, driblar os desafios do mercado atual e ser uma vitrine para expositores e visitantes consolidarem negócios.

Informações • www.fenatram.com.br



BW EXPO 2015

De 20 a 22 de outubro, no Centro de Eventos Pro Magno, em São Paulo, ocorre a feira de negócios e conferências chamada BW Expo. O evento é inspirado em modelos internacionais, como os realizados na Alemanha e Estados Unidos, trazendo novidades para os setores de Água, Esgoto, Drenagem, Gestão de Resíduos, Energia, Análises Laboratoriais e Ar.

Informações • www.bwexpo.com.br



CILA 2015

O Congresso Ibero-Americano de Asfalto será realizado este ano na cidade de Bariloche, na Argentina, de 16 a 20 de novembro. O evento será oportunidade para troca de informações e experiências sobre novas tecnologias, equipamentos e especificações que permitirão aproveitar a experiência coletiva e otimizar o investimento na pavimentação e uso de ligantes betuminosos. Além disso, o evento visa incentivar a pesquisa em universidades, centros especializados e outras entidades ligadas ao setor. Desta forma, os laços que permitem o desenvolvimento sustentável nos países latino-ibero-americanos serão reforçados.

Informações • www.cila2015.com.ar



Conferência Mundial de Engenharia

A cidade de Kyoto, no Japão, será a sede da WECC 2015: Inovação e Sociedade. Trata-se de uma conferência internacional sobre engenharia que reunirá grandes nomes da engenharia mundial para discussão dos desafios e inovação que o setor exige a todo momento. Os temas terão como pano de fundo a ideia de uma sociedade sustentável e multicultural e a maneira como isso impacta nas pesquisas da engenharia. O evento ocorrerá de 29 de novembro a 2 de dezembro deste ano.

Mais informações, acesse www.wecc2015.info

Informações • www.geone.com.br

Curso In Company

Aconteceu entre os dias 15 e 17/09/2015 no Auditório do Edifício Sede do DER-DF, em Brasília, o Curso de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis ministrado pelo Prof. José Leomar Fernandes Junior sob a coordenação da Diretora Técnica da ABPv/IPR-DNIT Dr^a Luciana Nogueira Dantas.



LANÇAMENTOS



Ligantes Asfálticos

O guia técnico Utilização de Ligantes Asfálticos em Serviços de Pavimentação foi lançado pela ABEDA - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos, no dia 16 de setembro, no Lounge ABCR durante o evento CBR&C Brasvias, com sessão de autógrafos dos autores.

A obra foi elaborada criteriosamente por uma equipe de profissionais com larga experiência no ramo, liderada pelo professor doutor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Jorge Augusto Pereira Ceratti, pela professora doutora da Universidade de São Paulo, Liedi Bariani Bernucci, e pelo professor doutor da Universidade Federal do Ceará, Jorge Barbosa Soares.

A publicação encontra-se dividida em três grandes etapas: Tipos de Ligantes e Revestimentos Asfálticos; Seleção de Camadas Asfálticas para Obras de Pavimentação; e Construção e Controle Tecnológico. É um manual de consultas técnicas para elaboração de projetos, pesquisas, orçamentos e nas escolhas das mais diversas aplicações práticas de ligantes e misturas asfálticas, apropriados a diferentes volumes de tráfego.

www.abeda.org.br



Pavimentação Asfáltica

O grande desenvolvimento tecnológico que caracterizou o século XX e, mais especificamente, a expansão rodoviária no Brasil a partir dos anos 1950, gerou uma necessidade crescente de conhecer o cenário relativo ao revestimento das rodovias, que requerem constante manutenção.

A ampla experiência dos autores, tanto acadêmica quanto profissional, em tecnologia de ligantes asfálticos no ramo rodoviário garante que o livro Pavimentação Asfáltica: Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos seja o retrato da demanda crescente de conhecimento na área, reunindo os aspectos teóricos e práticos acerca do tema. A obra é dos autores Salomão Pinto e Isaac Eduardo Pinto.

Trata-se de uma obra destinada a estudantes e profissionais de engenharia civil que queiram aperfeiçoar seus conhecimentos em pavimentação. O livro está disponível para aquisição pelo Grupo Editorial Nacional - LTC.

www.grupogen.com.br

GOVERNO FEDERAL ANUNCIA INVESTIMENTOS



Com previsão de investimentos de R\$ 198,4 bilhões nos próximos anos, o Governo Federal anunciou em junho a nova fase do Programa de Investimento em Logística (PIL), que vai privatizar aeroportos, rodovias, ferrovias e portos. Ante a situação

econômica grave que o País enfrenta é necessário observar se as ações governamentais serão concretizadas.

Para as ferrovias, serão destinados R\$ 86,4 bi; para as rodovias estão previstos investimentos da ordem de R\$ 66,1 bi; já para os portos o montante será de R\$ 37,4 bi; e para os aeroportos R\$ 8,5 bi.

Em linhas gerais, o plano anunciado pelo governo prevê que as empresas vencedoras do leilões investirão R\$ 198,4 bilhões nas obras de infraestrutura do país. Esses recursos serão investidos na construção e na reforma das rodovias, ferrovias, portos e aeroportos concedidos.

Desse valor, R\$ 69,25 bilhões deverão ser aplicados entre 2015 e 2018. Os outros R\$ 129,2 bilhões serão investidos a partir de 2019 e até o final do prazo de concessão, que varia de acordo com a obra, podendo chegar a 30 anos.

Não foi definido qual será o modelo adotado para cada concessão. Por isso, não há previsão de quanto o governo arrecadará com os leilões.

RODOVIAS

Na nova etapa de concessão das estradas do País, estão incluídas as seguintes rodovias:

Concessões em 2015:

Rodovia em SC/PR

BR-476/153/282/480/PR/SC

Extensão total: 460 km

Investimento estimado:

R\$ 4,5 bilhões

Objetivo: escoar produção de grãos, aves e suínos pelos portos do Arco Sul

Rodovia em GO/MG

BR-364/GO/MG

Extensão total: 439 km

Investimento estimado:

R\$ 3,1 bilhões

Objetivo: conectar a região produtora de grãos do sul de Goiás ao Triângulo Mineiro

Rodovia em MT/GO

BR-364/060/MT/GO

Extensão total: 704 km

Investimento estimado:

R\$ 4,1 bilhões

Objetivo: escoar produção do Centro-Oeste para portos dos Arcos Norte e Sul

Rodovia em MT/PA

BR-163/MT/PA

Extensão total: 976 km

Investimento estimado:

R\$ 6,6 bilhões

Objetivo: aumentar escoamento de grãos pelos portos do Arco Norte

Concessões em 2016:

Rodovia em PE

BR-101/232/PE

Extensão total: 564 km

Investimento estimado: R\$ 4,2 bilhões

Objetivo: construção do Arco Metropolitano do Recife, melhoria do acesso ao Porto de Suape e duplicação para Cruzeiro do Nordeste

Rodovia na BA

BR-101/BA

Extensão total: 199 km

Investimento estimado: R\$ 1,6 bilhão

Objetivo: duplicar trecho Feira de Santana/Gandu e melhorar o transporte de cargas entre Nordeste e Sudeste

Rodovia em MG

BR-262/381/MG

Extensão total: 305 km

Investimento estimado:

R\$ 1,9 bilhão

Objetivo: duplicar trecho Belo

Horizonte/Divisa ES, melhorar a segurança e reduzir custos

Rodovia no RJ/SP

BR-101/493/465/RJ/SP

Extensão total: 357 km

Investimento estimado:

R\$ 3,1 bilhões

Objetivo: ampliação de capacidade do trecho Rio-Santos até Ubatuba, via de turismo, com concessão do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro

Rodovia em SC

BR-470/282/SC

Extensão total: 455 km

Investimento estimado:

R\$ 3,2 bilhões

Objetivo: duplicar trecho que liga a região agroindustrial de SC aos portos do Arco Sul

Rodovia em SC

BR-280/SC

Extensão total: 307 km

Investimento estimado:

R\$ 2,1 bilhões

Objetivo: melhorar escoamento da safra e produção industrial de SC pelos portos do Arco Sul

Rodovia em SC

BR-101/SC

Extensão total: 220 km

Investimento estimado:

R\$ 1,1 bilhão

Objetivo: ampliar capacidade e melhorar a segurança da via

Rodovia no RS

BR-101/116/290/386/RS

Extensão total: 581 km

Investimento estimado:

R\$ 3,2 bilhões

Objetivo: duplicar a Rodovia da Produção até Carazinho, duplicar trecho Porto Alegre-Camaquã e garantir qualidade na Freeway

Rodovia no MS

BR-267/MS

Extensão total: 249 km

Investimento estimado: R\$ 2 bilhões

Objetivo: duplicar ligação MS/Divisa SP e reduzir custos para o escoamento da produção agropecuária pelos portos do Arco Sul

Rodovia no MS

BR-262/MS

Extensão total: 327 km

Investimento estimado:

R\$ 2,5 bilhões

Objetivo: duplicar ligação Campo Grande/Divisa SP e reduzir custos para o escoamento da produção agropecuária pelos portos do Arco Sul

Rodovia em RO/MT

BR-364/RO/MT

Extensão total: 806 km

Investimento estimado:

R\$ 6,3 bilhões

Objetivo: melhorar a integração das regiões produtoras de grãos do MT e de RO à hidrovía do Rio Madeira

Novos investimentos em concessões existentes: R\$ 15,3 bilhões (2 projetos em andamento e 9 em avaliação)

Em avaliação:**BR-163/MT**

Duplicação R\$ 0,8 bilhão

BR-153/SP

Duplicação R\$ 4 bilhões

BR-116/PR/SC

Duplicação R\$ 2,5 bilhões

BR-381/SP/MG

Faixa adicional R\$ 0,6 bilhão

BR-324/116/BA

Faixa adicional R\$ 0,4 bilhão

BR-393/RJ

Duplicação R\$ 1,3 bilhão

BR-101/RJ

Duplicação R\$ 1,2 bilhão

BR-116/SP/RJ

Dutra Serra das Araras, Marginais R\$ 2,3 bilhões

BR-101/376/116/SC/PR

Faixa adicional - R\$ 0,9 bilhão

Em andamento:**BR-290/RS**

Freeway faixa adicional R\$ 0,2 bilhão

BR-040/RJ

Subida da Serra R\$ 1,1 bilhão

Fonte: Agência Brasil

EXTINÇÃO DO DERBA GERA CRÍTICAS



A extinção do Departamento de Infraestrutura de Transportes da Bahia (Derba) foi duramente criticada pelo líder do PMDB na Assembleia Legislativa da Bahia, deputado estadual Pedro Tavares. De acordo com o parlamentar, a Superintendência de Infraestrutura de Transportes da Bahia (SIT), criada em substituição ao Derba e ligada à Secretaria de Infraestrutura do Estado (Seinfra), não está qualificada para assumir as devidas funções. “Era necessária uma preparação adequada, pois a Bahia está carente de manutenção e conservação das

estradas. Venho constantemente cobrando a recuperação das vias e chamando atenção para as diversas obras que tiveram suas ordens de serviço assinadas, mas se encontram paradas ou nem foram iniciadas”, destacou Tavares.

O parlamentar citou como exemplo os 82 km da BA-131, estrada que liga a BR-324 às cidades de Caém, Saúde, Pindobaçu, Antônio Gonçalves e Senhor do Bonfim, e destacou a importância do trabalho de manutenção e conservação dos trechos. “Essa estrada está se deteriorando. Caso o trabalho de manutenção preventiva não seja feito, será preciso restaurar totalmente a malha rodoviária, o que custa mais caro aos cofres estaduais”, explicou o deputado.

Tavares destacou ainda a doação feita pela Seinfra aos consórcios intermunicipais, de mais de 290 máquinas utilizadas para a produção de asfalto, construção e recuperação das estradas vicinais, logo após a extinção do órgão.

O Diretor-Presidente da ABPv, José Pedro dos S. Vieira Costa acredita que a decisão de extinguir o Derba foi precipitada e equivocada: “Sou da opinião de que um órgão de tamanha importância para o Estado da Bahia não poderia ser extinto de forma tão precipitada. Estamos assistindo a um equívoco administrativo da gestão pública em tempos que necessitamos de ações positivas e pragmáticas para as nossas rodovias”, afirmou.

NO RIO, DNIT ENTREGA SEDE HISTÓRICA



No Rio de Janeiro, no dia 23 de abril, o DNIT após reunião da Diretoria Colegiada e atendendo a pedido do chefe da Superintendência Regional do Rio de Janeiro, decidiu pela entrega do prédio Maurício Joppert para a Superintendência do Patrimônio da União - SPU.

Ocorre que o edifício é um marco indelével do rodoviarismo nacional!

O motivo alegado para tal decisão foi o alto custo de manutenção para a regional do DNIT. No entanto, o relatório que serviu de base para a decisão continha informações incorretas. O documento afirmava não ter sido realizada nenhuma reforma no prédio desde 1990, quando, na verdade, foi revitalizado todo seu sistema elétrico, seus elevadores e, dos seus 21 andares, 14 deles foram totalmente reformados nos últi-

mos anos, incluindo o auditório e a biblioteca, dentre outros. O prédio também foi eficientemente utilizado por repartições rodoviárias e militares, essas últimas ainda o utilizam.

Desatentos à relevância da preservação do patrimônio cultural erigido por notáveis engenheiros brasileiros em décadas, os atuais dirigentes do DNIT esqueceram da importância histórica deste prédio situado na Avenida Presidente Vargas, nº 522, no coração da cidade do Rio de Janeiro.

A ABER- Associação Brasileira de Engenheiros em Infraestrutura de Transportes, atenta à desocupação do prédio pelo DNIT, clamou que alguns andares fossem destinados ao funcionamento de um pequeno museu, um centro cultural, algo que servisse de fiel depositário da memória da Engenharia Rodoviária Nacional.

O Diretor-Presidente da ABPv, ressalta que o edifício Maurício Joppert é um patrimônio histórico brasileiro: “Neste prédio onde praticamente nasceu nossa engenharia rodoviária passaram ilustres profissionais. É importante que o DNIT e o Ministério dos Transportes o preservem como patrimônio histórico, como solicitado pela antiga Associação Brasileira de Engenheiros Rodoviários - hoje denominada Associação Brasileira de Engenheiros em Infraestrutura de Transportes – ABER. Afinal, um país sem memória cria uma visão desorientada de futuro.

Os prédios públicos devem ser aproveitados de forma otimizada e eficiente, pois a eficiência é um dos princípios constitucionais da Administração Pública, no entanto não se pode comprometer a História das conquistas nacionais”, afirmou José Pedro dos S. Vieira Costa.

RECEITA ROMANA TORNA CONCRETO MAIS RESISTENTE



Em que pese o rigor científico e a constante busca pelo aperfeiçoamento das técnicas na engenharia rodoviária, uma notícia, no mínimo curiosa, chega à esta edição de PAVIMENTAÇÃO pela revista Arautos do Evangelho.

Na edição nº 159, de março deste ano, a publicação religiosa traz uma “receita romana” que pode tornar mais resistente o concreto moderno. Essa é a conclusão à qual chegou um

grupo de cientistas da Universidade de Berkeley, Califórnia, após um acurado estudo publicado no número de dezembro do “Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)”, jornal oficial da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos.

Notando que a argamassa utilizada nos prédios construídos pelos romanos durante o período imperial conserva-se há quase dois mil anos sem dar mostras de corrosão, os peritos decidiram fabricar um bloco de cimento seguindo a receita de Vitruvius, arquiteto do primeiro século, e analisá-lo através de raios X. O minucioso exame realizado permitiu observar uma peculiar estrutura interna, que dificulta a aparição de fendas e torna especialmente resistentes as áreas mais suscetíveis à ruptura.

O segredo parece estar na proporção de areia vulcânica usada para fabricar a argamassa. Graças a ela, construções tão antigas como o Mercado de Trajano, o Panteão de Agripa - famoso por possuir uma das maiores cúpulas já construídas - ou o não menos conhecido Castelo de Sant’Angelo mantêm sua estrutura intacta após terem enfrentado ao longo dos séculos terremotos de intensidade moderada e repetidas inundações. Não é de estranhar, portanto, que o artigo recomende aplicar a “receita romana” para “melhorar a durabilidade do concreto atual em regiões sismicamente ativas e aumentar a vida útil de edifícios sustentáveis sob o ponto de vista ambiental”, relatou a matéria. 📌

CONVITE

ABPV



**MUDANÇA DE DATA E LOCAL DA COMEMORAÇÃO
DO ANIVERSÁRIO DE 56 ANOS DA ABPV**

A Associação Brasileira de Pavimentação está completando 56 anos e a comemoração com palestras técnicas teve sua realização transferida para o dia 11 de novembro de 2015, no Auditório da AEERJ - Associação das Empresas de Engenharia do Rio de Janeiro, Av. Rio Branco, 124/ 7º andar - Centro - Rio de Janeiro - RJ, onde o seu presidente, Eng.º José Pedro dos S. Vieira Costa, em nome da associação, prestará seus agradecimentos àqueles que contribuíram para a concretização dos ideais de seus fundadores.

E, em especial, a você associado o nosso reconhecimento, cuja participação e envolvimento tem sido a mola de todo o trabalho e sucesso da nossa entidade.

**A programação é gratuita com vagas limitadas.
Informações pelo site: www.abpv.org.br**

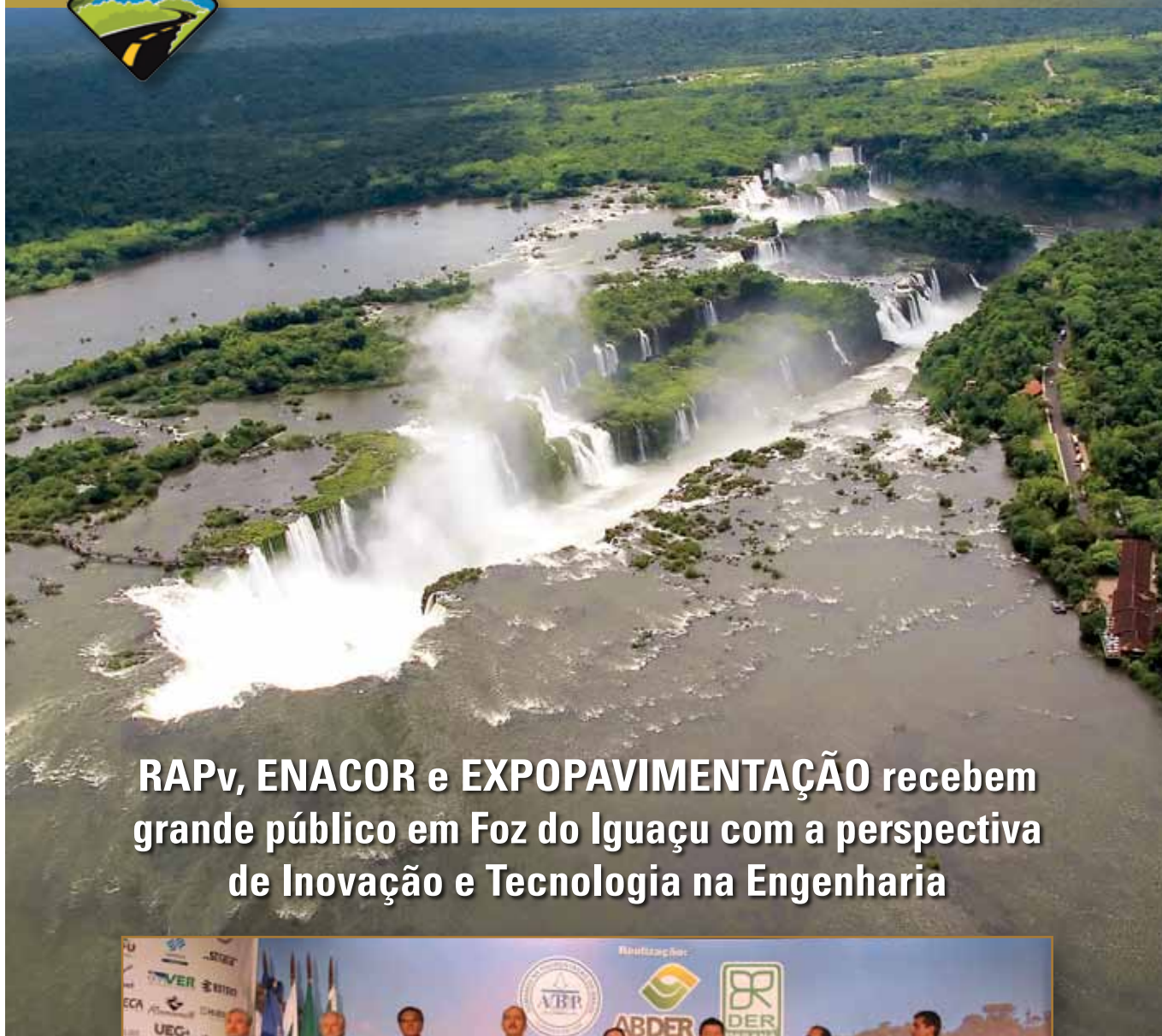
abpv@abpv.org.br

R.S.V.P: (21) 2233-2020 • 2263-5794

56
ANOS
1959 - 2015



44ª RAPv e 18º ENACOR



RAPv, ENACOR e EXPOPAVIMENTAÇÃO recebem grande público em Foz do Iguazu com a perspectiva de Inovação e Tecnologia na Engenharia



Da esquerda para a direita: Presidente da Associação dos Engenheiros do DER do Paraná: **Rui Cezar de Quadros Assad** • Presidente da Itaipu Binacional: **Jorge Miguel Samek** • Secretário de Infraestrutura e Logística do Paraná: **José Richa Filho** (representando o Sr. Governador: **Beto Richa**) • Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação: **José Aldo Rebelo Figueiredo** • Presidente da Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem e Diretor Geral do DER do Paraná: **Nelson Leal Júnior** • Diretor Presidente da Associação Brasileira de Pavimentação: **José Pedro dos S. Vieira Costa** • Prefeito Municipal de Foz do Iguazu: **Reni Clóvis de Souza Pereira** • Presidente de Honra do Evento • Coordenador Geral do Evento: **Almir Bonatto**.

Entre os dias 18 e 21 agosto aconteceram em Foz do Iguaçu a 44ª Reunião Anual de Pavimentação – RAPv – e o 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária – ENACOR, realizados pela Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv, Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem – ABDER e pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná – DER-PR.

O evento contou com mais de mil participantes que ao longo dos quatro dias mantiveram estreito contato com os temas mais atuais da engenharia de pavimentos. Foram dezenas de palestras com renomados profissionais do setor, além da 4ª edição da Expopavimentação, reunindo diversas empresas que expuseram seus produtos e inovações para o mercado.

Na cerimônia de abertura do evento, estiveram presentes diversas autoridades. Dentre elas, o Secretário Estadual de Infraestrutura e Logística do Paraná, José Richa Filho, que representou o governador Beto Richa. Também presente, o prefeito de Foz do Iguaçu, Reni Clóvis de Souza Pereira, presidente de honra do evento. Presentes ainda o diretor presidente da ABDER, Nelson Leal Júnior, e o diretor presidente da ABPv, José Pedro dos S. Vieira Costa.

O Ministro da Ciência, Tecnologia e Inovação, José Aldo Rebelo Figueiredo, também prestigiou o evento, e proferiu a palestra de abertura dos trabalhos. Segundo o Ministro, a inovação é o motor que assegura a competitividade das economias em todo o mundo. “Sem ciência e sem pesquisa você não trilha a base para a inovação, e sem inovação você não tem, hoje em dia, competitividade para a economia, nenhuma atividade industrial e de serviços. A inovação continua sendo o motor que assegura a competitividade das economias em todo o mundo”, disse.

Aldo avaliou que o Brasil não tem caminhado de acordo com sua posição na economia mundial. Para ele, se o País quiser manter o status de potência econômica e posição entre as dez maiores economias do mundo, tem que ser mais inovador. “E para isso tem que ter mais ciência e pesquisa na área da engenharia. Se não apostarmos em pesquisa e inovação, em quatro ou cinco anos o engenheiro fica obsoleto”, afirmou o ministro.

O titular do MCTI mencionou os estádios construídos para a Copa do Mundo de 2014 ao comentar que “em engenharia o Brasil estava construindo os seus estádios com o que havia de mais avançado no mundo”.

O ministro destacou ainda o papel da Embraer no mundo. “Nós temos a Embraer, uma das três maiores empresas, das

mais competitivas do mundo, o que faz o Brasil competitivo em aeronáutica”, disse. “A Embraer nos dá hoje superávit em alta tecnologia numa indústria de ponta que é a indústria aeronáutica.”



José Aldo Rebelo Figueiredo - Ministro da Ciência, Tecnologia e Inovação.

Infraestrutura

Segundo Aldo, as fronteiras agrícola e mineral não se consolidam sem infraestrutura. “O Brasil tem hoje 1,6 milhão de quilômetros de estradas. Desses, pouco menos de 200 mil são pavimentadas. Nós precisamos pavimentar muita coisa ainda pra obter no indexador internacional uma nota razoável. Na escala de 5, estamos abaixo de 2”, observou. “E não há futuro para a engenharia do Brasil sem um projeto de desenvolvimento para o País”, acrescentou.

O titular do MCTI acrescentou que a inovação tem sido fator decisivo da posição dos países na economia mundial. Ele destacou que o Brasil tem todas as condições e possibilidades de se transformar cada vez mais em uma nação influente, próspera e desenvolvida. “Nós temos as bases físicas, os recursos naturais, terra, água, minério, inteligência, indústria, a agricultura mais competitiva do mundo, uma ciência razoavelmente desenvolvida, uma engenharia razoavelmente preparada para responder aos nossos desafios”, listou.

O palestrante mencionou ainda a importância de entidades como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe/MCTI) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa/MCTI) para o desenvolvimento científico e tecnológico do País. “Tudo Isso nos torna naturalmente um país portador de grandes vantagens”, concluiu.

Busca constante pelo aprimoramento

O presidente da Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv), José Pedro dos S. Vieira Costa, defendeu que investir na procura de tecnologias é o caminho. “A busca de novas tecnologias nunca deve ser terminal, deve ser um constante aprimoramento”, disse.

José Pedro mencionou ainda o difícil momento por que passa a economia do País e defendeu que o Estado não deve optar por paralisar obras de infraestrutura vitais para o desenvolvimento nacional.

O secretário de Infraestrutura e Logística do Paraná, José Richa Filho, falou sobre investimentos estaduais no setor, apresentando vários feitos do Estado.

Para o prefeito de Foz do Iguaçu, Reni Pereira, os investimentos em CT&I permitirão superar os gargalos e avançar: “Pela tecnologia, nós vamos conseguir fazer mais, melhor e atender a todos os brasileiros”. Também participou da mesa o presidente da Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem (ABDER), Nelson Leal.



HOMENAGENS

Nesta edição do evento foram homenageados com a maior comenda da ABPv, o Prêmio Engenheiro Mario Kabalem Restom, os engenheiros Carlos Yukio Suzuki, Gilberto Pereira Loyola, Júlio Xavier Rangel, Rui Cezar de Quadros Assad e Almir Bonatto. O tradicional prêmio é concedido àqueles profissionais que prestaram relevantes contribuições à área de pavimentação. Também foram homenageados os engenheiros José Ferreira Heidgger e José Pedro Weinand, pelas diretorias do DER/PR e da Associação dos Engenheiros do DER/PR - AEDER, pelos serviços prestados ao setor rodoviário do Paraná.



CARLOS YUKIO SUZUKI

- Graduação em Tecnologia em Construção Civil - mod. Pavimentação pelo Centro Educacional Paula de Souza
- Graduação em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia Industrial e Civil de Itatiba
- Mestrado em Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo
- Doutorado em Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo
- Experiência na área de Engenharia de Transportes, com ênfase em Projetos de Infraestrutura Viária, atuando principalmente nos seguintes temas: topografia, pavimentação e drenagem.
- Professor titular na Universidade de São Paulo, USP - graduação e pós-graduação em engenharia civil.

GILBERTO PEREIRA LOYOLA

- Formado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná/UFP.

