

REVISTA

ABRV

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO



# PAVIMENTAÇÃO

ANO IX • N° 33/34 • JUL-DEZ • 2014 • WWW.ABPV.ORG.BR • ISSN 1809-1865



## COMPORTAMENTO FÍSICO-MECÂNICO DE SOLO ARENOSO ESTABILIZADO COM CINZA DA CASCA DE ARROZ, CAL E CIMENTO

*Rodrigo André Klamt  
Magnos Baroni  
Ricardo Eguilhor Rodrigues  
Luciano Pivoto Specht*



**44ª RAPv** | **18º ENACOR**  
44ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO | 18º ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

## 4ª ExpoPavimentação

*Os caminhos da integração.  
O maior evento rodoviário do País.*



**18 a 21 de agosto**  
**2015** Hotel Bourbon  
Foz do Iguaçu . PR

**TRABALHOS  
TÉCNICOS**

### CALENDÁRIO

- 06.03.2015 | Prazo final para submissão de resumo através de sistema "on-line".
- 16.03.2015 | Prazo final para comunicação de aceite do resumo.
- 10.04.2015 | Prazo final para submissão de trabalho completo através de sistema "on-line".
- 10.05.2015 | Prazo final para comunicação de aceite do trabalho completo.
- 05.06.2015 | Prazo final para reenvio de trabalho completo com as revisões incorporadas.
- 30.06.2015 | Organização, pelos Coordenadores Técnicos, dos trabalhos para a composição de CD (anais) e Programação Técnica.

[www.rapvenacor2015.com.br](http://www.rapvenacor2015.com.br)

Reserva de Hotel

M.LEAL Agência de Viagens  
Tel. 41 3343-4300  
mleal@mleal.com.br

Secretaria Executiva

EKIPE DE EVENTOS  
Tel. 55 (41) 3022-1247  
ekipe@ekipedeeventos.com.br

Apoio



Realização



# EXPEDIENTE

## REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano IX • Nº 33/34 • Jul - Dez 2014 • 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  
jpierrem@abpv.org.br  
MTb 27170-RJ

## ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

Presidente • Eng<sup>o</sup> José Pedro dos Santos Vieira Costa  
Vice-Presidente • Eng<sup>o</sup> Eduardo Alberto Ricci  
Diretora Financeira • Arqt<sup>a</sup> Georgina Libório Azevedo  
Diretor Administrativo • Eng<sup>o</sup> Fernando Augusto Júnior  
Diretora Técnica • Eng<sup>a</sup> Luciana Nogueira Dantas  
Diretora de Divulgação • Eng<sup>a</sup> Michéle Dal Toé Casagrande

## COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

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

Projeto Gráfico e Produção Digital • Luciana Costa Leite

Revisão • Célia Laclette Dias

Impressão • WalPrint Gráfica e Editora

Tiragem • 10.000 exemplares

Periodicidade • Trimestral



# NOSSA CAPA

A imagem que ilustra a capa desta edição foi enviada por Marcus Braga, do Rio de Janeiro, que registrou a Route Cantonale, na Suíça, trecho entre as cidades Aigle e Les Diablerets, em outubro de 2014.

Envie sua foto para: [abpv@abpv.org.br](mailto:abpv@abpv.org.br)

## SUMÁRIO

|                     |    |
|---------------------|----|
| EDITORIAL           | 4  |
| SEÇÃO DE NOTAS      | 5  |
| ESPAÇO JURÍDICO     | 12 |
| EM FOCO             | 14 |
| 43ª RAPv/17ª ENACOR | 16 |
| ARTIGOS TÉCNICOS    | 23 |

**ARTIGO 1** • Comportamento físico-mecânico de solo arenoso estabilizado com cinza da casca de arroz, cal e cimento visando aplicação em camadas de pavimentos . . . . . 23

Rodrigo André Klamt  
Magnos Baroni  
Ricardo Eguilhor Rodrigues  
Luciano Pivoto Specht

**ARTIGO 2** • Implantação de boas práticas de SMS na cadeia produtiva de asfalto e seus benefícios . . . . . 31

Therezinha Maria da Silva Dias  
Margareth Carvalho Coutinho Cravo  
Rosana Almeida de Azevedo

**ARTIGO 3** • Avaliação estrutural e funcional do pavimento do novo aeroporto internacional da grande Natal . . . . . 39

Filipe Almeida Corrêa do Nascimento  
Antonio Carlos Rodrigues Guimarães  
Luiz Antonio Vieira Carneiro  
Bruno Bezerra Mesquita Leitão  
André Luiz Lopes Toledo  
Bruno de Carvalho Hunka

**ARTIGO 4** • Índice de cumprimento de cronograma: uma proposta gráfica . . . . . 53

Roberto de Vasconcellos Pereira  
Guilherme Costa Fontenele

**ARTIGO 5** • Modelagem numérica utilizando o programa sigma/w para avaliação do comportamento tensão/deformação em pavimentos flexíveis . . . . . 65

Clauber Costa  
Thiago Borges  
Isaac Eduardo Pinto  
Saulo Gutemberg

# EDITORIAL

A qualidade das obras de engenharia tem sido um tema recorrente nos meios de comunicação e na sociedade, que é usuária por primazia. Acontecimentos como a queda de um viaduto recém-construído em Belo Horizonte, às vésperas da realização da Copa do Mundo, chocou o país e evidenciou problemas estruturais na gestão dos grandes empreendimentos de infraestrutura. O fato abriu ampla discussão sobre a excelência de nossas obras.

Nesta edição da Revista PAVIMENTAÇÃO é destaque uma matéria da Agência Senado abordando uma audiência pública realizada em setembro onde autoridades discutiram a qualidade das obras de engenharia no país. A ABPv prima pelo uso das melhores técnicas para que as obras possam corresponder ao esperado pela sociedade, isto é, obras construídas com qualidade, promovendo a eficiência e gerando segurança e conforto aos seus usuários. Sobre esse tema, enorme literatura oriunda das Reuniões de Pavimentação Urbana e Anual de Pavimentação tem sido disponibilizada nos anais da ABPv.

No Espaço Jurídico, Jean Pierre M. Santiago, advogado e jornalista responsável da Revista PAVIMENTAÇÃO, destaca a importância da realização das audiências públicas em nossa Administração. A audiência pública é um instrumento de participação popular, garantido pela Constituição Federal de 1988 e regulado por leis federais, constituições estaduais e leis orgânicas municipais. É um espaço onde os poderes Legislativo e Executivo ou o Ministério Público podem expor um tema e debater com a população sobre a formulação de uma política pública, a elaboração de um projeto de Lei ou a realização de um empreendimento que podem gerar impacto para a cidade, à vida das pessoas e ao meio ambiente.

Os artigos desta edição perpassam por temas diversos. O primeiro deles traz um estudo do comportamento físico-mecânico de solo arenoso estabilizado com cinza da casca de arroz, cal e cimento para aplicação em camadas de pavimentos. A autoria é de Rodrigo André Klamt, Magnos Baroni, Ricardo Eguilhor Rodrigues e Luciano Pivoto Specht. O segundo artigo aborda a implantação de boas práticas de SMS na cadeia produtiva de asfaltos e seus benefícios. Um trabalho de Therezinha Maria

da Silva Dias, Margareth Carvalho Coutinho Cravo e Rosana Almeida de Azevedo. A avaliação estrutural e funcional do pavimento do novo aeroporto internacional da Grande Natal é o tema do trabalho assinado por Filipe Almeida Corrêa do Nascimento, Antônio Carlos Rodrigues Guimarães, Luiz Antônio Vieira Carneiro, Bruno Bezerra Mesquita Leitão, André Luiz Lopes Toledo e Bruno de Carvalho Hunka. O quarto artigo versa sobre o cumprimento do cronograma de um projeto, um tema que ocupa a mente dos gestores. O trabalho é de autoria de Robertto Vasconcellos Pereira e Guilherme Costa Fontenele. E o quinto artigo dos autores Clauber Costa, Thiago Borges, Isaac Eduardo Pinto e Saulo Gutemberg intitulado Modelagem Numérica Utilizando o Programa Sigma/W para Avaliação do Comportamento Tensão/Deformação em Pavimentos Flexíveis descreve os resultados das análises por meio de simulação numérica, de um pavimento flexível típico, utilizando o *software* SIGMA/W, cujo embasamento matemático é o Método dos Elementos Finitos (MEF).

PAVIMENTAÇÃO vem buscando se adaptar à realidade editorial das revistas científicas no Brasil. Gostaríamos de agradecer aos nossos colaboradores, colunistas, autores e membros do CTC que contribuem sobremaneira com nosso periódico. Sem vocês não conseguiríamos estar a caminho do nosso Ano X. Produzir uma publicação desta natureza e envergadura tem se tornando cada vez mais árduo para as instituições. A ABPv, prezando pelo rigor científico e a qualidade editorial não mede esforços para manter a regularidade da Revista. No entanto, por motivos operacionais, as edições de números 33 e 34 foram reunidas numa só publicação, conforme ocorrera com as edições 31 e 32, preservando-se, todavia, os registros. Tais procedimentos estão no rol de ajustes previstos para publicação. Dentre os projetos da ABPv para 2015, está o lançamento da edição digital da Revista, que atenderá a um público permanentemente conectado com as mídias eletrônicas.

Parabenizamos a todos os engenheiros e arquitetos por seus dias 11 e 15 de dezembro e aos nossos leitores desejamos um FELIZ NATAL e que 2015 continuemos juntos trabalhando pelo engrandecimento do país. Boa leitura e bons estudos.



# SEÇÃO DE NOTAS

*revistapavimentacao@abpv.org.br*

## SEÇÃO DE NOTAS

### AENFER apresenta o Manual Básico de Engenharia Ferroviária



A Associação de Engenheiros Ferroviários promoveu na manhã do dia 09 de outubro o lançamento no Rio de Janeiro do Manual Básico de Engenharia Ferroviária, uma publicação produzida e idealizada pela ABPv (Associação Brasileira de Pavimentação) que, junto aos técnicos com o patrocínio da HUESKER e editado pela Oficina de Textos, se torna segundo palavras do presidente da AENFER Luiz Euler Carvalho de Mello: “uma obra de grande valor que estimulará e será de grande utilidade para os profissionais do setor”. O diretor Cultural e de Preservação

da Memória Ferroviária engenheiro Helio Suêvo Rodriguez que, também, é um dos autores do Manual agradeceu e lembrou que é necessário devolver à Ferrovia seu destaque no cenário Nacional.

A primeira parte do evento começou às 10 horas e aconteceu no auditório da AENFER, contando com a presença de um público que lotou o salão.

O livro contou com a autoria de uma equipe técnica de engenheiros conceituados, com anos de experiência: Carlos Serman, Cássio Carmo, Cláudio Delorenci, Helio Suêvo, João Bosco Setti, Jorge Cunha, José A. Duba, Rui Nabais e Wilson T. Shimura. Cada um desenvolveu temas distintos como túneis, geotêxteis, ambiente, superestrutura e sistemas, material rodante, obras de arte especiais, manutenção, coordenação e operação.

Foi homenageada, além dos engenheiros, a secretária da ABPv Gloria Maria Reis Vaz Oliveira por sua dedicação e carinho com todos os autores.

Logo após a apresentação do livro foi oferecido um coquetel no Espaço Cultural Carlos Lage de Lima onde os autores presentes autografaram o Manual.

### Engenheiro | **Wilson Tadashi Shimura**



Nossa especial homenagem a um dos autores do Manual Básico de Engenharia Ferroviária que faleceu dia 22 de outubro de 2014 aos 63 anos. Shimura era conselheiro da AENFER e trabalhou na RFFSA, principalmente na área de transportes, tendo ocupado diversos cargos, e teve atuação na área de consultoria em inúmeros projetos e estudos ferroviários envolvendo operação e regulamentação. Um amigo e mestre com raríssima inteligência. O Brasil perde um pedaço da história ferroviária.





### Rio Grande do Sul homenageia Diretor do DNIT

Na data em que se comemora o Dia do Engenheiro – 11 de dezembro, o diretor do DNIT, Tarcísio Gomes de Freitas, foi homenageado com o título de “Engenheiro do Ano 2014” pela

Sociedade de Engenharia do Rio Grande do Sul. A láurea foi conferida por sua atuação no setor público, à frente do DNIT.

Graduado em Engenharia Civil pelo Instituto Militar de Engenharia e pós-graduado em Gerenciamento de Projetos e Engenharia de Transportes pela Fundação Getúlio Vargas, Tarcísio Freitas é Mestre em Engenharia de Transportes pelo IME e bacharel em Ciências Militares pela Academia Militar das Agulhas Negras. Nomeado diretor executivo do DNIT em 2011, atualmente é o Diretor Geral substituto da Autarquia.



### Homenagens em Foz do Iguaçu

A Superintendência Regional do DNIT no estado do Paraná foi

homenageada pelo Conselho de Desenvolvimento Econômico e Social de Foz do Iguaçu (Codefoz), no dia 3 de dezembro.

Na cerimônia, o Prefeito do Município, Reni Clóvis de Souza Pereira, entregou ao Superintendente, José da Silva Tiago, uma placa: “Pelos relevantes serviços prestados à sociedade de Foz do Iguaçu, em especial ao seu exemplo como Superintendente do DNIT, um marco histórico para a concretização de dois sonhos da comunidade iguaçuense: a revitalização da Ponte Internacional da Amizade e a construção da Ponte Internacional da Solidariedade”.

Também foram homenageados o Supervisor da Unidade Local de Foz, Engenheiro Vicente Veríssimo Jr, o Coordenador-Geral de Custos do DNIT Sede, Luiz Heleno Albuquerque Filho, e o Coordenador de Estruturas, Edimarques Magalhães.

### 3ª edição | Mecânica dos Pavimentos Jacques de Medina e Laura Motta

A infraestrutura de transportes é de grande importância para toda a economia de um país, especialmente como o Brasil que tem vasta extensão territorial. Os custos envolvidos na construção e manutenção de estradas, aeroportos e ferrovias são elevados, tendo em vista a quantidade de quilômetros das malhas viárias pavimentadas existentes e ainda a construir.

Nas últimas décadas houve avanço acentuado no conhecimento nesta área da engenharia civil, no país e no mundo, tanto do ponto de vista dos materiais quanto dos métodos de dimensionamento. Parte desta evolução veio de estudos acadêmicos e de aplicações a obras de trechos diversos, que são as bases deste livro.



A Mecânica dos Pavimentos é uma disciplina da Engenharia Civil que permite estudar o pavimento como uma estrutura do engenheiro geotécnico, tal como se abordam os estudos de fundações, muros de contenção, aterro, etc. As ferramentas básicas estão na teoria da elasticidade, análise numérica, mecânica, resistência dos materiais,

etc. Seus princípios são aplicáveis aos pavimentos rodoviários e aeroportuários, rígidos ou flexíveis, e ao pavimento ferroviário. Trata o pavimento como um sistema em camadas, sujeito às cargas externas do tráfego e do clima, apresentando as ferramentas de análise das tensões e deslocamentos da estrutura, visando sua compatibilização com as características dos materiais, caracterizados por ensaios próprios para isto.

Nesta nova edição procurou-se atualizar os conhecimentos expostos nas edições anteriores, sempre com a ideia central de que o efêmero ou de pouco significado no arcabouço teórico não deveria constar do livro. Mas, a representatividade e as limitações dos modelos face à realidade física, sim. O caminho do empirismo importado ao teórico-experimental ou mecanístico-empírico aqui desenvolvido está relatado. O enfoque histórico facilita a compreensão. Ressalta-se a importância das pesquisas de campo, o acompanhamento sistemático dos trechos experimentais e dos monitorados, bem como as pesagens dinâmicas do tráfego.



### 10th International Conference on Geosynthetics

A Sociedade Geotécnica Alemã (DGGT) e a Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), convidam você para participar da 10ª Conferência Internacional sobre Geossintéticos (10ICG). A conferência 10ICG será realizada de 21 a 25 setembro de 2014, em Berlim, Alemanha e haverá tradução simultânea para o inglês.

[www.10icg-berlin.com/en/home.html](http://www.10icg-berlin.com/en/home.html)



### O Concrete Show South America

O Concrete Show South America reúne anualmente empresários e profissionais de toda a

cadeia produtiva do concreto e da construção civil.

O Concrete Show South America traz inovações e tendências mundiais em sistemas e métodos construtivos à base de concreto e soluções que aumentam a produtividade, a qualidade e a velocidade na execução da obra. Serão reunidos no evento os principais “players” do universo da cadeia do concreto na construção civil mundial para a pavimentação, edificação e infraestrutura. De 19 a 22 de outubro de 2014 na Austrália.



### 26ª ARRB Conference

A Conferência ARRB identificará maneiras em que a pesquisa pode influenciar soluções para o cliente. Ela irá fornecer uma oportunidade para mostrar resultados de pesquisa, cobrindo uma vasta gama de tópicos em apoio a um futuro sustentável e eficiente para o transporte. Data: 19 a 22 de outubro de 2014.

A Conferência ARRB fornece uma plataforma perfeita para compartilhar conhecimentos e informações técnicas a partir de perspectivas do governo e da indústria nacional e internacional. Este é um dos objetivos estratégicos da ARRB. A Conferência proporciona aos nossos membros e às principais partes interessadas da indústria com os mais recentes desenvolvimentos da investigação e oportunidades de “networking”.

[www.26arrbconference.com.au/](http://www.26arrbconference.com.au/)



### TRANPOQUIP América Latina

TranspoQuip América Latina reúne vendedores e compradores de equipamentos e serviços para rodovias, ferrovias, estações, portos, vias fluviais e aeroportos da América Latina. Dividido em quatro setores estratégicos: construção, proteção e segurança, gerenciamento e operações e conforto do usuário, Transpoquip é um evento internacional que fornece uma visão geral completa do “know-how” e tecnologia do setor em todos os seus modais. Expo Center Norte, Pavilhão Vermelho - São Paulo, Brasil 28 a 30 outubro de 2014 das 12h às 20h.

[www.transpoquip.com.br](http://www.transpoquip.com.br)



### Pré-XVII Congreso Argentino de Estradas e Tráfego

É um evento preparatório para o próximo XVII Congresso Argentino de Viação e Trânsito, a ser realizado em 2016. Desde 2007, quando foi realizada pela primeira vez, a Associação Argentina de Estradas se convenceu da necessidade de organizar essas reuniões, bianualmente, para incentivar a atualização regular e transferência de conhecimento, a criação de um novo espaço para a troca de ideias e desenvolvimento de projetos futuros, incentivando a realização de mais pesquisas, e enriquecendo o intercâmbio entre colegas na Argentina e no exterior.

O Pré-XVII Congresso Argentino de Estradas e Tráfego será realizado no Hotel Panamericano, no coração da Cidade de Buenos Aires. As sessões serão realizadas de 3 a 6 Novembro de 2014.

Em paralelo se realizará a 8ª Expovial Argentina 2014 que oferecerá aos participantes a oportunidade de fazer contato direto com os fabricantes e fornecedores de itens de material, tecnologia, equipamentos, “software”, serviços e sinalização, entre outros. Esta exposição terá livre acesso para os participantes durante todas as sessões.

[www.congresodevialidad.org.ar/](http://www.congresodevialidad.org.ar/)



## NT EXPO

Na sua 17ª edição, evento conta com mais de 230 empresas expositoras de 23 países expondo tecnologias e equipamentos para modernização dos sistemas de mobilidade urbana e de infraestrutura ferroviária

A malha férrea brasileira é considerada uma das mais extensas da América Latina, com mais de 30 mil quilômetros de extensão, percorrendo 22 estados do país e ligações ferroviárias com Argentina, Uruguai e Bolívia. Entretanto, do total, pouco mais de 22 mil quilômetros operam com transporte de cargas e somente 12 regiões metropolitanas possuem sistema de transporte de passageiros. A potencialidade do setor e as oportunidades de negócios serão o motor central da NT Expo - 17ª Feira Negócios nos Trilhos, maior evento metroferroviário latino americano, que acontecerá nos dias 11, 12 e 13 de novembro, no Expo Center Norte - Pavilhão Vermelho, em São Paulo.

[www.ntexpo.com.br/pt/](http://www.ntexpo.com.br/pt/)



## 2014 International Trade Fair for Construction Machinery, Building Material Machines, Construction Vehicles and Equipment

Será realizada no Shanghai New International Expo Centre (SNIEC) de 25 a 28 de Novembro de 2014 em Shanghai, China. O evento é uma feira da construção de máquinas e indústrias relacionadas.

[www.bauma-china.com](http://www.bauma-china.com)



## ANPET em Curitiba

A 28ª versão do Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, um dos mais importantes eventos nacionais na área de transportes, ocorrerá em Curitiba entre os dias 24 e 28 de novembro de 2014.

Seguindo a tradição dos Congressos anteriores, serão abordados os aspectos técnicos, gerenciais, políticos, ambientais, econômicos e sociais relativos a todas as modalidades de transporte, possibilitando a discussão de problemas enfrentados por administradores, operadores e usuários dos diferentes sistemas de transportes, bem como uma visão sistêmica da problemática contemporânea do setor. As principais áreas temáticas incluem:

- Infraestrutura
- Logística
- Gestão de Transportes
- Tráfego Urbano e Rodoviário
- Modelos e Técnicas de Planejamento de Transportes
- Aspectos Econômicos Sociais Políticos e Ambientais do Transporte
- Planejamento Territorial do Transporte

[www.anpet.org.br/portal/](http://www.anpet.org.br/portal/)



## The Bauma CONEXPO Show– bCIndia

Será realizada de 15 a 18 de Dezembro de 2014, no India-Expo Centre em GreaterNoida / Delhi. É uma Feira Internacional de veículos e máquinas de construção, materiais de construção e mineração.

[www.bcindia.com/](http://www.bcindia.com/)

## CURSOS

A ABPv promoveu vários cursos no segundo semestre de 2014. Vale a pena mostrar e agradecer aos professores e participantes que nos honraram na difusão de novas tecnologias e aprimoramento da profissão.

18 a 21/08/2014

### Curso de Pavimentos de Aeroportos

Eng.º Silvio Rodrigues da Silva, Eng.º Felipe Lopes e Major. Brig. Av. Eng.º Adyr da Silva - PhD - ITA - Brasil/UnB



23 e 24/09/2014

### Curso de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Restauração - CREMA

Eng.º Consultor Marcílio Augusto Neves



02 a 05/09/2014

### Curso de Manutenção e Reabilitação de Pavimentos

Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior



28 a 30/10/2014

### Curso de Pavimentação Asfáltica: Projeto e Execução

Prof. M. Sc. Álvaro Vieira/ IME



09 e 10/09/2014

### Curso de Terraplanagem - Projeto e Execução

Eng.º Consultor Mauro Lozano



11 a 14/11/2014

### Curso de Drenagem Urbana

Eng.º Francisco José d'Almeida Diogo, M. Sc., Profº IME



## EVENTOS NO MUNDO • 2015

**3 - 6 | Fevereiro**

World of Concrete - Las Vegas - USA.

**11 - 12 | Fevereiro**

ICSMGE 2015: International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - Rio de Janeiro - RJ.

**10 - 14 | Março**

Feicon Batimat - Pavilhão de Exposições do Anhembi - São Paulo - SP.

**17 - 19 | Março**

World of Asphalt 2015 Show and Conference - Baltimore - MD - USA.

**25 - 27 | Março**

Brazil Road Expo 2015 - São Paulo - SP.

**12 - 17 | Abril**

1ª PrefTech - Joinville - SC.

**20 - 25 | Abril**

World of Concrete Europe/Intermat Paris - Paris - França - Nord Villepinte.

**26 - 29 | Abril**

ICPPP2015 - International Conference on Public-Private Partnership (ICPPP2015) - Austin - Texas.

**18 - 21 | Maio**

9th International Conference on Managing Pavement Assets (ICMPA9) - Alexandria - USA.

**4 - 5 | Junho**

ICSMGE 2015: International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - Nova York - USA.

**4 - 5 | Junho**

Congresso da Organização Europeia de Misturas Prontas de Concreto (ERMCO 2015) - Museu Militar de Istambul - Turquia.

**23 - 25 | Junho**

SEFE 8 Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia e 2ª Feira da Indústria de Fundações e Geotecnia - São Paulo - SP.

**18 - 21 | Agosto**

44ª Reunião Anual de Pavimentação

18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária - Foz do Iguaçu - PR.

**26 - 28 | Agosto**

Concrete Show South America Brazil - São Paulo - SP.

**7 - 9 | Setembro**

IJPC - International Journal of Pavements Conference - Weimar - Alemanha.

**14 - 16 | Setembro**

CBR&C Brasvias - 9º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões - CBR&C e da Exposição Internacional de Produtos para Rodovias - BRASVIAS - Centro Internacional de Convenções do Brasil (CICB) - Brasília - DF

**21 - 24 | Outubro**

CONEXPO LATIN AMERICA - Santiago - Chile.

**16 - 20 | Novembro**

CILA (XVIII) - Bariloche - Argentina.

# ESPAÇO JURÍDICO



## AUDIÊNCIA PÚBLICA – INSTRUMENTO DE PARTICIPAÇÃO POPULAR NAS DECISÕES DA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

*Jean Pierre M. Santiago*

Muito se ouve falar que um Estado, um município, ou mesmo a União realizará audiência pública para debater o impacto ambiental de determinada obra, de construção de uma rodovia, de uma hidrelétrica ou quaisquer outras obras que possam atingir direitos coletivos. Mas, por que isto?

A audiência pública é uma das formas de participação e controle da Administração Pública exercida pelo cidadão. É um instrumento característico de um Estado social e democrático de direito.

Tal instrumento permite ao particular a troca de informações com o administrador, ensejando o exercício da cidadania participativa. São promovidos debates efetivos sobre matéria relevante, como grandes obras de infraestrutura, no sentido de que elas estejam em conformidade em diversos aspectos, como o ambiental, por exemplo, evitando que tais empreendimentos atinjam direitos comuns a todos, isto é, direitos coletivos.

Assim, pode-se assegurar que uma rodovia de grande impacto, a ser construída, não interfira no direito que todo cidadão tem de um meio ambiente ecologicamente equilibrado, conforme prevê a Constituição Federal em seu art. 225. A propósito, tal direito expresso no artigo retro citado constitui requisito essencial para que todos os indivíduos da sociedade possam desfrutar de uma vida minimamente digna.

No âmbito do processo administrativo, a legislação brasileira (Lei 9.784 de 1999, artigo 32) prevê a convocação de audiência pública para realização da função administrativa por qualquer um dos Poderes da União, inclusive nos casos específicos que versam licitações e contratos administrativos, concessão e permissão de serviços públicos, serviços de telecomunicações e agências reguladoras.

Para a viabilização da missão institucional do Ministério do Público, as audiências públicas são um importante instrumento.

Elas têm base legal no artigo 27, inciso IV da Lei Orgânica Nacional do MP (Lei Federal n. 8.625, de 12/02/1993).

Em síntese, a audiência pública tem o mérito de permitir uma decisão política ou legal com legitimidade e transparência. Trata-se de uma instância no processo de tomada da decisão administrativa ou legislativa, através da qual a autoridade competente abre espaço para que todas as pessoas, que possam sofrer os reflexos advindos dessa decisão, tenham a oportunidade de se manifestar seus anseios antes do desfecho do processo.

É através deste instrumento que o responsável pela decisão tem acesso, simultaneamente, e em condições de igualdade, às mais variadas opiniões sobre a matéria debatida, em contato direto com os interessados. Tais opiniões não vinculam a decisão, visto que têm caráter consultivo, e a autoridade, embora não esteja obrigada a segui-las, deve analisá-las segundo seus critérios, acolhendo-as ou rejeitando-as.

A Administração Pública que sempre se manteve distante do cotidiano da população, hoje se preocupa com o interesse coletivo. É verdadeira democratização das relações do Estado para com o cidadão.

A audiência pública tem o condão de dar sustentação fática à decisão adotada pela Administração. Quem mais se beneficia de seus efeitos são os próprios particulares, considerada a prática de uma administração mais justa, mais razoável, mais transparente, decorrente do consenso da opinião pública e da democratização do poder.

Em linhas gerais, o procedimento da audiência pública assim poderá ser: pré-estabelecimento da ordem ou roteiro da audiên-

cia pelo seu dirigente ou dirigentes, contendo a relação, sequência e tempo das pessoas que usarão da palavra, réplicas, apartes, etc.; providências para a ampla divulgação ao público da convocação da audiência; realização, quando necessário, de uma pré-audiência visando à ordenação ou simplificação do temário, coleta de informações, ou, ainda, para tentar um acordo de partes, desde que não afete o interesse público, aplicando-se, nessa hipótese, o princípio da economia processual; instrução através de depoimentos e interrogatórios dos interessados e testemunhas, recebimento de documentos, laudos periciais, etc.; documentação dos atos mediante taquigrafia, gravação em áudio e vídeo, lavratura da ata da audiência; e recebimento e registro de alegações orais.

Como exemplo, recentemente o Governo do Estado de Minas Gerais realizou audiência pública em Belo Horizonte para esclarecer dúvidas e tornar público o processo licitatório da Parceria Público Privada (PPP) para a contratação de empresa individual ou em consórcio para a construção e operação do Rodoanel Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. A obra de grande vulto ligará a BR-381 Sul, em Betim, à BR-381 Norte, em Sabará.

A Publicidade é um princípio da Administração Pública que, embora não seja absoluto, tendo em vista que algumas informações devam permanecer em sigilo, impõe-lhe o dever de manter plena transparência de todos os seus comportamentos.

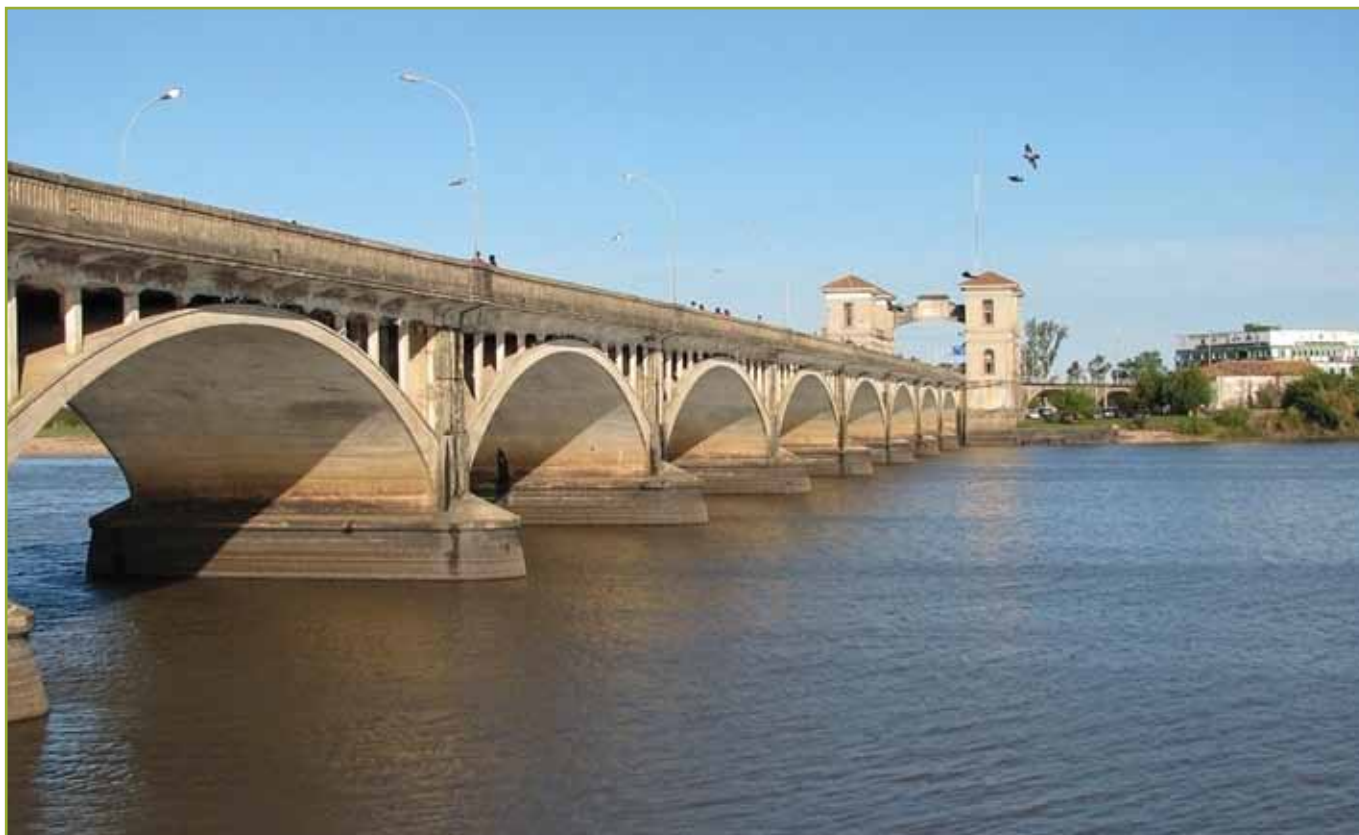
*Jean Pierre M. Santiago é advogado e jornalista. Mestre em Ciência Política pela Universidade Federal Fluminense e sócio do escritório Santiago & Lacerda Advogados e membro Instituto dos Advogados de Minas Gerais (jean@santiagoolacerda.com.br).* ⬇

## Referências

- MARINELA, Fernanda. *Direito Administrativo*. 6 ed., Niterói: Impetus, 2012.
- MELLO, Celso Antonio Bandeira de. *Curso de Direito Administrativo*, 26ª ed., São Paulo: Malheiros Editores, 1998.
- SOARES, Evanna. *A audiência pública no processo administrativo*. Jus Navigandi, Teresina, ano 7, n. 58, 1 ago. 2002.

## EM FOCO

### ESPECIALISTAS ATRIBUEM BAIXA QUALIDADE DE PROJETOS E OBRAS À FALTA DE ENGENHEIROS E DE PLANEJAMENTO



A falta de engenheiros, a complexidade do processo licitatório e a ausência de planejamento estratégico estão entre os principais motivos da deficiência de projetos e obras no país, segundo os participantes de audiência pública sobre o tema realizada no dia 21 de setembro pela Comissão de Serviços de Infraestrutura (CI), no Senado Federal.

A audiência contou com a participação do diretor do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), general Jorge Fraxe, que, logo no início, mostrou um projeto de obra de engenharia com 64 volumes, somando mais de 6,5 mil páginas. O projeto é referente à restauração da ponte internacional Barão de Mauá, que liga o Brasil ao Uruguai.

— As pessoas falam, comentam, reclamam que o DNIT demora com o projeto. Projeto de engenharia rodoviária, o projeto de uma ponte, de um viaduto, é diferente do projeto de uma casa. Isso é para demonstrar o nível de complexidade de elaborar um projeto de engenharia — disse o general.

Fraxe explicou que um projeto de engenharia é multidisciplinar, chegando a envolver 25 matérias. Ele esclareceu que o órgão terceiriza a elaboração dos projetos por meio de licitação e que, portanto, a qualidade depende do mercado. O general afirmou que as empresas que não cumprem cronograma ou erram no projeto estão sendo punidas.

– Cada projeto de engenharia, quando é recepcionado pelos analistas do DNIT, é entregue com, em média, 200 inconformidades – lamentou o presidente do órgão.

Para o diretor-executivo do DNIT, Tarcísio Gomes de Freitas, existe uma razão histórica para a falta de engenheiros no país, que seria a falta de investimento em infraestrutura a partir da década de 1980, com a crise do petróleo e a fuga de capital estrangeiro.

O especialista citou cinco causas para a baixa qualidade dos projetos e das obras. Segundo Freitas, a administração não sabe estabelecer metas e não cobra prazos das empresas; as equipes de licitação são despreparadas; a contratação de consultoria por licitação resulta em consultorias de baixo nível; as consultorias são mal remuneradas; e as ferramentas de tecnologias de informação sofisticadas não são utilizadas. Ele apostou no Regime Diferenciado de Contratações (RDC), o sistema de licitação simplificada criado para as obras da Copa do Mundo, como boa alternativa para resolver muitos dos problemas.

– Eu tenho acompanhado os debates do RDC aqui no Congresso, por causa da Medida Provisória 630, porque o RDC traz boas práticas que já estavam positivadas no mundo afora, é uma maneira moderna de fazer contratação e que resolve boa parte dos problemas que foram aqui falados – disse.

Mas, para o senador Wilder Morais (DEM-GO), que presidiu a reunião, o RDC pode funcionar para o DNIT, mas não seria o ideal para tudo.

– Em outros órgãos, isso é um pouco temerário. Um exemplo disso é a Copa do Mundo. Nós não temos nenhuma arena praticamente igual ao preço da outra. Então a discrepância é gigante – afirmou.

Para o ex-presidente do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (Confea), Wilson Lang, é preciso mudar a eficiência da gestão pública e o Legislativo precisa trabalhar mais e ter autonomia para mudar a legislação.

– Não existe na história da humanidade, país que se desenvolveu sem engenharia e sem infraestrutura – ressaltou.

## VALORIZAÇÃO DO ENGENHEIRO

Questionado pelo senador Wilder Morais se havia engenheiros suficientes no DNIT e se a carreira era atrativa, o general Fraxe respondeu que não. Ele disse que os engenheiros do DNIT são muito capacitados, mas são poucos para a demanda. Além disso, o salário também seria insuficiente. O general reclamou ainda da falta de profissionais específicos como topógrafos e laboratoristas de solo.

– Eu fui autorizado a fazer um concurso público e briguei por 1.200 vagas, para diminuir a dificuldade do DNIT. 117 mil candidatos se inscreveram e fizeram a prova. Apenas 800 foram aprovados. Menos de 1% foi aprovado no concurso, entre engenheiros, administradores e economistas. E teve uma grande deficiência, que foi topógrafo e laboratorista de solo – relatou.

Para o representante da Federação Nacional dos Engenheiros, Florentino de Souza Filho, faltam engenheiros porque não há valorização do profissional nos âmbitos público e privado. Ele reclamou do descumprimento, por parte das empresas privadas, da Lei 4.950-A/66, que estabelece o piso de 9 salários mínimos para os engenheiros e da discrepância de salário entre profissionais diferentes no setor público.

– É inadmissível que o poder público remunere com R\$ 20 mil o advogado e com R\$ 2 mil o engenheiro do seu quadro. Isso está espalhado em todos os âmbitos do poder público – criticou. 📍



# 43ª RAPv e 17º ENACOR

## MARCARAM O CALENDÁRIO DE EVENTOS DO SETOR RODOVIÁRIO EM 2014



A ABPv, em parceria com a ABDER e com o DER-AL, promoveram entre os dias 29 de julho a 1º de agosto de 2014, em Maceió, a 43ª Reunião Anual de Pavimentação e o 17º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária.

Os eventos reuniram no Centro de Convenções Ruth Cardoso, na capital alagoana, cerca de 750 participantes. Dirigentes de órgãos rodoviários estaduais, empresários, estudantes e diversas entidades ligadas ao setor rodoviário tiveram a oportunidade de participar de 11 palestras proferidas por especialistas nacionais e estrangeiros. Também ocorreram nove seções técnicas, 17 apresentações de trabalhos, 4 minicursos (Licenciamento Ambiental para Obras Rodoviárias, Melhores Práticas na Pavimentação Asfáltica, Dimensionamento e Controle dos Pavimentos de Concreto, Reciclagem de Pavimentos: Tecnologia de Espuma de Asfalto e Sistemas de Transportes e Inter-

modalidade) e três plenárias que discutiram temas relevantes para a área da pavimentação e conservação rodoviária.

Na cerimônia de abertura, compuseram a mesa o Eng. José Pedro dos Santos Vieira Costa, Presidente da Associação Brasileira de Pavimentação; o Eng. Nelson Leal Junior, Presidente da Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem e Diretor-Geral do DER-PR; Bel. João Tude Maciel, Presidente do DER-AL; Marcos Andrade Cavalcanti Vital, Secretário de Estado de Infraestrutura de Alagoas; Roberto Fernandes, Secretário Municipal de Infraestrutura de Maceió; José Tadeu da Silva, Presidente do CONFEA; Cláudio Pereira Calheiros, Presidente da Mútua; Roosevelt Patriota Cota, Presidente do CREA-AL; Ana Maria Nascimento, Coordenadora da Comissão Organizadora; Aloisio Ferreira de Souza, Presidente do Clube de Engenharia de Alagoas e Fernando F. Melro Filho, Superintendente do DNIT-AL.

Integrada ao evento, ocorreu a 3ª Expopavimentação, feira de equipamentos de construção e pavimentação de rodovias, que criou grande oportunidade de negócios e contatos entre empresas e consumidores. Ao todo, foram 25 expositores que receberam em média 900 pessoas por dia.

O tradicional Prêmio Engenheiro Mario Kabalem Restom, concedido pela ABPv aos profissionais que se destacaram por relevantes contribuições à área de pavimentação, foi entregue aos engenheiros José Robinson de Melo, Nabucodonozor Aquino Barbosa, Roosevelt Patriota Cota e Marcos Antônio Cavalcanti Vital.



### JOSÉ ROBINSON DE MELO

é engenheiro formado pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Ingressou no DER-AL, em 1968, como estagiário, posteriormente foi contratado pelo órgão como engenheiro rodoviário. Ainda no DER-AL, foi chefe do controle de transportes da divisão de oficina e transportes. Nos anos 80, esteve à frente da chefia da divisão de pesquisas e normas técnicas. Nos anos 90, foi Diretor de Planejamento do DER-AL. Em 2011, José Robinson assumiu como diretor técnico de planejamento e acompanhamento da diretoria de planejamento.

### ROOSEVELT PATRIOTA COTA

é engenheiro Civil, ingressou no serviço público em 1º de junho de 1979, ocupando, desde então, vários cargos de chefia no Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e nomeado em 15 de novembro de 1995, para chefia do 20º Distrito Rodoviário Federal em Alagoas. Está na chefia da Fundação Nacional de Saúde (Funasa), em Alagoas, desde fevereiro de 2006, e assumiu o cargo de presidente do CREA-AL com mandato de 2012 a 2014.



### NABUCODONOZOR AQUINO BARBOSA

formou-se no nível médio como técnico de estradas de rodagem, pela Escola Técnica Federal de Alagoas, atual IFAL, em 1966. Em 1973 graduou-se como engenheiro civil pela Universidade Federal de Alagoas. Ao longo de sua carreira, Nabucodonozor participou de diversos cursos de aperfeiçoamento na área de engenharia rodoviária. Atuou no DER-AL, foi o representante do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) em Alagoas, entre os anos de 1977 e 1986. Foi também membro do conselho de administração do DER-AL no final dos anos 1990. Na iniciativa privada, é sócio gerente da ESCOL – Escritório de Consultoria e Obras Ltda. desde 1996. Também é sócio e diretor da Concesolo Engenharia Ltda., desde 2010. Foi vice-presidente do CREA-AL, no ano de 2010, assumindo a presidência da instituição no mesmo ano.





### MARCOS CAVALCANTI VITAL

é bacharel em Economia pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Com origem na iniciativa privada, Marcos Vital vem contribuindo como o serviço público por meio da sua gestão focada no resultado e na transparência. Após curta temporada na Secretaria de Estado do Turismo e Secretaria de Estado da Infraestrutura, assumiu a função de diretor-presidente do Departamento de Estradas de Rodagem (DER-AL) em 2010, exercendo a função até 2014. À frente do DER, Vital deixou um legado enorme de obras que consolidaram o desenvolvimento do Estado. Atualmente, está à frente da Secretaria de Estado da Infraestrutura, onde continua trabalhando em importantes projetos para Alagoas.

O Lançamento pela ABPv do Manual Básico de Engenharia Ferroviária aconteceu no dia 31/07, no espaço da Expopavimentação acompanhado de um maravilhoso coquetel .

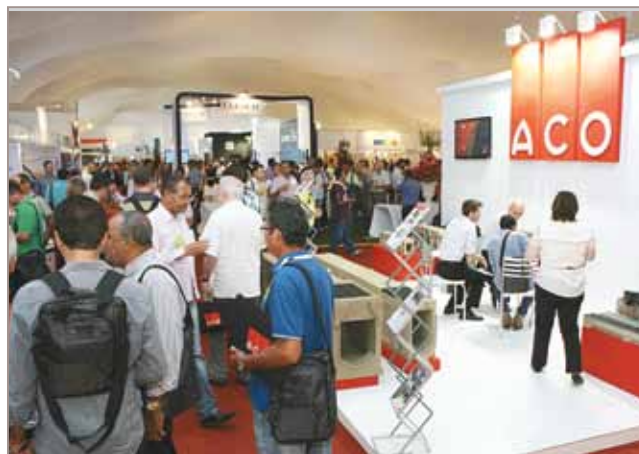
A obra foi coordenada pelo Eng. Rui José da Silva Nabais e teve a parceria da HUESKER Brasil e Editora Oficina de Textos. O livro traz primorosa contribuição à literatura em língua portuguesa sobre engenharia ferroviária.

Um dado histórico importante que vale relembrar ocorrido no final do Segundo Império, é o fato que o Brasil tinha uma das redes ferroviárias mais extensas do mundo, em 1889, por exemplo, havia mais de 50 ferrovias no país.

O diretor-presidente da ABPv, Eng. José Pedro dos Santos Vieira Costa, conta que o Manual faz parte de uma iniciativa maior para reinserir o transporte ferroviário à lista de prioridades da entidade. “Além de incentivar a publicação do Manual Básico de Engenharia Ferroviária, revitalizamos a comissão de Engenharia Ferroviária, a fim de despertar investimentos e melhorias para este setor”, destaca. Vieira acredita que essa publicação vá alavancar o desenvolvimento de novos projetos em ferrovias, já que, aliada à crescente demanda de necessárias obras de mobilidade urbana, será uma importante ferramenta de consulta para profissionais e estudantes.

A importância dos trilhos vai além da engenharia. Para Rui Nabais, as ferrovias devem ser encaradas como um dos principais meios de transporte brasileiro. “A vocação do transporte ferroviário é o transporte de grandes quantidades (pessoas ou bens) a

grandes distâncias. Num país de dimensões continentais, com forte concentração urbana e de grandes quantidades de matérias primas, esse meio deve ser encarado como um dos principais modos na matriz de transporte e na logística nacional”, garante.



Segundo o coordenador, o público pode esperar uma visão global de um projeto ferroviário e informações sobre aspectos que devem ser abordados, numa apresentação do inter-relacionamento das diversas etapas de um projeto e a interdependência das várias disciplinas envolvidas.

A reunião de oito engenheiros coautores coordenados por Nabais resultou em um rico material de pesquisa. Em suas 360 páginas, o livro explica, em detalhes, todas as etapas envolvidas em um projeto de ferrovia, desde estudos operacionais e de traçado e licenciamento ambiental até projetos de túneis, superestruturas e obras de arte especiais. Aborda, ainda, aspectos de manutenção e os principais conceitos sobre o material rodante.

## Autores

- Eng. Rui José da Silva Nabais - Coordenador
- Eng. Carlos Serman
- Eng. Cássio Alberto Teoro do Carmo
- Eng. Cláudio Cesar de Freitas Delorenci
- Eng. Helio Suêvo Rodrigues
- Eng. João Bosco Setti
- Eng. Jorge de Oliveira Cunha
- Eng. José Antônio Duba
- Eng. Wilson Tadashi Shimura



A Reunião (RAPv) e o Encontro (ENACOR) foram um sucesso de público e de conteúdo. 📍

## Nosso agradecimento especial aos Patrocinadores, expositores e apoiadores

- |  |  |
|--|--|
| ■ Aco Soluções em Drenagem Ltda.                                       | ■ F.P. Construções Ltda                      |
| ■ Akzo Nobel   | ■ GBBR Serviços e Comércio Atacadista Eireli |
| ■ AMMANN DO BRASIL   | ■ Huesker Ltda                               |
| ■ Amorim Barreto Engenharia Ltda                                       | ■ Instituto Pavimentar                       |
| ■ ANEOR - Associação Nacional das Empresas de Obras Rodoviárias        | ■ Kanaflex S/A Indústria de Plásticos        |
| ■ Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias - ABCR          | ■ L. Pereira & Cia Ltda                      |
| ■ Astec Engenharia Ltda  | ■ Maia Melo Engenharia                       |
| ■ Betunel Indústria e Comércio Ltda                                    | ■ Mútua                                      |
| ■ Capes - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  | ■ Odebrecht                                  |
| ■ Castilho Engenharia  | ■ Pavesys Engenharia SA Ltda                 |
| ■ Caterpillar  | ■ Petrobras Distribuidora S/A                |
| ■ Ciber Equipamentos Rodoviários Ltda                                  | ■ PLANAC - Planejamento e Construção Ltda    |
| ■ CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico | ■ Resonant Machines                          |
| ■ Construtora Triunfo  | ■ RTA Engenheiros Consultores Ltda           |
| ■ DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes        | ■ Softplan Planejamento e Sistemas Ltda      |
| ■ Eco Rodovias   | ■ SOTREQ S/A                                 |
|  | ■ SR ROMANELLI                               |
|  | ■ SVC Construções Ltda                       |
|  | ■ Ultragas                                   |



*Parque Nacional do Iguaçu*



*Ilha do Mel - Praia do Istmo*



*Curitiba - Museu Oscar Niemeyer*



# Paraná

Prazer em conhecer



Carambei - Parque Histórico

*Figuras milenares esculpidas pela água e o vento, uma reserva natural no meio do oceano, cidades que seguem o progresso respeitando o passado e preparando o futuro e todo o esplendor de uma das Sete Maravilhas da Natureza. **Paraná. Um lugar que reúne todos os encantos do Brasil. E mais alguns que você não encontra em lugar nenhum do mundo.***



# NORMAS

## Submissão de Trabalhos Técnicos para Revista PAVIMENTAÇÃO Normas básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

**1 •** A Revista PAVIMENTAÇÃO é uma publicação técnica e científica de divulgação da ABPv. As contribuições para a revista devem ser de caráter exclusivamente técnico e estão abertas aos sócios e aos profissionais da Engenharia Rodoviária, Ferroviária e Aeroportuária nacional e internacional.

**2 •** A Revista pode também apresentar, eventualmente, matérias especiais redigidas pelo seu corpo técnico editorial e pela diretoria da ABPv, como forma de divulgação de opiniões ou comentários considerados relevantes como “voz” da ABPv.

**3 •** Os artigos e contribuições como nota técnica, inéditos, podem ser enviados em qualquer época do ano para serem publicados em uma das quatro edições anuais ou até no ano seguinte, dependendo do número de matérias selecionadas.

**4 •** Os trabalhos, sejam científicos, sejam técnicos ou de outra natureza encaminhados para eventual publicação, serão submetidos a avaliação de três profissionais que compõem o Comitê Técnico-Científico da Revista, escolhidos de acordo com o perfil do material a ser julgado. Aos avaliadores não será dado a conhecer os autores do artigo ou trabalho antes da avaliação e também é vedada a divulgação para os autores da identidade dos avaliadores.

**5 •** Os avaliadores recebem da ABPv um questionário indicativo dos itens a serem avaliados em cada contribuição para Revista PAVIMENTAÇÃO, podendo sugerir três opções de encaminhamento:

- O trabalho é aceito para publicação;
- O trabalho não é aceito para publicação e será então devolvido aos autores;
- O trabalho poderá vir a ser aceito caso os autores concordem em fazer algumas modificações sugeridas por um ou mais avaliadores.

**6 •** Cabe à Diretoria da ABPv julgar os casos omissos e autorizar a publicação de contribuições de caráter não técnico, eventualmente, em função dos assuntos abordados e da disponibilidade de espaço.

**7 •** O resultado da avaliação de qualquer material encaminhado à Revista PAVIMENTAÇÃO será levado ao conhecimento dos autores dos mesmos informando o destino que será dado à sua contribuição que pode ser: publicação imediata no próximo número a ser lançado, publicação em número subsequente devido ao excesso de contribuições ou não publicação.

**8 •** O Autor ou autores das contribuições aceitas para publicação devem concordar com a reprodução de seu material sem nenhum direito a qualquer custo de direitos autorais já que a ABPv é uma entidade sem fins lucrativos e a Revista PAVIMENTAÇÃO destina-se preferencialmente aos sócios e não será utilizada para venda com fins lucrativos.

**9 •** As contribuições para a Revista PAVIMENTAÇÃO devem ser encaminhadas de preferência por meio digital, podendo estar em formato PDF somente na fase de julgamento pelo Comitê. Os originais deverão ser produzidos em programa Microsoft Word. As figuras deverão ser fornecidas em separado, com resolução mínima de 300dpi. Caso a foto seja digital, a resolução deverá ser de no mínimo de 3.2 mega pixels. Não sendo as fotos do(s) autor(es), este(s) será(ão) responsável(eis) por declarar os créditos das mesmas e obter a autorização para publicação. Nos gráficos, evitar utilizar cores e dar preferência a símbolos que possam distinguir claramente as informações relevantes da figura. Nas tabelas não devem ser utilizadas formatações, bordas ou sombreamentos. As tabelas devem ser bem nítidas, identificadas com numeração própria e título. As equações podem ser criadas por um aplicativo externo, podem ser feitas com fontes de símbolos ou com o editor de equações do próprio programa usado para o trabalho. Em qualquer caso, elas devem ser numeradas consecutivamente ao longo do documento. As unidades deverão ser expressas no SI.

**10 •** As contribuições podem ser de no mínimo 2 e de no máximo 15 páginas em formato A4, editoradas em fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. Número maior de páginas poderá ser aceito em casos excepcionais a critério da Editoria da Revista.

**11 •** Os textos deverão ser escritos em português, em linguagem adequada e correta, sendo de responsabilidade do(s) autor(res) a revisão ortográfica, as referências bibliográficas devem seguir o padrão ABNT, tipo por citação de sobrenome e ano (ex. MATHEUS, 1994) e preferencialmente os artigos devem apresentar um resumo de 200 a 300 palavras, resumo em inglês de igual conteúdo do resumo em português (ABSTRACT) e indicar de 3 a 5 palavras-chaves. Artigos em outros idiomas podem eventualmente serem aceitos a critério da Editoria da revista.