Participação:

- Grupo de Planejamento Setorial da Secretaria de Estado dos Transportes - SETR.

No DER/PR trabalhou:

- 3º Distrito Rodoviário em Piraiá do Sul.
- 14º Distrito Rodoviário em Paranavaí.
- 8º Distrito Rodoviário em Cascavel.
- 5º Centro Regional em Cascavel.

- 4º Centro Regional em Maringá.
- Diretor de Apoio Rodoviário aos Municípios
- Diretor de Operações
 - Assistente Técnico
- Coordenador Técnico
- Coordenador de Programação e Acompanhamento de Obras e Serviços
 - Coordenador de Programação e Acompanhamento de Manutenção de Rodovias
- Superintendente Regional e Diretor de Operações.



JÚLIO XAVIER RANGEL

Representado por sua filha Mônica Rangel

- Formado em Engenharia Civil pela Universidade do Brasil - Escola Nacional de Engenharia - RJ.
- Ocupou cargos diversos no DER/DF - Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal como Diretor de Construção, Engenheiro de Obras, Chefe de Serviços, Estudos e Projetos, Diretor Divisão de Estudos e Projetos, Diretor Divisão de Normas e Pesquisas.
- Professor de Mecânica dos Solos e Fundações da Universidade de Brasília.
- Atuação em vários cargos no Governo do Distrito Federal, Secretaria de Viação e Obras dentre outras secretarias e
- Superintendente Executivo da ABDER - Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem até hoje.

RUI CEZAR DE QUADROS ASSAD

- Engenheiro geólogo.
- Presidente da AEDER-PR - Associação dos Engenheiros do DER-PR.
- Coordenadoria de Pesquisa e Desenvolvimento do DER-PR.





ALMIR BONATTO

- Engenheiro civil formado na UFPR, pós-graduação em Gestão Pública.
- Gerente de Conservação na Secretaria de Obras na Prefeitura Municipal de Curitiba.
- Diretor do Departamento de Pontes e Drenagem na Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de Curitiba.
- Atualmente exerce o cargo de Assessor Técnico na Diretoria Geral do Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná.

JOSÉ FERREIRA HEIDGGER

- Graduação: Engenharia Civil - Transporte - UFSC
- No DER-PR:
 - Chefe do 7º Distrito Rodoviário de Londrina.
 - Chefe do Centro Regional de Londrina.
- Diretor de Manutenção em Curitiba.
 - Chefe de Serviços de Operações rodoviárias do 1º Centro Regional de Curitiba.
 - Chefe de Divisão de Programas Municipais da Diretoria de Apoio Rodoviários dos Municípios - Curitiba.
- Gerente de Fiscalização de Obras.
 - Secretário Municipal de Obras e Transportes do Município de Jacarezinho.
- Sub-Chefe do 5º Centro Regional - Cascavel.
- Sub-Chefe do 3º Centro Regional - Londrina.
 - Chefe do Centro Regional - Maringá.
- Atualmente é Superintendente Regional Norte - Londrina/PR.



JOSÉ PEDRO WEINAND

- Engenheiro Civil pela UFPR - Universidade Federal do Paraná, com especialização em Estruturas.
- Pós-graduação Lato Sensu em MBA - Gestão Estratégica de Custos, pela Universidade Federal Fluminense/ Instituto de Engenharia do Paraná, em Engenharia de Custos.
- Realizações no DER/PR:
 - Comissão Especial de Obras da Diretoria Técnica
 - 17ª Coordenadoria Regional de Cruzeiro do Oeste
 - Diretoria de Obras
 - 6º Distrito Rodoviário de Jacarezinho - Engenheiro Chefe de Distrito Rodoviário
 - 13º Distrito Rodoviário de Campo Mourão - Engenheiro Chefe de Distrito Rodoviário
 - 5º Distrito Rodoviário de Guarapuava - Engenheiro Chefe de Distrito Rodoviário
 - 4º Distrito Rodoviário de União da Vitória - Engenheiro Chefe de Distrito Rodoviário
 - Superintendente Regional da S.R. Leste - Curitiba
 - Diretoria de Apoio Rodoviário aos Municípios
 - Diretoria de Operações
 - Coordenadoria de Programas e Acompanhamento da Manutenção - Curitiba (atual).



PATROCINADORES

A ABPv, a ABDER e o DER-PR destacaram a honra de contar com o patrocínio de importantes parceiros para a realização do evento que foram:

- Petrobras • Akzo Nobel • Volvo • ABCR • Itaipu Binacional • CNPq • Greca Asfaltos
- Huesker • Compagas • Strata • Romanelli
- UEGA • Mútua • CREA-PR • Vectra-Esteio
- Capes • Softplan

Também prestaram grande apoio ao evento:

- Solocap Geotecnologia Rodoviária • Solotest
- Promáquinas • IASIN • DNIT • Governo do Estado do Paraná • Fundação Araucária • AEDER • Iguassu Convention and Visitors Bureau

A ABPv, a ABDER e o DER-PR agradecem a todos que direta ou indiretamente cooperaram: participantes, associados, integrantes da Comissão Organizadora, autoridades presentes, apoiadores, patrocinadores, palestrantes, instrutores de minicursos, autores dos 85 trabalhos técnicos publicados e avaliadores da Comissão Técnico-Científica. Todos muito contribuíram para a realização de mais uma edição do maior evento rodoviário do país.

Minicursos realizados

Custos e Orçamentos Rodoviários

Eng.º Alfredo dos Santos - DER/PR

Curvas de Transição e Velocidade Diretriz

Eng.º Mario Antonio Faraco - DER/PR

Mechanistic Characterization and Design of Asphaltic Mixtures and Flexible Pavements (focus on mixture scale)
Dr. David Allen - Texas A&M University

Drenagem de Rodovias

Eng.º Marcos Jabor - DER/MG

Conservação de Rodovias

Eng.º Jorge Akishino - DER/PR

HDM-4: Potencialidades e Limitações

Prof. José Leomar Fernandes Junior - EESC/USP

Palestras proferidas

Financiamento de Programas de Obras Rodoviárias

Eng.ª Karisa Maia Ribeiro (BID)

Les Caractères du Surface des Chaussées: Le Confort e la Sécurité des Utilisateurs

Dr. Yves Brosseau - IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports)



Slurry and Microsurfacing: An Overview of Technology and Recent Technical Developments

Dra. Cristine Gorsuch (Akzo Nobel)

A Nova Visão Técnica do DNIT segundo os Conceitos do RDC Integrado

Eng.^a DSc. Luciana Michèlle Dellabianca (CGESP/DPP/DNIT)

Metodologia PETROBRAS para Avaliação de Desempenho de Soluções em Pavimentação Asfáltica

Eng.^o PhD. Luis Alberto Herrmann do Nascimento (CENPES/PETROBRAS)

Recuperação Asfáltica nas Áreas da Usina Hidrelétrica de Itaipu

Eng.^o Evandro Machado (Itaipu)

Uso de Aplicativos Móveis na Operação e Fiscalização Rodoviária

Eng.^o Rafael Scala (Softplan)

Alta Tecnologia em Equipamentos de Construção de Estradas

Eng.^o Rodrigo Weyll (Volvo)

Perspectives on Binder Specifications Toward Sustainable Pavements

Prof. PhD. Yong-Rak Kim (University of Nebraska - Lincoln)

Emulsão Asfáltica para Imprimação

Palestrante: Eng.^o José Antonio Antoszczem Junior (Greca Asfaltos)

Terremoto no Chile Febrero 2010 - Gestión en la Recuperación de la Infraestructura

Eng.^o PhD. Hernán de Solminihaç Tampier - Diretor do Departamento de Engenharia e Gestão da Construção - Pesquisador CLAPES - Pontifícia Universidad Católica de Chile - Ex Ministro de Obras Públicas do Chile.

Crítérios para Dimensionamento Mecânico-empírico de Pavimentos Asfálticos Novos e Restaurados

Palestrante: Prof.^a DSc. Laura Maria Goretti da Motta (COPPE/UFRJ)

Sessões Plenárias

Desafios da Infraestrutura Rodoviária - Uma Visão Global

Debatedores: Prof. Yves Brosseau (França), Prof. PhD. Yong-Rak Kim (EUA), Dr. Hernán de Solminihaç Tampier (Chile) e Eng.^o Rubens Cahin (Diretor de Planejamento DER/SP)

Um Balanço Sobre os Modelos de Concessão no Brasil

Debatedores: Econ. Elton Augusto dos Anjos (SEPL/PR) e Eng. Ricardo Pinto Pinheiro (ABCR)

O encerramento se deu no dia 21, em clima de grande harmonia e confraternização. Todos marcaram novo encontro no Centro de Convenções Ulysses Guimarães em Brasília, entre os dias 9 a 12 de agosto de 2016, para a 45^a RAPv, 19^o ENACOR, 5^a Expopavimentação e 1^o Forum Rodoviário de Trânsito e Mobilidade. 📍



ESPAÇO JURÍDICO



RESPONSABILIDADE DO PROFISSIONAL DE ENGENHARIA II

Cláudio Millian

Nesta edição daremos continuidade ao tema da responsabilidade do profissional de engenharia, dessa vez, abordando a seara da responsabilidade penal e trabalhista do profissional de engenharia, bem como as consequências daí resultantes.

Com efeito, o profissional de engenharia se sujeita à responsabilidade penal em decorrência de fatos considerados crimes na Lei, como Crimes Contra a Incolumidade Pública e Crimes de Perigo Comum, cujas condutas tipificadas podem ser:

1 • Incêndio - previsto no Art. 250 do CP - Causar incêndio, expondo a perigo a vida, a integridade física ou o patrimônio de outrem: cuja pena de reclusão é de 3 (três) a 6 (seis) anos, e multa sendo que as penas aumentam-se de um terço: I - se o crime é cometido com intuito de obter vantagem pecuniária em proveito próprio ou alheio; II - se o incêndio é: a) em casa habitada ou destinada a habitação; b) em edifício público ou destinado a uso público ou a obra de assistência social ou de cultura; c) em embarcação, aeronave, comboio ou veículo de transporte coletivo; d) em estação ferroviária ou aeródromo; e) em estaleiro, fábrica ou oficina; f) em depósito de explosivo, combustível ou inflamável; g)

em poço petrolífero ou galeria de mineração; h) em lavoura, pastagem, mata ou floresta.

2 • Explosão - previsto no Art. 251 do CP - Expor a perigo a vida, a integridade física ou o patrimônio de outrem, mediante explosão, arremesso ou simples colocação de engenho de dinamite ou de substância de efeitos análogos, cuja pena de reclusão é de 3 (três) a 6 (seis) anos, e multa. Se a substância utilizada não é dinamite ou explosivo de efeitos análogos: a pena de reclusão, de 1 (um) a 4 (quatro) anos, e multa.

3 • Uso de Gás Tóxico ou Asfixiante - previsto no Art. 252 do CP - Expor a perigo a vida, a integridade física ou o patrimônio de outrem, usando de gás tóxico ou asfixiante, cuja pena de reclusão é de 1 (um) a 4 (quatro) anos, e multa.

4 • Fabrico, Fornecimento, Aquisição, Posse ou Transporte de Explosivos ou Gás Tóxico, ou Asfixiante - previsto no Art. 253 do CP - Fabricar, fornecer, adquirir, possuir ou transportar, sem licença da autoridade, substância ou engenho explosivo, gás tóxico ou asfixiante, ou material destinado à sua fabricação, cuja pena de detenção é de 6 (seis) meses a 2 (dois) anos, e multa.

5 • Inundação - previsto no Art. 254 do CP - Causar inundação, expondo a perigo a vida, a integridade física ou o patrimônio de outrem, cuja pena de reclusão é de 3 (três) a 6 (seis) anos, e multa, no caso de dolo, ou detenção, de 6 (seis) meses a 2 (dois) anos, no caso de culpa.

6 • Perigo de Inundação - previsto no Art. 255 do CP - Remover, destruir ou inutilizar, em prédio próprio ou alheio, expondo a perigo a vida, a integridade física ou o patrimônio de outrem, obstáculo natural ou obra destinada a impedir inundação, cuja pena é de reclusão, de 1 (um) a 3 (três) anos, e multa.

7 • Desabamento ou Desmoronamento - previsto no Art. 256 do CP - Causar desabamento ou desmoronamento, expondo a perigo a vida, a integridade física ou o patrimônio de outrem, cuja pena é de reclusão é de 1 (um) a 4 (quatro) anos, e multa.

8 • Subtração, Ocultação ou Inutilização de Material de Salvamento - previsto no Art. 257 do CP - Subtrair, ocultar ou inutilizar, por ocasião de incêndio, inundação, naufrágio, ou outro desastre ou calamidade, aparelho, material ou qualquer meio destinado a serviço de combate ao perigo, de socorro ou salvamento; ou impedir ou dificultar serviço de tal natureza, cuja pena de reclusão é de 2 (dois) a 5 (cinco) anos, e multa.

9 • Difusão de Doença ou Praga - previsto no Art. 259 do CP - Difundir doença ou praga que possa causar dano a floresta, plantação ou animais de utilidade econômica, cuja pena de reclusão é de 2 (dois) a 5 (cinco) anos, e multa.

A responsabilidade administrativa resulta das restrições impostas pelos órgãos públicos, através do Código de Obras, Código de Água e Esgoto, Normas Técnicas, Regulamento Profissional, Plano Diretor e outros, sendo que essas normas legais impõem condições e criam responsabilidades ao profissional o qual deve zelar pelo cumprimento das leis específicas à sua atividade, sob pena inclusive, de suspensão do exercício profissional.

Em caso de faltas éticas que contrariam a conduta moral na execução da atividade profissional prevista na Lei, o profissional se sujeita à responsabilidade ética, nos termos do Código de Ética Profissional, estabelecido na Resolução nº 205, de 30/09/71, do CONFEA.

Já a responsabilidade trabalhista, por sua vez, resulta das relações com os empregados e trabalhadores da obra ou empreendimento, quando da contratação de empregados, feito pessoal-

mente ou através de seu representante ou representante de sua empresa.

A obrigação em indenizar não distingue se o dano é patrimonial ou moral, principalmente com a evolução do ordenamento jurídico com o advento da Constituição Federal de 1988, em seu Art. 5º, X, tornando tranquilo e predominante o entendimento da tese de reparabilidade do dano moral ante a responsabilidade civil causada pelo ato ilícito cometido pelo profissional.

Ainda, o mais moderno entendimento jurisprudencial é justamente de que não há necessidade de comprovação com o dano patrimonial, pois trata-se do direito à personalidade daquele que teve reputação atingida e maculada, assim como pelas consequências posteriores.

É uma relação de consumo, tutelada pela Lei nº 8078, de 11 de setembro de 1990, também conhecida como Código de Defesa do Consumidor, sendo os direitos do consumidor previstos no artigo 6º, em especial a proteção da vida e segurança contra riscos provocados pelas práticas no fornecimento de produtos e serviços considerados perigosos e nocivos, devendo ser clara e adequada a informação sobre os produtos e serviços com a especificação de quantidades e características, bem como os riscos que esses apresentem.

Assim, a responsabilidade objetiva, ou seja, sem que haja culpa do agente, consignada no parágrafo único do artigo 927 do atual Código Civil, possui a seguinte redação: “Haverá obrigação de reparar o dano, independentemente de culpa, nos casos especificados em lei, ou quando a atividade normalmente desenvolvida pelo autor do dano implicar, por sua natureza, risco para os direitos de outrem.

Também é estabelecida pelo Código de Defesa do Consumidor nos artigos 12º e 14º, resultante das relações de consumo, envolvendo o fornecedor de produtos e de serviços (pessoa física e jurídica) e o consumidor, a garantia de proteção físico-psíquica ao consumidor, incluindo proteção à vida, ao meio ambiente e a proteção no aspecto econômico, detalhando quais são esses direitos e a forma como pretende viabilizar essa proteção.

A responsabilidade profissional está prevista através do Código de Defesa e Proteção ao Consumidor, pois coloca em questão a efetiva participação preventiva e consciente dos profissionais.

A Responsabilidade trabalhista resulta das relações com os empregados e trabalhadores que compreendem: direito ao

trabalho, remuneração, férias, descanso semanal e indenizações, inclusive, aquelas resultantes de acidentes que prejudicam a integridade física do trabalhador. O profissional só assume esse tipo de responsabilidade quando contratar empregados, pessoalmente ou através de seu representante ou representante de sua empresa. Nas obras de serviços contratados por administração, o profissional estará isento desta responsabilidade, desde que o proprietário assumo o encargo da contratação dos operários.

Consequências da Responsabilidade

As consequências dos danos podem extrapolar o dano material, sendo que o Código Civil no seu artigo 949 regulamenta a matéria dispondo que: “No caso de lesão ou outra ofensa à saúde, o ofensor indenizará o ofendido das despesas do tratamento e dos lucros cessantes até o fim da convalescença, além de algum outro prejuízo que o ofendido prove haver sofrido”.

Assim sendo, estabelece-se o dano material consoante a facilidade de contabilização, o que não ocorre com o dano moral.

Alguns doutrinadores traduzem o Dano Moral atribuído à imagem como a dor, o espanto, a emoção, a vergonha, a aflição física ou moral, em geral uma dolorosa sensação provada pela pessoa, que tem sua autoimagem atingida. E não atingem em si o patrimônio.

Essa ofensa a um bem imaterial, em geral desprovido de conteúdo econômico, é insusceptível verdadeiramente de avaliação em dinheiro, contudo, perde a valoração do indivíduo por feri-lo em seu espírito ou na sua vontade.

No ensinamento de Arnaldo Wald, “Dano é a lesão sofrida por uma pessoa no seu patrimônio ou na sua integridade física, constituindo, pois, uma lesão causada a um bem jurídico, que pode ser material ou imaterial. O dano moral é o causado a alguém num dos seus direitos de personalidade, sendo possível à cumulação da responsabilidade pelo dano material e pelo dano moral” (Curso de Direito Civil Brasileiro, Editora Revista dos Tribunais, SP, 1989, p. 407).

Assim sendo, o montante indenizatório depende de critérios subjetivos do julgador, que, para determinar a dosagem da indenização, analisará a conduta daquele que causou o dano, o liame causal do fato com o dano e sua extensão, a possibilidade financeira do causador e a condição da vítima, visando estabelecer não somente a reparação justa, mas uma sanção, sem caracterizar o enriquecimento ilícito da outra parte.

A súmula n ° 37 do STJ autoriza a cumulação de dano moral com o dano material, razão pela qual a cumulação do dano patrimonial, estético com o dano moral tem sido acolhida pela jurisprudência, garantindo assim o direito da personalidade e à integridade física do indivíduo.

Na esfera penal, se comprovadas as condutas, o agente estará sujeito à penas privativas de liberdade aplicadas em regimes de reclusão ou detenção. A repercussão administrativa pode imputar ao profissional a advertência, suspensão ou perda do direito de exercer a profissão pelo Conselho de Classe, assim como a perda de cargo em caso de servidor público.

Conclusão

É imprescindível que o profissional conheça as limitações e repercussões dos atos, evitando danos e responsabilização nas mais diversas esferas, que surge como fenômeno de contrapartida social aos atos praticados.

O domínio da técnica e tecnologia, conhecimento dos limites de bens, materiais e serviços aplicados nas mais diversas áreas tecnológicas, possibilita evitar o afastamento das prescrições estatuídas no Ordenamento Jurídico, possibilitando assim o cumprimento do objetivo social da atividade.

Portanto, é fundamental a observância às Normas Técnicas e à execução de orçamento prévio de projeto completo com especificação correta de qualidade e materiais, garantia contratual (contrato escrito) e legal (ART) e, principalmente, que esteja atento à evolução do direito e da tecnologia. 📌



CADERNO DE TECNOLOGIA DRENAGEM: RUA E SARJETA

Francisco José d'Almeida Diogo





A Revista PAVIMENTAÇÃO, em seu novo Caderno de Tecnologia, conta com mais um reforço técnico.

O nosso convidado da edição é o engenheiro Francisco José d'Almeida Diogo, professor do IME - Instituto Militar de Engenharia, colaborador técnico do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, tendo participado de inúmeras obras e serviços como o Programa Emergencial de Trafegabilidade e Segurança nas Estradas – PETSE, que nos falará sobre a drenagem de ruas e sarjetas.



1 • RUA

O primeiro agente da microdrenagem urbana é a declividade da via; o segundo, a sarjeta. Ela é um pequeno canal localizado na lateral de uma pista que recebe e conduz as águas pluviais. Pela posição e formato, pode ter sua capacidade aumentada incorporando parte da rua e passando a funcionar como um grande canal d'água.

A declividade transversal de uma rua visa evitar a colisão de veículos e encaminhar a água à sarjeta, permitindo a circulação confortável e segura de pessoas e veículos.

Tabela 1 - Valores recomendados para declividades transversais

| Declividade transversal recomendada (%) | |
|---|------------------------------------|
| Veículos | Pedestres e ciclistas ¹ |
| < 3 | 0,5 a 2 |

A declividade longitudinal, entretanto, resulta do projeto urbanístico que considera a topografia local, custos de terraplenagem, aspectos ambientais e os limites admissíveis à mobilidade urbana e à drenagem.

A inclinação longitudinal, sob o aspecto da drenagem, deve estar acima de uma mínima, para que esco sem depositar sedimentos, e abaixo de uma máxima, para evitar abrasão no pavimento e/ou erosão do solo. Segundo o tráfego de veículos, visa não criar dificuldade à velocidade admissível à viatura permitida à via e, pela perspectiva de pedestres e ciclistas, são considerados os aspectos conforto e segurança (*com chuva*).

A tabela a seguir apresenta declividades longitudinais recomendadas aos logradouros públicos.

¹ Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas, DNIT, 2010.

Tabela 2 - Valores recomendados para declividades longitudinais

| Declividade longitudinal (%) ² | | | | | | | | | |
|--|-----------|---------|------------|--------|--|--------------|------------------|-------------|--------|
| Material do pavimento | Drenagem | | Veículos | | Pedestres - Máxima | | | Ciclistas | |
| | Mínima | Máxima | Via | Máxima | Acabamento | Pessoa Comum | PMR ³ | Comprimento | Máxima |
| Concreto de cimento moldado <i>in loco</i> e acabado com cuidado | 0,3 a 0,4 | 10 a 20 | Arterial | 5 | Liso (concreto, cerâmica, granito polido) | 6 a 8 | 4 a 5 | < 450 | 2 |
| Asfalto com guias e sarjetas pré-moldadas | 0,4 a 0,5 | | Coletora | 7 | Semi-rugoso (ladrilhos hidráulicos, granito sem polir) | 10 a 14 | 6 a 8 | < 90 | 5 |
| Bloquete de concreto ou paralelepípedos regulares | 0,5 a 0,6 | 8 a 12 | Local | 15 | Rugoso (intertravados, grês) | 20 | 10 | < 30 | 7 |
| Pedra irregular acomodada à mão | 0,6 a 0,8 | | Particular | 20 | --- | --- | --- | < 20 | 10 |

As vias urbanas são espaços de convívio e de circulação e são classificadas em vias de trânsito rápido (*expressas*), arteriais, coletoras e locais, como representa a Figura 1. Basicamente, as **locais** são para os moradores de um bairro circular e conviverem. As **coletoras** ligam os bairros entre si e às vias arteriais. As **arteriais** conectam regiões de uma cidade. As **expressas** são como estradas cortando ou contornando um município, sem semáforos, cruzamentos ou acesso a lotes lindeiros.



Figura 1 - Vias Urbanas (Adaptação: Mascaró, 2005)

Conforme o tipo, há um nível de tolerância máximo à invasão da via pela água, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Inundação máxima admissível em ruas

| Inundação Máxima Admissível nas Ruas | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|--|
| Tipo(1) | Microdrenagem | Macrodrenagem |
| EXPRESSA | Nenhuma | (2) Na crista, até 15 cm para permitir passagem de socorro de emergência |
| ARTERIAL | Preservar uma faixa por sentido | |
| COLETORA | Preservar uma faixa por direção | (2) |
| LOCAL | Até a crista da rua | |

(1) Conforme o Código de Trânsito Brasileiro
 (2) Em todas as ruas:
 a) Nenhuma edificação pode ser atingida, a menos que seja à prova de inundação.
 b) A profundidade da água na sarjeta não deve exceder 45 cm.

Mas cada cidade, em função de suas peculiaridades, determina limites próprios. No Rio de Janeiro, a Rio-Águas admite o escoamento superficial em uma faixa de 0,80m, nas vias principais, e 1,00m, nas secundárias. Em Belo Horizonte a faixa padrão é 1,67m.

² Adaptação de tabelas de Mascaró, Juan Luis, Loteamentos urbanos, 2005.

³ Pessoa com mobilidade reduzida.

2 • SARJETA

A Figura 2 apresenta o esquema da seção de uma via junto à sarjeta, com água pluvial saindo de uma residência unifamiliar.

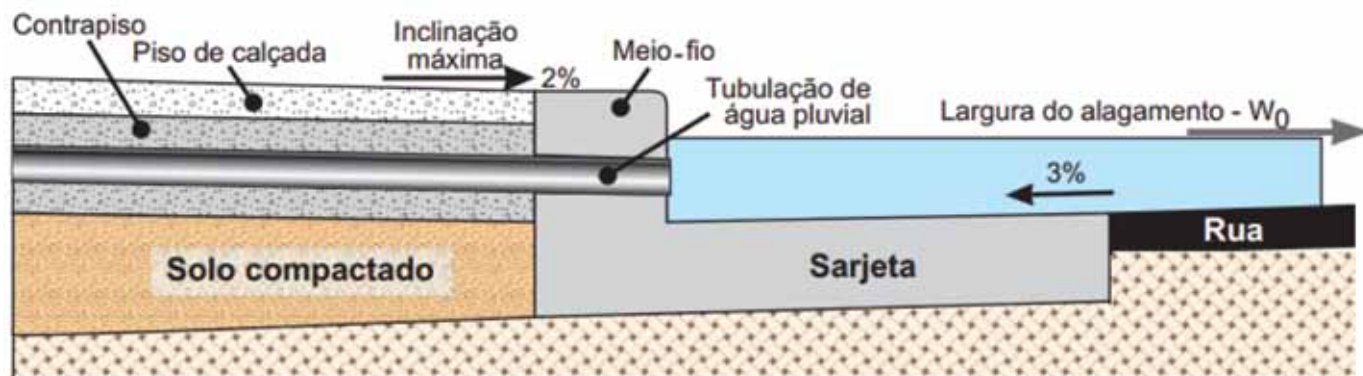


Figura 2 - Esquema de seção transversal de uma via junto à sarjeta (Adaptação: Mascaró, 2005)

Ao iniciar o dimensionamento de uma sarjeta, ela deve atender a critérios estabelecidos pelo município onde será implantada. É comum existirem alguns padrões de sarjetas relativas a vias de pequena, média e grande declividades. Como as adotadas na cidade de Belo Horizonte:

Tabela 4 - Tipos de sarjetas empregadas em Belo Horizonte/MG e situação de emprego⁴

| Inclinação longitudinal (I) | Projeto tipo | Altura da lâmina d'água y_0 (cm) |
|-----------------------------|--------------|------------------------------------|
| $I > 16\%$ | A | 5 |
| $16\% \geq I \geq 0,5\%$ | B | 11 |
| $I < 0,5\%$ | C | 16 |

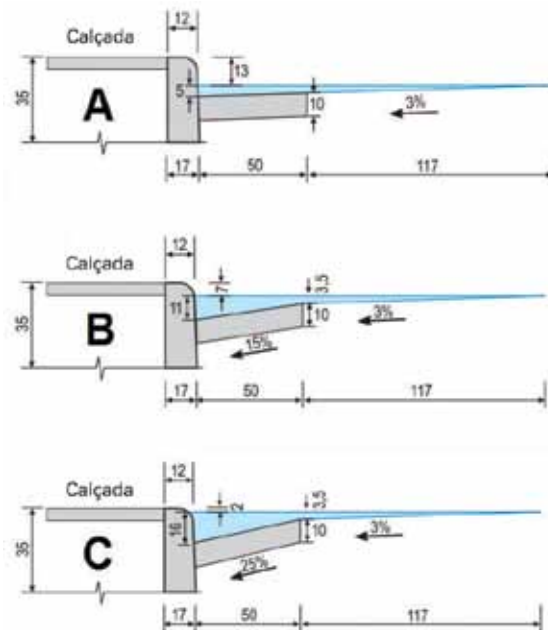


Figura 3 - Os três tipos de sarjetas adotados na cidade de Belo Horizonte/MG

⁴ SUDECAP - 2004.