**12 •** Essas especificações podem ser eventualmente revistas a critério da Editoria da Revista e da Diretoria da ABPv a qualquer tempo, cabendo aos artigos e contribuições já submetidos se adequarem seguindo as regras existentes à época da submissão do seu material. Associe-se e acesse todas as edições da revista na íntegra. Colabore para a manutenção da Revista Pavimentação enviando seu artigo para [abpv@abpv.org.br](mailto:abpv@abpv.org.br), sugestões e se associando à ABPv.



# COMPORTAMENTO FÍSICO-MECÂNICO DE SOLO ARENOSO ESTABILIZADO COM CINZA DA CASCA DE ARROZ, CAL E CIMENTO VISANDO APLICAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS

*Rodrigo André Klamt<sup>1</sup>*

*Magnos Baroni<sup>2</sup>*

*Ricardo Eguilhor Rodrigues<sup>1</sup>*

*Luciano Pivoto Specht<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Acadêmico • UNIPAMPA, Universidade Federal do Pampa • RS

<sup>2</sup> Professor Mestre • UNIPAMPA, Universidade Federal do Pampa • RS

<sup>3</sup> Professor Doutor • UFSM, Universidade Federal de Santa Maria • RS

• [digoalecrim@hotmail.com](mailto:digoalecrim@hotmail.com) • [magnosbaroni@unipampa.edu.br](mailto:magnosbaroni@unipampa.edu.br)

• [ricardo\\_eguilhor@hotmail.com](mailto:ricardo_eguilhor@hotmail.com) • [luspecht@ufsm.br](mailto:luspecht@ufsm.br)

### RESUMO

É de conhecimento público que o Brasil precisa avançar muito em termos de infraestrutura viária, principalmente em rodovias de baixo volume de tráfego. Torna-se então necessária a busca por alternativas tecnológicas que permitam a redução dos custos de implantação e melhoria de pavimentos. Além disso, existem sérios problemas ambientais no que se refere à constante geração de resíduos agroindustriais que acarretam danos para o meio ambiente. O processo de beneficiamento do arroz gera grande quantidade de casca e estes resíduos são, geralmente, depositados em locais inadequados ocasionando degradação ambiental devido à sua lenta biodegradação. Portanto, o seu aproveitamento em obras de engenharia pode contribuir para a conservação e preservação do meio ambiente, proporcionando uma adequada destinação final para a cinza de casca de arroz (CCA). Apresentar-se-á neste trabalho pesquisas realizadas com diferentes misturas de solo+cal+CCA e solo+cimento+CCA a fim de determinar a resistência mecânica visando ao seu uso como material de pavimentos. Foram realizados ensaios de caracterização e de resistência à compressão simples (RCS) que permitiram avaliar o desempenho do solo local e do solo melhorado com a inclusão de teores de 6%, 10% e 13% de cimento (em massa) ao solo, e 6%, 10% e 13% de cal ao solo e as adições de teores de 5%, 10% e 15% de CCA nas misturas solo + 10% cimento e na mistura solo + 10% cal. A utilização conjunta da cinza da casca de arroz com a cal e com o cimento apresenta potencial técnico para a estabilização do solo apresentando vantagens econômicas e ambientais na sua utilização como material de base e sub-base de rodovias.

**Palavras-chave:** pavimentos; estabilização de solos; cinza de casca de arroz; solo+cimento; solo+cal.

### ABSTRACT

*It is public knowledge that Brazil needs to advance a lot in terms of road infrastructure, particularly in low volume roads. Therefore, it is necessary to search for technological alternatives that allow both the reduction of implantation costs as the pavement improvement. Moreover, there are serious environmental problems in regard the constant generation of agroindustrial wastes which cause harm to the environment. The rice beneficiation process generates large amounts of rice husk and these residues are generally deposited in inappropriate places causing environmental degradation due the slow biodegradation, so its use in engineering works can contribute to the conservation and preservation of the environment and provide a final destination suitable for the rice husk ash (RHA). In this study were investigated different mixtures of soil+lime+ash and soil+cement+ash the main objective of the research was to study the characteristics of different mixtures of soil+lime+ash and soil+cement+ash in order to determine an average compressive strength looking for its use as pavement material. Starting from the study of similar cases already developed, experiments were performed as: dosage of mixtures, molding the specimens, characterization tests, the intermediate compaction of Proctor energy (compaction test in the intermediate Proctor energy) and simple axial compression tests (RCS). These tests allowed to assess the performance of local soil and soil improved with the inclusion contents of 6%, 10% and 13% of cement (in weight) to the soil and 6%, 10% and 13% of lime (in weight) to the soil and the additions contents of 5%, 10% and 15% of ash (in weight) in the mixture soil + 10% cement and in a mixture soil + 10% lime. The joint use of rice husk ash with the lime and with cement presented technical potential for soil stabilization, and may have economic environmental advantages in their use as base material and road sub-base.*

**Keywords:** pavements; soil stabilization; rice husk ash; soil+cement; soil+lime.

## 1 • INTRODUÇÃO

No Brasil verifica-se que a infraestrutura rodoviária se encontra muito precária, principalmente em nível de administração municipal em que são maioria as rodovias de baixo volume de tráfego que, muitas vezes, não se viabilizam com as técnicas e materiais tradicionais. Torna-se então necessária a busca por alternativas tecnológicas locais que permitam a redução dos custos de implantação e melhoria de pavimentos.

Diante da busca, cada vez maior, por soluções de custo reduzido, que visem à preservação dos recursos naturais, várias tentativas de valorização e reciclagem de resíduos têm sido propostas, contribuindo assim para a prática importante da sustentabilidade, atenuando a degradação ambiental e procurando reduzir a utilização de recursos naturais.

O solo natural é um material complexo e muito variável, utilizado de forma abundante na engenharia. Porém nem sempre o solo local satisfaz as especificações para sua utilização. No caso de base e sub-base de pavimentos deve-se optar por alternativas como: dimensionar os pavimentos considerando as limitações do solo; substituir o material existente por outro de melhor qualidade; ou corrigi-lo, alterando suas propriedades e criando um novo material que atenda as necessidades do projeto (NÚÑEZ, 1991).

Segundo Vendruscolo (2003) os métodos de estabilização de solos são frequentemente classificados em três grupos: estabilização mecânica, cujo objetivo é melhorar as características do solo através de uma melhor “arrumação” das suas partículas constituintes e/ou recorrendo a correções da sua composição granulométrica; a física, onde as propriedades do solo são alteradas através da ação do calor, da eletricidade, etc.; e a química que modifica, permanentemente, as propriedades do solo através de aditivos, onde a cal e o cimento Portland são dois agentes amplamente empregados.

Novos materiais e processos podem ser vantajosos como, por exemplo, a estabilização de solos com cimento, cal e cinza de casca de arroz (CCA) que surgem como boas alternativas para construção de bases e sub-bases de rodovias, em implantação, ou até mesmo como camada final de rodagem em rodovias rurais de baixo tráfego.

A CCA se encontra no grupo de rejeitos gerados em grande volume anualmente e são muitas vezes descartadas de forma inadequada no meio ambiente, sem nenhum critério técnico, ou, ainda, demandam custos elevados relativos à estocagem e destinação final,

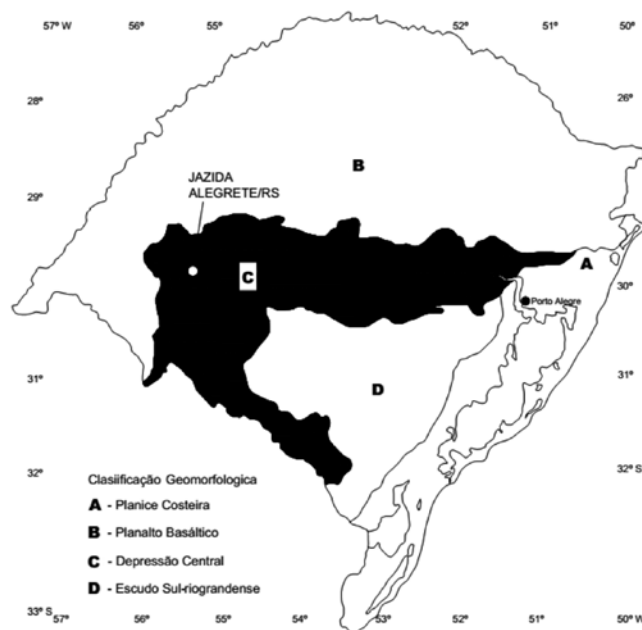
gerando um grande passivo ambiental. Em paralelo, as obras de infraestrutura rodoviária consomem importantes volumes de material o que torna seu uso bastante interessante.

Nesse contexto, objetivou-se analisar a eficiência do cimento, da cal e da CCA na melhoria de um solo tipicamente arenoso, visando seu emprego na pavimentação.

## 2 • MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 • Materiais

O solo utilizado na pesquisa foi coletado em jazida localizada na cidade de Alegrete, localizada na região Oeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ele é de origem residual, apresenta coloração avermelhada, textura arenosa e com baixo teor de umidade natural. A localização, e respectiva classificação geomorfológica da jazida, são mostradas na Figura 1.



**FIGURA 1 - Localização e formação geológica da jazida**

Quanto à classificação SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos), segundo norma ASTM-D2487/85, verifica-se que o solo natural e todas as misturas foram classificados como SP, ou seja, areia mal graduada.

Quanto à classificação rodoviária, conhecida como HRB (*Highway Research Board*), regida pela norma AASHTO M145-42, verifica-se que o solo natural e todas as misturas pertencem ao grupo A-2-4 com  $IG = 0$  (Índice de Grupo), definido como areno-siltoso de baixa compressibilidade.

A cal utilizada na pesquisa é do tipo hidratada especial comercial classificada na classe CH-II (Marca FIDA), possui altos teores de cálcio e magnésio. Já o cimento utilizado foi o Cimento Portland CP IV (Cimento Portland Pozolânico).

A cinza de casca de arroz foi cedida pela CAAL (Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda.), localizada no município de Alegrete. A queima da casca de arroz no forno não é feita com temperatura controlada, podendo esta apresentar diferentes formas cristalinas ou amorfas. A CCA tem coloração escura, devido à quantidade de matéria orgânica, porém está livre de impurezas.

Boateng e Skeete (1990) afirmam que o tipo de cinza apropriada para as reações pozolânicas é a amorfa. A incineração da casca de arroz em uma faixa de temperatura de  $550^{\circ}\text{C}$  a  $700^{\circ}\text{C}$  é geralmente determinada para produzir sílica amorfa; entretanto, temperaturas além de  $900^{\circ}\text{C}$  produzem formas cristalinas. Segundo os mesmos autores, as transformações estruturais a diferentes temperaturas afetam a reatividade da CCA já que quanto maior a superfície específica da sílica, maior o alcance das reações químicas da cal.

Para utilização nos ensaios, visando ao aumento da resistência final da mistura solo+cal+CCA e solo+cimento+CCA, a CCA foi moída para aumentar a área de contato com a pozolana existente no núcleo da partícula (melhorando as reações químicas) e também preenchendo de forma mais satisfatória os vazios do solo (melhoria mecânica). Depois de moída, a CCA apresentou granulometria fina, sendo 100% passante na peneira #100.

## 2.2 • Métodos

A mistura dos materiais ocorreu de forma manual. Inicialmente os aditivos (cal, cimento e CCA) foram adicionados ao solo para, posteriormente, ser adicionada água à mistura. As amostras de solo foram preparadas inicialmente com porcentagens de 6%, 10% e 13% de cal ou cimento em relação ao peso seco do solo. Em uma segunda bateria de ensaios foi mantido como padrão a porcentagem de adição de 10% de cal e 10% de cimento em relação ao peso seco do solo e foram adicionadas as quantidades de 5%, 10% e 15% de CCA em relação ao peso seco do solo mais aditivo (cal ou cimento). A Figura 2 resume a metodologia adotada.

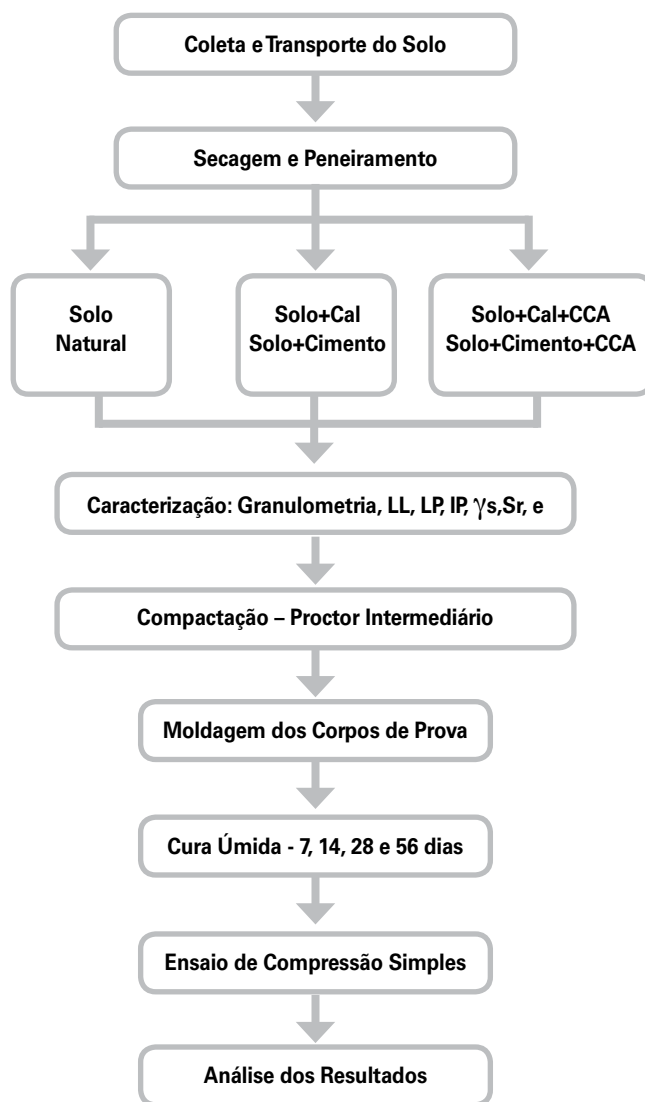


FIGURA 2 - Fluxograma dos ensaios realizados

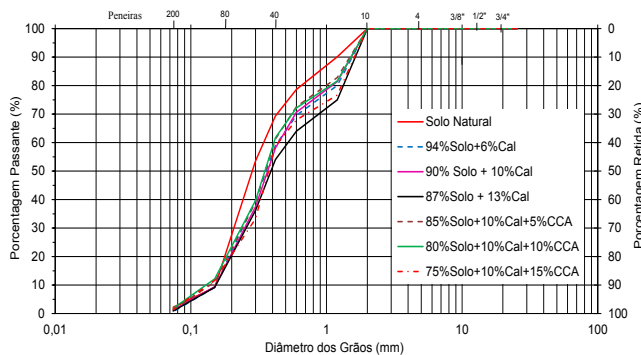
## 3 • APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para todos os traços estudados foram realizados ensaios de caracterização e de Resistência à Compressão Simples (RCS). As principais características dos materiais são discutidas a seguir.

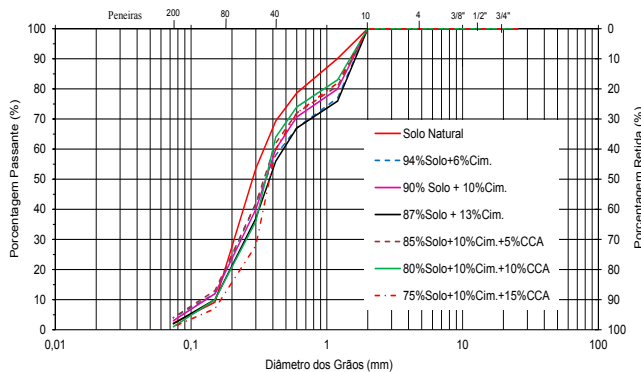
### 3.1 • Ensaios de Caracterização

Com o intuito de conhecer as características básicas do solo em estudo e como a inclusão de agentes químicos alteram as propriedades do solo, foram realizados em todos os traços estudados ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade, umidade e massa específica.

A distribuição granulométrica não sofreu grande variação. Pode-se observar nas Figuras 3 e 4 que o solo natural é uma areia média a fina, sem pedregulhos, com baixa porcentagem de argila e silte e que a inclusão dos agentes estabilizadores pouco alteraram o formato da curva granulométrica. Observa-se ainda que conforme se adiciona cimento, cal e CCA, o teor de finos vai diminuindo, fato creditado à formação de grumos de partículas, já que os agentes misturados nos solos possuem granulometria menor que a do solo natural.



**FIGURA 3 - Distribuição Granulométrica das Misturas Solo, Solo+Cal e Solo+Cal+CCA**



**FIGURA 4 - Distribuição Granulométrica das Misturas Solo, Solo+Cimento e Solo+Cimento+CCA**

Os limites de Atterberg das misturas solo+cal, solo+cal+CCA, solo+cimento e solo+cimento+CCA apresentaram, em geral, um aumento nos valores de LL e IP, sendo este acréscimo proporcional ao aumento da porcentagem dos aditivos nas misturas.

Além dos Limites de Atterberg, foram obtidos a densidade real dos grãos, os índices de vazios e o grau de saturação das misturas estudadas. A Tabela 1 resume os parâmetros.

**TABELA 1 - Ensaios de caracterização realizados nas amostras estudadas**

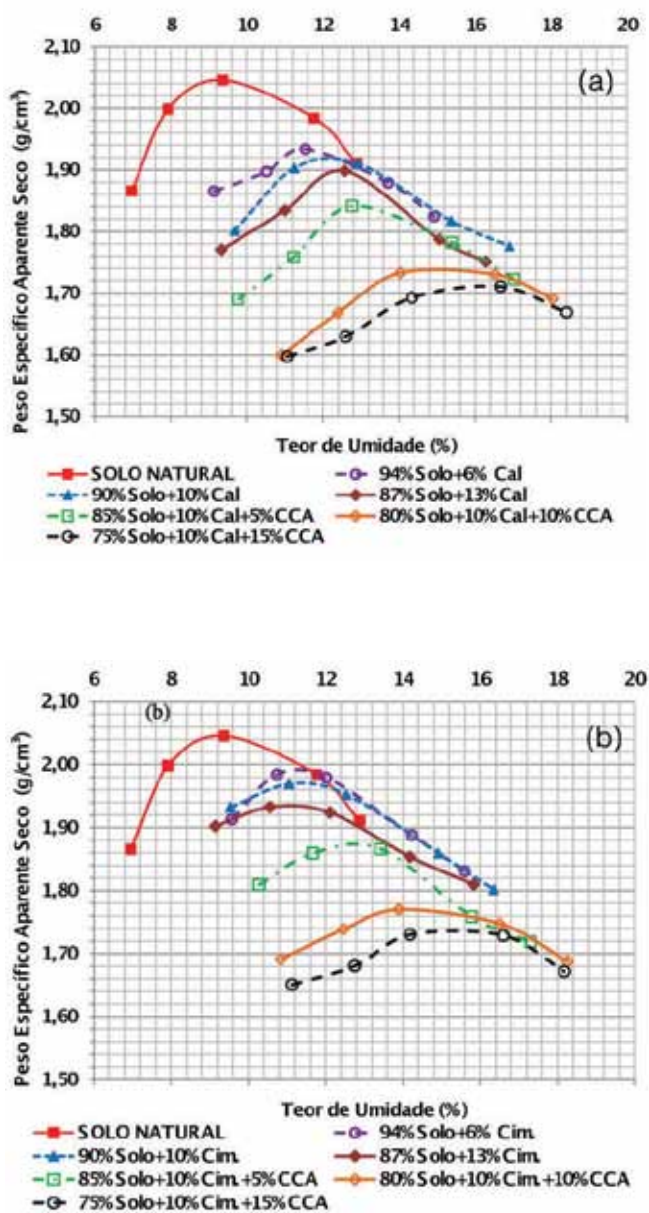
| MISTURAS                         | G <sub>s</sub> | S <sub>r</sub> (%) | e    | IP (%) | LL (%) |
|----------------------------------|----------------|--------------------|------|--------|--------|
| Solo Natural                     | 2,66           | 84                 | 0,30 | 2      | 16     |
| 94% Solo + 6% Cal                | 2,70           | 79                 | 0,39 | 1      | 18     |
| 90% Solo + 10% Cal               | 2,68           | 86                 | 0,40 | 4      | 16     |
| 87% Solo + 13% Cal               | 2,68           | 82                 | 0,41 | 4      | 15     |
| 85% Solo + 10% Cal + 5% CCA      | 2,65           | 77                 | 0,44 | 4      | 20     |
| 80% Solo + 10% Cal + 10% CCA     | 2,66           | 70                 | 0,54 | 4      | 21     |
| 75% Solo + 10% Cal + 15% CCA     | 2,62           | 69                 | 0,55 | 3      | 21     |
| 94% Solo + 6% Cimento            | 2,66           | 83                 | 0,34 | 3      | 21     |
| 90% Solo + 10% Cimento           | 2,65           | 67                 | 0,49 | 3      | 20     |
| 87% Solo + 13% Cimento           | 2,64           | 76                 | 0,37 | 4      | 20     |
| 85% Solo + 10% Cimento + 5% CCA  | 2,64           | 85                 | 0,42 | 6      | 19     |
| 80% Solo + 10% Cimento + 10% CCA | 2,62           | 76                 | 0,48 | 4      | 24     |
| 75% Solo + 10% Cimento + 15% CCA | 2,62           | 72                 | 0,51 | 7      | 27     |

Percebe-se pela Tabela 1 que a densidade real dos grãos apresentou pouca variação dos resultados, ficando entre 2,62 e 2,70. Verificou-se um aumento nos valores conforme se adicionou cal ou cimento ao solo natural. Já a adição de porcentagens de CCA, em ambos os materiais, proporcionaram um decréscimo de densidade, ficando igual ou abaixo dos valores encontrados para o solo natural; isso se deve à menor massa específica da cinza.

Já o índice de vazios aumentou conforme se adicionou cal, cimento e CCA; logo, o solo natural era mais compacto se comparado com as misturas estabilizadas. Os resultados comprovam a tendência apresentada pela TRB (1987); as partículas de solo se tornam mais floculadas, quando adicionados os novos materiais ao solo; logo, o índice de vazios aumenta.

O grau de saturação variou de 79% a 86% para as misturas solo+cal. Já com a adição de CCA percebe-se uma redução no grau de saturação, variando de 69% até 77%, ou seja, a presença da cinza fez com que a mistura apresentasse um menor grau de saturação, o que corrobora com as curvas de compactação (Figura 5) que não apresentam pico, tendo as umidades ótimas próximas. Já para as misturas solo+cimento o grau de saturação (S<sub>r</sub>) variou de forma homogênea em todas as amostras ensaiadas, apresentando um valor mínimo de 67% enquanto o máximo foi de 83%. A presença de CCA nas misturas solo+cimento proporcionou um pequeno aumento no grau de saturação, ficando entre 72% e 85%, contrariando os resultados obtidos com os aditivos cal e CCA.

A Figura 5 (a) apresenta as curvas de compactação das misturas solo+cal e solo+cal+CCA, e a Figura 5 (b) os valores das misturas solo+cimento e solo+cimento+CCA. A curva de compactação do solo natural é apresentada em ambas as Figuras. Os resultados mostram que a adição de cal, cimento e CCA proporcionou uma redução no peso específico aparente seco máximo e um aumento na umidade ótima de compactação, se comparada com o solo natural. Isto se explica pelo fato de as partículas de solo se tornarem mais floculadas, quando adicionados os novos materiais ao solo.



### 3.2 • Ensaios de Resistência à Compressão Simples

A resistência à compressão simples é uma característica muito importante na análise da estabilização de um solo, sendo a principal função do agente estabilizante garantir o ganho de resistência e a manutenção da durabilidade ao longo do tempo.

Os ensaios de RCS foram realizados seguindo os procedimentos descritos na NBR 5739/94. De acordo com as normas NBR 12253/92 e DNIT 143/2010 - ES elaboradas para solo+cimento, a resistência mínima aceitável para utilização deste material como base de pavimentos é 2,1 MPa com 7 dias de cura. Salienta-se que não existe nenhuma normativa para mistura solo+cal, ou solo+cal+CCA.

Segundo a metodologia proposta na pesquisa, foram realizados ensaios de RCS no solo natural e em todos os traços propostos. Os tempos de cura foram fixados em 7, 14, 28 e 56 dias. As Figuras 6 (a) e (b) apresentam os resultados obtidos.

Observa-se que para as misturas de solo + cal ensaiadas o aumento da RCS não teve um bom desempenho se comparado com as misturas de solo+cal+CCA, e até mesmo se comparado com o solo natural. A Figura 6 (a) mostra que a mistura com 13% de cal apresentou o melhor comportamento, RCS igual 1,37 MPa aos 56 dias. Em contrapartida, as misturas solo+cal+CCA apresentaram bom comportamento, evoluindo de forma constante com o tempo de cura em todas as misturas. A taxa de ganho de RCS foi considerável, a mistura composta por 75% de solo + 10% de cal + 15% de CCA obteve, aos 56 dias, o valor de RCS igual 2,89 MPa, ou seja, uma resistência 2,50 vezes superior à resistência apresentada pela mistura composta por 90% de solo + 10% de cal.