⁵ No Rio, é permitida rampa até 25%, em trecho de 50,00m; reduzida a 15%, numa extensão mínima de 40,00m, admitidas após a redução, novas progressões e reduções nos limites indicados.

O dimensionamento de sarjetas se desenvolve segundo as seguintes etapas de cálculo:

- 1) vazão ou descarga de projeto dos quarteirões (*hidrologia*);
- 2) capacidade da sarjeta (*hidráulica*); e
- 3) comprimento máximo ou crítico das sarjetas.

Ao final, deve-se dispor dos dados abaixo para dimensionar bocas coletoras e galerias:

- 1) a vazão de projeto escoada pela sarjeta (Q_0);
- 2) a velocidade do fluxo (v_0);
- 3) a altura da lâmina d'água (y_0);
- 4) o tempo de percurso do escoamento.

Tabela 5 - Critérios usuais para sarjetas

| Dados característicos | | Mínimo | Usual | Máximo |
|--|--------------------|--------|--------|------------------|
| Declividade longitudinal | | 0,2% | da via | 15% ⁵ |
| Declividade transversal | | 2,0% | 5,0% | 10,0% |
| Coeficiente de rugosidade de Manning (n) | | 0,012 | 0,016 | 0,025 |
| Altura da guia | | 0,10m | 0,15m | 0,20m |
| Altura da água na pista | | – | – | 0,15m |
| Velocidade de escoamento na sarjeta | | 0,8m/s | – | 3,0m/s |
| Comprimento útil da sarjeta | | – | – | 60m |
| Largura da sarjeta | sem estacionamento | 0,30m | 0,50m | 0,60m |
| | com estacionamento | – | 0,90m | – |

A Rio-Águas recomenda que nos trechos planos as sarjetas devem ser projetadas com a largura de 0,60m, declividade longitudinal de 0,2% e na distância de 15m, até despejar em uma boca coletora.

2.1 • Dimensionamento da Sarjeta

A Figura 4 apresenta o esquema de uma sarjeta e meio-fio, com os elementos geométricos a serem usados no cálculo da capacidade desse dispositivo. Essa vazão admissível é determinada pela expressão de Izzard (*Equação 1*), que é uma aplicação da fórmula de Chézy-Manning e da equação da continuidade à sarjeta.

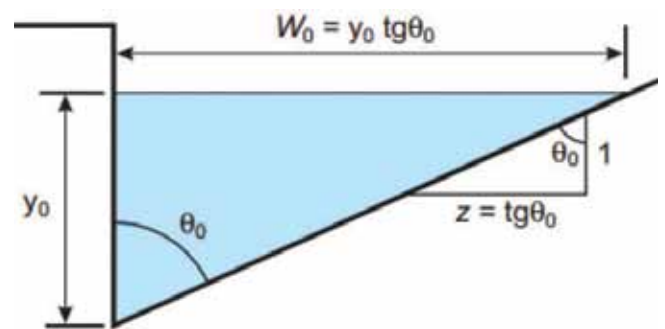


Figura 4 - Esquema de uma sarjeta triangular com parâmetros para cálculo

$$Q_0 = 0,375 \times \frac{z}{n} \times y_0^{\frac{8}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

Q_0 - capacidade de escoamento na sarjeta (m^3/s)

y_0 - altura de lâmina d'água junto ao meio-fio (m)

I - inclinação longitudinal da sarjeta (m/m)

$z = \text{tg } \theta_0$ - recíproca da declividade transversal da sarjeta (m/m)

n - coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional/tabelado)

Se a seção molhada ocupar a pista da via, considera-se a combinação mostrada na Figura 5 e calcula-se como indica a Equação 2.

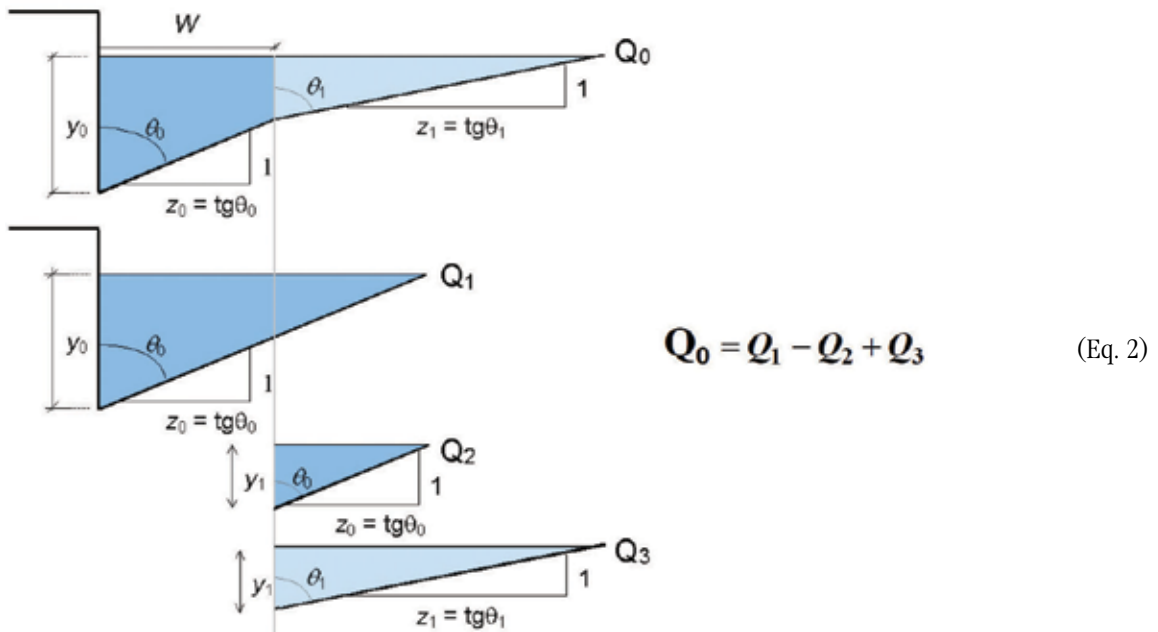


Figura 5 - Seção composta de uma sarjeta triangular e seus elementos

A altura da lâmina d'água é obtida pondo em evidência "y₀" na equação de Izzard.

$$y_{0(m)} = 1,445 \left(\frac{n \cdot Q_0}{z \cdot \sqrt{l}} \right)^{3/8} \quad (\text{Eq. 3})$$

Com o valor da lâmina d'água obtém-se a área molhada usando a expressão 4

$$S_o = \frac{z \times y_0^2}{2} \quad (\text{Eq. 4})$$

Aplicando a equação da continuidade, dividindo-se a vazão pela área molhada, chega-se à velocidade do fluxo d'água na sarjeta.

$$V_o = \frac{Q_o}{S_o} \Rightarrow V_o = 0,958 \left(\frac{\sqrt{l}}{n} \right)^{3/4} \left(\frac{Q_o}{z} \right)^{1/4} \quad (\text{Eq. 5})$$

Para se obter o tempo de percurso divide-se o comprimento crítico pela velocidade (Eq. 6).

$$t_p = \frac{L}{60 \times V_o} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

V_o - velocidade média (m/s);

Q_o - capacidade de vazão (m³/s);

S - área da seção transversal (m²);

L - comprimento do trecho (m);

t_p - tempo de percurso (minuto).

Para o caso de sarjetões (Figura 6) o valor de z deve ser calculado por:

$$Z = \frac{T}{Y_0} = tg\theta_1 + tg\theta_2 \quad (\text{Eq. 7})$$

Logo pode-se escrever:

$$T = Y_0 \times (tg\theta_1 + tg\theta_2) \quad (\text{Eq. 8})$$

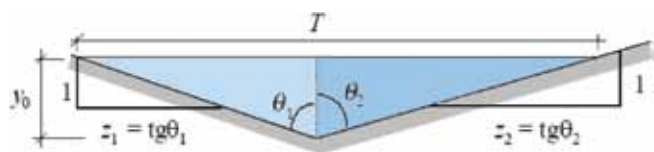


Figura 6 - Seção típica de um sarjetão

O coeficiente de rugosidade “n” previsto nas expressões anteriores é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores usuais de coeficiente de rugosidade para sarjetas

| Tipo de superfície | n |
|------------------------------|-------|
| Sarjeta de concreto | 0,016 |
| Asfalto liso | 0,013 |
| Asfalto áspero | 0,016 |
| Pavimento de concreto liso | 0,013 |
| Pavimento de concreto áspero | 0,015 |

Caso ocorra de um dispositivo possuir seções compostas de materiais diferentes, o coeficiente de rugosidade equivalente (n_e) deverá ser calculado pela Equação 9.

$$n_e = \frac{(\sum P_i n_i^{3/2})^{2/3}}{(\sum P_i)^{2/3}} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

n_e - coeficiente de rugosidade equivalente;

P_i - perímetro molhado, cujo coeficiente de Manning é n_i ;

n_i - coeficiente de Manning, cujo perímetro é P_i .

No dimensionamento, ponderando a possibilidade de assoreamento nas baixas declividades e o risco à população de grandes velocidades nas altas, é considerado um Fator de Redução (F_R) da capacidade teórica das sarjetas.

$$Q_{\text{admissível}} = F_R \times Q_{\text{teórica}} \quad (\text{Eq. 10})$$

O valor de F_R pode ser obtido na Figura 7.

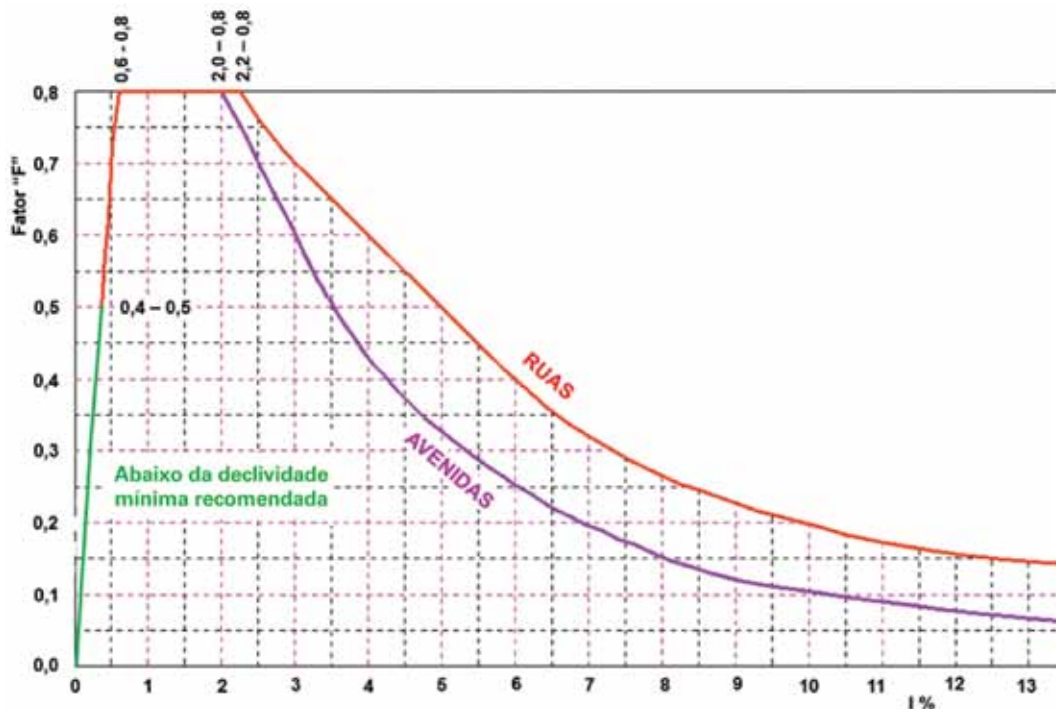


Figura 7 - Curvas dos fatores de redução (F_R) da capacidade das sarjetas

Ao longo de seu percurso, a sarjeta vai recebendo contribuições das suas áreas marginais, até atingir a capacidade hidráulica máxima, nesse momento ela deverá despejar o seu conteúdo numa boca coletora. A distância que a sarjeta leva para atingir esse má-

ximo é denominada de comprimento útil (ou crítico) e ele corresponde ao espaçamento entre bocas coletoras. Para calculá-lo, divide-se a capacidade hidráulica da sarjeta pela contribuição, por metro (*vazão específica*), das áreas marginais contribuintes.

A vazão específica ($m^3/s.m$) é dada pela seguinte expressão:

$$q = 0,278 \times C.i.(a + F/2) \times 10^{-6} \quad (\text{Eq. 11})$$

Relembrando a fórmula de Izzard (*Equação 1*) e aplicando o fator de redução:

$$Q_{adm} = F_R \cdot 0.375 y_0^{8/3} \left(\frac{Z}{n} \right) \sqrt{I} \quad (\text{Eq. 12})$$

Na Eq. 11 e Eq. 12 tem-se:

q - vazão específica ($m^3/s.m$);

I - intensidade de chuva (mm/h) = P/t_c ;

Q_{adm} - capacidade de vazão (m^3/s);

F_R , C e n - fator e coeficientes tabelados;

y_0 - (m);

I e z - (m/m);

a - profundidade de lote lindeiro (m);

F - largura da via (m).

O comprimento útil é expresso então por:
$$L_u = \frac{Q_{adm}}{q}$$

2.2 • Exercícios Resolvidos

Exercício 01

Qual é o comprimento útil (*antes de despejar em uma boca coletora*) de uma sarjeta que está em um local com as seguintes características:

Cidade: Rio de Janeiro (*Bairro Jardim Botânico*)

$$i_{Rio} = \frac{1239.T_R^{0,15}}{(t_c + 20)^{0,74}} \quad (\text{mm/h})$$

1ª Situação - Declividade longitudinal = 0,4%

2ª Situação - Declividade longitudinal = 1,6%

Declividade transversal: 25% - Sarjeta para rua pouco inclinada

Altura d'água na sarjeta: 15cm

Coefficiente de rugosidade da sarjeta: 0,016

Coefficiente de *run-off* do lote: 0,7

Coefficiente de *run-off* da rua+calçada: 0,9

Profundidade do lote: 30m

Largura do logradouro: 12m

Solução – I = 0,4%

Usando o Tempo de Recorrência = 10 anos e o Tempo de Concentração = 10 minutos:

$$i_{J.Botânico} = \frac{1239.T_R^{0,15}}{(t_c + 20)^{0,74}} \quad (\text{mm/h}) = 141,25 \text{ mm/h}$$

$$Q_{hidráulico} = 0,5 \times 0,375 \times 0,15^{2,666} \times \frac{4}{0,016} \times \left(\frac{0,4}{100} \right)^{0,5} = 0,0188 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = \frac{30 \times 0,7 + 6 \times 0,9}{36} = 0,7333$$

$$q = \frac{0,7333 \times 141,25 \times 36}{3,6} \times 10^{-6} = 0,0010358 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

$$Lu_{(m)} = \frac{0,0188}{0,0010358} = 18,18 \text{ m}$$

Solução – I = 1,6%

$$Q_{hidráulico} = 0,8 \times 0,375 \times 0,15^{2,666} \times \frac{4}{0,016} \times \left(\frac{1,6}{100} \right)^{0,5} = 0,06026 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Lu_{(m)} = \frac{0,06026}{0,0010358} = 58,18 \text{ m}$$

Exercício 02

Num trecho contínuo de uma rua em declive de 2,0%, calcular a altura da lâmina d'água junto ao meio fio (y_0) e a velocidade do fluxo nessa sarjeta (V_0), dados:

1) Vazão teórica = 48 l/s.

2) Declividade transversal da sarjeta: z = 12

3) Declividade longitudinal da sarjeta: I = 2,0%

4) Coeficiente de rugosidade de Manning: n = 0,016

5) Formulário:

$$Q_0 = 0,375 y_0^{8/3} \left(\frac{z}{n} \right) \sqrt{I} \quad V_0 = \frac{Q_0}{S} \quad (\text{m/s})$$

Solução:

Vazão de projeto = $(1/0,80) \times$ vazão teórica = $1,25 \times 48 = 60$ l/s.

$y_0 = \{60 / [375 \times (12/0,016) \times 0,020^{1/2}]\}^{3/8} = 0,087 \text{ m} = 8,7 \text{ cm}$

$V_0 = 0,06 / [(0,0872/2) \times 12] = 1,32 \text{ m/s}$ ⓐ



CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DE CÁLCULO DA SUPERELEVAÇÃO FERROVIÁRIA EM TRANSPORTE DE CARGAS EM VIAS LASTREADAS

Izakiel Bruno Felício Paz¹

Francisco Heber Lacerda de Oliveira²

¹ Engenheiro Civil - Especialista em Infraestrutura de Transportes • Fortaleza - CE.

² Professor Assistente - Mestre e Doutorando em Engenharia de Transportes - Universidade de Fortaleza (UNIFOR) • Fortaleza - CE.

RESUMO

As diferenças existentes entre transporte rodoviário e ferroviário se estendem desde o veículo de projeto aos detalhes da geometria da via. No caso específico da definição da superelevação, as rodovias apresentam critérios pouco rígidos quando comparados com a abrangência de significados, quesitos e restrições que a superelevação ferroviária pode apresentar. Através da metodologia de revisão bibliográfica, tanto no contexto nacional quanto no internacional, o presente trabalho visa elencar as definições básicas de superelevação ferroviária, apresentando os conceitos de superelevação teórica e prática, estabelecendo os critérios de projeto que devem ser considerados para o estabelecimento do valor final, tomando o exemplo específico das vias lastreadas. Verifica-se que o estabelecimento da velocidade de cálculo é o fator chave para a adoção de um valor satisfatório para superelevação ferroviária, sem relegar a importância das condições operacionais da ferrovia e as dinâmicas de movimento desenvolvidas.

Palavras-chave: Superelevação; Ferrovias; Transporte; Cargas.

ABSTRACT

The differences between roadway and railway begin from the design vehicle to the track geometry details. In the specific case of the definition of superelevation, the roads have flexible criteria compared with the range of meanings, questions and restrictions that the railway superelevation can present. Through the methodology of bibliographic review, in national and international context, this study aims to list the basic definitions of railway superelevation, presenting the concepts of theoretical and practical superelevation, establishing design criteria that should be considered for the establishment of its final value, taking the specific example of the railways with ballast bed. It is verified that the establishment of the calculation speed is the key factor for the adoption of a satisfactory value for rail superelevation without relegate the importance of operating conditions of the railway and the development of motion dynamics.

Keywords: Superelevation; Railways; Transportation; Loads.

1 • INTRODUÇÃO

A pedra fundamental para definição de uma estrada eficiente e segura parte das premissas construtivas e operacionais adotadas no projeto geométrico. Este deve contemplar aspectos variados, como os tipos de veículos que podem circular na via e quais as definições de elementos horizontais e verticais transmitem segurança aos usuários e às cargas transportadas.

A complexidade dos aspectos abordados é ainda mais acentuada quando se comparam estradas com características referentes à dinâmica de movimento distintas, por exemplo, rodovias e ferrovias. Dentre os aspectos comuns às ferrovias e às rodovias, aquele que influencia diretamente a eficiência e a segurança na via é a definição da superelevação, pois as diferenças entre os veículos de projeto representam um grande fator de dissociação entre as duas.

A superelevação é um desnível transversal aplicado ao pavimento que possibilita a força peso compensar a ação da força centrífuga ao inscrever o movimento do veículo em um trecho circular, podendo ser aplicada em rodovias ou ferrovias.

No estabelecimento da superelevação ferroviária, primeiro calcula-se o valor máximo, chamado Superelevação Teórica, através de fórmulas que contrabalançam a Força Peso e Força Centrífuga. Em seguida, aplicam-se regras estabelecidas de redução para se definir a superelevação que será efetivamente implantada na superestrutura da via, também chamada de Superelevação Prática.

É necessário entender as diferenças de projeto entre superelevação rodoviária e ferroviária, que tipos de problemas podem ocorrer a partir de uma adoção de valores incompatíveis e compreender os efeitos que a superelevação tem na manutenção da superestrutura ferroviária.

O presente estudo tem por objetivo apresentar as bases fundamentais de cálculo da superelevação ferroviária e elencar os critérios necessários para sua definição, assim como critérios de aplicação e correlacioná-los em busca de um fator comum, de modo a atender as premissas de segurança e conforto de rolamento para o transporte de cargas.

2 • FATORES DE PROJETO RELEVANTES

Para entendimento das premissas de cálculo da superelevação é necessário entender a definição de alguns fatores de projeto relevantes, tais quais as características dos veículos que circulam na via, os efeitos decorrentes da circunscrição do movimento em curva e as dimensões da seção tipo implantada em campo.

Material rodante é a denominação que se atribui aos veículos que circulam sobre o pavimento ferroviário, onde a principal formação é a Composição Ferroviária. Segundo Nabais (2014), o material rodante divide-se em dois grupos: Unidades de Tração, responsáveis por desenvolver a força necessária para promover o deslocamento da composição ferroviária, e Unidades Rebocadas, são aquelas que não possuem meios próprios de locomoção e são rebocadas pelas unidades tratoras.

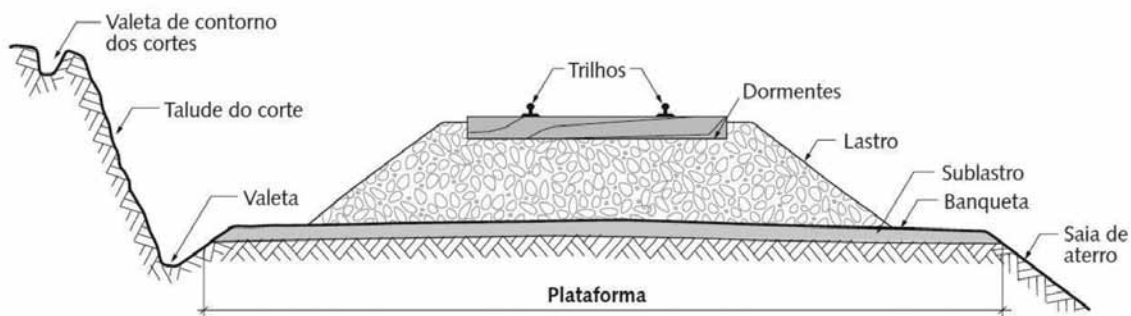
A curva horizontal é um elemento de projeto utilizado para concordar as tangentes utilizadas na definição do traçado ferroviário, cujo principal parâmetro é o raio de curvatura, dado em metros e designado pela letra “R”. Esveld (2014) explica que a passagem do veículo num trecho em curva gera uma série de efeitos devido à rigidez do truque durante sua inscrição entre os trilhos e a velocidade desenvolvida.

Nas rodovias, o veículo circula livremente na pista de rolamento e sua largura é sempre menor que a faixa de rolamento, possibilitando uma área de escape em situações em que as forças que puxam o veículo para fora da curva sobreponham o atrito dos pneus com o pavimento. No caso das ferrovias, caso a intensidade das forças de fuga seja excessiva, não existe essa folga de escape, pois o veículo circula confinado pelos trilhos, o que pode ocasionar desconforto no rolamento ou até o descarrilamento/tombamento do veículo.

Esveld (2014) discorre que existem três soluções para combater o fenômeno acima relacionado: (a) Utilizar superelevação nas curvas; (b) utilizar o máximo raio possível, de modo que a utilização de superelevação seja dispensável e (c) aplicar restrições de velocidade nos trechos em que não sejam possíveis as duas primeiras soluções.

Outro fator a ser considerado é a composição do pavimento sobre o qual o veículo percorre. Para as ferrovias o pavimento segue o modelo visualizado na a Figura 1.

Figura 1 - Seção transversal da plataforma ferroviária. (NABAIS, 2014)



Os elementos mais influentes sobre a superelevação são a bitola, verificada pela distância entre as faces internas dos trilhos, e o lastro, camada de material granular na qual é aplicada a diferença de cotas para implantação da superelevação.

3 • DEFINIÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA SUPERELEVÇÃO FERROVIÁRIA

A definição dos valores ideais para a superelevação, advém de uma correspondente matemática que deve considerar vantagens ao rolamento, tais quais: produzir uma melhor distribuição de cargas em ambos os trilhos, reduzir os desgastes dos trilhos e material rodante, compensar parcial ou totalmente o

efeito da força centrífuga com redução de suas consequências (VALE, 2009).

Para tanto, deve-se considerar o cálculo da superelevação teórica e depois este deve ser corrigido para um valor usual, chamado superelevação prática, baseado na observação e na experimentação dos pesquisadores da área.

3.1 • Superelevação Teórica

Segundo Brina (1983), a Superelevação Teórica é um desnível transversal ao eixo da via, verificado pela diferença entre as cotas de topo dos boletos, que permite utilizar a força peso para contrabalançar os efeitos da aceleração centrífuga decorrente do movimento do veículo ao inscrever-se em um trecho em curva, conforme demonstra a Figura 2.

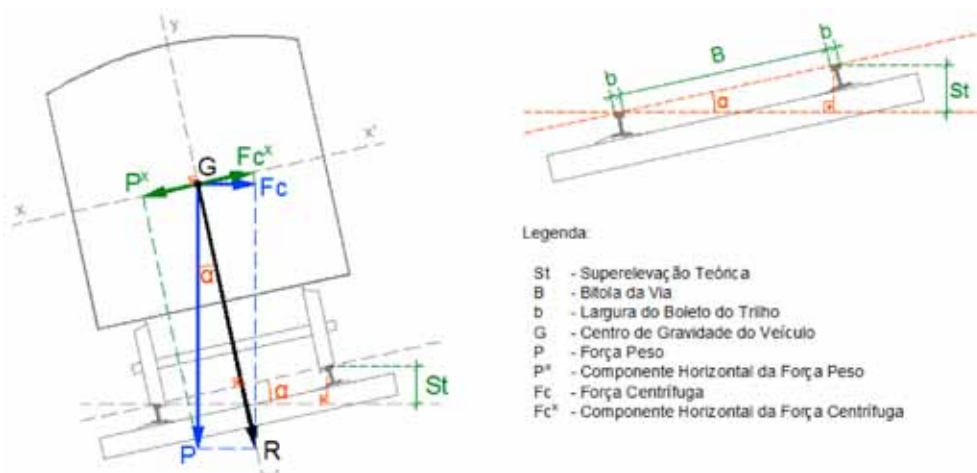


Figura 2 - Forças atuantes no vagão e variáveis de cálculo relevantes (Adaptado de BRINA, 1983)

Para que a condição de equilíbrio seja alcançada, é necessário que a intensidade do componente horizontal da força peso seja igual à intensidade do componente horizontal da força centrífuga, de forma que o valor da Superelevação Teórica é calculado através da equação (1).

$$St = \frac{(B+b) * V^2}{127 * R} \quad (1)$$

Onde os valores da superelevação teórica (St), bitola da via (B) e largura do boleto (b) devem ser de mesma dimensão [L], o Raio de curva (R) é dado em metros e a velocidade (V) é dada em quilômetros por hora. O coeficiente com valor 127 incorpora as conversões unitárias necessárias à homogeneização dos valores decorrentes da ação da força gravitacional ($g=9,81m/s^2$) e da força centrífuga ($1m/s = \frac{1Km/h}{3,6}$). É convencionado apresentar o resultado em milímetros, devido à grandeza dos valores encontrados.

3.2 • Superelevação Prática

Brina (1983) adverte, a partir da análise da Equação (1), que para cada valor diferente do raio e da velocidade, será obtido um valor diferente de superelevação; entretanto, uma mesma curva de raio (R) pode ser percorrida por trens de velocidades diferentes, tornando este um problema a considerar.