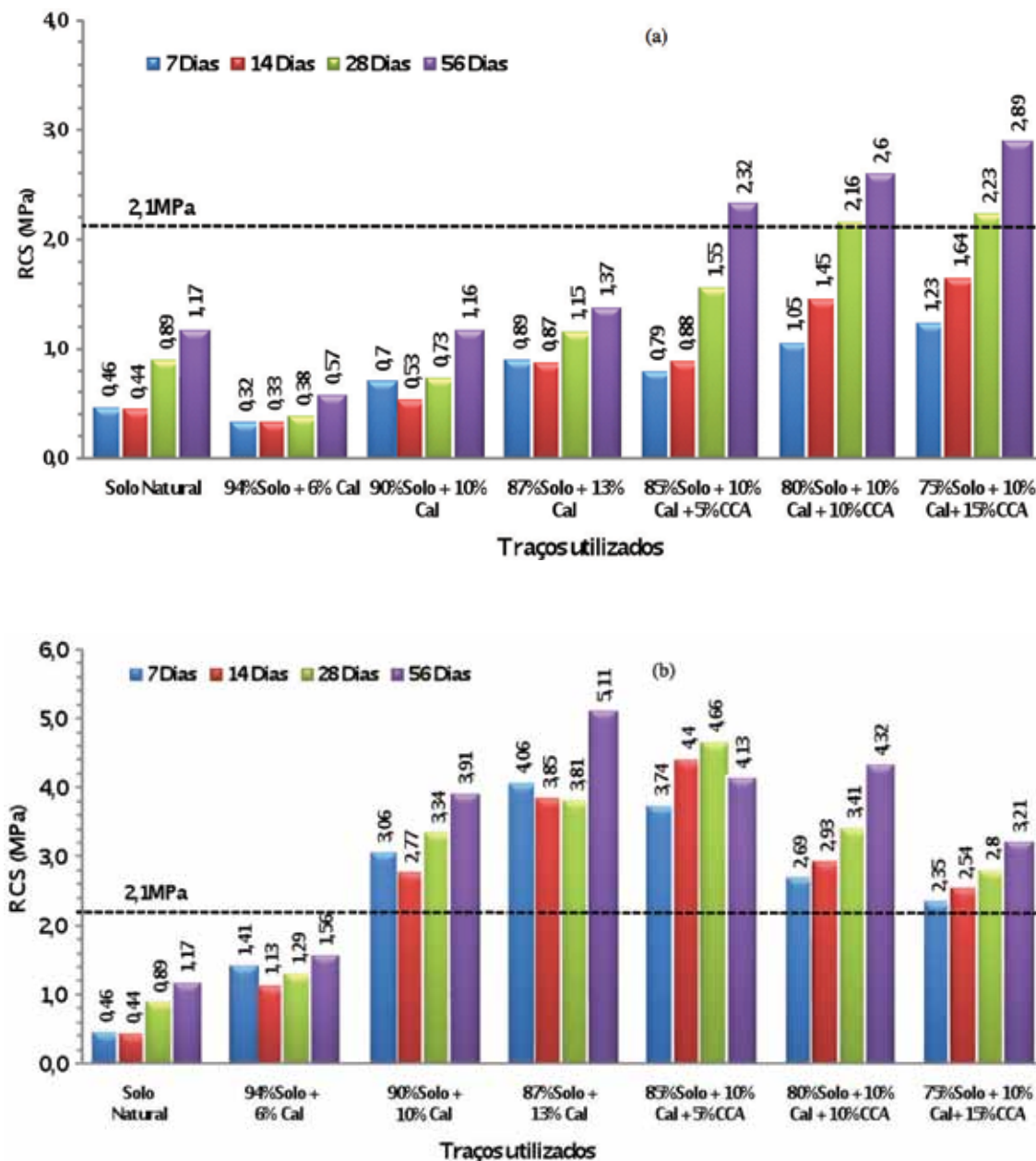
Vale lembrar que o aumento de resistência com o tempo para as amostras sem aglomerante se deve, possivelmente, às tensões de sucção, visto que estas amostras não foram colocadas em imersão antes da ruptura.

Já na Figura 6 (b), aos 7 dias houve um crescimento linear de resistência à compressão simples com as porcentagens de cimento adicionadas, chegando a uma resistência de 4,06 MPa com 87% Solo + 13% de cimento. Porém ao se incorporar a cinza de casca de arroz a mistura solo + cimento, nota-se que a resistência diminuiu conforme o aumento do teor de CCA, mas ainda acima de valor mínimo de 2,10 MPa.

Tendo como base as misturas que obtiveram o melhor desempenho - 87%Solo + 13%Cimento e 75%Solo + 10%Cal + 15%CCA, reduzin-

do proporcionalmente o valor de aglomerante para atingir de 2,1 MPa aos 28 dias de cura, o custo de aglomerante para estabilização com cimento seria de R\$87,01/m<sup>3</sup>, enquanto que estabilização com cal e CCA seria de R\$101,10/m<sup>3</sup>, considerando custo zero para a CCA. Cabe ressaltar que o mês base para análise do custo foi junho de 2013. A pequena diferença entre as duas soluções seria facilmen-

te igualada se considerássemos o custo de transporte e disposição ambiental adequado ou ainda se tivéssemos uma política que desonerasse tributariamente quem utiliza resíduos industriais de forma sustentável. Soma-se, também, a favor da mistura com cal e CCA que há uma tendência mais pronunciada de aumento da resistência a partir dos 28 dias.



**FIGURA 6 - Resistência à Compressão Simples (MPa):**  
 (a) - Solo Natural, Solo+Cal e Solo+Cal+CCA;  
 (b) - Solo+Cimento e Solo+Cimento+CCA.

### 4 • CONCLUSÕES

Os traços propostos e ensaios realizados neste trabalho objetivaram alcançar a RCS mínima exigida para utilização do material em camadas de base de pavimentos pelas normas NBR 12253/92 e DNIT 143/2010 - ES de 2,1 MPa aos 7 dias de cura e estudar a alteração das características básicas do solo com a inclusão dos agentes químicos: cimento, cal e CCA. É importante salientar que não existem normativas específicas para a utilização de Solo+Cal e de misturas contendo CCA na pavimentação.

As características do solo melhorado com os diferentes agentes químicos apresentaram um comportamento semelhante. As curvas granulométricas não apresentam grandes variações, o peso específico aparente máximo das misturas diminuiu, e a umidade ótima, o índice de vazios, os limites de Atterberg e o grau de saturação aumentaram.

Os resultados permitem concluir que nenhum dos teores com os aditivos cal e CCA alcançou aos 7 dias a resistência à compressão simples mínima de 2,1 MPa. Porém, com um maior tempo de cura, todos os traços que possuem Cal+CCA, poderiam ser utilizados em camadas de base de pavimentos. É enfatizado que não foram obtidos resultados satisfatórios com a mistura solo+cal, e que a CCA teve papel essencial no ganho de resistência do material.

Já as misturas com solo+cimento apresentaram, a partir do acréscimo de 10% de cimento, valores de RCS acima dos exigidos pelas normativas. É observado que os valores de resistência diminuiram com a inclusão das porcentagens de CCA nessas misturas, mas com valores ainda acima dos 2,1 MPa exigidos.

A queima de casca de arroz começou a ser realizada recentemente por empresas beneficiadoras de arroz, o que faz com que os estudos com a cinza sejam ainda incipientes. Este estudo, de caráter inovativo demonstra o potencial benéfico para a utilização deste novo material na pavimentação; como sugestão, propõe-se a análise, sob a ótica da mecânica de pavimentos e a execução de trechos experimentais monitorados.

Com relação aos custos, as amostras com porcentagens de CCA apresentaram valor equivalentes às misturas com cimento e, considerando os benefícios ambientais e técnicos, pode-se confirmar o grande potencial de utilização de CCA em aplicações da engenharia de pavimentos.

### Referências Bibliográficas

- ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). *AASHTO M145-42: Specifications for Highway Materials*. Washington, D. C., 1986.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D 2487: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. Philadelphia, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Provas Cilíndricos*. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- \_\_\_\_\_. *NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação*. Rio de Janeiro, RJ, 1986.
- \_\_\_\_\_. *NBR 12253: Solo-Cimento – Dosagem para o Emprego como Camada de Pavimento - Procedimento*. Rio de Janeiro, RJ, 1992.
- BOATENG, A. A.; SKEETE, D. A. *Incineration of Rice Hull for Uses as a Cementitious Material. The Guyana Experience. Cement and Concrete Research; v. 20, n. 5, pp. 795 – 802, USA, 1990.*
- DNIT 143 – ES (2010). *Pavimentação. Base de Solo-Cimento – Especificações de Serviço*. Rio de Janeiro.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1987). *Lime Stabilization, Reactions, Properties, Design and Construction*. Washington, D.C.: TRB, 58 p. (State of the Art Report, 5).
- NÚÑES, W. P. *Estabilização Físico-Química de um Solo Residual de Arenito Botucatu, Visando seu Emprego na Pavimentação. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – CPGEC-UFRGS, 150 p., Porto Alegre, 1991.*
- VENDRUSCOLO, M. A. *Estudo do comportamento de materiais compósitos fibrosos para a aplicação como reforço de base de fundações superficiais*. Porto Alegre, 2003. P. 224. *Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.* 📌



# IMPLANTAÇÃO DE BOAS PRÁTICAS DE SMS NA CADEIA PRODUTIVA DE ASFALTO E SEUS BENEFÍCIOS

*Therezinha Maria da Silva Dias<sup>1</sup>  
Margareth Carvalho Coutinho Cravo<sup>2</sup>  
Rosana Almeida de Azevedo<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Arquiteta • PCRJ, Prefeitura da Municipal da Cidade do Rio de Janeiro • Mestranda em Transporte no IME.

<sup>2</sup> M.Sc., Engenheira Química • Petrobras • CENPES.

<sup>3</sup> Consultora Técnica • Petrobras • CENPES.

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a implantação das Boas Práticas de SMS - Saúde, Meio Ambiente e Segurança na Cadeia Produtiva de Asfalto e os benefícios para este segmento. O Brasil, nos últimos anos, se destacou como um grande produtor de commodities agrícolas e um importante exportador de grãos. Diante deste cenário de prosperidade verifica-se, atualmente, a preocupação do Governo Federal em ampliar a malha rodoviária brasileira, pois mesmo com a eficiência das operações de logística, o escoamento destes produtos agrícolas enfrenta muitos gargalos de infraestrutura, aumentando consideravelmente os gastos com o transporte destes.

Com a expansão dos projetos e das obras no setor a engenharia rodoviária busca atualmente novas tecnologias construtivas, de conservação, sustentável, durável e econômica, adaptada à realidade nacional, torna-se de vital importância a implantação de boas práticas de SMS. Esta ação trará não só benefícios para o Meio Ambiente, como também irá impactar positivamente nos custos com saúde ocupacional e segurança das empresas de pavimentação asfáltica.

**Palavras-chave:** meio ambiente, saúde, pavimentação asfáltica, segurança.

## ABSTRACT

*This paper presents a study on the implementation of the Good Practices of HSE - Health, Safety and Environment in Asphalt Production Chain and benefits for this segment. Brazil has in the past stood out as a major producer of agricultural commodities and a major grain exporter. Given this scenario of prosperity, currently, there is the concern of the Federal Government to expand the highway network, because even with the efficiency of logistics operations, the disposal of these agricultural products faces many bottlenecks in infrastructure, greatly increasing of transport costs.*

*With the expansion of projects the road engineering is currently seeking new construction technologies. This action will bring benefits not only to the environment but will also positively impact on occupational health and safety costs of the asphalt pavement companies.*

**Keywords:** environment, health, asphalt paving, security.

## 1 • INTRODUÇÃO

O Brasil, além de um grande produtor de commodities agrícolas, é também um grande exportador, e o agronegócio brasileiro, segundo a Revista Rodovias e Vias, e de acordo com o último levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), tem produzido nos últimos anos grandes safras de grãos. A produção durante 2013/2014 é de 195,47 milhões de toneladas, 3,6% superior à obtida na safra 2012/2013, quando atingiu 188,66 milhões de toneladas. Esse resultado representa um ganho de 6,81 milhões de toneladas em relação à safra 2012/2013. Porém diante deste horizonte próspero, o escoamento destas safras esbarra com a ineficiência e a degradação de nossas estradas e rodovias, pois os canais de acesso entre as áreas produtoras e os portos brasileiros, estão na sua maioria em péssimo estado de conservação, o que deverá contribuir no aumento do custo no transporte, em projetos de logística e por fim impactar no custo final destes produtos. E isto acarretará na queda de competitividade dos produtos brasileiros no mercado interno e externo. Recentemente, o Governo Federal tem demonstrado um grande interesse em investir pesado no setor de infraestrutura, com o objetivo de melhorar as nossas rodovias, ferrovias e hidrovias para avançar no processo de redução dos custos de frete e dar eficiência operacional para que nossos produtos agrícolas cheguem aos portos brasileiros em tempo hábil. Diante deste quadro, verificamos a necessidade vital para o crescimento do país, em grandes investimentos no setor de transporte e infraestrutura. Segundo a Revista CNT Transporte Atual, o Governo Brasileiro precisa investir quase 1 (um) trilhão de reais em infraestrutura de transporte para conseguir alavancar a economia, reduzir os custos, aumentar a competitividade e oferecer mais segurança e conforto aos transportadores e a população.

E como nas últimas décadas os governos não investiram no setor, este ficou estagnado, e conseqüentemente não houve também investimento na qualificação e nem no fomento de mão de obra específica deste seguimento, o que acarretou na escassez desta e a conseqüente fragilidade de boas práticas na cadeia produtiva do asfalto. E como as nossas estradas e rodovias na sua maioria são em pavimentação asfáltica, Figura 1, este estudo tem como objetivo incentivar a implantação de boas práticas de SMS na cadeia produtiva de asfalto e apresentar seus benefícios para este segmento.



**Figura 1. Rodovia brasileira (SC 407) em pavimentação asfáltica** (Fonte: <http://recantodascachoeiras.wordpress.com/>)

## 2 • DESENVOLVIMENTO

O patrimônio humano é o que uma empresa tem de mais precioso e valioso, e preservar este bem deveria ser prioritário para a mesma. Porém, a maioria das empresas ainda não se deu conta desta verdade. Nas empresas envolvidas na cadeia produtiva de asfalto, esta realidade também não é diferente, infelizmente. Porém vários setores destas empresas estão verificando junto ao Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), que a legislação trabalhista e muitas vezes o próprio Ministério Público estão alertando e cobrando providências neste sentido. Hoje o próprio Ministério da Previdência Social está se aperfeiçoando e buscando o histórico de cada operário que a ela recorre para punir e exigir da empresa reparação aos danos causados a este. Desta forma, algumas empresas mais conscientes, ou por adequação ao mercado, cada vez mais exigente neste sentido, estão investindo mais em boas práticas de SMS de forma preventiva. É necessário aperfeiçoar os métodos de Planejamento e Controle da Segurança (PCS), indo além das exigências da legislação, segundo Saurin et al. (2002). Temos como exemplos a Petrobras e a Braskem, que em seus portais na web este tema ocupa um lugar de destaque. Porém ainda não é o bastante, verifica-se que há um longo caminho a percorrer. Hoje a legislação é bem clara, e os danos à saúde ocupacional dos funcionários é impactante e, em muitos casos, fatal. A exposição diária aos fumos de asfalto que contém Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em sua composição e que têm alto potencial toxicológico, associada a altas temperaturas, desconhecimento sobre sua composição e manipulação inadequada acabam sendo os maiores responsáveis por problemas sérios de saúde ocupacional dos indivíduos envolvidos na cadeia produtiva de asfalto.

### 2.1 • Características do Asfalto

O asfalto é um resíduo derivado do refino de petróleo, que contém uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos, parafínicos, naftênicos, aromáticos, compostos contendo carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, dentre eles, HPA – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos. Segundo Freitas Guimarães (2003), a produção de asfaltos no Brasil se iniciou em 1.956, na Refinaria Presidente Bernardes, em Cubatão, no Estado de São Paulo. Segundo a *Health Effects of Occupational Exposure to Asfalto* – NIOSH (2000) há duas classificações básicas para os asfaltos: de pavimentação e industrial. Este trabalho aborda o asfalto utilizado em pavimentação. Durante a aplicação da mistura asfáltica numa obra de pavimentação de uma rua ou estrada, observa-se a formação de “nuvens”, Figura 2, geralmente de cor azulada. Estas “nuvens” são uma mistura de fumos de asfalto.



**Figura 2. Aplicação de asfalto e emissões de vapores**

(Fonte: <http://teretotal.blogspot.com.br>)

Na temperatura ambiente a mistura asfáltica não oferece nenhum risco tanto para a saúde do trabalhador quanto para o meio ambiente, porém, quando aquecida, os fumos são gerados. Assim, os trabalhadores que exercem atividades que envolvam o asfalto aquecido estão expostos as suas emissões. Os agentes químicos que mais se destacam nas emissões do asfalto são os HPAs – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, dado seu potencial carcinogênico, destacando-se como os de maior risco para a saúde dos trabalhadores diretamente envolvidos nas operações de pavimentação. Em junho de 2012, segundo o Comunicado nº 213, o Centro Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC, *International Agency for Research on Cancer*), que é uma Agência da Organização de Saúde (OMS), classificou os fumos de asfalto como possivelmente

cancerígenos (grupo 2B). Freitas Guimarães (2005) destaca que o material particulado emitido durante a pavimentação com asfalto contém partículas PM10 e PM2,5, ou seja, material particulado fino, respectivamente inferior a 10 e a 2,5 micrômetros ( $\mu\text{m}$ ), que consegue entrar nos pulmões, atingir os alvéolos e, em se tratando de PM2,5, pode passar para a corrente sanguínea e linfática. Como os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos ficam adsorvidos nestes particulados, percebe-se o risco que correm estes trabalhadores, ao terem tais agentes químicos circulando no sangue. Os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) representam risco à saúde humana, pois alguns já são comprovadamente cancerígenos. A Organização Mundial da Saúde (OMS), conforme seu Critério Ambiental 202, de 1998, alerta para tal fato. No Brasil, o Ministério da Saúde (MS) desde 2001 já indica referências bibliográficas com estudos sobre as emissões de asfalto e também relaciona a atividade de pavimentação com asfalto como de risco para a formação de câncer de pulmão e dos brônquios, os epitelomas (câncer de pele), câncer na boca, câncer na faringe, câncer de bexiga, leucemia, câncer na boca e faringe. Também há relatos de câncer gastrointestinal e de próstata. Ressalta-se também, que trabalhadores expostos à radiação solar correm maior risco de desenvolver câncer de pele. No caso dos operadores de pavimentadoras, Figura 3, esse risco é ampliado, pois se trata de uma combinação de fatores que se associam, ou seja, HPA com radiação solar, merecendo maior atenção nesse aspecto. Estes dados constam do Manual de Doenças relacionadas ao trabalho (2001) e também da Portaria 1.339/99 do Ministério da Saúde.



**Figura 3. Pavimentadora**

(Fonte: [pet.engenharia.civil/UFJF](http://pet.engenharia.civil/UFJF))

## 2.2 • O Conceito de Boas Práticas em SMS

É um conjunto de orientações com o objetivo de preservar o bem estar e a integridade do indivíduo no seu ambiente de trabalho, envolvendo as questões de saúde, segurança e meio ambiente em conformidade com a legislação e normas pertinentes a cada atividade. Ressalta-se que o atendimento as Normas Regulamentadoras é obrigatório, e o conceito de boas praticas vai além do cumprimento destas.

## 2.3 • Benefícios Decorrentes da Implantação de Boas Práticas nas Empresas

- A implantação de Boas Práticas nas empresas amplia e consolida a cultura de SMS na cadeia produtiva da pavimentação asfáltica;
- Desenvolve uma relação construtiva com os sindicatos de trabalhadores, não obstante a previsão de dificuldades iniciais, para tratar das questões de SMS;
- Inclui requisitos legais e técnicos de SMS nos contratos de prestação de serviços em toda a cadeia produtiva da pavimentação asfáltica;
- Adota tecnologias que, sem prejuízo da qualidade dos serviços, possibilitem operações a temperaturas mais baixas e com menor duração da exposição dos trabalhadores às emanações de gases, vapores e fumos de asfalto;
- Promove melhorias nos projetos dos equipamentos utilizados, assegurando a eliminação ou a redução da exposição dos trabalhadores e do meio ambiente aos materiais e energias utilizados na pavimentação asfáltica.

Outros benefícios são também identificados, pois as empresas que investem em SMS verificam que em curto prazo o investimento é alto, porém a médio e longo prazo, estas constatam que o investimento se torna econômico, pois diminui os gastos de previdência, de ações judiciais e com danos ao patrimônio humano. Também impacta positivamente na produtividade, na qualidade do produto final e reduz a rotatividade de mão de obra, pois ao trabalhar em um ambiente seguro, saudável e com o meio ambiente preservado, o indivíduo é incentivado a desenvolver suas atividades profissionais com mais satisfação e atenção.

## 2.4 • Principais Normas Regulamentadoras do MTE e Legislação da Agência Nacional de Petróleo (ANP)

Com o avanço dos investimentos no setor de infraestrutura, e consequentemente com o aumento de estradas e rodovias em pavimentação asfáltica e segundo a Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente (2008) os profissionais envolvidos na cadeia produtiva de asfalto merecem grande atenção por parte do Serviço Especializado em Segurança e Medicina do Trabalho (SESMT) das empresas, pois se espera maior adoecimento respiratório desses trabalhadores, uma vez que estão expostos as emissões de hidrocarbonetos alifáticos, parafínicos e aromáticos contidos nas misturas asfálticas. Os exames clínicos e laboratoriais desses trabalhadores devem receber uma revisão e maior atenção, e espera-se que apareça maior número de casos de câncer de pulmão, bexiga e de pele. Uma grande parcela desses trabalhadores poderá gerar implicações jurídicas evidentes para as empresas, desta forma é importante o conhecimento das Normas Regulamentadoras - NR do Ministério do Trabalho e Emprego, relativas à SMS aplicadas preliminarmente na execução dos serviços de pavimentação asfáltica nas vias urbanas e rodovias, como medida preventiva. Desta forma, é importante que as empresas envolvidas na Cadeia Produtiva de Asfalto gerenciem estes riscos, pois atualmente, nossa legislação trabalhista conta com requisitos modernos de prevenção, nossa legislação previdenciária estabelece custos que obrigam as empresas a implantar programas de prevenção e nossa legislação ambiental tem aumentado o rigor na fiscalização e punição, criminalizando e responsabilizando.

A seguir estão relacionadas às Normas Regulamentadoras de acordo com os serviços de pavimentação asfálticas, que estão divididos em duas etapas: usinagem e execução do revestimento asfáltico. Estas devem ter seus conteúdos bem entendidos, visando às possibilidades de serem aplicadas.

### 2.4.1 • Usinagem - Usinas Gravimétricas e Volumétricas

Na produção de misturas asfálticas, os riscos ambientais devem ser analisados antecipadamente ou simulados. As seguintes Normas Regulamentadoras, disponíveis no site do Ministério de Trabalho e Emprego ([www.mte.gov.br](http://www.mte.gov.br)), são aplicadas a este ambiente laboral:

- NR06 - Equipamentos de Proteção Individual - EPI;
- NR10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;

NR11 - Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais;  
NR12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos;  
NR13 - Caldeiras e Vasos de Pressão;  
NR14 - Fornos;  
NR15 - Atividades e Operações Insalubres;  
NR16 - Atividades e operações perigosas;  
NR17 - Ergonomia;  
NR20 - Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis;  
NR21 - Trabalho a Céu Aberto;  
NR23 - Proteção Contra Incêndios;  
NR26 - Sinalização de Segurança.

### 2.4.2 • Execução do Revestimento Asfáltico

Na aplicação da mistura asfáltica, compactação e acabamento, os riscos ambientais devem ser analisados com antecedência. As Normas Regulamentadoras, que podem ser adotadas na pista de rolamento são as seguintes:

NR6 - Equipamentos de Proteção Individual - EPI;  
NR12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos;  
NR15 - Atividades e Operações Insalubres;  
NR17 - Ergonomia;  
NR21 - Trabalho a Céu Aberto;  
NR26 - Sinalização de Segurança.

### 2.4.3 • Normas de Aplicação Geral

Além das normas relacionadas por frente de serviços, as quais devem ter seus conteúdos analisados, ou seja, aplica ou não aplica, temos também as normas de aplicação geral:

NR1 - Disposições Gerais;  
NR2 - Inspeção Prévia;  
NR3 - Embargos ou Interdição;  
NR4 - Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho - SESMT;  
NR5 - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - CIPA;  
NR7 - Programas de Controle Médico de Saúde Ocupacional - PCMSO;  
NR9 - Programas de Prevenção de Riscos ambientais - PPRa;  
NR18 - Condições e Meio ambiente de Trabalho na Indústria da Construção - PCMAT;  
NR24 - Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho;  
NR33 - Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados.

Obs.: A NR33 é para aplicação na execução de fundações com tubulões que utilizam ar comprimido.

Ressalta-se que é primordial identificar os riscos ambientais por frente de serviço nas obras rodoviárias.

### 2.4.4 • Legislação ANP

A Resolução ANP nº 2, de 14/01/2005 - Publicada no D.O.U. de 19/01/2005, onde estabelece os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de distribuição de asfaltos e a sua regulamentação. A atividade de distribuição é considerada de utilidade pública, compreende a aquisição, armazenamento, transporte, aditivação, industrialização, misturas, comercialização, controle de qualidade e assistência técnica ao consumidor.

A Lei nº 9.478/1997 - SEGURANÇA OPERACIONAL EM EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL, onde a ANP, no desempenho de suas atribuições previstas nesta Lei, prioriza o uso racional dos recursos energéticos e o cumprimento das boas práticas para proteção do meio ambiente nas operações da indústria do petróleo e gás natural.

## 2.5 • GT- SMS da Comissão de Asfalto do IBP

Com o objetivo de estudar e divulgar o potencial toxicológico dos asfaltos modificados, que são utilizados com temperaturas mais elevadas aumentando a exposição ocupacional, foi criado em março de 2005, pela Comissão de Asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis um Grupo de Trabalho. A primeira reunião ocorreu em abril de 2005, com a denominação de GT – Aspectos Toxicológicos do Asfalto, ainda no mesmo ano face à abrangência do assunto, passou a ser denominado “Grupo de Trabalho de Saúde, Meio Ambiente e Segurança - GT-SMS”, o qual se tornou permanente, com o propósito de: desenvolver atividades de SMS de interesse da Comissão de Asfalto, acompanhar e divulgar a evolução da legislação e da normalização técnica de SMS e dar suporte técnico às políticas de SMS das empresas do segmento de pavimentação asfáltica. E ao longo destes anos o grupo composto por profissionais qualificados voluntários, representantes de diversos segmentos da cadeia produtiva do asfalto, tem verificado que a demanda por manuais de boas práticas, *workshops* e palestras têm aumentado sensivelmente por parte das empresas e entidades afins, desta forma podemos citar esta iniciativa uma experiência positiva para o segmento e para o setor de infraestrutura do transporte, e também um termômetro de como o tema esta sendo tratado e sua importância dentro da cadeia produtiva do asfalto.

### 3 • CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Ministério da Previdência Social propôs ao Conselho Nacional de Previdência Social – CNPS, órgão de natureza quadripartite – com representação do Governo, Empresários, Trabalhadores e Associações de Aposentados e Pensionistas, a adoção de um importante mecanismo auxiliar para a caracterização de um acidente ou doença do trabalho: o Nexo Técnico Epidemiológico Previdenciário – NTEP. O NTEP, a partir do cruzamento das informações de código da Classificação Internacional de Doenças – CID-10 e de código da Classificação Nacional de Atividade Econômica – CNAE aponta a existência de uma relação entre a lesão ou agravo e a atividade desenvolvida pelo trabalhador. A indicação de NTEP está embasada em estudos científicos alinhados com os fundamentos da estatística e epidemiologia. A partir dessa referência a medicina pericial do Instituto Nacional do Seguro Social - INSS ganha mais uma importante ferramenta-auxiliar em suas análises para conclusão sobre a natureza da incapacidade ao trabalho apresentada, se de natureza previdenciária ou acidentária. O NTEP foi implementado nos sistemas informatizados do INSS, para concessão de benefícios, em abril/2007 e de imediato provocou uma mudança radical no perfil da concessão de auxílios-doença de natureza acidentária: houve um incremento da ordem de 148%. Este valor permite considerar a hipótese que havia um mascaramento na notificação de acidentes e doenças do trabalho. O FAP - é o Fator Acidentário de Prevenção que afere o desempenho da empresa, disponível na página da web do Ministério da Previdência Social - MPS, dentro da respectiva atividade econômica, relativamente aos acidentes de trabalho ocorridos num determinado período. É um instrumento importante como estímulo à adoção de sistematização para controle de acidentes e doenças ocupacionais, pois busca verificar se as ferramentas de prevenção (controle, monitoramento e prevenção de acidentes) estão adequadamente implantadas.