Por exemplo, trens que percorrem o trajeto em baixas velocidades, incidem em baixa intensidade da força centrífuga, deste modo, não necessita de valores elevados para a superelevação. Entretanto, quando a velocidade de tráfego é superior, resulta em maior valor de força centrífuga e, conseqüentemente, maior valor de superelevação.

Os critérios de definição da superelevação prática subdividem-se em dois tipos: empíricos e racionais, onde as equações estão explícitas na Tabela 1, seguidas das explicações quanto a sua concepção e origem.

Tabela 1 - Critérios para o Cálculo da Superelevação Prática.

| Critérios | Item | Equações |
|------------------|------|--|
| Empíricos | (a) | $V = \frac{2}{3} * V_{proj}$ |
| | (b) | $V = \frac{3}{4} * V_{proj}$ |
| | (c) | $V = \frac{V_{proj}}{\sqrt{2}}$ |
| | (d) | $Sp = \frac{2}{3} * St$ |
| Racional | (e) | $Sp = St - \frac{B + b}{n * H} * \left(\frac{B + b}{2} - d \right)$ |

Fonte: Brina (1983), itens (a), (b), (c) e (e); Schramm (1974) e VALE (2009), item (d).

Onde os valores da superelevação teórica (St), superelevação prática (Sp), bitola da via (B) e largura do boleto (b) devem ser de mesma dimensão $[L]$, a altura do centro de gravidade em relação aos trilhos (H) e deslocamento do centro de gravidade ($d=0,10m$) são dados em metros e o coeficiente de segurança contra o tombamento ($n=5$) é adimensional.

Os critérios empíricos são métodos baseados em aplicação prática que obtiveram resultados positivos na manutenção da circulação da via, dentre os quais é possível relacionar, de acordo com Brina (1983), para os itens (a), (b) e (c), e Schramm (1974) e VALE (2009), para o item (d):

- i. Adotar a velocidade de cálculo (V) igual a dois terços da velocidade de projeto (V_{proj}), conforme demonstra o item (a) da tabela 1.;
- ii. Adotar a velocidade de cálculo (V) igual a três quartos da velocidade de projeto (V_{proj}), conforme demonstra o item (b) da tabela 1.;

iii. Adotar a velocidade de cálculo (V) igual à velocidade de projeto (V_{proj}) dividida pela raiz quadrada de dois, conforme demonstra o item (c) da tabela 1.;

iv. Adotar a superelevação prática (Sp) igual a dois terços da superelevação teórica (St), conforme demonstra o item (d) da tabela 1.;

O critério racional é cunhado em algum tipo de raciocínio matemático que objetiva garantir melhor condição de circulação e/ou economia dos materiais da via. Steffler (2013) explica que a adoção da superelevação prática consiste em reduzir o valor original da superelevação teórica com o objetivo de minimizar a probabilidade de tombamento do veículo ao inscrever a curva em baixa velocidade, porém esta redução gera uma parcela de força centrífuga que não é absorvida quando o veículo circula em velocidade superior à de equilíbrio. A situação explícita na Figura 3 demonstra a origem desta parcela de força centrífuga não compensada.

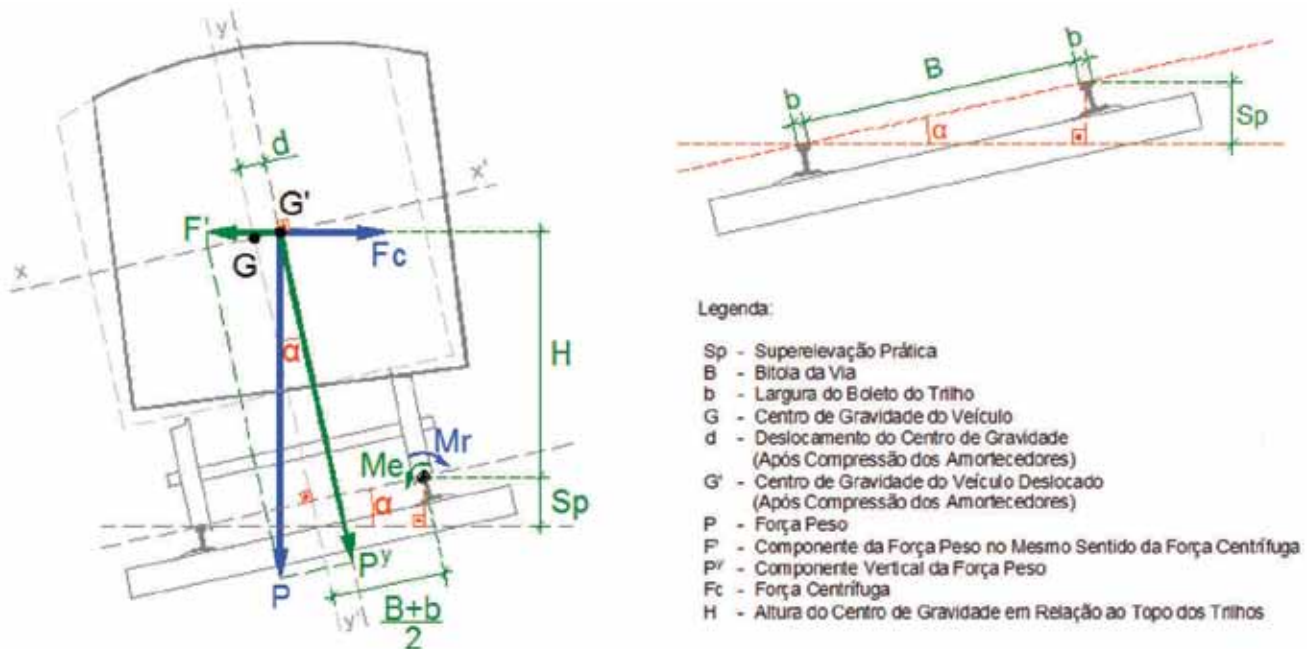


Figura 3 - Forças atuantes no vagão e variáveis de cálculo relevantes para o critério da segurança (Adaptado de BRINA, 1983)

O método objetiva evitar que ocorra o tombamento de veículos ao inscrever o movimento em curva, para tanto ele considera que a existência desta parcela de força centrífuga não compensada origina um esforço sobre o veículo chamado de Momento de Reviramento (M_r), que é compensado pelo Momento Estabilizador (M_e), resultante da ação da força peso do veículo, considerando o ponto de contato da roda com o trilho externo como ponto de apoio. A partir desta situação se terá a origem da fórmula explícita no item (e) da Tabela 1.

3.3 • Fatores a Considerar na Definição da Superelevação Prática

Após o cálculo do valor ideal para a superelevação prática, devem-se considerar alguns fatores que representam a questão prática da implantação e manutenção do desnível no lastro e a operação do tráfego. Lembrando que o lastro é uma camada granular que sofre acomodação por processo de socaria, estabelecer valores ínfimos para superelevação prejudica/inviabiliza a eficiência de sua implantação nas cotas estabelecidas. Alguns fatores a considerar são descritos nos subitens a seguir.

3.3.1 • Arredondamento da Superelevação

Esveld (2014) e Stopatto (1987) recomendam arredondar o valor obtido para a superelevação prática em um número múltiplo de cinco milímetros. Essa atitude visa facilitar a implantação e manutenção do desnível na camada de lastro, por exemplo, no uso das régua graduadas com nível, equipamento utilizado pela equipe de conserva e manutenção da via, cujos degraus são estabelecidos em 5 milímetros.

3.3.2 • Valores Máximos de Superelevação

As normas técnicas da extinta Rede Ferroviária Federal S.A. RFFSA (1984), discorrem que o cálculo da superelevação máxima considera a hipótese de um veículo ferroviário parar em uma curva dotada de superelevação. Como o mesmo não está em movimento, não há compensação entre força centrífuga e força peso, ficando o sistema sob a influência exclusiva da força peso, cujo efeito se traduz na origem de uma componente paralela ao plano dos trilhos, que força os frisos das rodas do veículo de encontro ao trilho interno da curva, conforme a Figura 4.

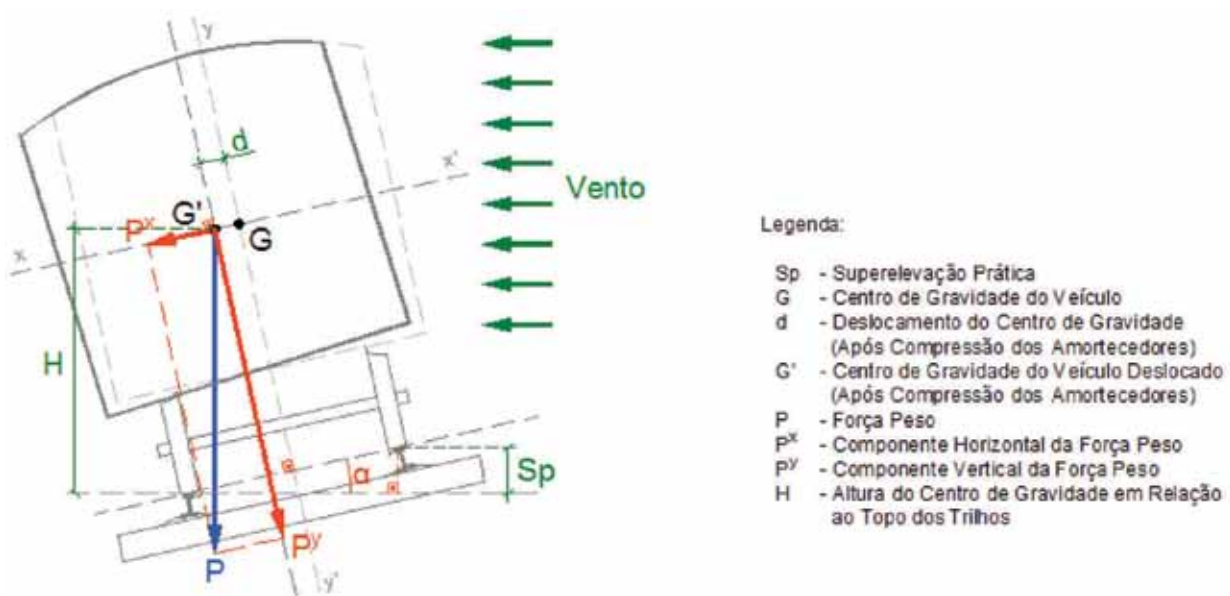


Figura 4 - Forças atuantes sobre veículo parado em curva (Adaptado de BRINA, 1983)

Mundrey (2000) acrescenta que o excesso de superelevação contribui para o tombamento de trens de carga vazios quando expostos a ventos com alta velocidade, conforme a Figura 4.

As recomendações da VALEC (2011) definem o valor máximo da superelevação como um décimo do valor da bitola em milímetros, exposto pela equação (3), ou pelos valores de 100 milímetros para bitola métrica e 160 milímetros para bitola larga.

$$S_{\text{máx}} = \frac{B}{10} \quad (3)$$

3.3.3 Valores Mínimos e Nulidade

Alguns autores sugerem que a superelevação deverá ter um valor mínimo, com a justificativa de que adotar um valor abaixo deste pode dar origem ao processo de inversão da superelevação no trecho, mesmo em curvas de grandes raios.

Entre estes autores, as instruções da VALE (2009) definem o valor mínimo de 5 milímetros para a superelevação prática, enquanto Steffler (2013) sugere que não se utilize superelevação inferior a 10 milímetros para bitola métrica e 20 milímetros

para bitola larga. Quando calculados valores abaixo dos mínimos estabelecidos, a superelevação será considerada nula.

3.3.4 Velocidade Limite

Brina (1983) define a velocidade limite como o máximo valor com o qual o trem pode percorrer a curva. Analisando a Equação (1), percebe-se que a superelevação teórica é proporcional ao quadrado da velocidade, sugerindo ser um fator de grande impacto para definição da superelevação; em contraponto, também é um elemento que pode variar com cada veículo que circula na ferrovia.

A consideração matemática utilizada para o cálculo deste valor é utilizar o máximo valor admitido para a superelevação e fazer a conta reversa na correlação entre prática e teórica, encontrando a velocidade limite correspondente. De modo geral, a velocidade limite pode ser definida através de uma proporção da raiz quadrada do raio da curva, representado pela letra K, conforme expresso na equação (4).

$$V_{\text{lim}} = K * \sqrt{R} \quad (4)$$

Onde os valores possíveis para K podem ser estabelecidos de acordo com os critérios e métodos descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores Tabelados para K

| Critério | Método | K |
|-----------|--|---|
| Empíricos | $V = \frac{2}{3} * V_{\text{proj}}$ | $\sqrt{28,58 * \frac{B}{B + b}}$ |
| | $V = \frac{3}{4} * V_{\text{proj}}$ | $\sqrt{22,58 * \frac{B}{B + b}}$ |
| | $V = \frac{V_{\text{proj}}}{\sqrt{2}}$ | $\sqrt{25,40 * \frac{B}{B + b}}$ |
| | $S_p = \frac{2}{3} * S_t$ | $\sqrt{19,05 * \frac{B}{B + b}}$ |
| Racional | Segurança Contra o Tombamento | $\sqrt{127 * \left[\frac{B}{10 * (B + b)} + \frac{1}{n * H} * \left(\frac{B + b}{2} - d \right) \right]}$ |

4 • ANÁLISE COMPARATIVA DOS CÁLCULOS DA SUPERELEVAÇÃO

A seguir, serão expostas tabelas correlacionando diversos raios de curvas com os métodos abordados e apresentando

as respectivas superelevações calculadas. Depois, estes valores serão expostos através de gráficos que correlacionam os valores das superelevações obtidas aos raios correspondentes. As tabelas e gráficos estão divididos pelas bitolas utilizadas e os valores adotados para os cálculos serão aqueles apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores adotados para elaboração das tabelas e gráficos comparativos de super elevação

| Variável | Descrição | Valores Adotados | |
|----------|---|------------------|--------------|
| | | Bitola Métrica | Bitola Larga |
| B | Largura da Bitola | 1000mm | 1600mm |
| b | Largura do Boletó TR57 | 69,06mm | 96,06mm |
| V | Velocidade de Projeto | 80km/h | 80km/h |
| n | Coefficiente de Segurança | 5 | 5 |
| H | Altura Centro de Gravidade | 1876mm | 2200mm |
| d | Deslocamento do Centro de Gravidade (d) | 100mm | 100mm |

A Tabela 4 apresenta zonas sombreadas que representam os valores calculados que ultrapassaram os limites estabelecidos de máximo e mínimo de super elevação, abordados nos itens 3.3.2 e 3.3.3, adotando o critério definido pela VALEC (2011), em que o valor máximo de super elevação é igual a um décimo da bitola

em milímetros e, para o valor mínimo, adotam-se os critérios estabelecidos por Steffler (2013), em que o valor mínimo da super elevação para bitola métrica é de 10 milímetros, enquanto na bitola larga é de 20 milímetros. As Figuras 5 e 6 apresentam os gráficos obtidos através das tabelas mencionadas.

Tabela 4 - Valores calculados para a superelevação para bitolas métrica (1m) e larga (1,6m).

| Superelevação (mm) | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------------|-------|
| Raio | Teórica | | 2/3 (V) | | 3/4 (V) | | 1/√2 (V) | | 2/3 (St) | | Critério Segurança | |
| | Item 3.1 | | Tabela 1 (a) | | Tabela 1 (b) | | Tabela 1 (c) | | Tabela 1 (d) | | Tabela 1 (e) | |
| Bitola | 1m | 1,6m | 1m | 1,6m | 1m | 1,6m | 1m | 1,6m | 1m | 1,6m | 1m | 1,6m |
| 300 | 179,6 | 280,4 | 79,8 | 124,6 | 101 | 157,7 | 89,8 | 140,2 | 119,7 | 186,9 | 130,1 | 168,9 |
| 400 | 134,7 | 210,3 | 59,9 | 93,5 | 75,8 | 118,3 | 67,3 | 105,1 | 89,8 | 140,2 | 85,2 | 98,8 |
| 500 | 107,7 | 168,2 | 47,9 | 74,8 | 60,6 | 94,6 | 53,9 | 84,1 | 71,8 | 112,1 | 58,2 | 56,8 |
| 600 | 89,8 | 140,2 | 39,9 | 62,3 | 50,5 | 78,9 | 44,9 | 70,1 | 59,9 | 93,5 | 40,3 | 28,7 |
| 700 | 77,0 | 120,2 | 34,2 | 53,4 | 43,3 | 67,6 | 38,5 | 60,1 | 51,3 | 80,1 | 27,4 | 8,7 |
| 800 | 67,3 | 105,1 | 29,9 | 46,7 | 37,9 | 59,1 | 33,7 | 52,6 | 44,9 | 70,1 | 17,8 | 0 |
| 900 | 59,9 | 93,5 | 26,6 | 41,5 | 33,7 | 52,6 | 29,9 | 46,7 | 39,9 | 62,3 | 10,3 | 0 |
| 1000 | 53,9 | 84,1 | 23,9 | 37,4 | 30,3 | 47,3 | 26,9 | 42,1 | 35,9 | 56,1 | 4,3 | 0 |
| 1100 | 49,0 | 76,5 | 21,8 | 34,0 | 27,5 | 43,0 | 24,5 | 38,2 | 32,7 | 51,0 | 0 | 0 |
| 1200 | 44,9 | 70,1 | 20,0 | 31,2 | 25,3 | 39,4 | 22,4 | 35,0 | 29,9 | 46,7 | 0 | 0 |
| 1400 | 38,5 | 60,1 | 17,1 | 26,7 | 21,6 | 33,8 | 19,2 | 30,0 | 25,7 | 40,1 | 0 | 0 |
| 1600 | 33,7 | 52,6 | 15,0 | 23,4 | 18,9 | 29,6 | 16,8 | 26,3 | 22,4 | 35,0 | 0 | 0 |
| 1800 | 29,9 | 46,7 | 13,3 | 20,8 | 16,8 | 26,3 | 15,0 | 23,4 | 20,0 | 31,2 | 0 | 0 |
| 2000 | 26,9 | 42,1 | 12,0 | 18,7 | 15,2 | 23,7 | 13,5 | 21,0 | 18,0 | 28,0 | 0 | 0 |
| 2500 | 21,5 | 33,6 | 9,6 | 15,0 | 12,1 | 18,9 | 10,8 | 16,8 | 14,4 | 22,4 | 0 | 0 |
| 3000 | 18,0 | 28,0 | 8,0 | 12,5 | 10,1 | 15,8 | 9,0 | 14,0 | 12,0 | 18,7 | 0 | 0 |
| 4000 | 13,5 | 21,0 | 6,0 | 9,3 | 7,6 | 11,8 | 6,7 | 10,5 | 9,0 | 14,0 | 0 | 0 |
| 5000 | 10,8 | 16,8 | 4,8 | 7,5 | 6,1 | 9,5 | 5,4 | 8,4 | 7,2 | 11,2 | 0 | 0 |

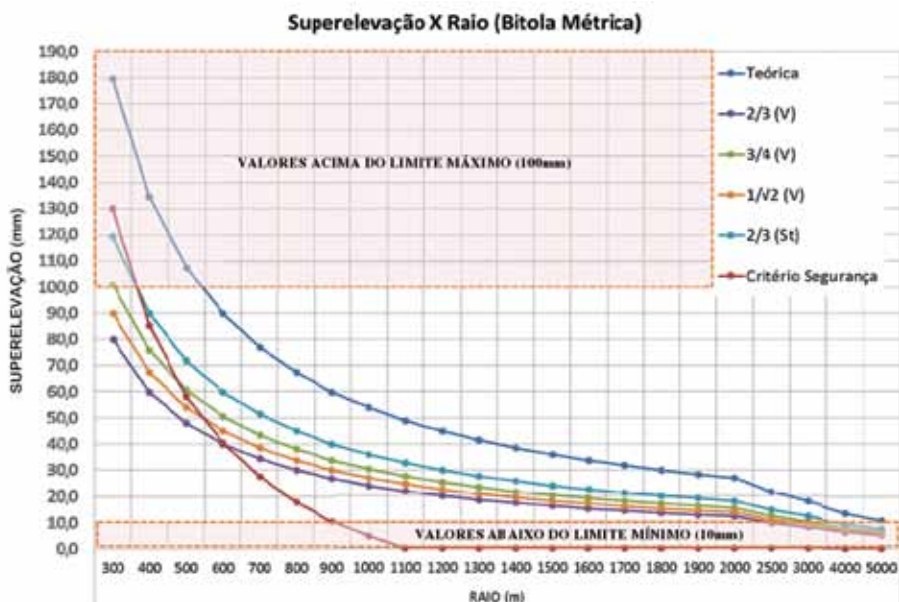


Figura 5 - Gráfico comparativo dos métodos de superelevação para a bitola métrica

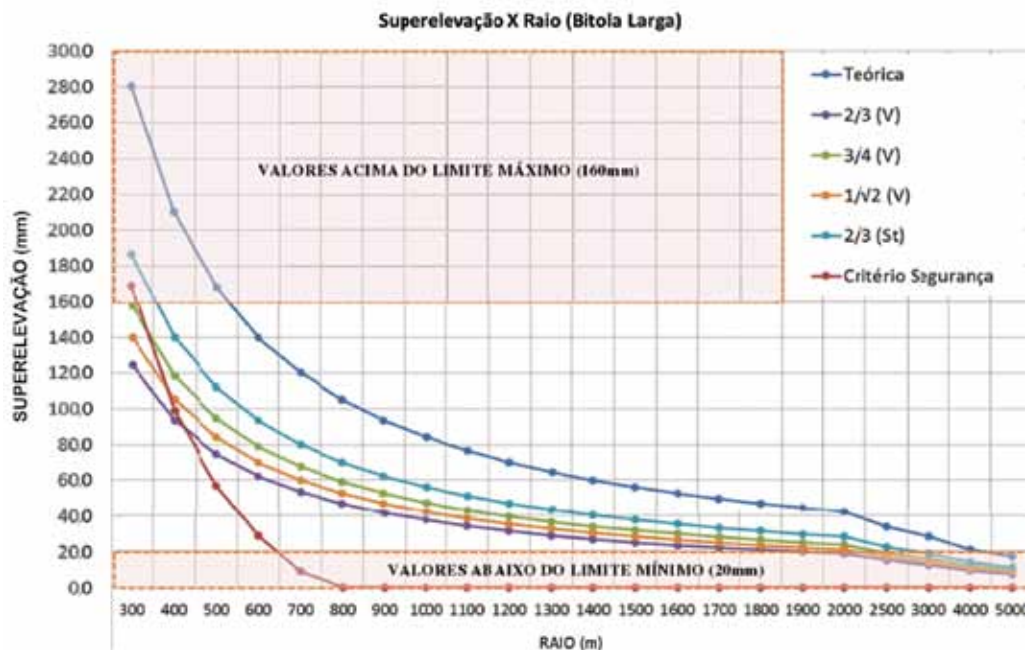


Figura 6 - Gráfico comparativo dos métodos de superelevação para a bitola larga.

5 • ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS GRÁFICOS

Analisando os gráficos comparativos das Figuras 5 e 6, verifica-se que a superelevação teórica é o maior valor calculado e que todos os métodos de definição da superelevação prática são inferiores a este.

Nota-se que os métodos empíricos apresentam um gráfico semelhante ao gráfico da superelevação teórica, evidenciando uma proporcionalidade. Entretanto, percebe-se que as diferenças entre os valores obtidos nos métodos empíricos são bem próximos e, ao passo que o raio de curvatura aumenta, essa diferença nos valores da superelevação diminui, tornando-se irrelevante para grandes raios.

O método racional por critério de segurança apresenta a maior variação de valores entre todos, seu gráfico apresenta um comportamento inverso aos gráficos obtidos para os métodos empíricos. O critério de segurança tem por procedimento padrão estabelecer uma parcela a ser deduzida da superelevação teórica, o que fica claro quando começa

a resultar em valores negativos a partir do raio de 1.100 metros para a bitola métrica e 800 metros para bitola larga.

Na prática, valores negativos de superelevação são considerados como nulos, adotando o valor zero na planilha para estes casos.

Verificando essas zonas de inconformidades, percebe-se que os métodos empíricos proporcionais à velocidade de cálculo, descritos na Tabela 1, itens (a), (b) e (c), apresentam uma predominância de valores dentro da faixa de valores aceitáveis, enquanto os outros métodos extrapolam tanto os limites de máximo como os de mínimo relacionados.

6 • CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estabelecimento da superelevação ferroviária depende de uma série de fatores que correlacionam às características do material rodante, geometria da via e superestrutura, além das condições operacionais de circulação. É importante lembrar que a superestrutura da via deverá ser implantada seguindo as recomendações do DNIT, com especial atenção ao fato de que a espessura mínima do lastro deverá ser mantida sob o trilho mais baixo, obedecendo aos valores estabelecidos na ISF 212 (DNIT, 2015).

Para o cálculo da superelevação, devem-se elencar os pontos relevantes de cada um destes fatores, porém este valor teórico obtido não corresponde à realidade de todos os veículos que trafegam na via, haja visto que uma mesma curva projetada pode ser percorrida por veículos distintos desenvolvendo velocidades diferentes. Pode-se destacar que veículos circulando acima da velocidade de equilíbrio adotada na superelevação estarão ocasionando esforços não compensados no trilho externo. Caso abaixo da velocidade de equilíbrio, o esforço ocorre no trilho interno, aumentando o desgaste da superestrutura da via.

Deve-se incluir no cálculo da superelevação a possibilidade de inscrição descompensada, representada pela superelevação prática que, além de exprimir a diferença de velocidade que os veículos podem ter, deve também contemplar aspectos de implantação e operação da ferrovia.

Conclui-se que o processo de estabelecimento da superelevação ferroviária não depende apenas de inserir valores em uma fórmula e receber a diferença de nível equivalente, é preciso analisar a dinâmica de movimento que será desenvolvida na ferrovia e antever as particularidades próprias dos veículos que nela circulam e, conforme pode-se constatar ao longo deste trabalho, a determinação da velocidade é o item chave para se estabelecer um valor seguro de superelevação ferroviária, devendo ser considerado nos cálculos um valor compatível com o tráfego e que o controle operacional da ferrovia efetue o monitoramento da velocidade de circulação existente.

Referências Bibliográficas

- BRINA, Helvécio. *Lapertosa. Estradas de Ferro Volume 1: Via Permanente. 2ed.* Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S.A, 1983. 258p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. *ISF 212: Projeto de Superestrutura da Via Permanente Conjunto Lastro, Sublastro e Camada Final de Terraplanagem.* Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/sala-de-imprensa/isf-212-projeto-de-superestrutura-da-via-permanente-lastro-e-sublastro.pdf>>. Acesso em: 19 de setembro de 2015.
- ESVELD, C. *Modern Railway Track. 3ed.* Netherlands: Delft University of Technology. 2014. 746p.
- MUNDREY, J. S. *Railway Track Engineering. 3ed.* New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. India, 2000. 661p.
- NABAIS, R. J. S. (org.). *Manual Básico de Engenharia Ferroviária.* São Paulo: Oficina de Textos. 2014. 349p.
- REDE FERROVIÁRIA FEDERAL S.A. – EVR-20: *Considerações Sobre Geometria do Eixo da Via.* In: _____. *Estudos e Relatórios Técnicos Volume IX.* Rio de Janeiro: Rede Ferroviária Federal S.A. – RFFSA, 1984. 71p.
- SCHRAMM, G. *A Geometria da Via Permanente.* Porto Alegre: Editora Meridional “EMMA”. 1974. 231p.
- STEFFLER, F. *Via Permanente Aplicada: Guia Teórico e Prático.* Rio de Janeiro: LTC. 2013. 314p.
- STOPATTO, S. *Via Permanente Ferroviária: Conceitos e Aplicações.* São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 1987. 251p.
- VALE. *Manual Técnico da Via Permanente. 2009.* Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFGa0AE/manual-tecnico-vp-rev2-2009>>. Acesso em 13 de abril de 2015.
- VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias – VALEC. *80-EG-000A-18-0001: Superelevação em curvas ferroviárias.* 2011. Disponível em <http://www.valec.gov.br/download/normastecnicas/especificacoes_de_projeto/Supereleva%C3%A7%C3%A3o%20em%20curvas%20ferrovi%C3%A1rias%20-%2080-EG-000A-18-0001%20Rev2.pdf>. Acesso em 17 de março de 2015. ⬇



AVALIAÇÃO DO TRINCAMENTO DE CIMA PARA BAIXO EM REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Lysiane Menezes Pacheco¹

Lélio Antônio Teixeira Brito²

Jorge Augusto Pereira Ceratti³

¹ Eng. Civil, M.Sc. • Universidade Federal do Rio Grande do Sul

² Eng. Civil, P.hD. • Universidade Federal do Rio Grande do Sul

³ Eng. Civil, D.Sc. • Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

O crescente aumento das cargas transportadas pelos caminhões e a utilização de pneus radiais têm contribuído para a degradação prematura dos pavimentos asfálticos. Uma das patologias que passaram a ser comuns nos revestimentos asfálticos, logo após a abertura ao tráfego, é o trincamento que inicia no topo da camada e se propaga para baixo, denominado *top-down cracking* (TDC). Sabe-se que este trincamento é uma manifestação da ruptura por cisalhamento. Neste sentido, este trabalho visa avaliar a resistência ao cisalhamento de misturas asfálticas em laboratório, a partir da mudança da curva granulométrica. Para isso, foram analisadas duas misturas com ligante convencional CAP 50/70, sendo uma com curva granulométrica densa graúda e outra densa miúda, de acordo com a metodologia Bailey. Foram realizados ensaios de compressão triaxial a 35°C e a 45°C em corpos de prova de 100 mm de diâmetro e aproximadamente 188 mm de altura, os quais foram moldados no compactador giratório Superpave. A partir disso, obtiveram-se dados de coesão e de ângulo de atrito das misturas estudadas. Foi verificado que, como era de se esperar, aumentando-se a temperatura de ensaio, reduz-se a coesão de ambas as misturas. Na mistura graúda a coesão passou de 784 para 307 kPa e na mistura miúda de 838 para 401 kPa. Além disso, os resultados indicam que o ângulo de atrito da mistura graúda é maior, como se esperava, e a coesão é menor. Comparando a resistência ao cisalhamento da mistura graúda com as tensões cisalhantes geradas no revestimento de estruturas de pavimentos modeladas no software de elementos finitos Abaqus, foi verificado que as tensões são inferiores. Porém não é possível afirmar que não haveria manifestação de TDC nas condições climáticas e carregamento empregados na análise.

Palavras-chave: resistência ao cisalhamento; misturas asfálticas; ensaio de compressão triaxial.

ABSTRACT

The increasing of load transported by trucks and the use of radial tires have contributed for early asphalt pavements failure. One of the distresses that has been frequent in asphalt layers, shortly after opening to traffic, is the cracking that begins at the top of the pavement and propagates down, named top-down cracking (TDC). It is known that this cracking mode can be related to shear failure. Thus, this study aims to evaluate the asphalt mixtures shear strength in a laboratory, from the size distribution change. For this, two mixtures with conventional binder were analyzed, both have dense size distribution, but one coarse-graded and the other fine-graded, following the Bailey method. Triaxial compression test were conducted at 35 and 45°C in specimens with diameter of 100 mm and height of ~188 mm, which were prepared in a Superpave gyratory compactor. From this investigation, data for cohesion and friction angle of the studied mixtures were obtained. It was found that, as expected, increasing the test temperature, reduces the cohesion of both mixtures. In the coarse-graded mixture the cohesion reduced from 784 to 307 kPa and fine-graded from 838 to 401 kPa. Furthermore, the results indicate that the coarse mixture friction angle is greater, as expected, and cohesion is smallest. Comparing the coarse mixture shear strength with the shear stresses generated in the coating of pavement structure modeled in the finite element software Abaqus, it was verified that the stress are smaller. However it is not possible to assert that there was no manifestation of TDC for the climatic conditions and load proposed in the analysis.

Keywords: shear strength; asphalt mixtures; triaxial compression test.

1 • INTRODUÇÃO

O trincamento pode ser considerado como um dos principais mecanismos de degradação dos pavimentos rodoviários asfálticos brasileiros. Até o início dos anos dois mil, atribuíam-se este trincamento às trincas por fadiga que surgiam na fibra inferior do revestimento por repetidos efeitos de flexão, principalmente sobre bases granulares. Com a necessidade de se dimensionar pavimentos mais duráveis, passou-se a admitir camadas cada vez mais espessas de revestimento asfáltico de forma a diminuir as tensões de tração atuantes e com isto ampliar as vidas de fadiga dos pavimentos – foi quando começou-se a observar pavimentos com trincas que se desenvolviam da superfície para baixo, provavelmente em função das altas pressões de contato dos pneus com o pavimento.

No Brasil, na metodologia convencionalmente utilizada para dimensionamento e amplamente difundida busca-se em essência proteger o subleito em relação à ruptura por cisalhamento e deformações permanentes excessivas. De modo geral, ao se empregar metodologias mecanísticas, além da análise da deformação permanente, é verificado se as camadas asfálticas não irão romper por fadiga durante o período de projeto, através de modelos de trincamento ainda pouco explorados na prática.

Segundo MEDINA e MOTTA (2005), o trincamento por fadiga, em geral, é a principal falha dos pavimentos rodoviários brasileiros. De acordo com NÚÑEZ et al. (2011) nos últimos anos outras formas de degradação têm sido observadas precocemente nos revestimentos asfálticos, principalmente quando estes são espessos e estão sob ação de grande volume de tráfego. Dentre elas citam-se o afundamento plástico nas trilhas de rodas (ATP) resultante da deformação plástica da camada asfáltica e o trincamento que inicia no topo do revestimento e se propaga para baixo (trincamento de cima para baixo – TCB) também denominado *top-down cracking* (TDC)

As excessivas tensões de cisalhamento geram o trincamento que inicia nas fibras superiores do revestimento e se propaga para baixo; já as excessivas deformações de cisalhamento resultam no afundamento nas trilhas de rodas. Dependendo do tipo da estrutura e do carregamento, ambos os problemas podem ocorrer já nos primeiros meses após a liberação ao tráfego. Logo, pode-se considerar que as tensões e deformações cisalhantes são um dos principais fatores que reduzem o desempenho dos pavimentos asfálticos espessos.

Para avaliar o comportamento de misturas asfálticas quanto a sua resistência ao cisalhamento na busca de uma melhor compreensão do fenômeno do trincamento de cima para baixo, realiza-se uma análise do efeito da resistência ao cisalhamento sob a ótica da mecânica clássica para avaliação da resistência de duas misturas convencionais, variando-se apenas as distribuições granulométricas do agregado, a fim de avaliar a sua influência na resistência ao cisalhamento de concretos asfálticos.

2 • O TRINCAMENTO DE CIMA PARA BAIXO

Quando o veículo se desloca sobre o pavimento com uma determinada carga, são induzidas tensões de compressão na superfície carregada e imediatamente abaixo da roda. Em decorrência, são geradas tensões transversais e longitudinais de cisalhamento. SU et al. (2008) acreditam que as tensões cisalhantes são um dos fatores mais críticos para o desenvolvimento de TCB. Através de análises numéricas, estes autores observam que as máximas tensões cisalhantes geradas pelo tráfego ocorrem sob a extremidade do pneu, e que estas induzem ao TCB.

O TCB pode ocorrer nas trilhas de rodas, ou ainda, segundo SVASDISANT et al. (2002) apud FREITAS et al. (2003), fora dela. Isto acontece quando a relação modular entre as camadas de revestimento e de base é muito grande. Para exemplificar esta situação, na Figura 1 é apresentado um ponto afastado do carregamento onde são geradas tensões de tração devido à passagem da carga e consequente deformação do pavimento. Caso a tensão exceda a resistência da mistura, iniciará a trinca.

A segunda causa mencionada para o TCB é o envelhecimento do ligante asfáltico. Esta reação muda a composição do material, resultando em enrijecimento da camada mais próxima à superfície e rompimento frágil quando em contato com pneu. Altas temperaturas, elevado volume de vazios e baixo teor de ligante potencializam o envelhecimento.

MYERS e ROQUE (2001), através de análise por elementos finitos, mostram que pavimentos com gradientes térmicos (positivo ou negativo) apresentam maiores tensões de tração do que pavimentos com temperatura uniforme. Do mesmo modo, ao analisarem computacionalmente com o programa BISAR

um pavimento solicitado por pressão uniformemente distribuída em área circular, KUMAR et al. (2008) indicam maior magnitude de deformação de tração, a 1 cm da superfície, em camadas asfálticas com alto gradiente de temperatura se comparado a camadas com médio ou uniforme gradiente de

temperatura. WANG e AL-QADI (2010) mostram que camada asfáltica com temperatura não uniforme experimenta maiores tensões cisalhantes na superfície, principalmente quando o gradiente térmico é negativo (temperatura crescente com a profundidade).

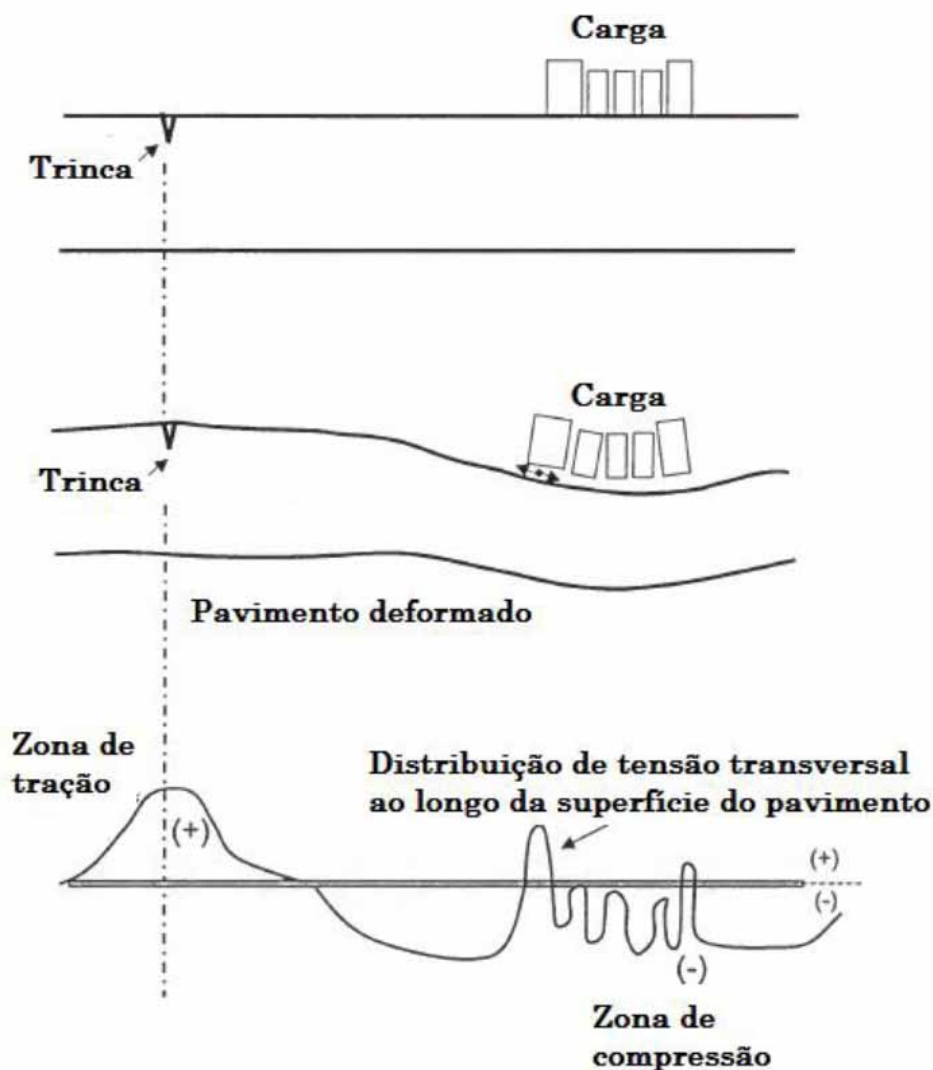


Figura 1 - TCB fora da trilha de rodas (baseada em: MYERS, 2002)

NÚÑEZ e CERATTI (2012) relatam que durante a fase inicial do surgimento das trincas não há prejuízos à estrutura, entretanto elas propiciam a penetração de água, que fica aprisionada e gera excesso de poro-pressão com a passagem dos

veículos. Os autores ainda citam que se a trinca propagar até a base pode haver geração de bombeamento de finos de camadas subjacentes ao revestimento, culminando em aparecimento de outros defeitos como panelas.

3 • DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Com o objetivo de investigar a relação entre as tensões atuantes no topo do revestimento de pavimentos típicos do cenário brasileiro, considerando a estrutura de pavimentos asfálticos usuais da região sul do país para avaliar a proximidade destas tensões aos limites de resistência ao cisalhamento do concreto asfáltico, foram realizadas as seguintes etapas neste trabalho:

- i. Dosagem de duas misturas asfálticas densas: uma mistura tipo concreto asfáltico graúda, com CAP 50/70 e outra mistura miúda também com ligante asfáltico convencional.
- ii. Moldagem de corpos de prova com diâmetro de 10cm e 20cm de altura, aproximadamente, através de compactador giratório Superpave e com volume de vazios entre 5 e 6%.
- iii. Obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento através da ruptura monotônica de misturas asfálticas com trajetórias de tensões tipo tensão confinante constante e axial constante à temperatura de 35°C e 45°C.
- iv. Modelagem através de ferramenta de elementos finitos de uma estrutura convencional com 15cm de concreto asfáltico, sobre 15cm de brita graduada simples e 38cm de macadame seco como camada de sub-base sobre um subleito tipo solo

A-2. Na modelagem foi considerado que a pressão de inflação dos pneus possui a distribuição de tensões de contato conforme a obtida por DE BEER *et al* (1997), com pressões variando entre 0,73 a 1,08MPa para uma pressão de inflação de 720kPa em um eixo simples de rodas duplas com carga de 48,5kN.

3.1 • Misturas Asfálticas

Neste estudo foi utilizado o ligante convencional CAP 50/70, por ser largamente empregado em obras rodoviárias no país. Todos os parâmetros obtidos do ligante encontraram-se dentro dos valores preconizados pela especificação da ANP (2005) para ligantes convencionais.

As três frações de agregado mineral utilizadas no estudo são provenientes de uma pedreira de rocha basáltica localizada na cidade de Estância Velha – Rio Grande do Sul. As duas composições granulométricas usadas no estudo foram estabelecidas a partir do método Bailey e enquadradas na Faixa C do DNIT. Para a dosagem Superpave, adotou-se para o período de projeto de 10 anos NAASHTO $2,9 \times 10^7$ ($6,0 \times 10^7$ para 20 anos). O teor de projeto foi estabelecido para volume de vazios igual a 4,0%. Os demais requisitos foram verificados graficamente e apresentaram-se adequados para mistura tipo camada de rolamento. As duas misturas testadas, uma mistura graúda e outra miúda, apresentaram os parâmetros de dosagem Superpave segundo a Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados das misturas Superpave dosadas para a pesquisa

| Propriedades | | Especificação | Mistura Graúda | Mistura Miúda |
|--------------------------------|-------------------|---------------|----------------|---------------|
| %G _{mm} (%) | N _{ini} | ≤ 89,0 | 85,8 | 86,1 |
| | N _{proj} | 96,0 | 95,9 | 95,7 |
| | N _{max} | ≤ 98,0 | 97,3 | 97,0 |
| VAM mínimo (%) | TMN 19,0 mm | 13 | 16 | |
| | TMN 12,5 mm | 14 | | 15 |
| RBV (%) | | 65 – 75 | 76 | 75 |
| Proporção pó/asfalto | | 0,6 – 1,2 | 1,0 | 1,2 |
| Teor de Ligante de Projeto (%) | | | 5,0 | 4,8 |

3.2 • Ensaios Triaxiais Monotônicos

A resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas foi determinada a partir de ensaios de compressão triaxial. Este ensaio consiste em aplicar no corpo de prova (CP) uma tensão confinante uniforme ($\sigma_3 = \sigma_2$) e uma tensão axial (σ_1) crescente, até a ruptura.

Para melhores resultados, buscou-se a relação convencional da mecânica de solos clássica entre diâmetro e altura da amostra de 1:2, assim, moldaram-se CPs de 100mm de diâmetro e 200 mm de altura aproximadamente. Esta mesma dimensão foi adotada por TAN *et al.* (1994) para garantir que os cones de cisalhamento se dessem dentro da amostra, afastados da base e da superfície do CP.

Como o molde do compactador giratório possui 200 mm de altura, após a compactação a amostra ficava com altura inferior. Para que a altura não fosse tão reduzida, a massa foi colocada no molde em sete camadas e realizada acomodação por 15 golpes com um bastão de cobre. Ao final os CP

possuíam altura média de 188,4 mm (variando de 185,7 a 192,2 mm).

Conforme propõe a norma DNIT 031/2006-ES, o grau de compactação da mistura asfáltica espalhada e compactada na pista deve ser superior a 97% e inferior a 101%. Uma vez que o objetivo da pesquisa era o de avaliar o TCB, que surge logo após a abertura ao tráfego, realizaram-se os ensaios em CPs com volume de vazios entre 5 e 6%. Os CPs após moldados permaneceram em ambiente com temperatura inferior a 20°C até o momento do ensaio.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica de Rochas do Departamento de Engenharia de Minas da UFRGS. Para aplicação da carga axial utilizou-se uma prensa de compressão servo-controlada da marca Controls com capacidade de carga de 2.000 kN e uma unidade multifuncional ADVAN-TEST 9 para controle da prensa. A Figura 2 mostra o equipamento usado no ensaio que, para a aplicação das tensões de confinamento, valeu-se de uma célula de pressão a óleo com uma luva de poliuretano para aplicação da tensão confinante na amostra de concreto asfáltico.



Figura 2 - Aparato utilizado para os ensaios triaxiais monotônicos.

3.3 • Tensões de Contato Pneu-Pavimento

Para análise por elementos finitos foi escolhido um eixo simples de rodas duplas, por representar o eixo padrão brasileiro. Tendo em vista que as trincas de cima para baixo ocorrem principalmente pelas altas tensões de contato pneu-pavimento, foi usado como referência o estudo de DE BEER *et al.* (1997). Nele, os autores determinaram através de instrumentação, a distribuição de carga real para diversos carregamentos. A Figura 3 mostra as tensões de contato em função da largura do pneu redesenhada, segundo os resultados de DE BEER *et al.* (1997) para uma pressão de enchimento dos pneus de 720 kPa e uma carga de roda de 48,5 kN. Foram, assim, considerando 8 bandas de pressão variando entre 0,73 MPa e 1,08 MPa.

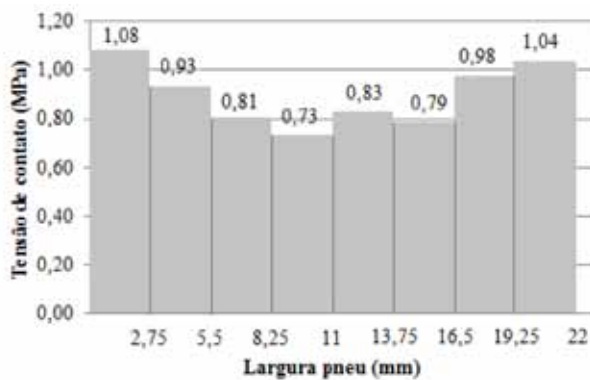


Figura 3 - Tensão vertical de contato de um pneu com 48,5 kN de carga 720 kPa de pressão de inflação

A forma da área de contato foi a proposta por HUANG (2004), composta por um retângulo e duas semiesferas, aproximando-se de uma elipse. A largura da área foi de 220,00 mm, equacionando assim em um comprimento de 366,67 mm.

3.4 • Modelagem 3D com Elementos Finitos do Pavimento

No intuito de poder estimar as tensões cisalhantes geradas no topo do revestimento do pavimento, realizaram-se simulações por elementos finitos com o auxílio do software Abaqus. Por conta do tempo de execução e da memória requerida, foi empregada uma malha não homogênea com uma área mais densa de elementos no revestimento asfáltico – área de maior interesse para determinação das tensões atuantes.

A malha foi feita com elementos denominados C3D20R. Isso significa que os elementos eram sólidos contínuos, possuíam 20 nós e os dados em pontos fora dos nós eram obtidos através de interpolação quadrática. Foram utilizadas três condições de contorno. O fundo do subleito foi engastado, ou seja, foi impedida movimentação nos três eixos. A parede que corta a estrutura transversalmente ao sentido do tráfego (eixo y) foi impedida de movimentar-se no eixo x, já a parede que corta a estrutura paralelamente foi impedida no eixo y. As restrições utilizadas foram as que amarram duas superfícies, deixando-as em conjunto.

Na Figura 4 é ilustrada a estrutura modelada. Foi considerado que todos os materiais possuíam comportamento elástico linear e quatro condições foram simuladas:

a) Condição 1: camada de revestimento com temperatura homogênea de 45°C. O valor de MR para a mistura asfáltica graúda a esta temperatura foi de 962 MPa. O Coeficiente de Poisson (μ) empregado foi de 0,45;

b) Condição 2: camada de revestimento com temperatura homogênea de 35°C. O valor de MR para a mistura asfáltica graúda a esta temperatura foi de 3.156 MPa. O μ empregado foi de 0,375;

c) Condição 3: dia típico de verão. A camada de revestimento foi subdividida em três partes de 5 cm, cada uma possuindo temperatura diferente. Os valores de MR para cada temperatura foram interpolados a partir dos resultados obtidos na pesquisa e detalhados em Pacheco (2014), segundo o gradiente térmico medido por NÚÑEZ *et al.* (2003). A Figura 5 resume os parâmetros considerados.

d) Condição 4: dia típico de inverno. A camada de revestimento foi subdividida em três partes de 5 cm, cada uma possuindo temperatura diferente. Os valores de MR para cada temperatura foram interpolados a partir dos resultados obtidos na pesquisa e detalhados em Pacheco (2014), segundo o gradiente térmico medido por NÚÑEZ *et al.* (2003). A Figura 6 resume os parâmetros considerados.

A camada de base foi considerada com módulo de elasticidade de 172 MPa, enquanto para a camada de sub-base foi de 290 MPa e para o subleito de 97 MPa; os valores de μ foram de 0,35 para as três camadas citadas.

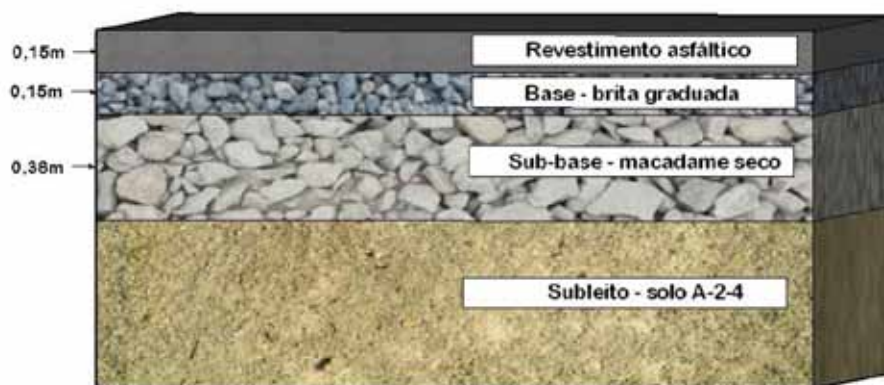


Figura 4 - Estrutura do pavimento usada nas análises da pesquisa

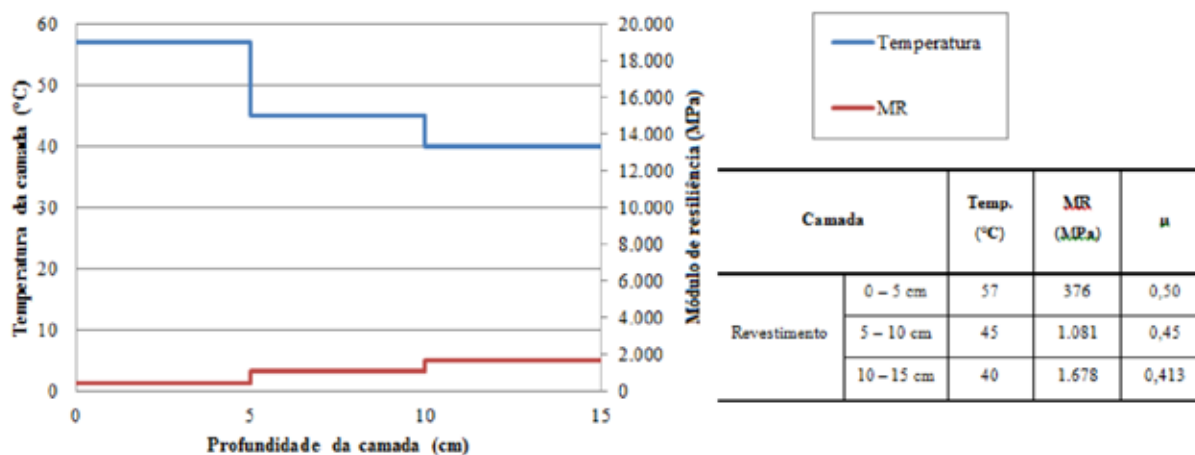


Figura 5 - Condição 3 (dia de verão)

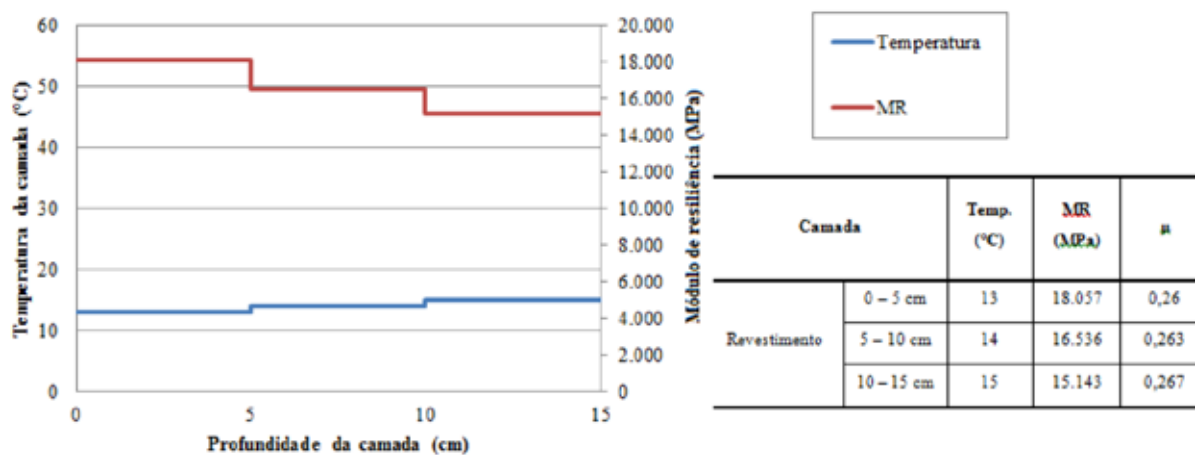


Figura 6 - Condição 4 (dia de inverno)

4 • RESULTADOS

4.1 • Ensaios Triaxiais Monotônicos

Os resultados obtidos nos ensaios triaxiais para determinação dos parâmetros de resistência das misturas asfálticas demos-

traram que, além do esperado aumento de carga de ruptura para maiores valores de tensão de confinamento, a coesão diminuiu com a redução de temperatura de 45°C para 35°C, em adição aos maiores valores de coesão para a mistura miúda com relação à graúda. Abaixo são mostrados os diagramas $p \times q$ para ambas as misturas estudadas, de onde foram então determinados os parâmetros de resistência.