É notório, que o investimento na implantação de boas práticas de SMS nas empresas que compõe a cadeia produtiva do asfalto é a melhor forma de prevenção de danos ao patrimônio humano, além de resguardar a saúde e de preservar a integridade do trabalhador, a longo e médio prazo. Ações como estas são economicamente viáveis e sustentáveis com menor impacto negativo para o Meio Ambiente. Para as empresas, este movimento reflete em lucratividade no produto final, e do ponto de vista jurídico, menos causas judiciais no quesito de danos a saúde e segurança do trabalhador, e do ponto de vista ambiental menos custos com medidas compensatórias. Ressalta-se também a importância sócio-ambiental na implantação de boas práticas: o aumento da autoestima do indivíduo e a relação positiva da empresa com este.

### Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, documento disponível na página web <http://www.anp.gov.br>, acesso em 17/11/2013.
- BRASKEM, documento disponível na página web <http://www.braskem.com.br>, acesso em 13/11/2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab), documento disponível na página web [http://www.conab.gov.br/Ola-laCMS/uploads/arquivos/14\\_08\\_07\\_08\\_59\\_54\\_boletim\\_graos\\_agosto\\_2014.pdf](http://www.conab.gov.br/Ola-laCMS/uploads/arquivos/14_08_07_08_59_54_boletim_graos_agosto_2014.pdf), acesso em 01/09/2014.
- FREITAS GUIMARÃES, J. R. P. *Apostila de Riscos Químicos*. Santos: SENAC, 2003.
- FREITAS GUIMARÃES, J. R. P. *Toxicologia das emissões veiculares de diesel: um problema de saúde ocupacional e pública*. Blumenau: Revista de Estudos Ambientais, 2005.
- INTERFACEHS – *Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente* - v.3, n.3, Seção Interfacehs 1, ago./dez. 2008, disponível em <http://www.revistas.sp.senac.br/index.php/ITF/article/viewFile/133/148>, acesso em 13/11/2013
- MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL, documento disponível na página web <http://www.mps.gov.br>, acesso em 13/11/2013.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria 1.339 de 18 de novembro de 1999. In: *Doenças relacionadas ao trabalho*. Brasília, 2001.
- NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH - NIOSH. *Health effects of occupational exposure to asphalt*. s.l. Publication Nº. 2001/2000.
- PETROBRAS, documento disponível na página web <http://www.petrobras.com.br>, acesso em 13/11/2013.
- RECEITA FEDERAL, documento disponível na página web <http://www.receita.fazenda.gov.br>, acesso em 13/11/2013.
- REVISTA CNT TRANSPORTE ATUAL, Edição 227, Editada pela Confederação Nacional dos Transportes, 2014.
- REVISTA RODOVIAS E VIAS, edição 75, Rodovias Editora e Publicações Ltda, 2013.
- SAURIN, T. A., FORMOSO, C. T., GUIMARÃES, L.B.M. *Segurança e produção: um modelo para o planejamento e controle integrado*. Revista Produção v. 12, n. 1, 2002.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. *Selected Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria 202, Geneva, 1998. Ⓣ

# O ARTIGO CIENTÍFICO

A Revista PAVIMENTAÇÃO ao longo de todas as suas edições veiculou mais de uma centena de artigos científicos de pesquisadores, professores e profissionais de todo o País, incluindo de colaboradores estrangeiros.

Existem várias razões para se publicar um artigo técnico. Dentre elas, elencamos algumas:

- **Divulgação científica.**
- **Aumento do prestígio do autor e sua instituição ou empresa.**
- **Apresentação do seu trabalho.**
- **Posicionamento no mercado de trabalho.**

A ABPv orgulha-se em contribuir com a produção científica nacional, atendendo ao que reza em seu estatuto, na qualidade de uma associação técnico-cultural, promovendo o aprimoramento e o desenvolvimento da técnica da pavimentação no País através de diversas ações congêneres.

Queremos lembrar a todos que queiram participar da nossa publicação que os ARTIGOS TÉCNICOS devem ser enviados para [redacao@revistapavimentacao.org.br](mailto:redacao@revistapavimentacao.org.br) de acordo com as normas vigentes no sítio [www.revistapavimentacao.org.br](http://www.revistapavimentacao.org.br), também aceitamos Casos de obras que são relatos de muita importância, mas sem o rigor da apresentação de um artigo. Redigir e publicar um artigo técnico lhe trará uma boa experiência profissional. Aprovado o artigo pelo Comitê Técnico-Científico, este será publicado gratuitamente. Os trabalhos são apresentados na íntegra, sendo de responsabilidade do autor todas as informações neles contidas. 📍

**INFORMAÇÕES:**  
[www.cbrcbasvias.com.br](http://www.cbrcbasvias.com.br)  
[contato@cbrcbasvias.com.br](mailto:contato@cbrcbasvias.com.br)

9º Congresso Brasileiro de Rodovias & Concessões  
9ª Exposição Internacional de Produtos para Rodovias

# CBR&C BRASVIAS

Brasília • 2015

14 a 16 de setembro

**ABGR**  
Associação Brasileira de  
Concessionárias de Rodovias



# AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E FUNCIONAL DO PAVIMENTO DO NOVO AEROPORTO INTERNACIONAL DA GRANDE NATAL

*Filipe Almeida Corrêa do Nascimento*<sup>1</sup>

*Antonio Carlos Rodrigues Guimarães*<sup>1</sup>

*Luiz Antonio Vieira Carneiro*<sup>1</sup>

*Bruno Bezerra Mesquita Leitão*<sup>2</sup>

*André Luiz Lopes Toledo*<sup>3</sup>

*Bruno de Carvalho Hunka*<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Exército Brasileiro • Instituto Militar de Engenharia (IME)

<sup>2</sup> Exército Brasileiro • 1º Batalhão de Engenharia de Construção (1º BEC)

<sup>3</sup> Exército Brasileiro • 1º Grupamento de Engenharia (1º Gpt E)

<sup>4</sup> Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero)

### RESUMO

O presente trabalho analisa os aspectos funcionais e estruturais do pavimento da pista de pouso e decolagem que se encontra em fase final de construção, na obra do Novo Aeroporto Internacional da Grande Natal, localizado no município de São Gonçalo do Amarante/RN. Os materiais utilizados nas camadas de sub-base, base e concreto asfáltico foram caracterizados e submetidos aos ensaios de cargas repetidas para a determinação dos módulos resilientes (MR), avaliação da deformação permanente e resistência à tração (RT). As medidas de irregularidade longitudinal, obtidas através equipamento laser RSP, serviram de base para o cálculo do IRI (*International Roughness Index*) e do BBI (*Boeing Bump Index*), que permitiram a classificação segundo as recomendações da FAA. Também foram realizados ensaios de microtextura e macrotextura na pista de pouso e decolagem, através do equipamento pêndulo britânico e mancha de areia, respectivamente, possibilitando o cálculo do IFI (*International Friction Index*) e a consequente comparação de sua classificação funcional segundo as normas ANAC e FAA. A partir dos resultados de ensaios obtidos, foi possível realizar a simulação numérica do comportamento estrutural utilizando-se o *software SisPav*, obtendo-se as tensões e deformações atuantes no pavimento. Com o auxílio do *software PCA-SE*, demonstrou-se que a vida útil estimada pela análise mecânica do pavimento está compatível com a vida útil de projeto, mesmo esta sendo baseada no método da FAA, fortemente relacionado ao ensaio de CBR. Enfim, trata-se de um estudo empírico-mecânico-funcional do pavimento recém-construído, servindo como base para a ratificação ou retificação dos parâmetros de projeto e construtivos, sendo, também, um exemplo de integração entre o Exército brasileiro, através de suas unidades de execução de obras e do Instituto Militar de Engenharia, e o Governo Federal, através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC).

**Palavras-chave:** Irregularidade Longitudinal; *Boeing Bump Index*; Módulo Resiliente; Resistência à Tração; Atrito.

### ABSTRACT

*This paper analyzes the functional and mechanistic aspects of the runway pavement which is under construction in the work of the Greater Natal New International Airport, located in the municipality of São Gonçalo do Amarante/RN. The materials used in the sub-base, base and asphalt concrete layers have been characterized and subjected to repeated loading tests to determine the resilient modulus, permanent deformation evaluation and tensile strength. Measurements of longitudinal roughness, obtained by RSP laser equipment, provided the basis for calculating the IRI (International Roughness Index) and the BBI (Boeing Bump Index), which allowed a classification according to the FAA recommendations. Also, microtexture and macrotexture tests were performed on the runway by British pendulum equipment and sand patch, respectively, allowing the calculation of the IFI (International Friction Index) and the consequent comparison of its functional classification according to ANAC and FAA standards. From the tests results, it was possible to carry out numerical simulation of the structural behavior using the SisPav software, obtaining the stresses and strains acting on the pavement. With the support of PCA-SE software, it was shown that the pavement lifetime estimated by mechanical analysis is compatible with the project's one, even though this is based on the FAA method, which is closely related to the CBR test. Anyway, this is an empirical-mechanistic-functional study of the newly built pavement, serving as a basis for ratification or rectification of the design and constructive parameters, as well as being an example of integration between the Brazilian Army, through its working execution units and the Military Institute of Engineering, and the Federal Government, through the Growth Acceleration Program.*

**Keywords:** Longitudinal Roughness, Boeing Bump Index, Resilient Modulus, Tensile Strength, Friction.

## 1 • INTRODUÇÃO

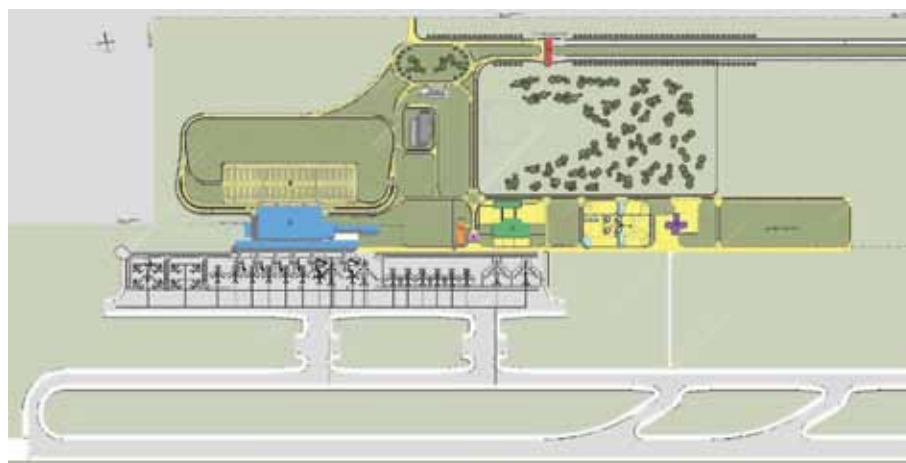
Natal, a capital do Estado do Rio Grande do Norte, é um importante polo atrativo de turismo do país, figurando entre os mais belos cartões postais do mundo. A seleção da cidade para sediar alguns jogos da Copa do Mundo de Futebol em 2014 reforçou a confiança local de prosperidade turística. Nessa ocasião, a “Cidade do Sol” contava apenas com o Aeroporto Internacional Augusto Severo (SBNT) para atender às suas demandas de transporte aéreo. A citada estrutura, que está localizada no município de Parnamirim, distante aproximadamente 18 km do centro da cidade de Natal, era responsável pelos tráfegos civil e militar da região. Esse aeroporto, construído durante a II Guerra Mundial como base de apoio às forças aliadas, abriga a Base Aérea de Natal (BANT), um dos principais centros de instrução de pilotos de combate da Força Aérea Brasileira (FAB), com previsão de 330 movimentos diários, compostos de uma frota de aeronaves do tipo Super Tucano AT-27, Xavante AT-26 e F5. A ampliação

das operações militares restringia a possibilidade de ampliação da infraestrutura para prover a crescente demanda da aviação civil.

Como parte da solução, no município de São Gonçalo do Amarante/RN (SGA), foi inaugurado um novo complexo aeroportuário projetado para o atendimento das crescentes demandas nacionais e internacionais. Trata-se do primeiro aeroporto de grande porte, no país, concedido à iniciativa privada para construção e operação. No entanto, para a viabilidade da concessão, fez-se necessária a edificação, por parte do Poder Público, de uma infraestrutura mínima, sendo essa realizada mediante Termo de Cooperação entre a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero) e o 1º Grupamento de Engenharia do Exército Brasileiro. Desde então, o 1º Batalhão de Engenharia de Construção (1º BEC) responsabilizou-se pela execução da pista de pouso, das pistas de taxiamento e do pátio de estacionamento de aeronaves, entre outros serviços. Na figura 1 tem-se uma vista aérea da obra em sua fase final de construção em 2012 e, na figura 2, mostra-se o projeto básico da obra.



**Figura 1 - Fotografia aérea da obra do Novo Complexo Aeroportuário da Grande Natal (2012)**



**Figura 2 - Projeto do Novo Aeroporto Internacional da Grande Natal** (Fonte: <http://www.portal2014.org.br>)



Aviation Administration (FAA) dos Estados Unidos da América, que, de maneira geral, são baseados na aeronave de projeto obtida em um pré-dimensionamento para o tráfego previsto, que venha a exigir maior espessura de pavimento. Tal metodologia de dimensionamento já se encontra cancelada e foi substituída pela Circular Consultiva AC 150/5320-6E, que considera mais os aspectos mecânicos das camadas do pavimento. O projeto de pavimentação previu a utilização do solo laterítico do local da obra como camada de sub-base do pavimento flexível em concreto asfáltico. O referido solo apresenta características geotécnicas que atendem a todos os requisitos de projeto. Para a camada de base do pavimento aeroportuário foi prevista uma camada de BGS – Brita graduada simples. Sobre a camada de BGS foram dimensionadas duas camadas em concreto asfáltico: a primeira constitui um binder e a final, uma capa. As camadas finais de aterro, sub-base e base foram compactadas com energia equivalente à do ensaio Proctor Modificado (100%).

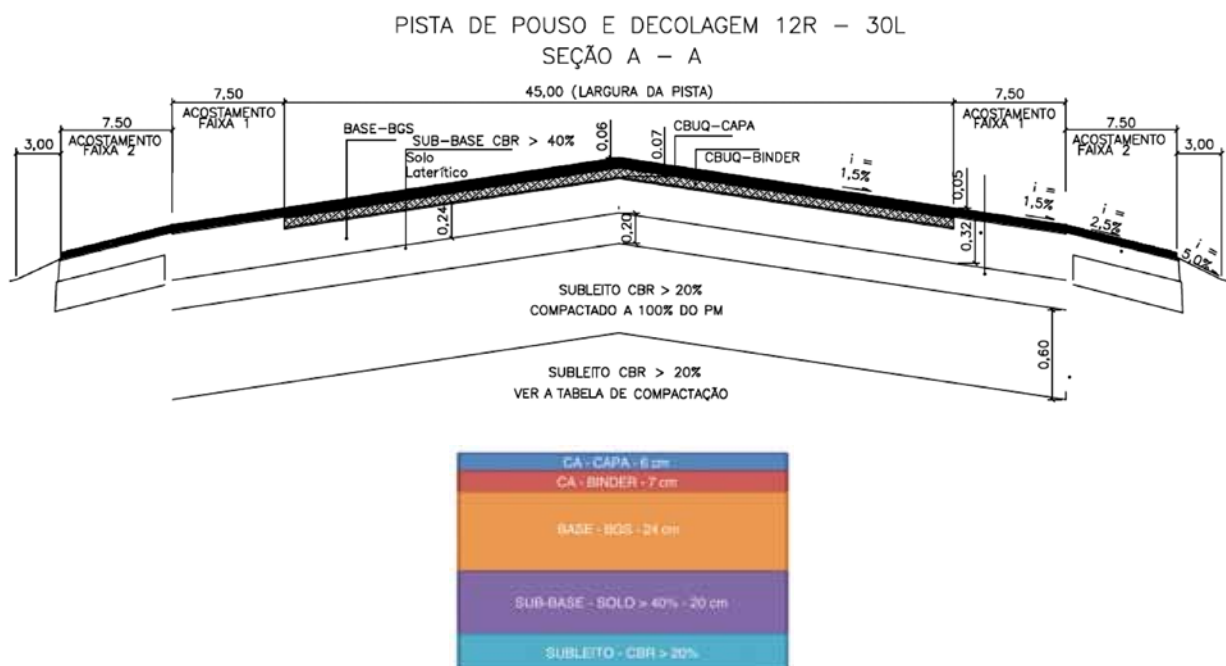
O tráfego de projeto do aeroporto da Grande Natal foi definido para um horizonte de 20 anos com base nos dados do ano de 2005, fornecidos pela Infraero, que são do Aeroporto Internacional Augusto Severo. Essa última instalação é a que serve atualmente à cidade de Natal e é compartilhada com uma Base da Força Aérea Brasileira. Neste cenário, o projetista incluiu ainda um tráfego simbólico de duas novas aeronaves: o Boeing B777-300 e o Airbus A380, que apresentam o trem de pouso mais complexo do que as demais aeronaves

previstas. O Airbus A380 é a aeronave do plano diretor do aeroporto que define a geometria da infraestrutura a ser implantada, enquanto que o Boeing B747-400 referenciou a estrutura do pavimento flexível. O pré-dimensionamento do pavimento flexível foi realizado com o Método do Corpo dos Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América, considerando o CBR do subleito em 20%. Os dados da aeronave de projeto constam da tabela 1.

**Tabela 1 - Dados da aeronave de projeto. Projeto do Aeroporto de SGA**

|  |                      |
|--|----------------------|
| Aeronave de Projeto  | Boeing B747-400      |
| Número e Tipo de trens de pouso                                | Quatro Duplos Tandem |
| Peso máximo de decolagem                                       | 397,80 toneladas     |
| Percentual do peso suportado pelos trens de pouso              | 95%                  |
| Pressão dos pneus  | 1.379 kPa            |
| Espaçamento entre rodas  | 1.117,6 mm           |
| Espaçamento ente tandem  | 1473,2 mm            |
| Carga por roda   | 236,2 kN             |
| Número de decolagens anuais considerando a aeronave de projeto | 12.809               |

A seção típica da pista de pouso e decolagem está ilustrada na figura 5.



**Figura 5 - Aspectos geométricos e estruturais de projeto para a pista de pouso e decolagem do Aeroporto de SGA (cotas em metros).**

## 2.2 • Materiais da pavimentação flexível

### 2.2.1 • Características geotécnicas da base, sub-base e subleito

A seguir, nas tabelas 2 e 3, são apresentadas as características geotécnicas e índices físicos dos materiais que compõem as camadas de subleito, sub-base e base, obtidas por Ramos (2012).

**Tabela 2 - Classificação MCT, USCS e TRB**

| Classificação | Solo Subleito            | Solo Sub-base                      | Brita BGS Base               |
|---------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| MCT           | Laterítico Arenoso (LA') | Laterítico Arenoso (LA')           | -                            |
| USCS          | Areia Siltosa (SM)       | Areia bem graduada siltosa (SW-ML) | Pedregulho bem graduado (GW) |
| TRB           | Solo Siltoso (A-4)       | Areia Argilosa A-2-6               | Pedra Britada A-1a           |

**Tabela 3 - Índices físicos dos materiais**

| Material         | LP | LL | IP (%) |
|------------------|----|----|--------|
| Solo do Subleito | 13 | 18 | 5      |
| Solo da Sub-base | 17 | NP | NP     |

Ambos os materiais do subleito e da sub-base mostraram-se siltosos, porém com IP baixo ou não plástico (NP), favorável à utilização em pavimentos. A classificação LA' para o subleito e sub-base constitui um fator favorável, porque, segundo Nogami e Villibor (1995), esta classificação é fortemente recomendada para compor bases de pavimentos rodoviários de baixo custo (econômicos). Não foram identificadas pelos autores as trincas típicas deste material durante a execução. Mesmo assim, por especificação de projeto, certamente fundamentada no ensaio de CBR, adotou-se, para camada de sub-base, uma mistura deste solo natural e pó de pedra, com porcentagem de vinte por cento (20%).

### 2.2.2 • Caracterização dos materiais do concreto asfáltico e sua dosagem

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) utilizado nas misturas asfálticas foi o CAP-50/70 originário da LUBNOR – Refinaria de Petróleo da

PETROBRAS S.A. em Fortaleza/CE – cujos ensaios de caracterização, de acordo com a norma DNIT 095/2006-EM (Cimentos asfálticos de petróleo – Especificação de material), são apresentados na tabela 4.

**Tabela 4 - Caracterização do ligante asfáltico**

| ENSAIO                            | UNIDADE       | NORMA          | RESULTADO | LIMITES         |
|-----------------------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------|
| Penetração 5s, 25°C)              | (100g, 0,1mm) | DNER ME 003/99 | 65        | 50-70           |
| Viscosidade Saybolt Furol         | A 135°C, mín  | DNER ME 004/94 | 180       | mín 141         |
|                                   | A 150°C, mín  |                | 104       | mín 50          |
|                                   | A 177°C, mín  |                | 40        | 30 - 150        |
| Espuma (Aquecimento a 177°C)      | -             | -              | NESP      | NESP            |
| Ponto de Fulgor                   | °C            | DNER ME 148/94 | >300°C    | > 235°C         |
| Índice de Suscetibilidade Térmica | -             | -              | - 0,90    | (-1,5) a (+0,7) |
| Densidade Real                    | g/cm³         | NBR MB 387/65  | 1,027     | -               |

O concreto asfáltico utilizado nas camadas de revestimento foi constituído de agregado graúdo (brita 25mm e brita 19mm), agregado miúdo (bica de 1/2" e areia artificial) e filer (cimento Portland tipo CP II Z 32 RS), originários de uma pedreira da região. Todos foram caracterizados segundo os ensaios previstos nas especificações da obra, cujos índices apresentaram-se satisfatoriamente, conforme a tabela 5.

**Tabela 5 - Caracterização dos agregados do concreto asfáltico**

| ENSAIO                             | NORMA          | AGREGADO         | RESULTADO    | LIMITES      |
|------------------------------------|----------------|------------------|--------------|--------------|
| Abrasão "Los Angeles"              | DNER ME 035/98 | Brita 25mm       | 29,30%       | ≤ 40%        |
|                                    |                | Brita 19mm       | 24,40%       |              |
| Adesividade (0,07% de Petrodope C) | DNER ME 078/94 | Brita 25mm       | SATISFATÓRIA | SATISFATÓRIA |
|                                    |                | Brita 19mm       |              |              |
| Índice de Forma                    | DNER ME 086/94 | Brita 25mm       | 0,72         | ≥ 0,50       |
|                                    |                | Brita 19mm       | 0,52         |              |
| Equivalente de Areia               | DNER ME 054/97 | Bica de 1/2"     | 72,84%       | ≥ 55%        |
|                                    |                | Areia Artificial | 88,57%       |              |
| Densidade Real                     | DNER ME 195/97 | Brita 25mm       | 2,659 g/cm³  | -            |
|                                    |                | Brita 19mm       | 2,662 g/cm³  |              |
|                                    |                | Bica de 1/2"     | 2,648 g/cm³  |              |
|                                    |                | Areia Artificial | 2,672 g/cm³  |              |
| Densidade Aparente                 | NBR 6458       | Brita 25mm       | 1,278 g/cm³  | -            |
|                                    |                | Brita 19mm       | 1,386 g/cm³  |              |
|                                    |                | Bica de 1/2"     | 1,655 g/cm³  |              |
|                                    |                | Areia Artificial | 1,509 g/cm³  |              |

Na dosagem das misturas, foi utilizado o método Marshall, seguindo o preconizado na especificação de projeto SGA. 01/800.82/01260/0, no Anexo 14 da ICAO, no Manual de procedimentos da INFRAERO – MP – 22.04 (MNT) e na Instrução de Aviação Civil – Normativa – IAC 4302. Dentre as nove faixas granulométricas possíveis, a especificação prevê o enquadramento nas faixas 2 e 7 para a camada superficial (capa) e para a camada de ligação (binder), respectivamente. Na tabela 6 é apresentado o enquadramento granulométrico dos agregados utilizados tanto na capa quanto no binder. Nas tabelas 7 e 8 são apresentados dados físicos e volumétricos destas misturas asfálticas. A figura 6 apresenta a curva granulométrica da camada superficial (capa), enquadrada na faixa 2.

**Tabela 6 - Composição granulométrica do binder e da capa**

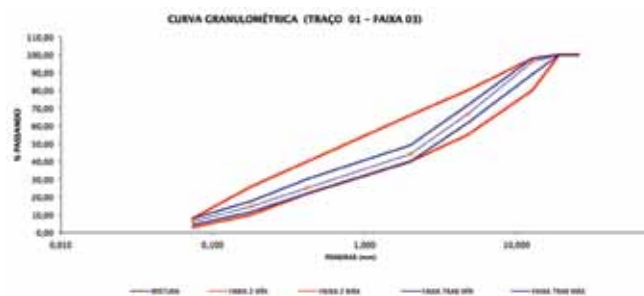
| Série ASTM | Abertura (mm) | % em massa, passando |                                       |         |                           |
|------------|---------------|----------------------|---------------------------------------|---------|---------------------------|
|            |               | Faixa 2              | Projeto de mistura Camada superficial | Faixa 7 | Projeto de mistura binder |
| 1"         | 25,4          | 100                  | 100                                   | 100     | 100                       |
| ¾"         | 19,1          | 80-98                | 94                                    | 72-96   | 86                        |
| ½"         | 12,7          | 68-93                | 73                                    | 61-89   | 73                        |
| Nº 4       | 4,8           | 45-75                | 53                                    | 38-66   | 49                        |
| Nº 10      | 2,0           | 32-62                | 35                                    | 25-50   | 33                        |
| Nº 40      | 0,42          | 16-37                | 20                                    | 12-28   | 17                        |
| Nº 80      | 0,18          | 10-24                | 12                                    | 7-18    | 11                        |
| Nº 200     | 0,075         | 3-8                  | 7                                     | 3-7     | 5                         |

**Tabela 7 - Traço de projeto do binder e da capa**

| Camada | Insumo     |            |            |                  |         |       |
|--------|------------|------------|------------|------------------|---------|-------|
|        | Brita 25mm | Brita 19mm | Brita 1/2" | Areia Artificial | Cimento | CAP   |
| Capa   | 14,00%     | 17,00%     | 67,00%     | -                | 2,00%   | 4,20% |
| Binder | 28,00%     | -          | 23,00%     | 48,00%           | 1,00%   | 3,50% |

**Tabela 8 - Características das misturas asfálticas da obra**

| Características                                  | Camada superficial (tipo "A") |                 | Binder (tipo "A")   |                 |
|--|-------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
|  | Especific. INFRAERO           | Valores obtidos | Especific. INFRAERO | Valores obtidos |
| Estabilidade mínima (kgf)                        | 816                           | 1.789           | 816                 | 1.549           |
| Fluência máxima (mm)                             | 4                             | 3,18            | 4                   | 3,23            |
| Vazios da mistura (Vv, %)                        | 3-5                           | 3,64            | 5-7                 | 5,56            |
| Relação betume-vazios                            | 70-80                         | 73              | 50-70               | 59,25           |
| Moldagem do corpo de prova (golpes em cada face) | 75                            | 75              | 75                  | 75              |



**Figura 6 - Curva granulométrica da camada superficial (capa)**

## 2.3 • Metodologia dos ensaios

### 2.3.1 • Irregularidade Longitudinal (IRI) e Boeing Bump Index (BBI)

O estudo da irregularidade longitudinal incluiu o levantamento de uma extensão total de 32,56 quilômetros, dividida em 11 faixas de 2,96 quilômetros, constituídas do eixo da pista mais cinco faixas construtivas de cada lado (direito e esquerdo).