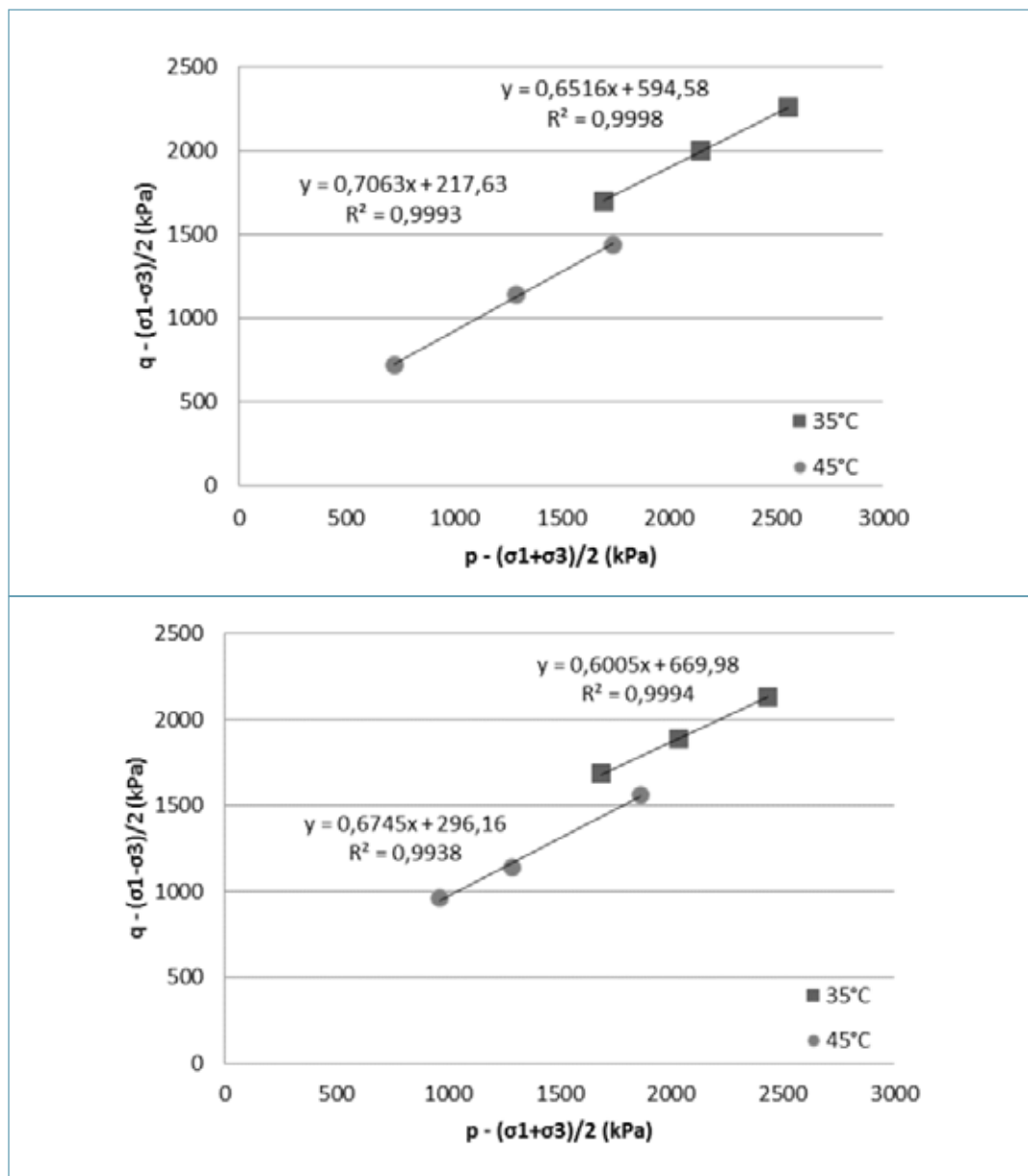


Figura 7 - diagrama $p \times q$ para ambas as misturas estudadas nas temperaturas de 35°C e 45°C.

A partir dos coeficientes angulares e dos termos independentes das correlações, obteve-se os parâmetros a e α que foram transformados em valores coesão e ângulo de atrito, conforme valores apresentados na Tabela 2.

Estudos anteriores de TAN *et al.* (1994), PELLINEN *et al.* (2004) e KALOUSH *et al.* (2010) relatam emprego de tensões de confinamento semelhantes às adotadas neste trabalho, ressalvado que PELLINEN *et al.* (2004) realizaram o ensaio com temperatura superior. Apesar da taxa de carregamento não ser a mesma (neste trabalho foi adotado uma taxa de 50N/s), no ensaio realizado a 45°C por TAN *et al.* (1994) o resultado de coesão – 350 kPa – foi próximo ao encontrado neste trabalho. No ensaio realizado a 37,8°C por KALOUSH *et al.* (2010) obteve-se coesão de 160 kPa, bastante inferior ao encontrado nos ensaios conduzidos a 35°C durante o presente estudo. Contudo, cabe salientar que o resultado de KALOUSH *et al.* (2010) também foi bastante inferior aos 500 kPa alcançados por TAN *et al.* (1994) no ensaio a 40°C, corroborando os dados aqui encontrados.

Tabela 2 - Resultados de coesão e ângulo de atrito

| | Mistura Graúda | | Mistura Miúda | |
|----------------------|----------------|------|---------------|------|
| | 35°C | 45°C | 35°C | 45°C |
| Coesão (kPa) | 784 | 307 | 838 | 401 |
| Ângulo de atrito (°) | 40,7 | 44,9 | 36,9 | 42,4 |

Através dos dados da Tabela 2 percebe-se que aumentando a temperatura do ensaio, a coesão reduz. Isto está de acordo com a literatura e confirma que a viscosidade do ligante é a maior fonte de coesão da mistura. Na mistura graúda a redução foi de 61% e na mistura miúda 52%. Esta diferença na redução da coesão pode estar atrelada à variação do teor de ligante de projeto das misturas e à diferente porcentagem de finos. A mistura miúda possui maior coesão em ambas as situações, caracterizando um mástique mais coeso.

Na temperatura de 35°C a coesão da mistura miúda é 6,9% maior que a da mistura graúda, já sob 45°C a coesão da mistura é 30,5% maior. Sendo assim, em altas temperaturas a distribuição granulométrica (com alteração de teor de ligante) influencia mais a coesão do que em temperaturas mais baixas.

Como se esperava, o ângulo de atrito da mistura graúda foi superior, isto porque a curva granulométrica foi composta com o objetivo de garantir maior intertravamento dos grãos graúdos. De acordo com a bibliografia pesquisada, a mudança de temperatura do ensaio não altera o ângulo de atrito, visto que ele depende apenas do esqueleto mineral. Porém, não foi isso que ocorreu. Aumentando a temperatura do ensaio, o ângulo de atrito da mistura graúda passou de 40,7° para 44,9°. Na mistura miúda o ângulo de atrito de 36,9° passou para 42,4°.

Uma possível explicação é que com o aumento da temperatura, a viscosidade do ligante é reduzida, permitindo movimentação das partículas, aumentando o contato grão-grão. Além disso, com a redução da viscosidade as partículas finas do mástique são mais mobilizadas.

Outra possível explicação para a mudança do ângulo de atrito é a organização dos agregados no CP durante a moldagem. Apesar do volume de vazios das amostras ter ficado dentro da faixa estabelecida, possivelmente a forma de distribuição dos agregados foi distinta, impactando neste parâmetro.

4.2 • Modelagem 3D com Elementos Finitos do Pavimento

Os cenários testados foram aqueles descritos no item 3.4. O software emprega a notação da mecânica clássica, ou seja, as tensões de tração são expressas pelo sinal positivo e as tensões de compressão pelo sinal negativo. A cor vermelha indica a maior tensão de tração, já a cor azul escuro a maior tensão de compressão. Foram determinadas as tensões de cisalhamento tanto no plano xz (a exemplo da Figura 8) como também as tensões de cisalhamento no plano yz (a exemplo da Figura 9). Os resultados da modelagem para todos os cenários testados estão resumidos na Tabela 3.

As maiores tensões determinadas não iniciaram na superfície do revestimento, mas sim entorno de 2,0 cm abaixo do topo da camada. Na Condição 4 as maiores tensões iniciam a 4,0 cm da superfície. Esse mesmo fato foi observado por SU *et al.* (2008), os quais analisaram com elementos finitos uma camada de concreto asfáltico de 15,0 cm de espessura com MR de 3.000 MPa sobre uma camada de base de brita graduada tratada com cimento de 30 cm de espessura com MR de 6.000 MPa, para diversas pressões de inflação e cargas, e observaram as maiores tensões de cisalhamento a 6,0 cm do topo.

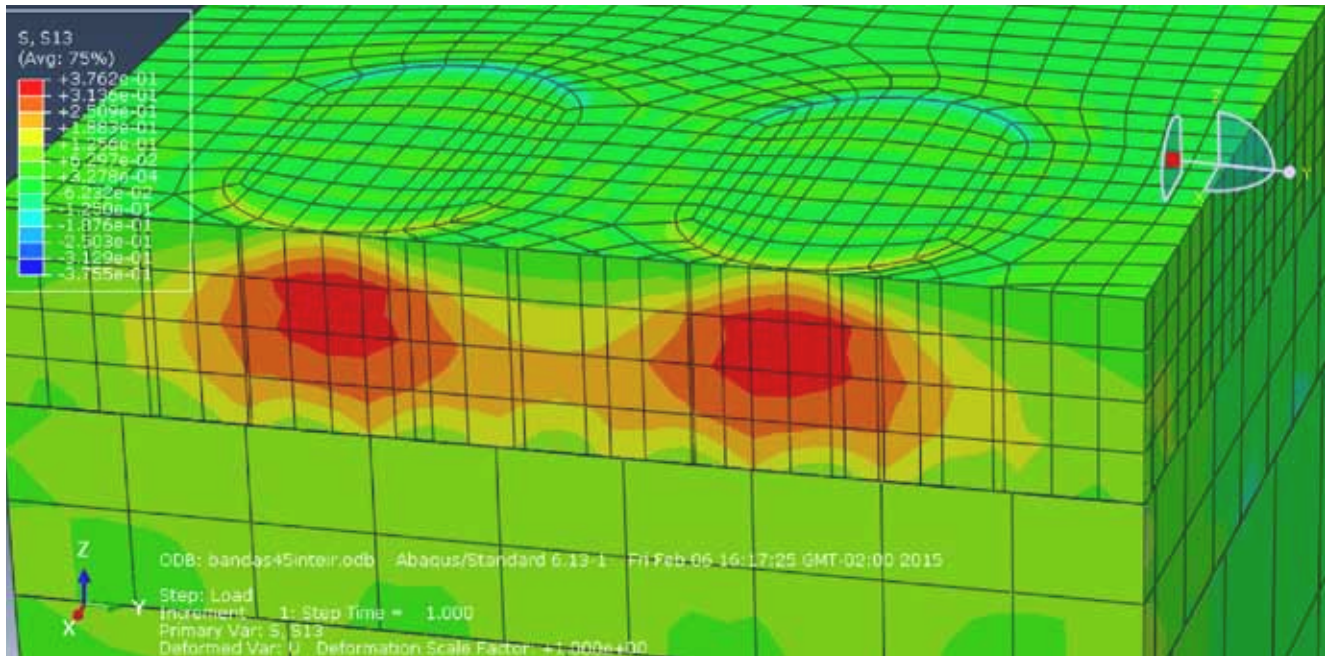


Figura 8 - tensões de cisalhamento no plano xz - Condição 1 (45°C)

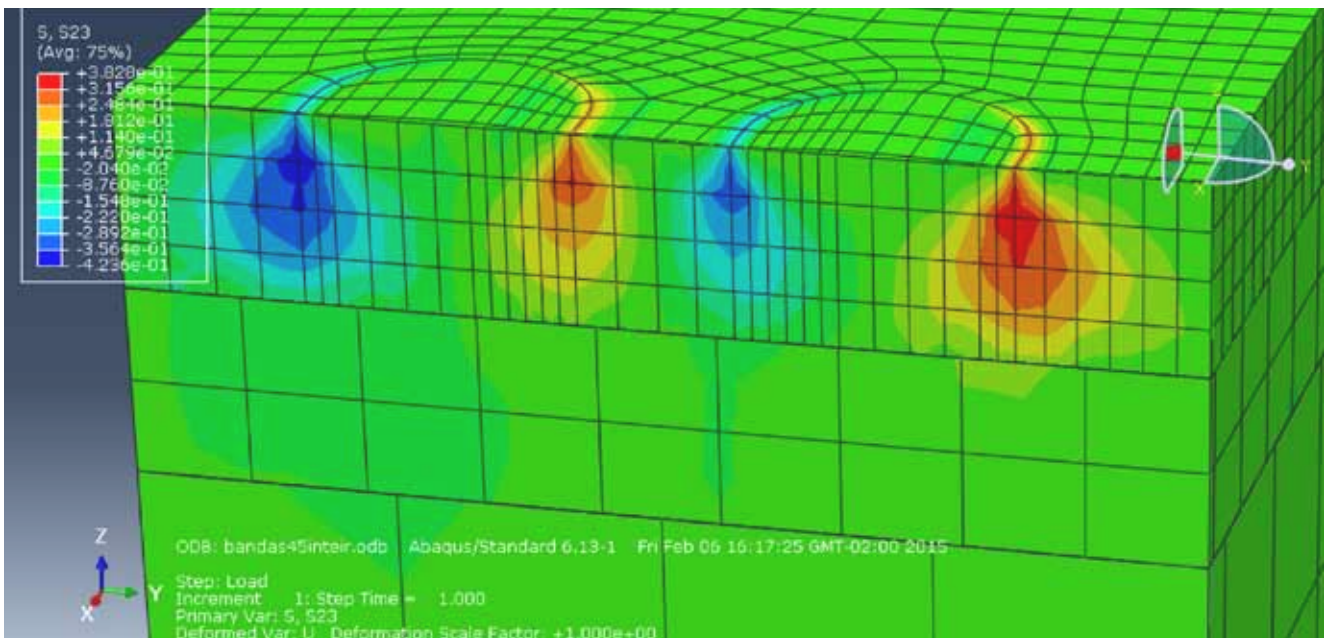


Figura 9 - tensões de cisalhamento no plano yz - Condição 1 (45°C)

Tabela 3 – Resultados das tensões de cisalhamento no revestimento encontradas na modelagem

| Condição | τ (kPa) | | |
|----------|--------------|-------------|-------------|
| | τ_{xz} | τ_{xy} | τ_{yz} |
| 1 | +376,2 | +159,5 | +382,8 |
| | -375,5 | -165,9 | -423,6 |
| 2 | +474,4 | +206,7 | +450,6 |
| | -457,8 | -189,8 | -483,3 |
| 3 | +413,1 | +212,2 | +463,0 |
| | -403,0 | -221,4 | -441,5 |
| 4 | +737,4 | +271,7 | +658,7 |
| | -664,7 | -307,4 | -637,3 |

Analisando os resultados obtidos, nota-se que as maiores tensões de cisalhamento, como havia sido identificado anteriormente na revisão bibliográfica realizada, ocorrem sob as bordas dos pneus. Levando em consideração o aumento da temperatura do revestimento (de 35 para 45°C) a máxima tensão de cisalhamento de 483,3 kPa passa a ser 423,6 kPa, redução de 12,4%. Apesar da resistência ao cisalhamento da mistura na temperatura de 45°C ser inferior, tendo em vista a redução da coesão, as tensões cisalhantes geradas no pavimento nesta condição também são inferiores.

O acréscimo das tensões de cisalhamento com a redução da temperatura do revestimento não é relacionado apenas com a maior rigidez da camada, mas principalmente com a relação modular maior entre revestimento e base. As tensões internas na camada de revestimento bem mais rígida, por não poder deformar-se, são superiores.

A tensão de cisalhamento máxima na condição de inverno é superior à tensão na condição de verão. O mesmo fato foi

alertado por WANG e AL-QADI (2010), os quais relatam que as maiores tensões cisalhantes ocorrem em camadas asfálticas que possuem temperatura crescente com a profundidade.

A fim de verificar se haveria TCB decorrente de rompimento por cisalhamento nas Condições 1 e 2, as tensões normais geradas pelo software a 2,0 cm do topo do revestimento (onde surgiram as maiores tensões cisalhantes) foram avaliadas. Os dados de tensão normal e de resistência ao cisalhamento constam na Tabela 4.

Como já era esperado, reduzindo a temperatura da camada de rolamento tem-se acréscimo de 31,0% na resistência ao cisalhamento. Comparando estes valores com as tensões de cisalhamento geradas, nota-se que a resistência é superior à tensão em ambos os casos – 2,9 vezes na condição 1 e 3,3 vezes na condição 2. Caso a tensão de cisalhamento máxima gerada na modelagem fosse superior à resistência da mistura haveria ruptura imediata após a passagem do primeiro veículo, já que a simulação foi feita considerando carregamento estático.

Tabela 4 - Resistência ao cisalhamento para as condições 1 e 2 investigadas.

| Condição | σ_n (kPa) | Resistência ao cisalhamento | |
|----------|------------------|--------------------------------|-------------|
| | | Equação | Valor (kPa) |
| 1 | 910,5 | $307 + \sigma \cdot \tan 44,9$ | 1214,3 |
| 2 | 937,3 | $784 + \sigma \cdot \tan 40,7$ | 1590,2 |

Na abordagem clássica da geotecnia a ruptura por cisalhamento do material ocorre quando os círculos de Mohr tangenciam ou superam a envoltória de resistência, ou seja, quando as tensões cisalhantes induzidas no material superam a resistência dele. Cabe ressaltar que a maior parte dos carregamentos impostos nas obras civis são monotônicos, portanto a análise de Mohr-Coulomb em geral é empregada para solos como esse tipo de carga.

5 • CONCLUSÕES

O estudo realizado mostrou em regra a importância do estudo das misturas asfálticas sob a ótica da mecânica clássica para melhor compreensão do mecanismo de iniciação do trincamento de cima para baixo.

Os resultados obtidos nos ensaios triaxiais monotônicos apresentaram resultados compatíveis com a literatura existente e apontaram para alguns elementos importantes, a saber:

- Como esperado, a mudança na curva granulométrica influencia a resistência ao cisalhamento da mesma, reduzindo o valor de coesão para a mistura mais graúda e aumentando seu ângulo de atrito, demonstrando a forte relação da dosagem do concreto asfáltico com seu potencial de desenvolvimento de trinca de cima para baixo.
- A mistura graúda apresentou ângulo de atrito 9,2% superior ao da mistura miúda no ensaio a 35°C e 5,6% superior no ensaio a 45°C, satisfazendo

a hipótese de que a mistura graúda dosada pela metodologia Bailey garante intertravamento dos grãos.

- Há alteração do ângulo de atrito em função da mudança da temperatura, possivelmente por diferente distribuição dos agregados no momento da moldagem, por reestruturação das partículas durante o ensaio ou por redução do filme de betume – o qual torna-se menos viscoso – no entorno dos agregados, aumentando o contato grão-grão.

No que tange à modelagem realizada, considerando as Condições 1 e 2, as maiores tensões cisalhantes foram geradas quando a temperatura do revestimento é 35°C e a maior resistência ao cisalhamento da mistura graúda também se apresentou nestas condições. Para as condições 3 e 4, as maiores tensões cisalhantes foram geradas quando houve gradiente térmico negativo no revestimento.

Ainda que as tensões cisalhantes geradas no revestimento da simulação estejam afastadas da superfície de ruptura, deve-se salientar que reiterados ciclos destas tensões serão as responsáveis pelo início do trincamento de cima para baixo. A relação entre a tensão cisalhante máxima/resistência ao cisalhamento obtida foi da ordem de 59% (Condição 2) a 75% (Condição 1); estes valores sugerem que após a passagem de sucessivos veículos, o dano causado venha, através da dissipação da energia resistente disponíveis nestas misturas, causar a fadiga nas fibras superiores iniciando o processo de trincamento. Um estudo aprofundado sob cargas repetidas poderá melhor elucidar este processo.

Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIODIESEL. Resolução ANP n. 19/2005 – Regulamento técnico n. 3/2005.
- BALADI, G. Y.; SCHORSCH, M.; SVASDISANT, T. Determining the causes of top-down cracks in bituminous pavements. Michigan State University Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan, n. MDOT – PRCE - MSU-2003 -110, June 2002.
- DE BEER, M.; FISHER, C.; JOOSTE F. J. Determination of pneumatic tyre/pavement interface contact stresses under moving loads and some effects on pavements with thin asphalt surfacing layers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ASPHALT PAVEMENTS (8th ICAP '97), 8, 1997, Seattle, Washington. Proceedings... USA, 1997.
- FREITAS, E.; PEREIRA, P.; PICADO-SANTOS, L. O. Assessment of top-down cracking causes in asphalt pavements. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MAINTENANCE AND REHABILITATION OF PAVEMENTS AND TECHNOLOGICAL CONTROL, 3, 2003, Guimarães – Portugal. Proceedings... Portugal, 2003, 555-564.
- HUANG, Y. H. Pavement analysis and design. 2nd. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- KALOUSH, K. E.; BILIGIRI, K. P.; ZEIADA, W. A.; RODEZNO, M. C.; SOULIMAN, M. E.; REED, J. X.; RODRIGUEZ, J. M.; STEMPIHAR, J. Laboratory Evaluation of Rubber & Polymer Modified Bituminous Mixtures Constructed in Stockholm (E18 Highway between the Järva Krog & Bergshamra Interchanges). Final Report Submitted to Swedish Road Administration, Vägverket, 405 33 Göteborg, Kruthusgatan 17, Sweden, 2010.
- KUMAR, S. S.; SRIDHAR, R.; REDDY, K. S.; BOSE, S. Analytical investigation on the influence of loading and temperature on top-down cracking in bituminous layers. Indian Roads Congress Journal, New Delhi, v. 69, p. 71-77, 2008.
- MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. Mecânica dos Pavimentos. 2. ed. Rio de Janeiro:[s. n.], 2005.
- MYERS, L. A.; ROQUE, R. Evaluation of top-down cracking in thick asphalt pavements and the implications for pavement design. Transportation Research Circular. Washington, DC, n. 503, 79-87, Dec. 2001.
- NÚÑEZ, W. P.; CERATTI, J. A. P.; PINTO, P. R. R. Afinal porque pavimentos novos estão rompendo precocemente? Um estudo sobre causas de degradações prematuras na superfície de pavimentos asfálticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS E CONCESSÕES E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL DE PRODUTOS PARA RODOVIAS, 7., 2011, Foz do Iguaçu-PR. Anais Eletrônicos... Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias, 2011. Disponível em: <<http://cbrbrbrasvias.com.br/palestras/arquivos/TC0045-1.PDF>>. Acesso em: 15 out. 2012.
- PACHECO, L. M. Análise paramétrica da resistência ao cisalhamento de misturas asfálticas. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- PELLINEN, T. K.; SONG, J.; XIAO, S. Characterization of hot mix asphalt with varying air voids content using triaxial shear strength test. In: Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, 8, 2004. Proceeding... Sun City, South Africa, 2004.
- SU, K.; SUN, L.; HACHIYA, Y.; MAEKAWA, R. Analysis of shear stress in asphalt pavements under actual measured tire-pavement contact pressure. In: ICPT, 6, 2008. Proceeding... Sapporo, Japan, 2008, 11-18.
- TAN. S. A.; LOW, B. H.; FWA, T. R. Behavior of asphalt concrete mixtures in triaxial compression. Journal of Testing and Evaluation, Vol. 22, n. 3, p. 195-203, May 1994.
- WANG, G.; ROQUE, R.; MORIAN, D. Effects of surface rutting on near-surface pavement responses based on a two-dimensional axle-tire-pavement interaction finite element model. Journal of Materials in Civil Engineering, n. 24, 1388-1395, Nov. 2012.
- WANG. H.; AL-QADI, I. L. Near-Surface Pavement Failure Under Multiaxial Stress State in Thick Asphalt Pavement. Transportation Research Record. Washington, DC, n. 2514. p. 91-99., 2010. Disponível em <https://www.academia.edu/4216410/Near-Surface_Pavement_Failure_Under_Multiaxial_Stress_State_in_Thick_Aspphalt_Pavement>. Acesso em junho de 2013.
- WANG, L. B.; MYERS, L. A.; MOHAMMAD, L. N.; FU, Y. R. A micromechanics study on top-down cracking. Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC, n. 82, 2003.
- SVASDISANT, T., SCHORSCH, M., BALADI, G.Y. AND PINYOSUNUN, S. Mechanistic analysis of top-down cracking in asphalt pavements. Transportation Research Board Annual Meeting. Washington, DC, 81. Proceedings CD-Room. 2002. 📌



O USO DE RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE ESCÓRIA DE ACIARIA COMO FÍLER EM MISTURAS ASFÁLTICAS

Eduardo Valadares Gottardi¹

João Luiz Calmon²

Jamilla Emi Sudo Lutif Teixeira³

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PPGEC/UFES

¹ Mestrando em Engenharia Civil • degotta@gmail.com

² Professor Doutor • calmonbarcelona@gmail.com

³ Professora Doutora • jamilla.teixeira@ufes.br

RESUMO

O Estado do Espírito Santo tem o maior complexo de pelletização de minério de ferro do mundo e é o maior produtor nacional de placas de aço. É, além disso, o maior exportador de mármore e granito da América Latina. O estado lidera a extração nacional de mármore e granito ornamentais, sendo responsável por 39% das exportações brasileiras de rochas ornamentais e por 50% de placas de mármore beneficiadas. Em contrapartida, o estado produz um grande volume de rejeitos industriais como escória de aciaria e resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais. Muitos trabalhos científicos têm estudado formas de empregar estes rejeitos na pavimentação. Diante do exposto, este trabalho visa contribuir nesta temática avaliando o comportamento mecânico e as propriedades de adesividade dos concretos asfálticos produzidos com a incorporação de Resíduos de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (RBRO) e de Escória Moída de Aciaria (EMA) como filler. Um total de 11 misturas foram estudadas, variando-se entre elas o percentual e o tipo de resíduo adicionado. Por meio da metodologia *Marshall*, determinou-se o teor de ligante de projeto das misturas em estudo. Para caracterização mecânica das misturas foram realizados ensaios de estabilidade e fluência *Marshall* e resistência à tração por compressão diametral. As propriedades de adesividade das misturas asfálticas foram avaliadas pelos ensaios de desgaste Cântabro e dano por umidade (Ensaio de Lottman Modificado). Os resultados mostram que a adição dos resíduos como filler em concreto asfáltico mantém tanto os parâmetros volumétricos como o comportamento mecânico das misturas com utilização dos resíduos industriais praticamente inalterados quando comparados à mistura de referência e que atendem aos requisitos das especificações vigentes do DNIT. Conclui-se, portanto, que a utilização de resíduos industriais em misturas asfálticas se apresenta como uma alternativa promissora para reaproveitamento dos rejeitos estudados.

Palavras-chave: Misturas Asfálticas; Filler; Resíduo Industrial; Pavimento.

ABSTRACT

The State of the Espírito Santo has the most complex pelletizing iron ore in the world and it is the largest producer of steel plates. It is also the largest exporter of marble and granite in Latin America. The state leads the national extraction of ornamental marble and granite, accounting for 39% of Brazilian exports of ornamental and for 50% of marble slabs benefited. In contrast, the state produces a large volume of industrial wastes such as steel slag and waste processing of ornamental stones. Many scientific papers have studied ways to employ these residues in roadways. Given the above, this paper aims to contribute to this issue by assessing the mechanical behavior and the adhesion properties of asphalt concrete produced with the incorporation of Waste Processing Ornamental Rocks (RBRO) and Crushed Slag Steelmaking (EMA) as fillers. A total of 11 blends were studied, varying the proportion and type of residue added. By the Marshall Design method, it was determined the binder content of the mixtures in study. For mechanical characterization of the mixtures, it was performed Marshall stability tests and creep and indirect tensile strength by diametral compression. The adhesion properties of asphalt mixtures were evaluated by wear Cantabria and moisture induced damage (Modified Lottman test). The results showed that the addition of residues in asphalt concrete keeps both the volumetric and mechanical parameters, since the mixtures using industrial waste practically did not change those parameters compared to the reference mixture and also they meet the requirements of current specifications of DNIT. Therefore, it was concluded that the use of industrial waste in asphalt mixtures can be a promising alternative for reuse of the studied residues.

Keywords: Asphalt mixtures; filler; industrial waste, pavement.

1 • INTRODUÇÃO

O Estado do Espírito Santo tem o maior complexo de pelotização de minério de ferro do mundo e é o maior produtor nacional de placas de aço. É, além disso, o maior exportador de mármore e granito da América Latina. O estado lidera a extração nacional de mármore e granito ornamentais, sendo responsável por 39% das exportações brasileiras de rochas ornamentais, de acordo com o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC, 2007). Em contrapartida, o estado produz um grande volume de rejeitos industriais, tais como: escória de aciaria e resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais.

A utilização de rejeitos industriais vem ganhando cada vez mais aceitação da comunidade técnica, visto que vários estudos têm comprovado a viabilidade do uso de subprodutos em substituição de agregados naturais. Assim, tem-se um ganho ambiental tanto pela minimização da extração de agregados naturais como pela não disposição de rejeitos em áreas impróprias. Nos últimos anos, vários estudos foram feitos para incorporar uma grande variedade de resíduos de materiais em pavimentos de concreto asfáltico. Dentre os vários tipos de resíduos gerados por diferentes polos de produção industrial, podemos citar os seguintes tipos utilizados em pavimentação: resíduos industriais, tais como: resíduos de escórias de aciaria (CASTELO BRANCO, 2004; TAVARES *et al.*, 2011), cinzas volantes (DIAS, 2004); resíduos municipais e domésticos, tais como incineração de resíduos (CASAGRANDE *et al.*, 2012), resíduos de pneu (SPECHT, 2004; PINHEIRO *et al.*, 2008), resíduos de vidro (LUCENA *et al.*, 2008); resíduos de mineração, como o resíduo de mármore e granito (SOUZA 2003; FERNANDES, 2007).

A produção de aço no estado gera grande quantidade de resíduos que necessitam de uma destinação adequada para mitigação do impacto da atividade industrial. A escória de aciaria é um subproduto da produção do aço que já vem sendo utilizado de várias formas inclusive na infra e superestrutura rodoviária. Sua geração é de cerca de 12,0% a 16,0% em massa da produção de aço mundial. No Brasil, cada tonelada de aço produz entre 70 e 170 kg de escória de aciaria e por ano são produzidas mais de 4 milhões de toneladas deste material (CASTELO BRANCO, 2004).

O sistema de desdobramento de blocos de granito para a produção de chapas gera uma quantidade significativa de rejeitos na forma de lama, que corresponde a 20 a 25% dos blocos, geralmente constituída de água, de granalha, de cal

e rocha moída, que após o processo de beneficiamento são lançadas no meio ambiente em forma de rejeito, ocupando espaços ao ar livre. O resíduo de granito é um rejeito que pode ser utilizado para a fabricação de telhas e blocos cerâmicos, argamassas e concretos (FERNANDES, 2007).

O resultado das grandes quantidades de escórias de aciaria e resíduos de granito produzidos e seu impacto potencial sobre o meio ambiente levaram cientistas e engenheiros a explorar formas ambientalmente corretas e tecnicamente rentáveis para o uso aceitável destes materiais na construção civil e de estradas. Em função do grande volume de Resíduos de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (RBRO) e de Escória Moída de Aciaria (EMA) produzidos no estado do Espírito Santo, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica de aplicação destes resíduos como fíler em concreto asfáltico, por meio da substituição do fíler mineral contido no pó de pedra da mistura por esses resíduos, em um traço comercial já utilizado na construção e manutenção da infraestrutura viária da cidade de Vila Velha/ES.

2 • MATERIAIS

Para verificar os efeitos da adição de rejeitos industriais no comportamento mecânico de misturas asfálticas, um total de 11 misturas foi dosado utilizando a metodologia *Marshall*, sendo elas: mistura de referência (sem resíduos), misturas com substituição de parte do fíler mineral da mistura de referência por 2%, 3% e 4% (com relação a massa total dos agregados) de fíler de resíduos (RBRO, EMA e da mistura 50% RBRO + 50% EMA) e uma mistura com substituição de parte do fíler mineral por 2% (com relação ao peso total dos agregados) de cal hidratada para efeitos de comparação, considerando os efeitos positivos da adição de cal no comportamento das misturas asfálticas.

Os materiais empregados na fabricação das misturas asfálticas estudadas foram: i) CAP 50-70, produzido pela Refinaria Gabriel Passos (REGAP); ii) agregados minerais naturais (Brita 1, Brita 0, Granilha e Pó de pedra) provenientes da Pedreira Rydien Mineração Indústria e Comércio Ltda, localizada em Jardim Asteca, no município de Vila Velha/ES; iii) resíduo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (RBRO) fornecido pela empresa de desdobramento de blocos de rocha, Granriva Granitos, localizada na cidade de Colatina/ES e escória de aciaria moída em laboratório (EMA), fornecida pela ArcelorMittal, localizada em Jardim Limoeiro, Serra/ES.

2.1 • Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

De acordo com os ensaios realizados no laboratório da própria refinaria, apresentados na Tabela 1, o CAP usado nesta pesquisa atende às especificações brasileiras regulamentadas pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2006).

Tabela 1 - Resultados da caracterização do CAP utilizado na pesquisa.

| CARACTERÍSTICA | MÉTODO | ESPECIFICAÇÃO | RESULTADO | UNIDADE |
|---|--------|---------------|-----------|---------|
| Penetração | D 5 | 50 a 70 | 55 | 0,1 mm |
| Ponto de amolecimento | D 36 | 46 min | 50,2 | °C |
| Viscosidade Brookfield a 135 °C- sp 21 20 rpm | – | 274 min | 342 | cP |
| Viscosidade Brookfield a 150 °C- sp 21 | D 4402 | 112 min | 176 | cP |
| Viscosidade Brookfield a 177 °C - sp 21 | – | 57 a 285 | 66 | cP |
| RTFOT - penetração retida | D 5 | 55 min | 64 | % |
| RTFOT- aumento do ponto de amolecimento | D 36 | 8 max | 3,6 | °C |
| RTFOT - ductilidade a 25 °C | D 113 | 20 min | 110 | cm |
| RTFOT - variação em % massa | D 2872 | -0,50 a 0,50 | 0,002 | % |
| Ductilidade a 25 °C | D 113 | 60 min | >150 | cm |
| Solubilidade no Tricloroetileno | D 2042 | 99,5 min | 99,9 | °C |
| Ponto de Fulgor | D 92 | 235 min | 348 | °C |
| Índice de Suscetibilidade Térmica | X 018 | -1,5 a 0,7 | -0,9 | N/A |
| Densidade Relativa a 20/4 °C | D 70 | – | 1,01 | N/A |
| Aquecimento a 177 °C | X 215 | – | NESP | N/A |

2.2 • Agregados Minerais Naturais

A Figura 1 apresenta a distribuição dos tamanhos das partículas dos grãos dos materiais granulares utilizados na pesquisa.

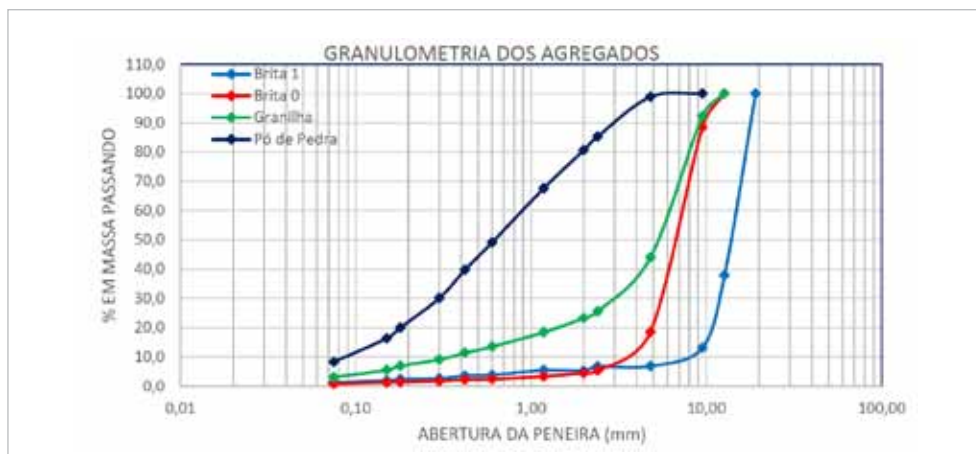


Figura 1 - Curva granulométrica dos agregados naturais.

Na Tabela 2 estão inseridas as características dos agregados naturais utilizados na pesquisa.

Tabela 2 - Características do Agregado Natural

| Ensaio | Brita 1 | Brita 0 | Granilha | Pó de Pedra |
|--|---------|---------|----------|-------------|
| Abrasão Los Angeles (%) | 55,9 | 55,9 | – | – |
| Equivalente de Areia (%) | – | – | – | 67,5 |
| Massa Específica Real (g/cm ³) | 2,793 | 2,791 | 2,817 | 2,790 |
| Absorção de Água (%) | 1,84 | 1,01 | – | – |

O resultado obtido nesse ensaio é superior ao limite estabelecido pelo DNIT para uso em concretos asfálticos estabelecidos em sua Especificação de Serviço DNIT ES 031/2006 (DNIT, 2006a), que é de 50% para o desgaste Los Angeles. Entretanto, a norma permite a excepcionalidade para valores maiores, caso estes tenham apresentado desempenho satisfatório em utilização anterior, que é o caso do material. O equivalente de areia obtido para o pó de pedra foi de 67,5%.

2.3 • Resíduos

Para a presente pesquisa, foram utilizados a Cal e dois tipos de resíduos industriais, isto é, o resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) e as escórias moídas de aciaria (EMA). O ensaio de diâmetro das partículas foi realizado por difratometria a Laser – espalhamento de luz laser de baixo ângulo, e o equipamento utilizado foi o Master Size Micro, modelo MAF5000, com faixa de aplicação de 0,3 a 300 microns e os resultados apresentados conforme figuras 4.2 a 4.4, para RBRO, EMA e Cal.

O que podemos observar do resultado do ensaio do diâmetro das partículas é que as partículas de RBRO, EMA e Cal estão contidas entre 100,0µm e 1,0µm, assim distribuídas onde a maior concentração das partículas, cerca de 30% do volume, está concentrada no diâmetro 40,0µm, para RBRO; onde a maior concentração das partículas, cerca de 80% do volume, está concentrada no diâmetro 70,0µm, para EMA; e a maior concentração das partículas, cerca de 35% do volume, está concentrada no diâmetro 10,0µm, para as partículas de Cal. Verificamos assim que nesta pesquisa as partículas de Cal são as mais finas, seguidas das partículas de RBRO e por último as partículas de EMA. Conforme já mencionado, todo o material utilizado nesta pesquisa foi peneirado na peneira quadrada de malha nº 200, ou seja, tem o diâmetro inferior a 0,075 mm. Por definição, fíler é um material mineral inerte em relação aos demais componentes da mistura, finamente dividido, passando pelo menos 65% na peneira de 75 µm de abertura de malha quadrada, conforme DNER EM 367/97 (DNER, 1997). As Figuras 2, 3 e 4 mostram os diâmetros das partículas dos resíduos.

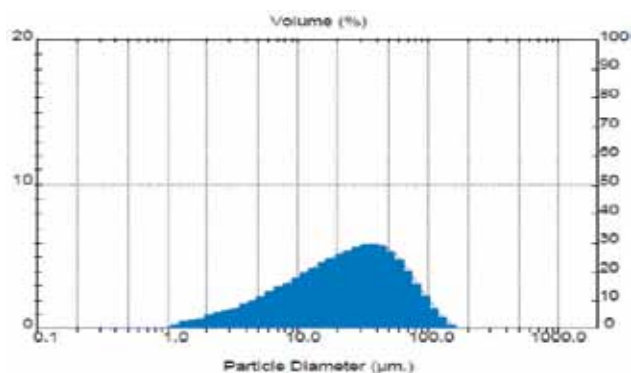


Figura 2 - Diâmetro das partículas do RBRO.

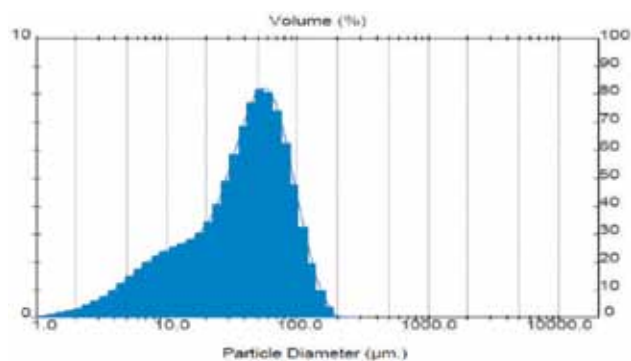


Figura 3 - Diâmetro das partículas de EMA.

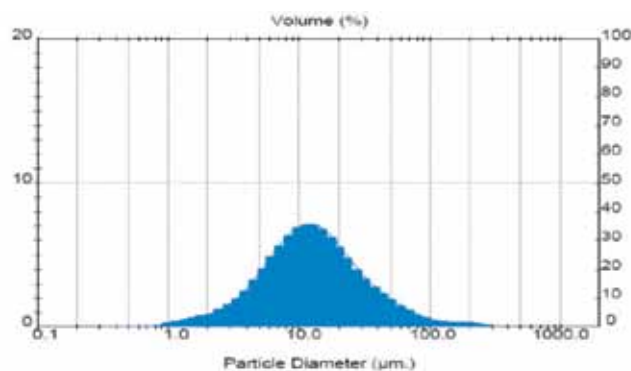


Figura 4 - Diâmetro das partículas da Cal.

Análise mineralógica por difração de raio X na Cal e nos resíduos de RBRO e EMA foi realizada no equipamento de difração de raios X Discover D8 - Marca Bruker, operando com uma tensão de 30Kv e 40 mA em uma região angular 2θ de 10 - 80°. A análise de DRX foi comparada e analisada com as fichas cristalográficas JCPDS (*Joint Committee on*

Powder Diffraction Standards), do *International Centre for Diffraction Data*, disponíveis no software PCPDFWIN versão 2.3. O equipamento está instalado no Campus da UFES, no laboratório LABPETRO. Seguem resultados das características mineralógicas das amostras de RBRO, EMA e Cal, conforme Figuras 5 a 7.

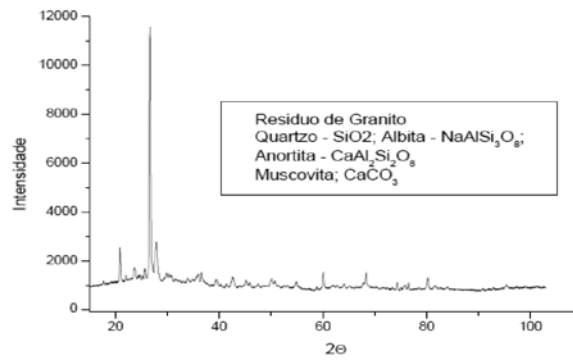


Figura 5 - Características mineralógicas das partículas de RBRO.

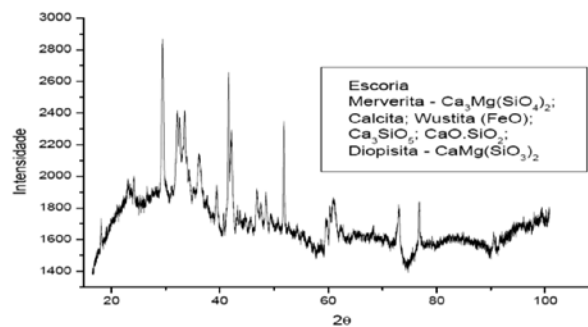


Figura 6 - Características mineralógicas das partículas de EMA.

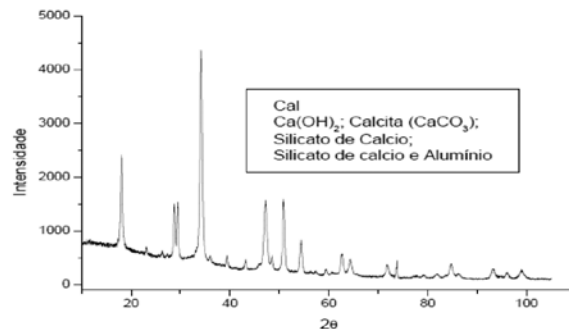


Figura 7 - Características mineralógicas das partículas de Cal.

Pode-se observar nas características mineralógicas do RBRO, a grande quantidade de SiO_2 o que era de se esperar face ao material ser proveniente de exploração de Granito. A mineralogia do resíduo de EMA mostra picos de materiais que se apresentam em quantidades mais distribuídas entre a Merverita, Calcita, Wustita e Diopisita. Na amostra de Cal temos a Calcita em maior quantidade e os Silicatos de Cálcio e Alumínio. De posse desses resultados, pode-se dizer que a presença de cal nas amostras pode representar um aspecto positivo no comportamento mecânico dos CA uma vez que são comprovados os efeitos benéficos da adição de cal em Concretos Asfálticos.

A massa específica real foi determinada por meio do método de ensaio DNER-ME 085/94 (DNER, 1994a), o qual consiste na relação entre uma massa de aproximadamente 60g e o deslocamento da coluna de querosene no frasco *Le Chatelier*. O valor obtido para a Cal foi de $2,293 \text{ g/cm}^3$, para o RBRO foi de $2,639 \text{ g/cm}^3$, para a EMA de $3,425 \text{ g/cm}^3$, e para a mistura de 50% de EMA e 50% de RBRO foi de $2,848 \text{ g/cm}^3$. Os resíduos não se mostraram solúveis, quando imersos no querosene.

3 • MÉTODOS

A Figura 8 mostra a sequência das atividades realizadas na fase experimental da pesquisa.

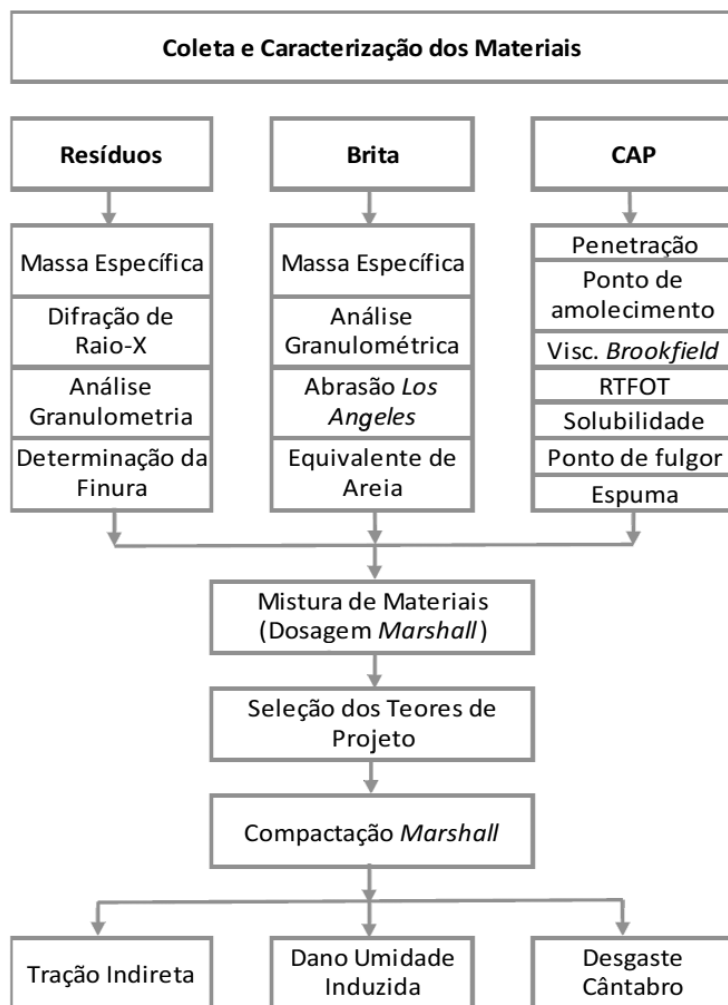


Figura 8: Sequência de atividades e de ensaios realizados na fase experimental da pesquisa

A partir dos resultados da análise granulométrica dos agregados, foram determinadas as proporções de Brita 1, Brita 0, Granilha, Pó de Pedra e Fíler (Cal, RBRO, EMA e 50% de RBRO + 50% de EMA) para misturas do tipo CA, observando-se os limites definidos conforme DNIT-ES 031/2006 (DNIT, 2006) para a faixa “C”. O enquadramento de proporções dos materiais foi feito por tentativas, selecionando-se as distribuições que se ajustassem aos limites da faixa. A faixa “C” foi escolhida por ser a mais utilizada para pavimentação na

Grande Vitória, além de corresponder à faixa utilizada como referência do traço comercial em estudo.

A proporção das misturas dos agregados é apresentada na Tabela 3 e, na Figura 9, apresenta-se a distribuição granulométrica das misturas estudadas, na qual são mostrados também os limites da faixa “C”, conforme a norma do DNIT-ES 031/2006 (DNIT, 2006).

Tabela 3 - Composição em peso das misturas estudadas.

| Mistura | Brita 1 | Brita 0 | Pó de Pedra | Granilha | Resíduos |
|--------------------------|---------|---------|-------------|----------|----------|
| Referência | 13,70% | 22,50% | 19,60% | 44,20% | 0,0% |
| 2% Cal | 13,43% | 22,05% | 19,21% | 43,32% | 2,0% |
| 2% RBRO - EMA - RBRO/EMA | 13,43% | 22,05% | 19,21% | 43,32% | 2,0% |
| 3% RBRO - EMA - RBRO/EMA | 13,29% | 21,83% | 19,01% | 42,87% | 3,0% |
| 4% RBRO - EMA - RBRO/EMA | 13,15% | 21,60% | 18,82% | 43,43% | 4,0% |

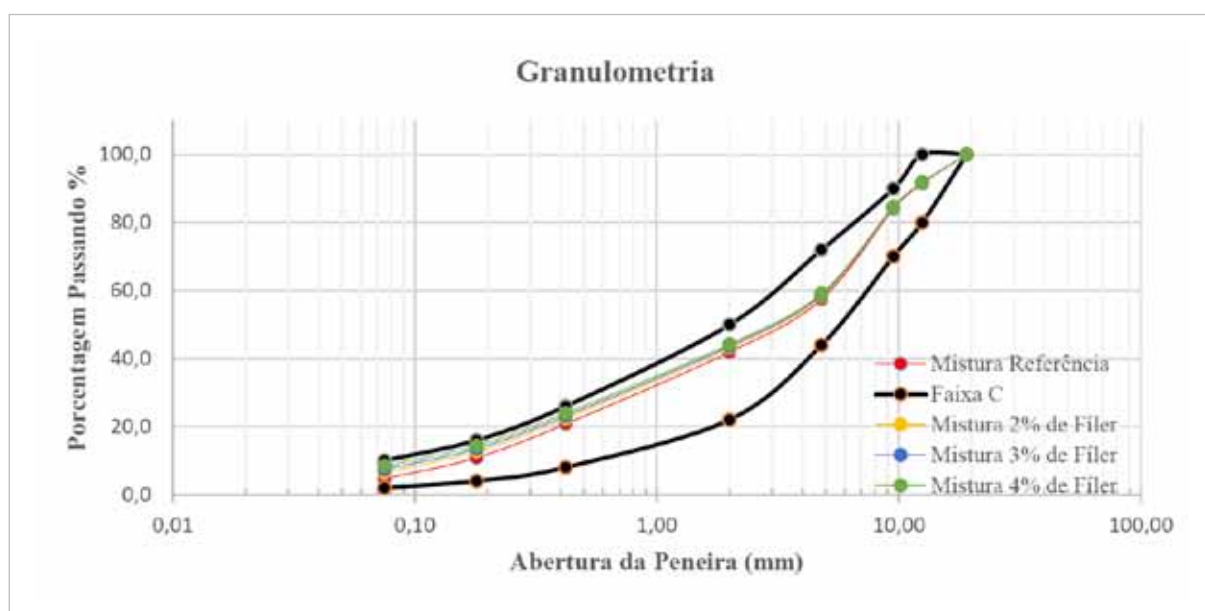


Figura 9 - Enquadramento das Misturas na Faixa C do DNIT

3.1 • Teor de ligante de projeto

Por serem de grande utilização no meio rodoviário brasileiro e por terem sido utilizadas na dosagem do traço comercial em estudo, as dosagens das misturas asfálticas foram realizadas com base na metodologia *Marshall*, prescrita na NBR 12891 (ABNT, 1993). Foram determinadas as propriedades volumétricas e o teor de ligante de projeto de cada mistura. A massa específica máxima teórica, tradicionalmente denominada densidade máxima teórica (sigla DMT no Brasil), foi calculada pela ponderação entre as massas dos constituintes da mistura asfáltica. Foram mol-

dados corpos-de-prova (CPs), usando-se um soquete manual *Marshall*, aplicando-se 75 golpes em cada face dos CPs.

A determinação dos teores de ligante de projeto (TP) em cada mistura foi feita a partir dos valores de volume de vazios (Vv) e da relação betume/vazios (RBV) de acordo com Bernucci *et al.* (2006). Estes dois parâmetros volumétricos devem atender aos limites do DNIT-ES 031/2006 (DNIT, 2006) para CA aplicado como camada de rolamento - Faixa "C", ou seja, o valor mínimo para a estabilidade da mistura (500 kgf) no teor de projeto e a resistência a tração por compressão diametral estática mínima de 0,65 MPa.

Tabela 4 - Parâmetros volumétricos das misturas estudadas e teor de ligante.

| Mistura | Mistura | | | | Teor Ótimo |
|-------------|---------|-------|-------|-------|--------------|
| | Vv | | RBV | | |
| | 3% | 5% | 75% | 82% | |
| Referência | 5,76% | 4,92% | 5,24% | 5,74% | 5,49% |
| 2% Cal | 5,25% | 4,47% | 4,87% | 5,31% | 5,06% |
| 2% RBRO | 5,42% | 4,60% | 5,00% | 5,46% | 5,21% |
| 3% RBRO | 5,33% | 4,44% | 4,89% | 5,39% | 5,11% |
| 4% RBRO | 5,38% | 4,39% | 4,89% | 5,44% | 5,26% |
| 2% EMA | 5,41% | 4,66% | 5,01% | 5,44% | 5,21% |
| 3% EMA | 5,45% | 4,68% | 5,02% | 5,47% | 5,24% |
| 4% EMA | 5,51% | 4,80% | 5,09% | 5,52% | 5,30% |
| 2% RBRO/EMA | 5,38% | 4,59% | 4,97% | 5,42% | 5,17% |
| 3% RBRO/EMA | 5,20% | 4,36% | 4,81% | 5,27% | 5,01% |
| 4% RBRO/EMA | 5,21% | 4,44% | 4,83% | 5,27% | 5,02% |

Com os valores médios de Vv e RBV foram traçados gráficos do teor de ligante (%) versus Vv (%) e RBV (%). A partir das equações das linhas de tendência que relacionam o teor de CAP (%) com Vv (%) e RBV (%), foram determinados quatro teores de CAP (%), para os quatro valores limites preconizados na norma do DNIT-ES 031/2006 (DNIT, 2006) em cada mistura estudada para: Vv entre 3,0% e 5,0%, e RBV entre 75,0% e 82,0%. Os valores são colocados em ordem e a média dos teores centrais é o teor de projeto (TP). A Tabela 2 mostra os parâmetros volumétricos encontrados e o Teor Ótimo de Ligante de cada mistura.

Como pode ser observado na Tabela 2, a adição de 2%, 3% e 4% (em massa) de resíduos (RBRO, EMA e da mistura de RBRO + EMA) não resultou em mudanças significativas dos parâmetros volumétricos, quando comparados àqueles obtidos para a mistura de referência. Houve uma redução de consumo de CAP quando comparados com a mistura de referência (sem resíduo) devido à adição de finos na mistura. Quando comparados à mistura com 2% de Cal, apresentaram um pequeno aumento no consumo de CAP, à exceção das misturas de 3% e 4% de RBRO + EMA, onde os valores estão um pouco menores que a mistura com 2% de Cal. A Figura 10 apresenta os teores de ligante de projeto para as misturas estudadas.