O sistema de medida utilizado contém sensores sem contato do tipo laser. O RSP (*Road Surface Profiler*), Mark III Dynatest 5051, equipamento utilizado para esta avaliação, teve sua calibração efetuada antes dos ensaios, regida pelas especificações das normas

DNER-PRO 164/94 (Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento) e DNER-ES 173/86 (Método de nível e mira para calibração de sistemas medidores de irregularidade tipo resposta). O equipamento manteve-se, durante os ensaios, a uma velocidade de 40 km/h, realizando leituras a cada 0,102 metros ao longo de todo o trecho. Para uma melhor avaliação da irregularidade longitudinal, as medidas foram obtidas a cada 3 metros, sendo possível a coleta de maior número de pontos do que as avaliações normalmente utilizadas em rodovias (medidas a cada 200 metros). Os procedimentos estiveram alinhados com a norma DNER-PRO 182/94 (Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e maysmeter). Após o processamento das frequências de IRI (*International Roughness Index*) pelo equipamento, separou-se os dados em Lado Direito (faixas 1 a 5), Lado Esquerdo (Faixas 1 a 5) e Eixo Central. Após este levantamento categorizado, foram coletados dados para uma avaliação global da pista, permitindo a classificação segundo Pinto e Preussler (2002).

Por fim, a partir destes resultados dos perfis de irregularidade longitudinal, foram calculados os *Boeing Bump Index* (BBI) para cada faixa estudada, com seus respectivos *Bump Height*, *Bump Length* e os limites aceitáveis da norma FAA *Advisory Circular* n° 150/5380-9 (*Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness*). Calculado o BBI de cada evento, ele é considerado aceitável se for menor que 1,0, de acordo com a mesma norma citada.

### 2.3.2 • Ensaios de atrito

Os ensaios de mancha de areia (ASTM E-965) e de pêndulo britânico (ASTM E-303-93) foram realizados para determinar uma medição de atrito pelo método IFI (*International Friction Index*), regulado pelo procedimento da ASTM E-1960, que, apesar de não ser o método utilizado pelos órgãos internacionais aeronáuticos, consegue comparar as informações de aderência em uma escala idêntica em todos os países e contribuir para segurança (Wambold et al., 1995 *apud* Aps, 2006). Os ensaios foram realizados em dezesseis estacas nas faixas imediatamente laterais ao eixo, alternando-se os lados esquerdo e direito a cada cinco estacas.

### 2.3.3 • Ensaios mecânicos e convencionais nos solos e britas

Os ensaios de módulo resiliente (MR) dos materiais das camadas de subleito, sub-base e base do pavimento flexível do aeroporto foram realizados pelo laboratório do IME, compactados com energia equivalente à do ensaio Proctor Modificado e na umidade ótima de proje-

to, utilizando-se corpos-de-prova de dimensões 10 x 20 (cm x cm). Para o material de base (BGS) foi utilizado o molde de dimensões 15 x 30 (cm x cm) tendo em vista que, para a sua granulometria, não era possível a execução sem o escalpo para o CP de dimensões 10 x 20 (cm x cm).

Os ensaios de deformação permanente foram conduzidos em corpos-de-prova moldados com energia equivalente ao ensaio Proctor Modificado somente para os solos do subleito e sub-base. Seguiu-se o procedimento da Rede Temática de Asfalto, no que diz respeito ao processo de preparação da amostra e realização do ensaio propriamente dito, porém foi utilizado apenas um estado de tensões para cada material ( $\sigma_1 = \sigma_3 = 70$  kPa). A ideia da execução do projeto foi somente pesquisar a tendência à deformação permanente dos materiais, escolhendo um par de tensões baixo.

Os ensaios de CBR foram realizados pelo laboratório de solos do 1° BEC, em corpos-de-prova de trechos diferentes das amostras utilizadas para o restante dos ensaios, segundo a norma DIRENG ME - 01/87, que prevê o ensaio dos materiais em três níveis de energia de compactação (55, 26 e 12 golpes), onde o CBR final é aquele que equivale ao valor correspondente a 95% da massa específica aparente máxima seca, obtida no ensaio de compactação AASHTO modificado.

### 2.3.4 • Ensaios mecânicos no concreto asfáltico

O Laboratório de Ensaios Técnicos do 1° BEC cedeu para o presente estudo cinco corpos-de-prova extraídos da pista de pouso e decolagem (PPD) e seis corpos-de-prova moldados durante a execução da capa da PPD. Os corpos de prova de concreto asfáltico (CA) convencionais, extraídos da pista, necessitaram ser cortados para atingir dimensões tais que se pudessem executar os ensaios de compressão diametral estática (Ensaio Brasileiro) e de compressão diametral com cargas repetidas, obtendo-se, assim, os respectivos valores de resistência à tração indireta (RT) e de módulo resiliente (MR), os quais foram realizados no laboratório da COPPE/UFRJ.

### 2.3.5 • Análises numéricas

De posse dos dados dimensionados no projeto de pavimentação do aeroporto e dos resultados dos ensaios mecânicos realizados, foi utilizado o suplemento *EFin3D* do *software SisPav*, elaborado por Franco (2007) para o cálculo das tensões e deformações atuantes pela passagem da carga de roda da aeronave de projeto (B747-400). Para isso, o eixo simples composto pelo programa foi editado com os dados da aeronave de projeto já apresentados. As tensões calcula-

das na linha representativa do eixo da roda foram utilizadas para o cálculo dos módulos resilientes das camadas, na altura média das respectivas espessuras.

Com os valores de módulo resiliente calculados, oriundo da passagem da carga de roda da aeronave de projeto, foi utilizado o *software PCASE*, do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América, que possibilita ao usuário a inserção dos valores de MR de cada camada, ao contrário do *software FAARFIELD*, da FAA. Porém, o *PCASE* ainda possui a limitação de não permitir um MR do subleito superior a 344,7 MPa. Assim, um estudo adicional da influência desse fator na vida útil do pavimento foi elaborado, permitindo a extrapolação do valor real de MR do subleito.

### 3 • RESULTADOS

Serão apresentados os resultados dos ensaios de irregularidade longitudinal, de atrito (macrotextura e microtextura) e dos ensaios convencionais e mecânicos.

#### 3.1 • Irregularidade Longitudinal (IRI) e Boeing Bump Index (BBI)

Nascimento et al. (2012) desenvolveram os ensaios de irregularidade longitudinal na obra. De posse dos resultados processados pelo equipamento RSP, a análise da pista de pouso e decolagem apresentou 74,51% dos 10.844 pontos levantados classificados como “Excelente” e “Bom”, de acordo com a figura 7.

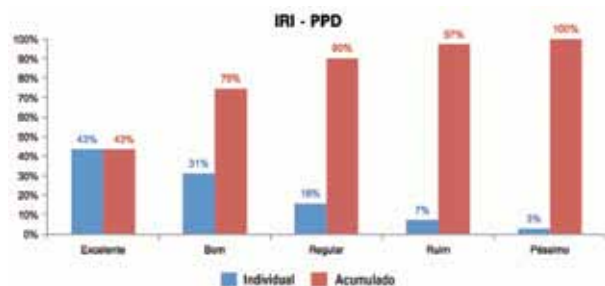


Figura 7 - Resultados de IRI para a PPD do Aeroporto de SGA (Dezembro/2011)

Após o processamento dos resultados de IRI apresentados, foi possível calcular os valores de *Bump Height* e *Bump Length* para a determinação dos *Boeing Bump Index* (BBI) de cada faixa. Para efeito de estudo, serão apresentados os valores consolidados de todas as faixas estudadas, tornando palpável o resultado da pista de pouso e decolagem como um todo. Evidencia-se 96,94% dos 106.531 cálculos

de BBI dentro da faixa aceitável da norma FAA AC nº 150/5380-9, ou seja, menor que 1,0, conforme demonstra a figura 8.

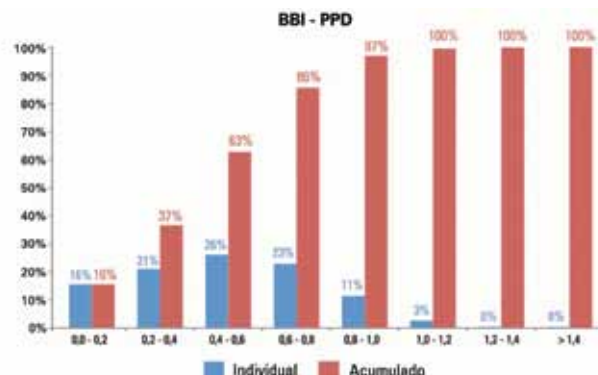


Figura 8 - Resultados de BBI para a PPD (Dezembro/2011)

#### 3.2 • Ensaios de atrito

Ramos (2012) realizou os ensaios de mancha de areia e de pêndulo britânico na pista de pouso e decolagem. O traço foi mantido o mesmo durante toda a pista, que não havia entrado em operação até data de execução dos ensaios. Dessa forma, pode-se verificar, pela tabela 9, que os resultados de ambos os ensaios são muito próximos, podendo-se, desta forma, utilizar um dado médio para toda a pista, de ambos os ensaios.

Tabela 9 - Resultado dos ensaios de pêndulo britânico e de mancha de areia da PPD

| Estaca | Temp. Pista (°C) | Faixa | BPN <sub>rC</sub> | BPN <sub>20</sub> (corrigido) | Macrotextura (h <sub>m</sub> ) |
|--------|------------------|-------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 8      | 48               | 1 LD  | 83,0              | 86                            | 0,77                           |
| 13     | 45               | 1 LE  | 73,8              | 76,8                          | 0,73                           |
| 18     | 48               | 1 LD  | 85,2              | 88,2                          | 0,78                           |
| 23     | 47               | 1 LE  | 81,4              | 84,4                          | 0,78                           |
| 28     | 46               | 1 LE  | 77,0              | 80                            | 0,78                           |
| 33     | 45               | 1 LD  | 70,4              | 73,4                          | 0,76                           |
| 38     | 44               | 1 LE  | 71,4              | 74,4                          | 0,77                           |
| 43     | 43               | 1 LD  | 77,8              | 80,8                          | 0,78                           |
| 48     | 42               | 1 LE  | 77,0              | 80                            | 0,77                           |
| 53     | 41               | 1 LD  | 78,0              | 81                            | 0,76                           |
| 58     | 40               | 1 LD  | 76,8              | 79,8                          | 0,77                           |
| 63     | 38               | 1 LE  | 75,4              | 77,4                          | 0,72                           |
| 68     | 40               | 1 LE  | 70,4              | 73,4                          | 0,75                           |
| 73     | 38               | 1 LE  | 75,0              | 77                            | 0,78                           |
| 78     | 37               | 1 LE  | 75,2              | 77,2                          | 0,77                           |
| 83     | 37               | 2 LE  | 77,4              | 79,4                          | 0,72                           |
| Média  |                  |       | 76,6              | 79,3                          | 0,76                           |
| DP     |                  |       | 4,2               | 4,240                         | 0,02                           |

Com base na Resolução Nº 236/2012 da ANAC e ABPv (1999) *apud* Bernucci et al. (2007), pode-se classificar a PPD do Aeroporto de São Gonçalo do Amarante-RN, com microtextura muito rugosa e de macrotextura média. De acordo com o mesmo documento da ANAC, pistas novas devem possuir o valor da macrotextura mínimo de 0,6mm. Desta forma, verifica-se que o valor da macrotextura de 0,76mm é o suficiente para o citado órgão regulador.

Após determinação dos parâmetros de textura e atrito da superfície da pista de pouso e decolagem do Aeroporto da Grande Natal, efetuou-se o procedimento da ASTM E-1960 com o cálculo das constantes de velocidade “Sp” e do Número de Atrito “F<sub>60</sub>”, conforme observa-se na tabela 10.

**Tabela 10 - Valores de Sp e de F60 para a PPD**

| Local | HS médio (mm) | BPN médio | Sp   | FR <sub>60</sub> | F <sub>60</sub> |
|-------|---------------|-----------|------|------------------|-----------------|
| PPD   | 0,76          | 76,6      | 74,7 | 39,2             | 0,38            |

Uma vez que a ANAC não considera o equipamento do pêndulo britânico como referência para se classificar uma PPD, foi calculado o valor de F<sub>65</sub> e converteu-se os dados para os equipamentos *Griptester* e *Skiddometer* na velocidade de 65 km/h. Os resultados encontram-se expostos na tabela 11.

**Tabela 11 - Classificação da PPD utilizando-se o método IFI e coeficientes de atrito mínimo convertidos para os equipamentos *Griptester* e *Skiddometer***

| Local | Sp   | F <sub>65</sub> | Equipamento | Nível Manut.* | Nível Aceitável* | Classificação  |
|-------|------|-----------------|-------------|---------------|------------------|--|
| PPD   | 74,7 | 0,36            | Griptester  | 0,31          | 0,26             | Pista com coeficiente de atrito acima do nível de manutenção |
|       |      |                 | Skiddometer | 0,29          | 0,24             |  |

\* Valores previstos na Resolução Nº 236/2012 – ANAC convertidos para o método IFI a 65 km/h

A mistura da pista de pouso e decolagem do Aeroporto de São Gonçalo do Amarante obteve um índice de coeficiente de atrito ligeiramente acima do nível de manutenção, apesar de ser uma pista nova que, ainda, não havia entrado em operação. Portanto, com base na regulação nacional em vigor e no desempenho apresentado, a PPD recém-construída poderia ser aberta ao tráfego aéreo (Inciso I do Art. 7º da Resolução Nº 236/2012 – ANAC), sem a necessidade de qualquer intervenção nesse sentido.

## 3.3 • Ensaios mecânicos e convencionais nos solos e britas

Os ensaios de CBR realizados nos solos e britas constituintes das camadas do pavimento flexível do aeroporto estão listados na tabela 12.

**Tabela 12 - Resultados dos ensaios de CBR executados pelo 1º BEC**

| Ensaio                        | Camada do pavimento |          |       |
|-------------------------------|---------------------|----------|-------|
|                               | Subleito            | Sub-base | Base  |
| CBR - 12 golpes (%)           | 28                  | 39       | 37    |
| CBR - 26 golpes (%)           | 68                  | 112      | 62    |
| CBR - 55 golpes (%)           | 112                 | 143      | 204   |
| CBR Final (%)                 | 47                  | 82       | 130   |
| Dens. Max. Apar. Seca (g/cm³) | 2,170               | 2,160    | 2,220 |
| Expansão (%)                  | 0,05                | 0,02     | 0,00  |
| Umidade Ótima (%)             | 6,6                 | 6,0      | 6,4   |

O CBR de 47% apresentado pelo subleito representa um solo de excelente qualidade, porém a norma FAA AC-150/5320-6D define que a espessura máxima de pavimento é definida pelo CBR de 20%. Essa é a explicação para a adoção do citado CBR no dimensionamento do pavimento. Não foram apresentados ensaios do CBR do solo da sub-base sem a mistura com 20% de pedrisco; os resultados dos ensaios apresentados são da mistura com o pó de pedra (pedrisco).

Para modelagem da variação do MR com o estado de tensão, Ramos (2012) utilizou três relações, denominadas equações 1, 2 e 3. A calibração destes modelos é apresentada em Medina e Motta (2005).

$$MR = k_1 \cdot \sigma_d^{k_2} \quad (1)$$

$$MR = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \quad (2)$$

$$MR = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \cdot \sigma_d^{k_3} \quad (3)$$

onde:

MR: módulo de resiliência (MPa);

$\sigma_3$ : tensão confinante (MPa);

$\sigma_d$ : tensão desvio (MPa);

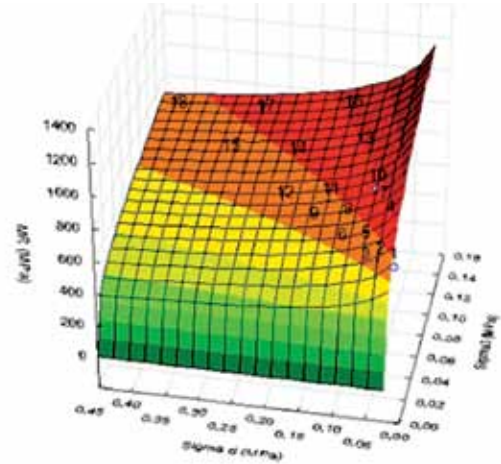
$k_1, k_2, k_3$ : parâmetros de regressão.

A tabela 13 apresenta o resumo dos parâmetros de regressão e coeficientes de determinação para as três equações apresentadas por Ramos (2012), muito utilizadas no país, para relações de MR com os estados de tensão. Nota-se que os parâmetros da equação (3) apresentam os valores mais elevados de R<sup>2</sup>, indicando que esta equação é a mais adequada para a descrição do comportamento resiliente dos materiais, principalmente no que se refere à simulação numérica.

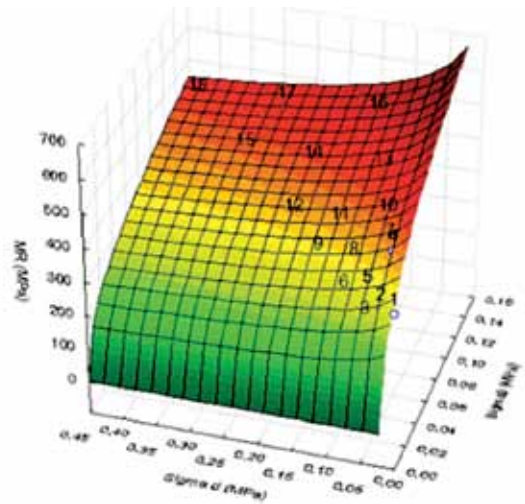
**Tabela 13 - Parâmetros de regressão e coeficientes de determinação para os três tipos de equações utilizadas**

| Camada do Pavimento | Modelo (Equação) | k <sub>1</sub> | k <sub>2</sub> | k <sub>3</sub> | R <sup>2</sup> |
|---------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Subleito            | 1                | 664,21         | 0,016          | -              | 0,02           |
|                     | 2                | 828,8          | 0,0644         | -              | 0,17           |
|                     | 3                | 922,8          | 0,24           | -0,18          | 0,89           |
| Sub-base            | 1                | 477,68         | 0,1231         | -              | 0,24           |
|                     | 2                | 770,96         | 0,2648         | -              | 0,73           |
|                     | 3                | 834,8          | 0,4            | -0,14          | 0,92           |
| Base                | 1                | 481,69         | 0,4512         | -              | 0,67           |
|                     | 2                | 1070,7         | 0,6377         | -              | 0,95           |
|                     | 3                | 1140,7         | 0,56           | -0,13          | 0,99           |

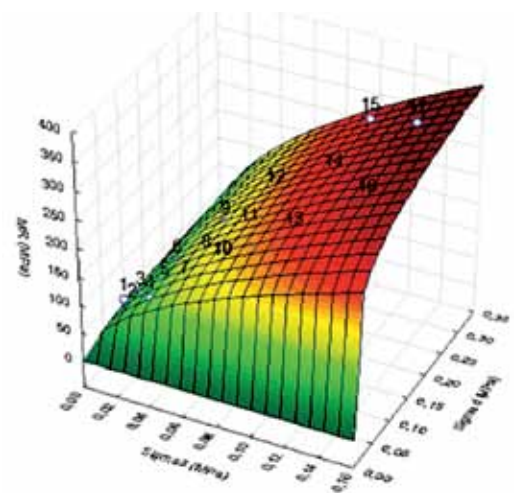
A partir das figuras 9, 10 e 11, pode-se analisar o efeito simultâneo da tensão desvio e confinante, do subleito, da sub-base e da base. O elevado módulo resiliente do solo do subleito pode ser explicado parcialmente pela sua classificação MCT (LA), mas provavelmente a umidade ótima de projeto não é exatamente a umidade ótima para a amostra de solo ensaiado em laboratório. Isto pode ter acontecido em função das mudanças de características físicas ao longo do perfil de ocorrência do solo de subleito.



**Figura 9 - Módulo Resiliente do Subleito. Energia Proctor Modificada. Modelo Combinado**

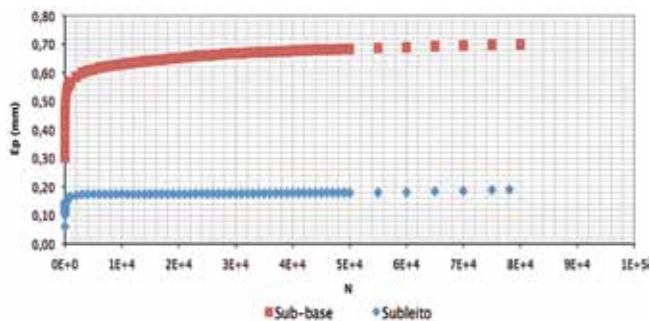


**Figura 10 – Módulo Resiliente da Sub-base. Energia Proctor Modificada. Modelo Combinado**



**Figura 11 – Módulo Resiliente da Base. Energia Proctor Modificada. Modelo Combinado**

Na figura 12 são apresentados os resultados de ensaios de deformação permanente, conduzidos por Ramos (2012) para os materiais de subleito e sub-base, considerando condições análogas de preparo das amostras utilizadas para o ensaio de módulo resiliente.



**Figura 12 - Resultado do ensaio de Deformação Permanente**

Somente foram executados dois ensaios, tendo sido adotado o mesmo estado de tensões ( $\sigma_1 = 70\text{kPa}$  e  $\sigma_3 = 70\text{ kPa}$ ) em ambos. Neste caso, o objetivo principal foi a obtenção de uma ideia geral da tendência à deformação permanente que os materiais apresentam. Na análise deste tipo de ensaio, dois aspectos são os mais importantes. O primeiro se refere ao valor total da deformação observado no ensaio, conduzido em corpos-de-prova (CP) de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, tendo sido constatado, em ambos os casos, valor de deformação permanente total inferior a 1,00 mm, considerando-se 80.000 ciclos de aplicação de carga. Este valor é muito baixo, indicando que os materiais tendem a apresentar bom comportamento quanto à deformação permanente, muito embora mais ensaios com diferentes pares de tensões devam ser realizados. Outro aspecto se refere à forma da curva  $\epsilon_p \times N$  que os materiais apresentam, conforme constatado na figura 12. Para o material do subleito, existe uma nítida tendência à acomodação da deformação permanente, caracterizada pelo fato da curva tornar-se praticamente paralela ao eixo horizontal, à medida que se aumenta o número de ciclos de aplicação de carga. Este fato é favorável ao pavimento, conforme descrito por Guimarães (2009). No caso do material de sub-base, a curva mostrou-se ligeiramente mais inclinada, indicando que a taxa de acréscimo da deformação permanente é não nula, embora pequena, mesmo para elevados valores de N.

## 3.4 • Ensaios mecânicos no concreto asfáltico

Os resultados dos ensaios de módulo resiliente e resistência à tração por compressão diametral foram executados por Ramos (2012) e estão listados na tabela 14.

**Tabela 14 - Ensaios de MR e RT nos corpos de prova coletados no Aeroporto de Natal/RN**

| Ensaio   | Corpo de Prova | MR (MPa)  | Desvio-padrão | RT (MPa) | MR/RT     |
|--|----------------|-----------|---------------|----------|-----------|
| Corpos de prova moldados no laboratório do canteiro de obras | 1              | 11.472,60 | 4.606,20      | 1,24     | 9.234,40  |
|  | 2              | 6.941,00  | 1.574,10      | 1,21     | 5.757,80  |
|  | 3              | 6.043,00  | 261,8         | 1,27     | 4.763,80  |
|  | 4              | 6.351,00  | 675,3         | 1,38     | 4.586,70  |
|  | 5              | 5.117,30  | 179,1         | 1,16     | 4.398,10  |
|  | 6              | 7.918,30  | 3.475,30      | 1,21     | 6.558,10  |
|  | Média          | 7.307,20  | 1.795,30      | 1,25     | 5.883,20  |
|  | Média (IC 95%) | 6.813,33  | -             | -        | -         |
| Corpos de prova extraídos da pista                           | 7              | 6.959,60  | 4.134,30      | 1,34     | 5.206,60  |
|  | 8              | 8.105,30  | 835,5         | 0,96     | 8.458,70  |
|  | 9              | 13.514,60 | 2.108,70      | 0,81     | 16.656,90 |
|  | 10             | 13.461,00 | 703,9         | 1,14     | 11.825,20 |
|  | 11             | 9.608,60  | 541,5         | 1,05     | 9.159,20  |
|  | Média          | 10.329,80 | 1.664,80      | 1,06     | 10.261,30 |
|  | Média (IC 95%) | 9.608,60  | -             | -        | -         |

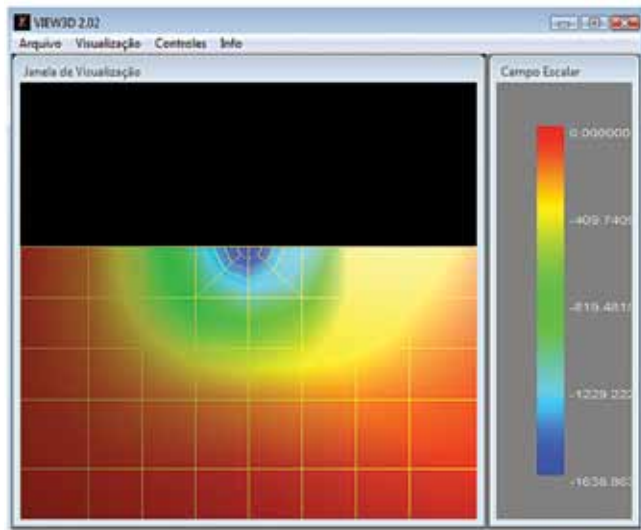
Notam-se valores elevados dos módulos e das razões MR/RT. Isto pode ser creditado ao enrijecimento do ligante pelo seu envelhecimento ou ao aquecimento demasiado do ligante durante o processo de usinagem. Há, também, a influência do intervalo de tempo da moldagem ou extração dos corpos-de-prova até o ensaio, que foi de aproximadamente seis meses. Nos corpos-de-prova moldados no laboratório do canteiro de obras, apenas uma amostra (11.472,6 MPa) destoou das demais, que variaram entre 5.117,3 MPa e 7.918,3 MPa. Estes valores são elevados, porém compatíveis com o esperado para concreto asfáltico, tratando-se de um indicativo consistente da qualidade da obra. No caso dos corpos-de-prova extraídos da pista, os valores de MR obtidos foram mais elevados, fato que pode ser explicado pela ampla exposição à luz, e outros fatores já comentados. Em ambos os casos, foi calculada a média dos corpos de prova pertencentes ao intervalo de confiança de 95% na distribuição T-Student, visando à eliminação de valores extremos.