Figura 10 - Teores Ótimos de ligante de projeto para as misturas estudadas.

3.2 • Comportamento Mecânico e Propriedades de Adesividade das Misturas

A caracterização mecânica das misturas foi feita por meio dos ensaios de estabilidade, fluência *Marshall* e resistência à tração por compressão diametral estática (RT). A determinação de resistência à desagregação dos CP's foi avaliada pelo desgaste Cântabro, conforme NBR 15140 (ABNT, 1994) e o dano por umidade induzida verificado pelo Ensaio de Lottman Modificado, conforme AASHTO T 283 (AASHTO, 1989), por meio da verificação da redução da resistência à tração (RRT) de CPs condicionados com relação a CPs não condicionados.

Para a determinação da RT, os CPs ensaiados foram submetidos a um condicionamento prévio mínimo de 4 horas à temperatura de 25 °C. Foram 3 CPs para a determinação da RT para cada uma das misturas com os teores de projeto encontrados, segundo os procedimentos de dosagem do método *Marshall* descritos acima.

Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Solos e Pavimentação Alcino Vieira Brazil (AVB), o desgaste Cântabro, bem como a saturação do Ensaio Lottman Modificado foram realizados no LEMAC/UFES e o congelamento do ensaio de Lottman Modificado realizado no Laboratório de Análises Físico-Químicas/UFES.

4 • APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a verificação da estabilidade, fluência, resistência à tração por compressão diametral estática, desgaste Cântabro e dano por umidade induzida (Lottman Modificado) foram moldados 3 CPs de cada mistura no teor de projeto da mistura, para cada ensaio. Nas Figuras 11 a 15, apresentam-se as médias dos resultados obtidos nos ensaios de estabilidade e fluência *Marshall*, Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT), Desgaste Cântabro e Lottman Modificado (RRT) das misturas ensaiadas.

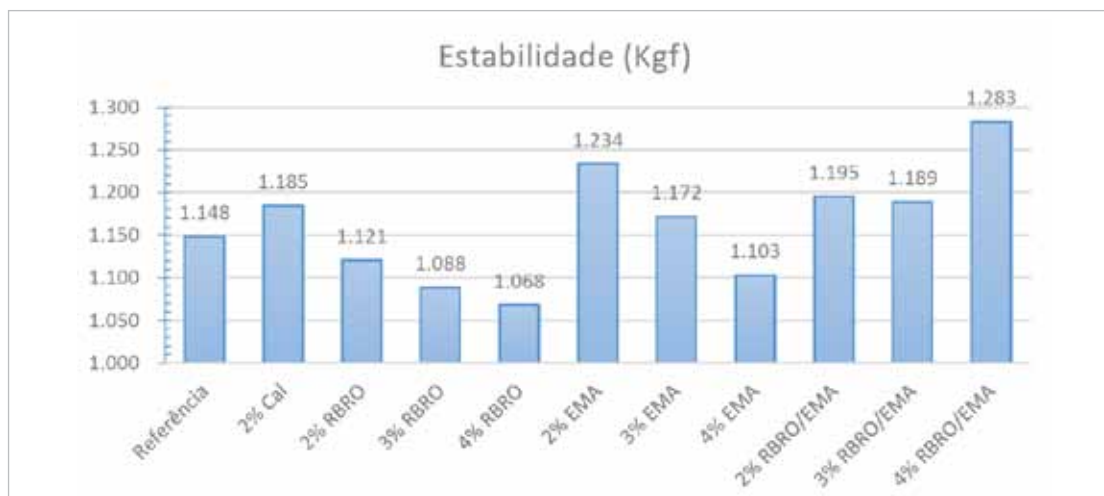


Figura 11 - Variação da estabilidade *Marshall* em função do percentual de resíduo na mistura.

Consideradas as variações dos resultados individuais dos CPs em cada mistura, com exceção das misturas com 2%, 3% e 4% de RBRO e 4% de EMA, as estabilidades das misturas aumentaram com a adição de resíduos. Entretanto, os valores encontrados aparentemente não têm variações significativas entre si. A estabilidade encontrou o maior valor

no traço com adição de 4% de RBRO/EMA, com um acréscimo em torno de 12% em relação ao traço de referência. Todos os valores de estabilidade foram superiores ao mínimo de 500 kgf estabelecido na norma de concreto asfáltico DNIT-ES 031/2006 (DNIT, 2006), como pode ser observado na Figura 11.

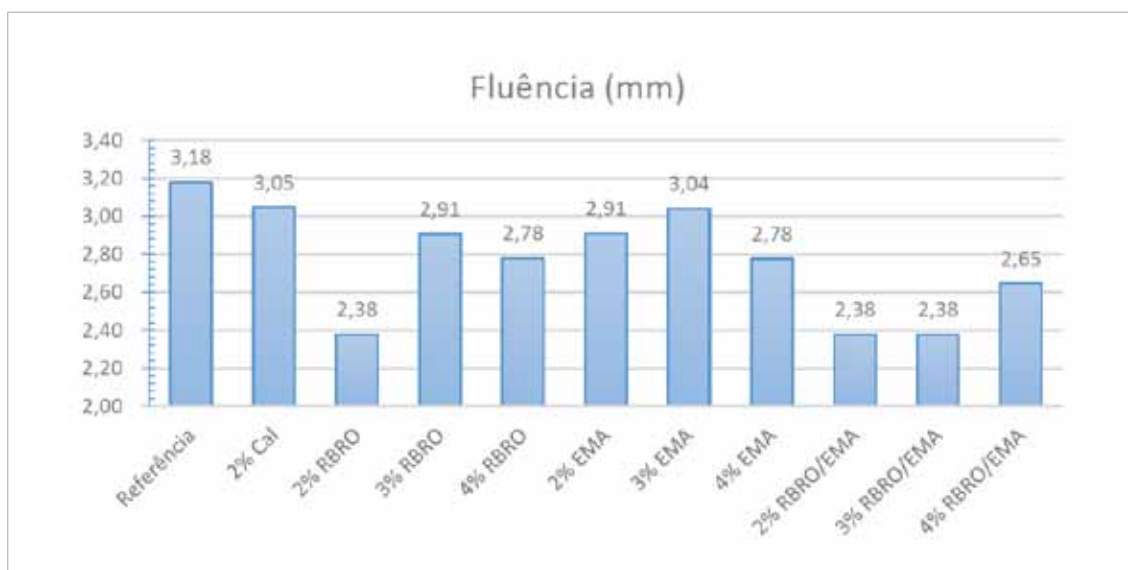


Figura 12 - Variação da Fluência em função do percentual de resíduo na mistura.

O deslocamento na vertical apresentado pelo corpo-de-prova correspondente à aplicação da carga máxima, denominado de fluência, apresenta valores muito parecidos para os resíduos de RBRO e EMA, em todas as suas dosagens, porém a mistura dos resíduos com 2% de RBRO e com 2%, 3% e 4%

de RBRO/EMA apresenta valores menores, indicando que a ruptura com essas misturas mostra deslocamentos menores que os demais, ou seja, há menos deformação quando da aplicação da carga que nas demais misturas, conforme pode ser observado na Figura 12.

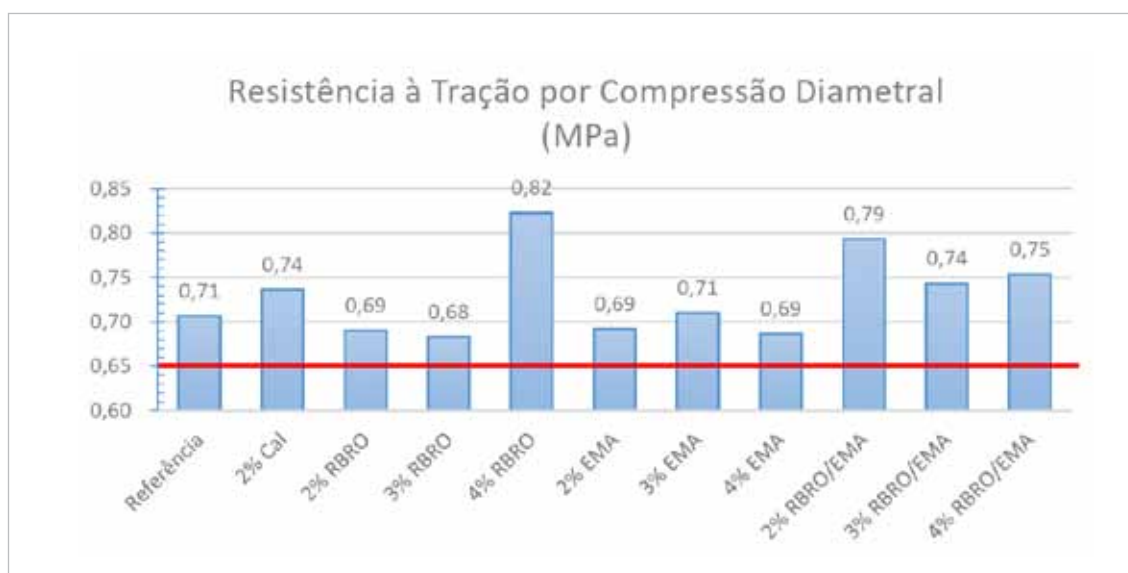


Figura 13 - Valores de RT em função do percentual de resíduos na mistura.

As misturas apresentaram valores de RT superiores ao mínimo exigido pela especificação de serviço de concreto asfáltico para pavimentos flexíveis do DNIT-ES 031/2006 (DNIT, 2006), que é de 0,65 MPa para misturas na Faixa “C”. Conforme a Figura 13, era esperado que, como o ligante lubrifica o intertravamento entre os agregados, com a diminuição do teor de ligante nas misturas com Cal e de RBRO, EMA e da mistura de RBRO+EMA como fíler, houvesse uma alteração na consistência do ligante, havendo um acréscimo na RT nas misturas de 2% de resíduo (CASTELO BRANCO, 2004). Porém observou-se que os valores da RT na mistura de referência, 2% de Cal, 2% e 3% de RBRO, 2%, 3% e 4% de EMA, praticamente mantiveram o valor de RT, à exceção das misturas com 4% de RBRO, onde houve um aumento em torno de 15%, e da mistura com 2% de RBRO+EMA, onde houve um aumento da ordem de 11% em relação à mistura de referência.

A determinação de resistência à desagregação dos CP's avaliada pelo desgaste Cântabro demonstrou que a diminuição do teor de ligante para a mistura com a presença de 2% de Cal, foi o fator determinante para a perda de material, uma vez que o mesmo atua como o elo dos agregados das misturas e sua diminuição aumentou a exposição dos agregados

ao desgaste provocado pelo ensaio. Apesar da diminuição discreta do teor de CAP nas misturas com 2%, 3% e 4% de RBRO, EMA e da mistura de RBRO+EMA, não houve um desgaste tão significativo em relação à mistura de referência, que apresenta um teor de CAP maior do que as misturas com resíduo. Ressalta-se que os melhores resultados apresentados pela mistura com 2% de cal estão ligados à sua atuação como fíler ativo, ou seja, capaz de produzir reações físico-químicas benéficas à mistura asfáltica. A Figura 14, mostra os valores do Desgaste Cântabro encontrados na pesquisa.

Os resultados para avaliar o dano por umidade induzida obtidos pelo Ensaio de Lottman Modificado, Figura 15, mostraram-se positivos para as misturas com 2% de RBRO, 2%, 3% e 4% de EMA e de RBRO+EMA, pois houve um incremento considerável nos valores na resistência ao dano causado pela umidade, indicando que estas misturas não são afetadas pela ação deletéria da água. Uma análise da composição química mais detalhada de cada um dos resíduos deve ser investigada para verificar possíveis razões das misturas com RBRO não apresentarem desempenho satisfatório quanto ao RRT em comparação com as misturas com EMA e mistura de RBRO + EMA.

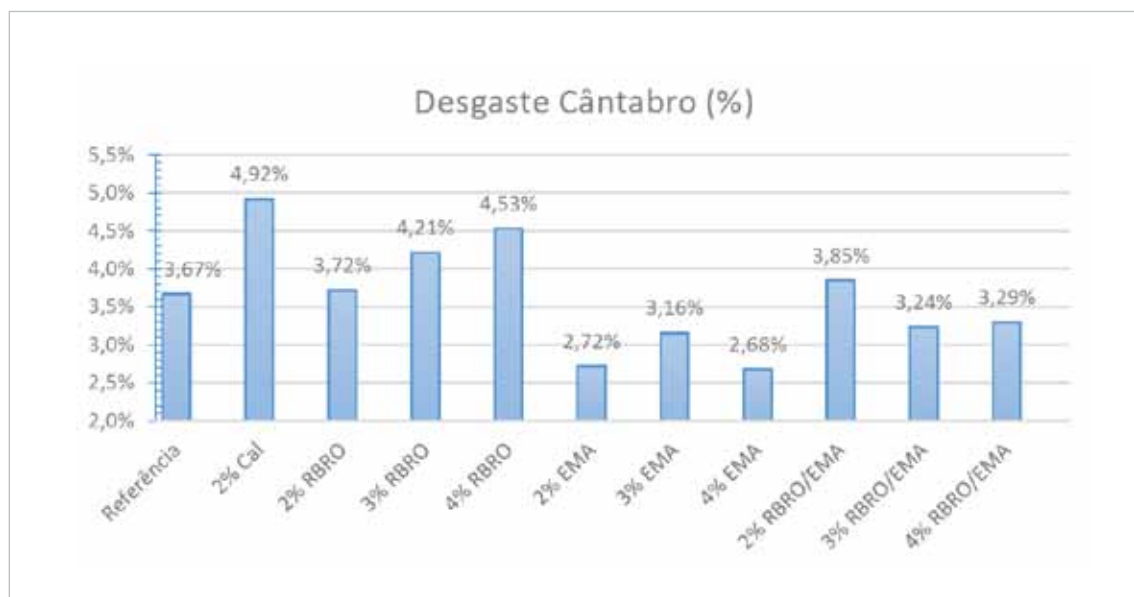


Figura 14 - Valores do Desgaste em função do percentual de resíduos na mistura.

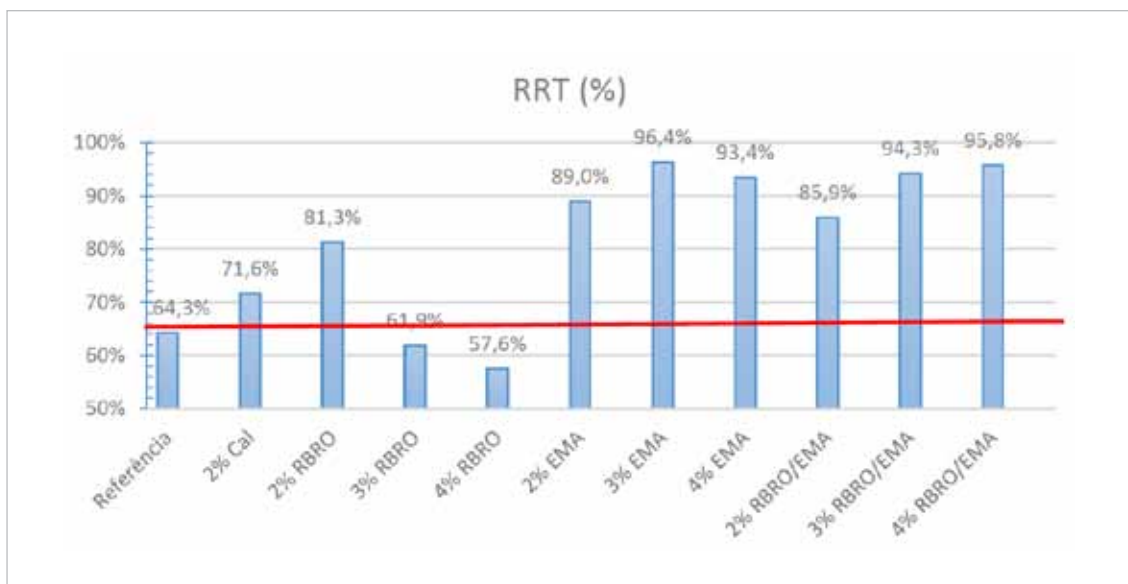


Figura 15 - Valores de RRT em função do percentual de resíduos na mistura.

5 • CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resíduos de RBRO, EMA e da mistura de RBRO + EMA apresentaram uma distribuição do tamanho das partículas característica de fíler ativo, pois todas foram passadas na peneira de malha quadrada n° 200. Não apresentaram solubilidade quando imersos em querosene, o que sugere que os resíduos permanecem inertes quando envolvidos pelo CAP da mistura asfáltica.

As adições do resíduo de 2%, 3% e 4% de RBRO, EMA e da mistura de RBRO + EMA permitiram uma redução de consumo de CAP quando comparados com a mistura de referência (sem resíduo), devido provavelmente ao aumento do teor de finos das misturas. Quando comparados à mistura com 2% de Cal, apresentaram um aumento no consumo de CAP.

As misturas de referência e as com a adição de resíduos de 2%, 3% e 4% de RBRO, EMA e da mistura de RBRO + EMA atenderam aos requisitos da norma de concreto asfáltico do DNIT-ES 031/2006 (DNIT, 2006), quanto ao valor de estabilidade e resistência à tração mínima.

As misturas de referência e as com a adição de resíduos de 2%, 3% e 4% de EMA e da mistura de RBRO + EMA apresentaram valores de RRT acima das misturas de referência e Cal 2%, verificado pelo Ensaio de Lottman Modificado.

Os resíduos de RBRO, EMA e da mistura de RBRO + EMA mantiveram e em alguns pontos melhoraram as propriedades mecânicas analisadas, o que torna viável tecnicamente a adição desse tipo de resíduo como material de enchimento em CA, além de promover uma destinação ambientalmente correta e aceitável dos rejeitos que são depositados a céu aberto nos pátios das mineradoras, além de se apresentar como mais uma alternativa para as siderúrgicas locais.

As misturas contendo RBRO com 2%, 3% e 4% de resíduos na mistura mostraram maior sensibilidade à variação de temperatura imposta pelo ensaio de Lottman modificado, mostrando que a mistura contendo este material apresenta valores fora dos recomendados pela literatura.

Estudos mais profundos serão necessários para se confirmar e ampliar as conclusões formuladas. Se possível, poder-se-ia pensar na a construção de um trecho experimental para verificar na prática aquilo que a pesquisa indicou.

AGRADECIMENTOS

Deseja-se externar agradecimentos à FAPES pela bolsa de pesquisador capixaba, aos funcionários LEMAC, ao Laboratório de Mecânica dos Solos da UFES, a ArcelorMittal, a Pedreira Rydien, Granriva Granitos, ao LABPETRO

Referências Bibliográficas

- AASHTO T 283-89 - *Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage* 1989.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12891: *Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall*. Rio de Janeiro, 1993.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. DA; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. *Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro: Petrobras & ABEDA, 2006.
- CASAGRANDE, M. D. T. ; GINO OMAR CALDERÓN VIZCARRA ; LUCIANNA SZELIGA ; MOTTA, LAURA M. G. . *Estudo do Comportamento de um Solo Estabilizado com Cinzas de Incineração de Resíduo Sólido Urbano para Aplicação em Camadas de Base de Pavimentos*. Revista Pavimentação, 2012, Rio de Janeiro, Brasil.
- CASTELO BRANCO, V. T. F. *Caracterização de misturas asfálticas com uso de escória de aciaria como agregado*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.
- DIAS, CLÁUDIO RENATO CASTRO. *Estudo de misturas de areia-asfalto e cinza-cal para emprego em pavimentos urbanos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação, 2004.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 043/95 - *Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall*, 1995a.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DNER ME 084/95 - *Agregado miúdo - Determinação da densidade real*. Rio de Janeiro, 1995b.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DNER EM 367/97 - *Material de enchimento para misturas betuminosas*. Rio de Janeiro, 1997.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-ES 031/2006: *Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de Serviço*. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 136/2010-ME: *Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral*.
- FERNANDES, MACEL WALLACE QUEIROZ *Utilização de resíduos sólidos no estudo da susceptibilidade do concreto asfáltico à presença d'água - Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro Tecnologia e Recursos Naturais, 2007.*
- GOTTARDI, E.V.; CALMON, J. L.; Teixeira, J. E. S. L.. *Aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais e de escória de aciaria como fíler em pavimentos de concreto asfáltico usinado a quente: Reunião de Pavimentação Urbana, 19, 2013. Cuiabá. Anais... Cuiabá: ABPv, 2013.*
- LUCENA, L. C. F. L. *Verificação da influência do uso de resíduos industriais como fíler em misturas asfálticas sob efeito da presença d'água. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009.*
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC, 2007), dados obtidos a partir de consulta à Base ALICE do MDIC (www.aliceweb.desenvolvimento.gov.br)
- NBR 15140:2004: *Misturas asfálticas - Determinação do desgaste por abrasão Cantabro*.
- PINHEIRO, J. H. M.; SOARES, J. B.; LEITE, L. F. M. *Caracterização de misturas asfálticas com borracha produzida pelos processos úmido e seco*. 2008.
- SPECHT, L. P. *Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.*
- SOUZA, J. N; RODRIGUES, J. K. G; NETO, P. N. S. *Utilização do Resíduo Proveniente da Serragem de Rochas Graníticas como Material de Enchimento em Concretos Asfálticos Usinados a Quente*, 2003.
- TAVARES, D. S.; ODA, S.; MOTTA, L. M. G.; *Utilização do agregado siderúrgico (escória de aciaria) em pavimentação asfáltica*, 2011. 📌

A ABPv PARABENIZA OS NOVOS ASSOCIADOS

A ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação é uma entidade sem fins lucrativos que há mais de 50 anos defende e apoia a engenharia de pavimentos e suas áreas correlatas. Também cuida de preservar com zelo a memória da pavimentação no Brasil. Dedicar-se ainda a promover a integração dos profissionais, acadêmicos e empresários do setor através de seus dois principais eventos anuais, a Reunião Anual de Pavimentação – RAPv, e a Reunião de Pavimentação Urbana – RPU, além de editar e distribuir a Revista Pavimentação que há 10 anos vem se destacando como uma publicação de referência.



A trajetória da ABPv tem como maiores protagonistas os seus associados. Por isso, é sempre importante destacar aqueles que recentemente se juntaram a esta Associação que já atravessa meio século de existência.

A ABPv tem a honra de apresentar e dar boas-vindas aos novos associados:

Alexandre Zigoski Americo Vieira
Antonio Carlos Maggesi Lima
Carlos Alberto Moreira Ferreira
Carlos Filipe Santos Correia e Silva
Claudia Celene Zago Nery
Cristiane Salerno Schmitz
Daniel Faria Jordão
Danielle Silveira Mendes
Danilo Rinaldi Bisconsini
Diego Albuquerque Cabral
Diego Petrin
Djavan Aragão dos Santos
Eduardo de Assis Cabral
Eduardo Medeiros Santos
Erivelton Miranda de Souza
Evailton Arantes de Oliveira
Fabiano Lucindo Lima da Rocha
Fernando Henrique Paim da Silva
Flavio Alessandro Crispim
Gino Omar Calderon Vizcarra
Helio Suêvo Rodrigues

Isaac Nascimento Filho
João Vianey Marval Silva
Jorge Braulio Cassio Duran
José Adriano Cardoso Malko
José Antônio Duba
José Carlos Ferreira da Silva
José Fernando da Silva Martins
José Lucas Leal Maia
Leonardo de Barros Curvo Del Barco
Lício Pedro Vanni Rangel
Lilian Lizoti Berticelli
Lísia Mary Santana Barbosa
Luís Eduardo Figueiredo de Carvalho
Luis Miguel Gutiérrez Klinsky
Luiz Heleno Albuquerque Filho
Marcelo Albuquerque Bastos
Márcio Mariano da Silva
Marcos Vinícios Barros Schramm
Maria das Graças da Silveira Farias
Maria José Ayres Zagatto Penha

Mário Jorge Andrade da Cunha
Marlos Wilson Andrade Lima de Gois
Mauro Hernandez Lozano
Mauro Vieira da Silva
Moacir Guilhermino da Silva
Paulo Sergio Roesse
Priscila Guterres dos Santos
Rafael Magalhães Caixeta
Renan Martins Schnoeter
Renan Zocal Ribeiro
Rodrigo Guedes Souza Mello
Rodrigo Malysz
Shirley Minell Ferreira de Oliveira
Stenio Thales Amâncio de Vasconcelos
Volnei dos Santos Ribeiro
Walter Joaquim Santana
Willian Renan de Araújo Salviano
Wilmar Rodrigues
Wilson Carlos Kakuta Junior

**Para associar-se à ABPv, contate a Secretaria:
abpv@abpv.org.br ou ligue (21) 2233-2020/2263-5794**

Nas próximas edições continuaremos a informar as demais Comissões e Representações nomeadas.

PLATAFORMA ITEC.

APROXIMANDO OS DESAFIOS DAS SOLUÇÕES.



Desafios e Soluções Tecnológicas

VENHA FAZER NEGÓCIO.

APROXIMA DEMANDANTES
E SOLUCIONADORES
DE FORMA RÁPIDA,
DEMOCRÁTICA E SEM
BUROCRACIA.

EMPRESA DEMANDANTE:

ALAVANQUE SUA COMPETITIVIDADE PELO
COMPARTILHAMENTO DE PROBLEMAS E
DESAFIOS TECNOLÓGICOS REAIS E TENHA
ACESSO A SOLUCIONADORES DE ALTO IMPACTO.

EMPRESA / INSTITUIÇÃO OFERTANTE:

ACESSE PROBLEMAS E DESAFIOS REAIS DE
MERCADO QUE INSPIRAM E CONECTAM SUAS
SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS (PRODUTOS E
SERVIÇOS) A POTENCIAIS CLIENTES.

SE A SUA EMPRESA TEM UM DESAFIO LIGADO À TECNOLOGIA, VOCÊ PODE ENCONTRAR A SOLUÇÃO NA PLATAFORMA ITEC. UMA INICIATIVA DO MCTI, EXECUTADA PELA ANPEI, QUE VISA CRIAR CONEXÕES PARA A COMPETITIVIDADE TECNOLÓGICA POR MEIO DE GERAÇÃO DE NEGÓCIOS EM UM AMBIENTE DE INOVAÇÃO ABERTA.

PARA SABER MAIS, ACESSE:

WWW.PLATAFORMAITEC.COM.BR

EXECUÇÃO



COMITÊ TÉCNICO



Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior



INICIATIVA

Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação



NOVOS CAMINHOS LEVAM À SOTREQ

PAVIMENTADORA DE ASFALTO AP300D

Tração nas rodas frontais
(configuração padrão Sotreq).

Mesa aquecida eletricamente com painel de controle posicionado na parte traseira da máquina. Dispensa a utilização de GLP (configuração padrão Sotreq).

Rosca sem fim com altura ajustada hidráulicamente. Facilidade para colocação e retirada da máquina na carreta para transporte (configuração padrão Sotreq).

As exigências do mercado fazem com que você opte pelo melhor caminho para garantir a qualidade dos seus serviços. Por isso, a Sotreq está presente em cada quilômetro dos seus projetos de pavimentação com equipamentos Cat® e o suporte ao produto ideal para o seu negócio.

A tecnologia embarcada nas máquinas contribui para uma produtividade mais efetiva, isso sem contar que o investimento está mais atrativo com condições especiais.

Fale com um de nossos representantes e tenha uma consultoria completa em suas obras.

CONSTRUÍDA PARA FAZER.™

FINANCIE
COM AS MELHORES
TAXAS DO MERCADO.

CAT
Financial

SOLICITE UM ORÇAMENTO.
ADICIONE O WHATSAPP

021 98379.0400

E INFORME O CÓD. AP300D



DÚVIDAS, SUGESTÕES OU RECLAMAÇÕES:



0800 084 8585

021 98379.0400

SUPORTE TÉCNICO E VENDAS:



Capitais e regiões metropolitanas:

3003 1920

Demais Localidades:

0800 940 1920

sotreqcat | sotreqcat | @sotreqcat | gruposotreqbr

Sotreq

CAT

www.sotreq.com.br