### 3.5 • Simulação da vida útil do pavimento

Com o carregamento do eixo simples editado com os valores característicos da aeronave de projeto e das equações de módulo resiliente das camadas, o *EFin3D (SisPav)* retornou os valores das tensões verticais e horizontais atuantes abaixo da carga de roda, na altura média das camadas do pavimento. Conforme a tabela 15, foi possível o cálculo dos valores de MR para esse estado de tensão atuante nas camadas. A malha de elementos finitos gerado pelo programa, ilustrada na figura 13, permite uma visualização das deformações a que o pavimento estará submetido.

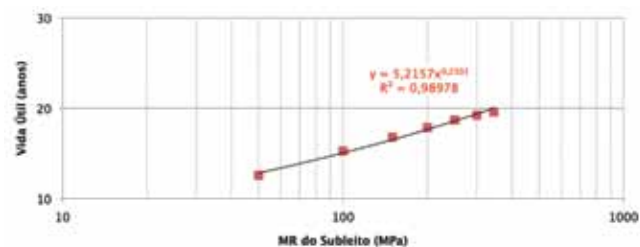
**Tabela 15 - Valores das tensões atuantes calculadas pelo SisPav nas alturas médias das camadas do pavimento e dos respectivos módulos resilientes**

| CAMADA   | $\sigma_z$<br>(MPa) | $\sigma_x$<br>(MPa) | $\sigma_d$<br>(MPa) | MR<br>(MPa) |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| Subleito | -0,13               | -0,04               | -0,09               | 662,77      |
| Sub-base | -0,15               | -0,05               | -0,10               | 347,51      |
| BGS      | -0,20               | -0,06               | -0,13               | 319,09      |
| Binder   | -0,07               | 2,25                | 2,31                | 4.359,41    |
| Capa     | -0,96               | 0,08                | -1,04               | 6.813,33    |



**Figura 13 - Deformações calculadas pelo SisPav atuantes no pavimento devido à passagem da carga de roda da aeronave de projeto (valores em *microstrains*)**

Em seguida, com os valores de MR calculados anteriormente, o *software PCASE* foi utilizado para a simulação da vida útil do pavimento. Porém, conforme já mencionado, o programa não permite um MR do subleito superior a 344,7 MPa. Para contornar essa situação, foram desenvolvidas sete simulações de vida útil com os seguintes valores de MR do subleito: 50, 100, 150, 200, 250, 300 e 344,7 MPa. A vida útil do pavimento obteve uma boa correlação com a variável “MR do subleito” em um modelo exponencial, conforme ilustrado na figura 14.



**Figura 14 - Correlação entre a vida útil do pavimento e o MR do subleito, conforme modelos de desempenho do programa PCASE.**

Portanto, para o valor de MR do subleito de 662,77 MPa calculado anteriormente, é possível extrapolar a correlação encontrada, o que resulta em uma vida útil estimada do pavimento de 23,3 anos.

## 5 • CONCLUSÕES

De uma maneira geral, foram apresentados os resultados dos ensaios funcionais e mecânicos, realizados em todas as camadas da pavimentação flexível do Novo Aeroporto Internacional da Grande Natal, que apresentaram respostas compatíveis às exigências nacionais e internacionais.

Quanto à classificação IRI, a PPD pode ser considerada de excelente a boa e com valores aceitáveis quanto ao BBI. Os parâmetros de atrito observados ficaram acima do nível de manutenção previsto pela ANAC, porém inferiores ao esperado para uma pista nova, embora os valores de microtextura e macrotextura estejam compatíveis para um concreto asfáltico denso e de granulometria contínua. Estudos de viabilidade tratando sobre a adoção de outros tipos de revestimentos asfálticos de granulometria descontínua, como o SMA (*Stone Matrix Asphalt*), poderiam ser considerados nos futuros projetos de pavimentação aeroportuária (vide Ramos, 2012).

Destaca-se a utilização de material fino laterítico, abundante na região da obra e comumente rejeitado pelas normas internacionais,

para a construção das camadas inferiores do pavimento, que apresenta baixos índices de plasticidade e expansibilidade, com elevado módulo resiliente (compatível com as rigidezes observadas das demais camadas), e bom comportamento quanto à deformação permanente. Tais materiais poderiam ser mais bem explorados por ocasião da investigação das jazidas na fase de projeto, priorizando a utilização do material local, que normalmente é abundante, barato e mecanicamente eficiente.

Com os dados de espessura das camadas, aeronave de projeto e clima da região previstos no projeto, juntamente com os valores de MR oriundos dos ensaios conduzidos nesse estudo, viabilizou-se um estudo numérico elaborado em três fases. Primeiramente, com o *software SisPav*, houve a obtenção das tensões atuantes nas espessuras médias de cada uma das camadas; tais tensões possibilitaram o cálculo do MR através da equação 3 e dos parâmetros da tabela 13. Em uma segunda análise, utilizou-se o *software PCASE* para a determinação da vida útil do pavimento com diferentes valores de MR do subleito, já que o programa não comporta um valor tão elevado para essa camada. Por fim, estudou-se a influência do MR do subleito na vida útil do pavimento, extrapolando-se, na correlação encontrada, o valor real de MR do subleito. Então, por essa simulação numérica, obteve-se uma vida útil estimada do pavimento de 23,3 anos, superando em 16,5% a vida útil de projeto. Se fosse utilizado o valor de 206,8 MPa (30.000 psi) como MR do subleito normalmente adotado pela FAA (CBR = 20% e  $MR_{psi} = 1.500 \times CBR$ ), a vida útil estimada pelo *PCASE* para o pavimento seria de 17,8 anos, inferior aos 20 anos esperados pela Circular Consultiva AC 150/5320-6D da FAA, ou seja, nesse caso específico, a vida de projeto do pavimento só é atingida devido ao alto valor encontrado de MR do subleito, que seria minorado pela antiga normatização citada e conduziria normalmente à adoção de maiores espessuras das camadas do pavimento.

## Referências Bibliográficas

- Bernucci, L. B. et al. (2007) *Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras. ABEDA, Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (1986) *Método de nível e mira para calibração de sistemas medidores de irregularidade tipo resposta*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Especificação de Serviço DNER-ES 173/86.
- DNER (1994) *Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Procedimento DNER-PRO 164/94.
- DNER (1994) *Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e maysmeter*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Procedimento DNER-PRO 182/94.
- DNIT (2006) *Cimentos asfálticos de petróleo*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Especificação de material DNIT-EM 095/2006.
- FAA (2009) *Airport Pavement Design and Evaluation*. Federal Aviation Administration, Advisory Circular nº 150/5320-6E.
- FAA (2009) *Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness*. Federal Aviation Administration, Advisory Circular nº 150/5380-9.
- Franco, F. A. C. P. (2007) *Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav*. Tese de doutorado, Programa de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Guimarães, A. C. R. (2009) *Um Método Mecânico-Empírico para a Previsão da Deformação Permanente em Solos Tropicais Constituintes de Pavimentos*. Tese de Doutorado do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, Junho de 2008.
- IDEMA/RN (1999) *Informativo municipal*. Município de São Gonçalo do Amarante. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.
- Ksaibati, K. et al. (1998) *A comparison of roughness measurements from laser and ultrasonic road profilers*, Florida, FL, Estados Unidos da América.
- Medina, J.; Motta L. M. G. (2005) *Mecânica dos Pavimentos*. 2ª Edição, Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ.
- Nascimento, F. A. C.; Leitão, B. B. M.; Toledo, A. L. L. et al. (2012) *Avaliação da irregularidade longitudinal aplicada à execução da pavimentação da pista de pouso e decolagem da construção do Novo Aeroporto Internacional da Grande Natal*. Anais da 41ª Reunião Anual de Pavimentação, Fortaleza, CE.
- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1995) *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo.
- PETROBRAS. (2010) *Manual de execução de trechos monitorados da Rede Temática de Asfalto*. Rio de Janeiro, RJ.
- Pinto, S.; Preussler, E. (2002) *Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis*. 2ª Edição, Copiarte, Rio de Janeiro, RJ.
- Ramos, K. O. (2012) *Estudo sobre mistura asfáltica tipo Stone Matrix Asphalt (SMA) para pavimento aeroportuário*. Dissertação de Mestrado do curso de pós-graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- Wambold, J. C. C. E. (1995) *Experiment to compare and Harmonize Texture and skid Resistance Measurements*. Permanent International Association of Road Congresses PIARC, Paris, France. ⬇



# ÍNDICE DE CUMPRIMENTO DE CRONOGRAMA: UMA PROPOSTA GRÁFICA

*Roberto de Vasconcellos Pereira  
Guilherme Costa Fontenele*

[roberto.vasconcellos@pmttoolbox.com.br](mailto:roberto.vasconcellos@pmttoolbox.com.br)  
[guilherme.fontenele@pmttoolbox.com.br](mailto:guilherme.fontenele@pmttoolbox.com.br)

### RESUMO

Este texto propõe o uso de um instrumento inovador, voltado para o gerenciamento de projetos e de programas. Trata-se de uma ferramenta gráfica, que pode ser vista como uma evolução do diagrama de Gantt. Sugere-se a incorporação, neste tipo de gráfico, de um indicador que pode ter uma enorme utilidade para gestores em geral. Tal indicador é conhecido atualmente como “Índice de Desempenho de Prazo” e está presente na metodologia chamada de “Gerenciamento de Valor Agregado - GVA” (ou EVM em inglês). Busca-se, com essa proposta, o preenchimento de uma lacuna que se observa no monitoramento de cronogramas de projetos e de programas.

O uso de cores, um dos melhores recursos da comunicação gráfica, é sugerido nesta ferramenta para evidenciar o bom ou mau desempenho no cumprimento de um cronograma, nas atividades de implantação de um empreendimento ou de um programa. Adicionalmente, a utilização de planilhas eletrônicas é altamente recomendável para viabilizar a aplicação desta ferramenta.

Este texto foi redigido preferencialmente para pessoas que já tenham alguma familiaridade com os diagramas de Gantt e com o Gerenciamento de Valor Agregado. Entretanto, essa não é uma condição essencial para a sua leitura.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de projetos, Índice de Cumprimento de Cronograma, Diagrama de Cumprimento de Cronograma, Diagrama de Gantt, Análise de Valor Agregado.

### ABSTRACT

*This paper proposes the use of an innovative instrument designed for management of projects and programs. It is a graphical tool which can be seen as an evolution of the Gantt chart, with the incorporation of an indicator that can be extremely useful to managers in general. This indicator is currently known as “Schedule Performance Index” and is part of the methodology called “Earned Value Management” - EVM. The objective of this proposal is to fill a gap that is observed in monitoring project and programs schedules.*

*The use of colors, one of the best features of the graphical communication, is proposed in this tool to highlight the good or bad performance on a schedule, in the implementation of a project or program. Additionally, the use of spreadsheets is highly recommended to enable the application of this tool.*

*This text was drafted primarily to people who already have some familiarity with Gantt charts and Earned Value Management. However, this is not an essential condition for reading.*

**Keywords:** Project Management, Schedule Accomplishment Index, Schedule Accomplishment Chart, Gantt Chart, Earned Value Analysis.

---

É importante mencionar que, neste texto, a palavra “projeto” é usada no sentido que ela tem na língua inglesa, ou seja, de um empreendimento qualquer com começo, meio e fim. Assim, ela engloba, mas não se limita ao termo “projeto” utilizado na engenharia nacional, que é chamado de “design” na língua inglesa.

## INTRODUÇÃO

Um dos temas que mais ocupa as mentes dos gestores de projetos, de uma maneira geral, é o cumprimento de cronogramas. Neste sentido, o que aqueles profissionais querem saber é, essencialmente, se os serviços ou produtos realizados até uma certa data correspondem ao que havia sido programado no cronograma em vigência.

Provavelmente, a comparação mais adequada entre o que foi realizado e o que foi programado, para um mesmo período, se faça através do uso dos valores monetários dos serviços ou produtos monitorados. A conversão de quantidades produzidas em valores monetários é geralmente muito apropriada, pois assim se terá pesos relativos de tais quantidades no empreendimento. Os valores efetivamente produzidos ou entregues são normalmente chamados, na área gerencial, de **valores agregados**.

Dentro dessa linha de pensamento, o indicador de cumprimento de cronograma mais natural é aquele obtido pela relação entre o valor agregado e o correspondente valor orçado, até um determinado momento, expresso em porcentual um do outro.

Na linguagem já praticada na metodologia internacional conhecida como Gerenciamento de Valor Agregado, este indicador é chamado de “Índice de Desempenho de Prazo – IDP” (ou “*Schedule Performance Index – SPI*”, em inglês). Este indicador nada mais é que a relação entre o que foi feito e o que deveria ter sido feito até um determinado momento selecionado.

Observa-se, no entanto, que nas práticas atuais muitos gestores costumam usar apenas o diagrama de Gantt ou as chamadas “curvas de gerenciamento de valor agregado”, como ferramentas gráficas de controle de prazos. Todavia, nenhuma delas apresenta o IDP diretamente.

## GANTT

O diagrama de Gantt é uma ferramenta tão onipresente nos gerenciamentos de projetos, que é muito raro se presenciar um acompanhamento de prazos sem que tal gráfico seja minimamente utilizado. Seu uso é tão generalizado, que frequentemente ele é chamado simplesmente de “cronograma”.

O sucesso do diagrama de Gantt se deve, basicamente, ao enorme poder de comunicação gráfica que ele oferece. Apesar de ser uma ferramenta bastante simples de montar e de utilizar, ela permite a apresentação de informações de forma bastante organizada, clara e objetiva.

Esta ferramenta é tão poderosa que complexos sistemas informatizados que operam redes de precedência do tipo PERT ou CPM, tais como *MS-Project*<sup>TM</sup> e *Oracle-Primavera*<sup>TM</sup>, acabam reduzindo os resultados de seus processamentos a simples diagramas de Gantt, para facilitação do uso das suas conclusões.

Uma das grandes vantagens de um gráfico de Gantt tradicional é a possibilidade do acompanhamento visual de várias atividades **simultaneamente**. Na verdade, costuma-se apresentar, em um mesmo diagrama, todas as atividades que compõem o escopo do projeto acompanhado, para um determinado nível de detalhe escolhido. Assim, em apenas um diagrama, além de se ter uma visão do desempenho relativo das diversas partes do conjunto, pode-se ter também uma lista abrangente do escopo a ser acompanhado.

No diagrama de Gantt, costuma-se apresentar duas barras para cada atividade monitorada, que se desenvolvem ao longo de uma escala de tempo:

- A primeira barra normalmente representa o **prazo previsto** para execução da atividade, definida pelo seu início e seu fim, ao longo do tempo;
- A segunda barra costuma representar o período **real dos trabalhos**, também ao longo do tempo, até uma certa data escolhida.

A comparação visual entre estas duas barras permite entender como a realidade está se comportando em relação à previsão, em termos de avanço físico no tempo. Isto possibilita uma visualização bastante conveniente da evolução dos cumprimentos de prazo nas atividades programadas para um empreendimento.

Entretanto, o diagrama de Gantt convencional apresenta uma limitação extremamente significativa. Em poucas palavras, neste tipo de gráfico pode-se certamente visualizar se uma atividade está ou não sendo executada dentro do prazo previsto. Entretanto, **não são apresentados indícios de que a velocidade desta execução levará ao cumprimento do prazo programado**, impedindo ações gerenciais para prevenção de atrasos. Isto porque o diagrama de Gantt tradicional não mostra o **quanto foi feito em relação ao quanto estava programado**, para um dado momento.

Gantt, ficaria prejudicada nos gráficos de valor agregado.

## GRÁFICOS DE GERENCIAMENTO DE VALOR AGREGADO

O problema apontado acima poderia ser resolvido pelos extraordinários gráficos de gerenciamento de valor agregado, ou gráficos das “curvas S” (também conhecidas no idioma inglês como “*Earned Value Management Line Charts*”). As qualidades dessa ferramenta são reconhecidas mundialmente. Tanto que seu uso é padronizado por normas como a norte-americana ANSI/EIA-748 e ainda se constitui em um dos principais instrumentos no famoso manual de gerenciamento de projetos *PMBOK*, emitido pelo *Project Management Institute (PMI)*.

Por facilidade, passar-se-á a chamar tal representação de “gráfico de valor agregado”. Um exemplo bem simplificado e conceitual deste diagrama é apresentado a seguir (GRÁFICO 1).

Os gráficos de valor agregado têm a qualidade de permitir que o desempenho de um empreendimento seja monitorado, simultaneamente, tanto nos aspectos de valores, como nos de tempo, através de um único diagrama. Isto faz muito sentido, pois valor e prazo são, normalmente, intimamente ligados entre si.

Entretanto, ao contrário dos diagramas de Gantt, os gráficos de valor agregado não são convenientes para representação de várias atividades ao mesmo tempo. Tal diagrama ficaria muito congestionado (GRÁFICO 2), eliminando a vantagem da comunicação visual, que a princípio deve ser clara e imediata. Isto pode ser visto no exemplo a seguir, que trata de uma obra fictícia de recuperação rodoviária.

Por outro lado, a não representação das várias atividades do empreendimento em um mesmo gráfico tira a visão do conjunto, o que é uma desvantagem para o gerente de projetos. Nessa mesma linha, a visão abrangente do escopo, que se pode ter no diagrama de Gantt, ficaria prejudicada nos gráficos de valor agregado.

GRÁFICO 1 - Valor Orçado versus Valor Agregado

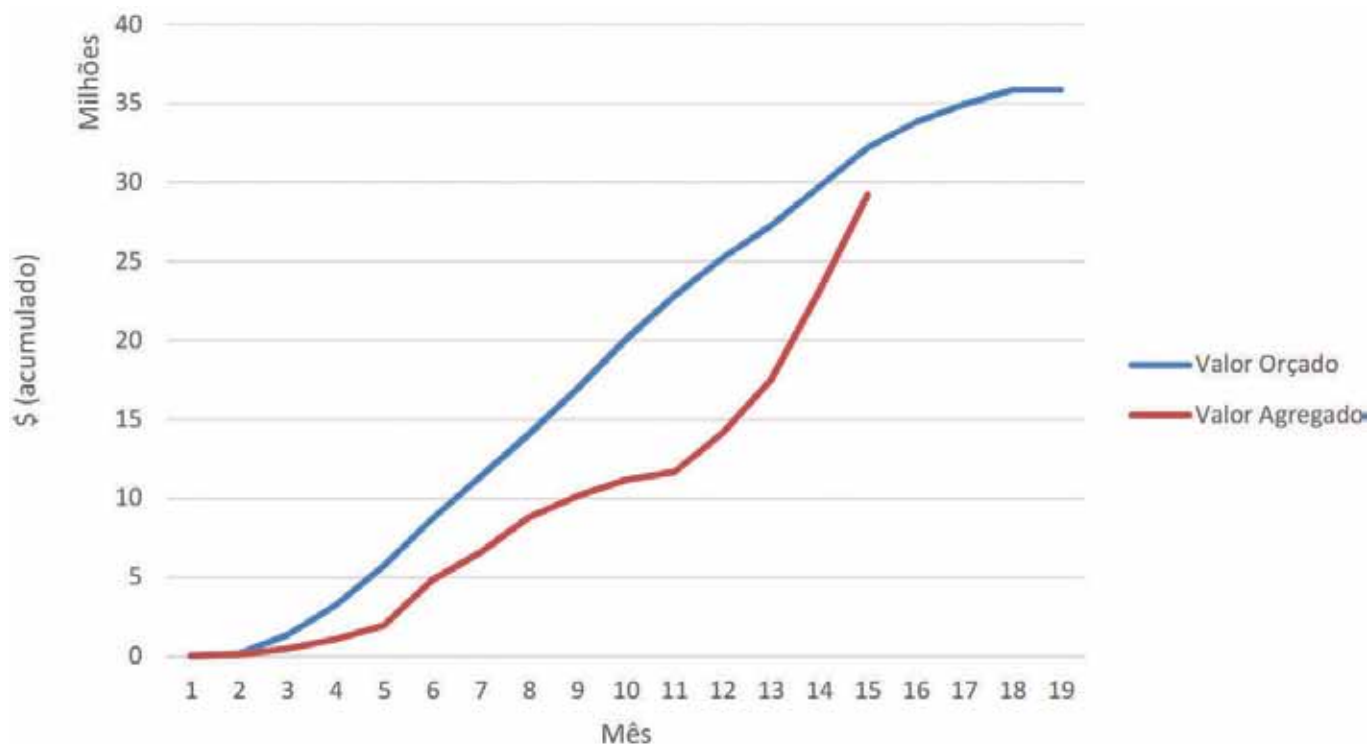
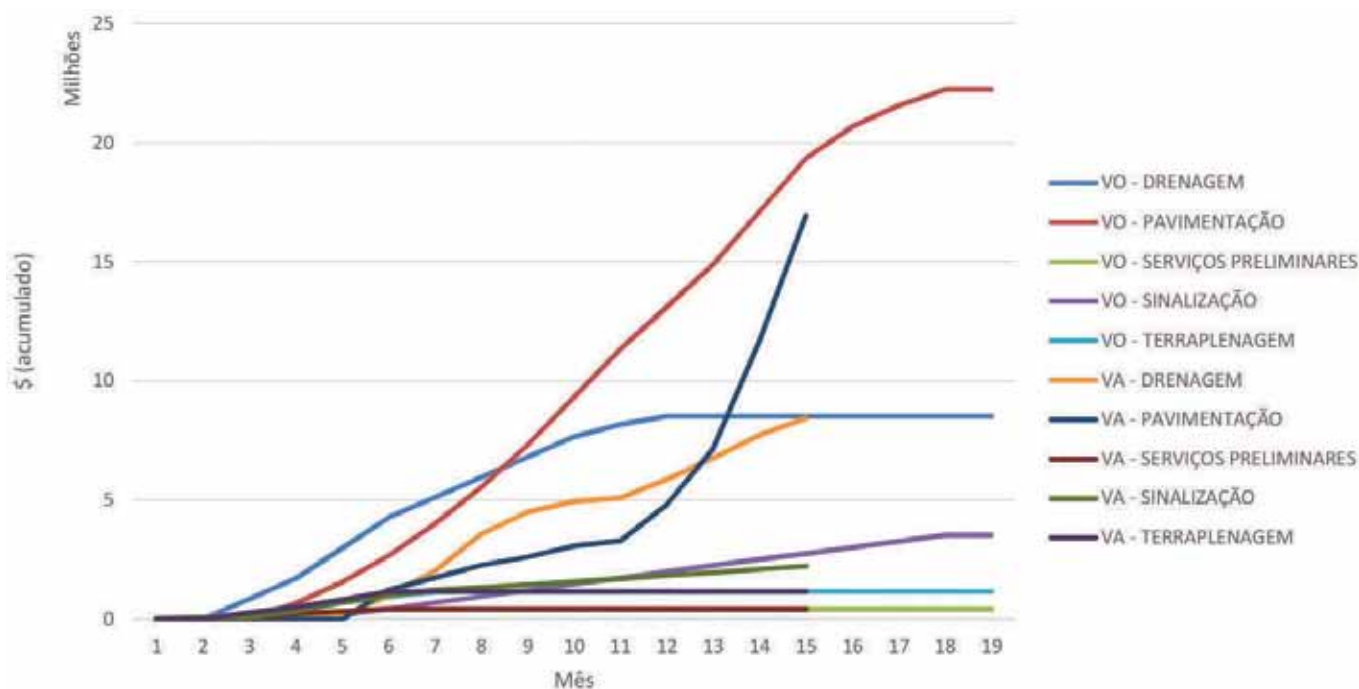


GRÁFICO 2 - Valor Orçado versus Valor Agregado



Com isto, e considerando que a maior parte dos gerentes de projetos não tem tempo e, muitas vezes, nem tem paciência para entender gráficos congestionados, fica clara a necessidade de alguma ferramenta que reúna as qualidades do diagrama de Gantt e dos gráficos de valor agregado e que, ainda, resolva as limitações apontadas nos mesmos.

Adicionalmente, como mencionado, nem o diagrama de Gantt, nem os gráficos de valor agregado apresentam de forma explícita o fundamental indicador mencionado no início do texto, ou seja, o IDP-Índice de Desempenho de Prazo.

Com isso, definem-se algumas necessidades importantes que deveriam ser atendidas por alguma ferramenta gráfica.

## ÍNDICE DE CUMPRIMENTO DE CRONOGRAMA

O IDP-Índice de Desempenho de Prazo, mencionado no início deste texto e comentado mais à frente, talvez seja o indicador mais pre-

ciso para o monitoramento de *performance* de um projeto frente a um cronograma.

No entanto, surpreendentemente, muitos gerentes de projetos não têm em mãos este indicador, na tomada de suas decisões. Vários motivos podem ser relacionados para justificar a ausência deste índice no dia-a-dia do gerente: falta de familiaridade com o indicador, dificuldade de obtenção de dados, etc.

O próprio nome “Índice de Desempenho de Prazo” é vago, não deixando clara a sua natureza e, por isso, não sendo convidativo ao uso. Na verdade, o termo “Índice de Desempenho de Prazo” talvez nem seja a melhor tradução do seu original em inglês, pois a palavra “*schedule*” não significa exatamente “prazo”, em português.

Além da questão do nome, talvez o que mais afaste os gerentes do uso do IDP seja o fato de que ele é apresentado, dentro da metodologia do Gerenciamento de Valor Agregado, quase sempre cercado por muitos outros índices e siglas, sem que haja uma ênfase especial para sua importância ímpar. E, na verdade, o IDP pode ser utilizado, sozinho, sem a necessidade da aplicação da metodologia completa.

Assim, para facilitar o entendimento do indicador IDP-Índice de Desempenho de Prazo, propõe-se que, a partir de agora, ele seja chamado de “**Índice de Cumprimento de Cronograma (ICC)**”. Esta parece ser uma denominação mais conveniente para o IDP porque leva a um entendimento mais claro sobre o seu significado, principalmente para profissionais não familiarizados com a metodologia do Gerenciamento de Valor Agregado. Por incrível que pareça, um nome inadequado para um parâmetro costuma desincentivar o seu uso, quer pela falta de percepção do seu significado, quer pela aversão natural ao desconhecido.

O Índice de Cumprimento de Cronograma (ICC) é parte central da metodologia de acompanhamento de tempos, proposta a seguir.

## UM NOVO DIAGRAMA

Como já foi dito, o objetivo fundamental dos métodos mencionados anteriormente, para um empreendimento em curso, é a comparação entre o que foi produzido e o que foi planejado (orçado), de forma a se detectar não-conformidades, para posteriores ações corretivas.

O modelo proposto à frente também busca este tipo de comparação entre realização e previsão, através do uso do ICC, e oferecendo algumas vantagens. A inovação é bastante simples, mas o resultado pode surpreender.

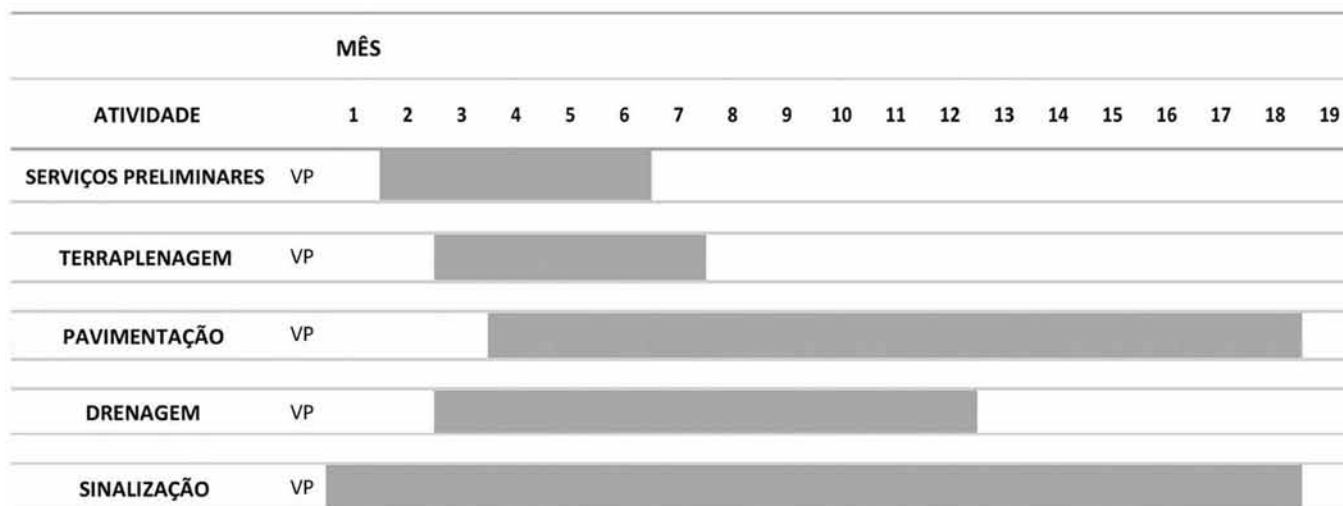
Uma das formas de explicar a ferramenta de maneira objetiva é a construção de um exemplo, passo a passo. É o que se apresenta a seguir.

## EXEMPLO DE CONSTRUÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Considere-se um diagrama de Gantt bem simples, como o apresentado a seguir. Ele retrata, bem resumidamente, o planejamento da evolução física de uma obra de recuperação rodoviária, ao longo do tempo. Nele são relacionadas as macroatividades a serem acompanhadas, obtidas da estrutura analítica daquele projeto (EAP/WBS).

O tempo fixado para aquela obra foi de 18 meses.

**QUADRO 1 - Gantt tradicional – avanço físico planejado**



Considere-se agora o correspondente cronograma financeiro. Um cronograma financeiro nada mais é que o orçamento do projeto distribuído ao longo do tempo, em função dos avanços físicos programados. Os orçamentos que geram os cronogramas financeiros são construídos com base em certas regras, conhecidas como “métricas”.

No exemplo a seguir, os valores do cronograma financeiro, que passarão a ser chamados de valores planejados (VP), são **acumulados** ao longo do tempo e estão expressos em milhões de unidades de moeda.

QUADRO 2 - Cronograma Financeiro

| \$ milhões (acumulados) | ATIVIDADE | MÊS  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |
|-------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|
|                         |           |      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18 | 19 |
| SERVIÇOS PRELIMINARES   | VP        |      | 0,08 | 0,17 | 0,25 | 0,34 | 0,42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |
| TERRAPLENAGEM           | VP        |      |      | 0,23 | 0,46 | 0,7  | 0,93 | 1,16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |
| PAVIMENTAÇÃO            | VP        |      |      |      | 0,67 | 1,56 | 2,67 | 4    | 5,56 | 7,34 | 9,34 | 11,3 | 13,1 | 14,9 | 17,1 | 19,3 | 20,7 | 21,6 | 22,2 |    |    |
| DRENAGEM                | VP        |      |      | 0,85 | 1,7  | 2,98 | 4,26 | 5,11 | 5,97 | 6,82 | 7,67 | 8,18 | 8,52 |      |      |      |      |      |      |    |    |
| SINALIZAÇÃO             | VP        | 0,04 | 0,07 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,44 | 0,7  | 0,96 | 1,21 | 1,47 | 1,73 | 1,99 | 2,25 | 2,5  | 2,76 | 3,02 | 3,28 | 3,54 |    |    |

É importante notar que o cronograma financeiro acima foi construído, propositalmente, na mesma estrutura do respectivo diagrama de

Gantt, apresentado anteriormente. Isto permite a conveniente superposição dos dois, o que levaria à seguinte figura:

QUADRO 3 - Cronograma de Valores Planejados (Diagrama de Gantt mesclado ao Cronograma Financeiro)

| \$ milhões (acumulados) | ATIVIDADE | MÊS  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |
|-------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|
|                         |           |      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18 | 19 |
| SERVIÇOS PRELIMINARES   | VP        |      | 0,08 | 0,17 | 0,25 | 0,34 | 0,42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |
| TERRAPLENAGEM           | VP        |      |      | 0,23 | 0,46 | 0,7  | 0,93 | 1,16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |
| PAVIMENTAÇÃO            | VP        |      |      |      | 0,67 | 1,56 | 2,67 | 4    | 5,56 | 7,34 | 9,34 | 11,3 | 13,1 | 14,9 | 17,1 | 19,3 | 20,7 | 21,6 | 22,2 |    |    |
| DRENAGEM                | VP        |      |      | 0,85 | 1,7  | 2,98 | 4,26 | 5,11 | 5,97 | 6,82 | 7,67 | 8,18 | 8,52 |      |      |      |      |      |      |    |    |
| SINALIZAÇÃO             | VP        | 0,04 | 0,07 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,44 | 0,7  | 0,96 | 1,21 | 1,47 | 1,73 | 1,99 | 2,25 | 2,5  | 2,76 | 3,02 | 3,28 | 3,54 |    |    |

Os valores dos cronogramas financeiros são normalmente expressos em moeda de uma determinada data-base. Devido às comparações que serão feitas no método, esta moeda deve ser mantida durante todo o processo, não se aplicando correções monetárias devidas à inflação, por exemplo.

Após caracterização do planejamento de prazos e de desembolsos, retratado no QUADRO 3, as atenções podem ser voltadas para as quantidades efetivamente realizadas ou fornecidas.

No método proposto, estas quantidades reais devem ser convertidas em valores monetários da data-base do contrato. O critério de

conversão de quantidades em valores deve ser o mesmo utilizado para a elaboração do cronograma financeiro original, ou seja, deve ser utilizada a mesma métrica. Normalmente, este critério é o mesmo usado para cálculo das medições de produtos fornecidos, no caso de clientes públicos.

Agindo desta forma, obtêm-se uma série de valores que, realmente, foram sendo incorporados ao empreendimento ao longo do tempo (valores agregados - VA), até uma certa data, como pode ser visto no exemplo a seguir, que se refere à situação até o décimo quinto mês.

**QUADRO 4 - Valores Agregados (valores realmente produzidos ou entregues)**

| \$ milhões (acumulados) | ATIVIDADE | MÊS  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |
|-------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|
|                         |           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16 | 17 | 18 | 19 |
| SERVIÇOS PRELIMINARES   | VA        |      | 0,02 | 0,08 | 0,23 | 0,33 | 0,42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |
| TERRAPLENAGEM           | VA        |      | 0,02 | 0,28 | 0,51 | 0,81 | 1,16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |
| PAVIMENTAÇÃO            | VA        |      |      |      |      |      | 1,23 | 1,74 | 2,28 | 2,62 | 3,07 | 3,29 | 4,83 | 7,17 | 11,7 | 16,9 |    |    |    |    |
| DRENAGEM                | VA        |      |      |      |      | 0,14 | 1    | 2,03 | 3,59 | 4,5  | 4,95 | 5,09 | 5,88 | 6,78 | 7,73 | 8,44 |    |    |    |    |
| SINALIZAÇÃO             | VA        | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,35 | 0,69 | 1,02 | 1,23 | 1,35 | 1,45 | 1,57 | 1,69 | 1,84 | 1,96 | 2,09 | 2,23 |    |    |    |    |

Sombreamento nos campos que contêm números, obtém-se o seguinte diagrama.

**QUADRO 5 - Valores Agregados (valores realmente produzidos ou entregues)**

| \$ milhões (acumulados) | ATIVIDADE | MÊS  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |
|-------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|
|                         |           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16 | 17 | 18 | 19 |
| SERVIÇOS PRELIMINARES   | VA        |      | 0,02 | 0,08 | 0,23 | 0,33 | 0,42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |
| TERRAPLENAGEM           | VA        |      | 0,02 | 0,28 | 0,51 | 0,81 | 1,16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |
| PAVIMENTAÇÃO            | VA        |      |      |      |      |      | 1,23 | 1,74 | 2,28 | 2,62 | 3,07 | 3,29 | 4,83 | 7,17 | 11,7 | 16,9 |    |    |    |    |
| DRENAGEM                | VA        |      |      |      |      | 0,14 | 1    | 2,03 | 3,59 | 4,5  | 4,95 | 5,09 | 5,88 | 6,78 | 7,73 | 8,44 |    |    |    |    |
| SINALIZAÇÃO             | VA        | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,35 | 0,69 | 1,02 | 1,23 | 1,35 | 1,45 | 1,57 | 1,69 | 1,84 | 1,96 | 2,09 | 2,23 |    |    |    |    |

O passo seguinte é mesclar adequadamente o QUADRO 5 (valores agregados) com o QUADRO 3 (valores planejados), obtendo-se:

**QUADRO 6 - Valores Planejados versus Valores Agregados**

| \$ milhões (acumulados) | ATIVIDADE | MÊS  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
|                         |           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19 |
| SERVIÇOS PRELIMINARES   | VP        |      | 0,08 | 0,17 | 0,25 | 0,34 | 0,42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | VA        |      | 0,02 | 0,08 | 0,23 | 0,33 | 0,42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| TERRAPLENAGEM           | VP        |      |      | 0,23 | 0,46 | 0,7  | 0,93 | 1,16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | VA        |      | 0,02 | 0,28 | 0,51 | 0,81 | 1,16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| PAVIMENTAÇÃO            | VP        |      |      |      | 0,67 | 1,56 | 2,67 | 4    | 5,56 | 7,34 | 9,34 | 11,3 | 13,1 | 14,9 | 17,1 | 19,3 | 20,7 | 21,6 | 22,2 |    |
|                         | VA        |      |      |      |      |      | 1,23 | 1,74 | 2,28 | 2,62 | 3,07 | 3,29 | 4,83 | 7,17 | 11,7 | 16,9 |      |      |      |    |
| DRENAGEM                | VP        |      |      | 0,85 | 1,7  | 2,98 | 4,26 | 5,11 | 5,97 | 6,82 | 7,67 | 8,18 | 8,52 |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | VA        |      |      |      |      | 0,14 | 1    | 2,03 | 3,59 | 4,5  | 4,95 | 5,09 | 5,88 | 6,78 | 7,73 | 8,44 |      |      |      |    |
| SINALIZAÇÃO             | VP        | 0,04 | 0,07 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,44 | 0,7  | 0,96 | 1,21 | 1,47 | 1,73 | 1,99 | 2,25 | 2,5  | 2,76 | 3,02 | 3,28 | 3,54 |    |
|                         | VA        | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,35 | 0,69 | 1,02 | 1,23 | 1,35 | 1,45 | 1,57 | 1,69 | 1,84 | 1,96 | 2,09 | 2,23 |      |      |      |    |

O quadro anterior é, em princípio, um simples diagrama de Gantt, com as tradicionais barras de prazo planejado e de período real dos trabalhos, para cada atividade. Todavia, ele recebeu o acréscimo dos correspondentes valores envolvidos, em cada mês.

O passo seguinte significa uma primeira inovação, muito simples, mas bastante útil. Para cada atividade do diagrama do QUADRO 6

cria-se uma terceira barra, onde serão inseridos, mês a mês, a relação entre os valores agregados (VA) e os respectivos valores planejados (VP) no mesmo período, expressa em porcentagem um do outro. Este parâmetro é o já mencionado Índice de Cumprimento de Cronograma-ICC.

**QUADRO 7 - Evolução numérica do Índice de Cumprimento de Cronograma - ICC**

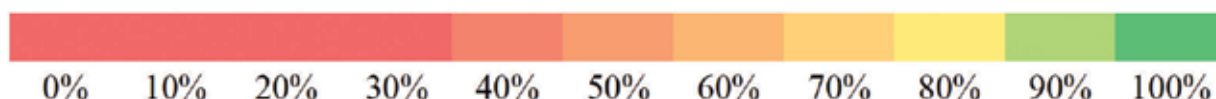
| \$ milhões (acumulados) |     | MÊS  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| ATIVIDADE               |     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19 |
| SERVIÇOS PRELIMINARES   | VP  |      | 0,08 | 0,17 | 0,25 | 0,34 | 0,42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | VA  |      | 0,02 | 0,08 | 0,23 | 0,33 | 0,42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | ICC |      | 28%  | 46%  | 91%  | 97%  | 100% |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| TERRAPLENAGEM           | VP  |      |      | 0,23 | 0,46 | 0,7  | 0,93 | 1,16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | VA  |      |      | 0,02 | 0,28 | 0,51 | 0,81 | 1,16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | ICC |      |      | 119% | 110% | 116% | 125% |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| PAVIMENTAÇÃO            | VP  |      |      |      | 0,67 | 1,56 | 2,67 | 4    | 5,56 | 7,34 | 9,34 | 11,3 | 13,1 | 14,9 | 17,1 | 19,3 | 20,7 | 21,6 | 22,2 |    |
|                         | VA  |      |      |      |      |      | 1,23 | 1,74 | 2,28 | 2,62 | 3,07 | 3,29 | 4,83 | 7,17 | 11,7 | 16,9 |      |      |      |    |
|                         | ICC |      |      |      |      |      | 46%  | 44%  | 41%  | 36%  | 33%  | 29%  | 37%  | 48%  | 68%  | 88%  |      |      |      |    |
| DRENAGEM                | VP  |      |      | 0,85 | 1,7  | 2,98 | 4,26 | 5,11 | 5,97 | 6,82 | 7,67 | 8,18 | 8,52 |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | VA  |      |      |      | 0,14 | 1    | 2,03 | 3,59 | 4,5  | 4,95 | 5,09 | 5,88 | 6,78 | 7,73 | 8,44 |      |      |      |      |    |
|                         | ICC |      |      |      | 5%   | 24%  | 40%  | 60%  | 66%  | 65%  | 62%  | 69%  |      |      |      |      |      |      |      |    |
| SINALIZAÇÃO             | VP  | 0,04 | 0,07 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,44 | 0,7  | 0,96 | 1,21 | 1,47 | 1,73 | 1,99 | 2,25 | 2,5  | 2,76 | 3,02 | 3,28 | 3,54 |    |
|                         | VA  | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,35 | 0,69 | 1,02 | 1,23 | 1,35 | 1,45 | 1,57 | 1,69 | 1,84 | 1,96 | 2,09 | 2,23 |      |      |      |    |
|                         | ICC | 45%  | 84%  | 106% | 246% | 384% | 232% | 177% | 141% | 120% | 107% | 98%  | 92%  | 87%  | 84%  | 81%  |      |      |      |    |

Para melhorar o entendimento, tome-se do quadro acima os números que ocorrem para o item PAVIMENTAÇÃO, no mês 6, por exemplo. Nesse período estava planejada a execução acumulada (VP) de \$ 2,67 milhões de unidades de moeda. Contudo, até esse mesmo período só foram agregados \$ 1,23 milhões (VA) à obra, ou seja, 46% do que estava previsto no cronograma financeiro. Por isso diz-se, nesse caso, que o Índice de Cumprimento de Cronograma (ICC) foi de 46%.

Isto feito, sugere-se uma segunda inovação, que parece trazer uma grande vantagem de comunicação visual. Propõe-se o preenchimento das células desta nova terceira barra com cores, em função da grandeza de cada Índice de Cumprimento de Cronograma-ICC.

Usando-se convenções de cores aceitas, internacionalmente, pode-se representar com tons de vermelho os valores de ICC abaixo de 40%, por exemplo, pois eles significam um desempenho muito preocupante no cumprimento dos prazos. Em tons de amarelo, podem ser preenchidas as células com ICC entre, por exemplo, 40 e 80%, pois esta faixa deve ser considerada com desempenho que inspira cuidados. Em tons de verde, podem ser preenchidas as células que mostrarem ICC acima de 80%.

Uma escala *dégradé* de cores poderia ser assim representada para valores de ICC:



O diagrama do QUADRO 7 ficaria, então, com a seguinte aparência:

**QUADRO 8 - Diagrama de Cumprimento de Cronograma**

| \$ milhões (acumulados) |     | MÊS  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| ATIVIDADE               |     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19 |
| SERVIÇOS PRELIMINARES   | VP  | 0,08 | 0,17 | 0,25 | 0,34 | 0,42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | VA  | 0,02 | 0,08 | 0,23 | 0,33 | 0,42 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | ICC | 28%  | 46%  | 91%  | 97%  | 100% |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| TERRAPLENAGEM           | VP  |      | 0,23 | 0,46 | 0,7  | 0,93 | 1,16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | VA  | 0,02 | 0,28 | 0,51 | 0,81 | 1,16 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | ICC |      | 119% | 110% | 116% | 125% |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| PAVIMENTAÇÃO            | VP  |      |      |      | 0,67 | 1,56 | 2,67 | 4    | 5,56 | 7,34 | 9,34 | 11,3 | 13,1 | 14,9 | 17,1 | 19,3 | 20,7 | 21,6 | 22,2 |    |
|                         | VA  |      |      |      | 1,23 | 1,74 | 2,28 | 2,62 | 3,07 | 3,29 | 4,83 | 7,17 | 11,7 | 16,9 |      |      |      |      |      |    |
|                         | ICC |      |      |      | 46%  | 44%  | 41%  | 36%  | 33%  | 29%  | 37%  | 48%  | 68%  | 88%  |      |      |      |      |      |    |
| DRENAGEM                | VP  |      |      | 0,85 | 1,7  | 2,98 | 4,26 | 5,11 | 5,97 | 6,82 | 7,67 | 8,18 | 8,52 |      |      |      |      |      |      |    |
|                         | VA  |      |      | 0,14 | 1    | 2,03 | 3,59 | 4,5  | 4,95 | 5,09 | 5,88 | 6,78 | 7,73 | 8,44 |      |      |      |      |      |    |
|                         | ICC |      |      | 5%   | 24%  | 40%  | 60%  | 66%  | 65%  | 62%  | 69%  |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| SINALIZAÇÃO             | VP  | 0,04 | 0,07 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,44 | 0,7  | 0,96 | 1,21 | 1,47 | 1,73 | 1,99 | 2,25 | 2,5  | 2,76 | 3,02 | 3,28 | 3,54 |    |
|                         | VA  | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,35 | 0,69 | 1,02 | 1,23 | 1,35 | 1,45 | 1,57 | 1,69 | 1,84 | 1,96 | 2,09 | 2,23 |      |      |      |    |
|                         | ICC | 45%  | 84%  | 106% | 246% | 384% | 232% | 177% | 141% | 120% | 107% | 98%  | 92%  | 87%  | 84%  | 81%  |      |      |      |    |

Como o principal resultado desta ferramenta é a apresentação, em cores e em números, do Índice de Cumprimento de Cronograma (ICC), é natural chamá-la de “DIAGRAMA DE CUMPRIMENTO DE CRONOGRAMA”.

Para automatizar essa atribuição de cores e evitar erros, recomenda-se o uso de recursos de informática. Os autores deste texto desenvolveram programas simples em planilhas eletrônicas existentes, para executar tal função. Algumas explicações sobre este assunto são fornecidas mais à frente.

## ANÁLISES SOBRE O EXEMPLO ANTERIOR

Várias conclusões podem ser obtidas do exemplo dado. Algumas delas são apresentadas a seguir. Lembrando que a **data atual** do exemplo é o final do 15º mês, tem-se:

- A atividade “SERVIÇOS PRELIMINARES” começou na data certa, mas com uma produção bem abaixo da esperada (foram produzidos 28% do programado para o mês 2). Entretanto, o trabalho acabou sendo concluído no mês previsto, tendo apresentado uma excelente recuperação, como pode se notar pelo comportamento das cores, ao longo do tempo, variando progressivamente do vermelho para o verde.

- A “TERRAPLENAGEM” começou antes da data inicialmente prevista. Os produtos, orçados em \$ 1,16 milhões ao todo, foram completamente entregues com um mês de antecedência. Contudo, nesse mesmo mês, o cronograma financeiro original previa a entrega de apenas \$ 0,93 milhões em produtos. Por isso, o Índice de Cumprimento de Cronograma ficou acima de 100% naquela data. O ICC resultou em 125% na data da conclusão real.

Adicionalmente, como pode ser visto pelas cores da barra do ICC, enquanto houve produção, ela sempre esteve “no verde”, ou seja, igual ou acima do programado, denotando um ótimo desempenho.

Observa-se, ainda, que não há sentido em que a barra do ICC prossiga após a conclusão real do trabalho, o que é praticado neste exemplo.

- A atividade “PAVIMENTAÇÃO”, tendo sido iniciada dois meses após o programado, teve seu desempenho piorado progressivamente até o mês 11º, como mostram os tons crescentes de vermelho da barra do ICC. A partir daí foi iniciada uma recuperação, atingindo-se 88% da previsão no mês 15º. A variação das cores mostra que o desempenho apresenta uma tendência de melhoria no final.

- A “DRENAGEM” também começou com dois meses de atraso e foi progressivamente melhorando. Contudo, a evolução não foi suficiente, pois a atividade não foi concluída no mês previsto, que seria o 12º, quando ela atingiu apenas 69% de ICC. Ao invés disso, ela ainda não estava terminada nem no 15º mês. Pode-se dizer que,

embora próxima da conclusão, esta é a atividade que apresentou pior desempenho no cumprimento de cronograma. Observe-se que, por coerência, o ICC para de ser calculado quando uma atividade excede o prazo programado.

- A “SINALIZAÇÃO” começou mal, mas teve uma excelente recuperação ao longo do tempo, como indicam os tons de verde no interior da barra. Entretanto, acabou caindo de desempenho, atingindo 81% do programado no 15º mês.

Como se pode notar pelo exemplo anterior, além de se fazer uso de todas as vantagens das barras de Gantt, o novo diagrama ainda oferece uma visão extraordinária, com base em cores, do histórico de cumprimento de cronograma de cada atividade e, principalmente, da sua **tendência** para o futuro.

A princípio, o diagrama proposto poderia apresentar apenas os números referentes ao ICC - Índice de Cumprimento de Cronograma. Entretanto, nota-se que a manutenção dos valores monetários que geraram o ICC pode ser bastante útil para o gerente que deseja melhorar seu entendimento sobre o que está acontecendo, principalmente no aspecto do peso dos valores envolvidos.

Outros comentários poderiam ser feitos sobre o exemplo apresentado no diagrama anterior, em que são mostrados diferentes comportamentos para as diversas atividades. Entretanto, pelo bem da clareza dos conceitos principais, esta análise não é ampliada neste texto.

Com o método proposto, ao se colocar as diversas atividades acompanhadas em um mesmo gráfico, tem-se uma visão limpa do conjunto e uma indicação rápida e fácil, através de cores, de quais são aquelas que não estão sendo bem sucedidas e que merecem uma intervenção gerencial mais efetiva, ou seja, uma priorização.

Relembra-se que este tipo de informação também poderia ser obtida dos gráficos de valor agregado. Entretanto, como já mencionado, ao apresentar várias atividades em um mesmo gráfico de formato cartesiano, haverá congestionamento de informações, tirando a objetividade do processo. Além disso, os gráficos de valor agregado tradicionais não apresentam o ICC, explicitamente.

## COMENTÁRIOS ADICIONAIS SOBRE A MONTAGEM DO DIAGRAMA PROPOSTO

No caso do *MS-Excel*<sup>TM</sup>, para se obter a variação de cores em função dos valores existentes em cada célula do ICC, pode-se aplicar o

recurso chamado de “formatação condicional”. No *MS-Excel*<sup>TM</sup>, a regra de atribuição de cores pode ser escolhida pelo usuário. A partir daí, o colorimento fica automático, variando com os números lá inseridos. O atributo pode ser definido no *Excel 2010* pela sequência:

*“Página Inicial/Formatação Condicional/Escalas de Cor/Mais Regras/Estilo de Formatação: Escala Tricolor”*.

As planilhas eletrônicas oferecem recursos bastante sofisticados e úteis na montagem e operação deste tipo de ferramenta. Usuários um pouco mais avançados nestas planilhas podem montar Diagramas de Cumprimento de Cronograma totalmente automatizados, a partir de bancos de dados bastante simples e, também com o uso das chamadas “tabelas dinâmicas”. Com isso, a atualização regular dos diagramas fica muito simples e rápida.

## EXPERIÊNCIAS COM O DIAGRAMA PROPOSTO

O Diagrama de Cumprimento de Cronograma tem sido utilizado pelos autores desde 2013, com sucesso, em três contratos de gerenciamento de programas, sendo dois deles referentes a obras rodoviárias e um a transporte urbano de massas. Somados, os valores dessas obras e fornecimentos monitorados chegam a aproximadamente 3,85 bilhões de reais, a preços iniciais.

Os Diagramas de Cumprimento de Cronograma, que têm aparecido sistematicamente nos relatórios gerenciais desses empreendimentos, têm sido usados em conjunto com gráficos de valor agregado, de forma a caracterizar com precisão os desempenhos acompanhados.

## CONCLUSÕES

O modelo proposto neste texto simplesmente acrescenta ao diagrama de Gantt a informação primordial de **o quanto foi feito** em relação **ao quanto estava planejado** em cada um dos diversos trabalhos monitorados, ao longo do tempo. A maior inovação é que tal representação é realizada nas formas gráfica (com cores) e numérica, tornando a análise clara e objetiva.

Como mencionado, sugere-se que esta relação numérica adicionada ao diagrama de Gantt seja chamada de “**Índice de Cumprimento de Cronograma (ICC)**”, expresso em percentuais. Com ele, pode-se rapidamente detectar não-conformidades e tendências associadas a prazos, permitindo ações corretivas.

Adicionalmente, em apenas um diagrama, tem-se uma visão do desempenho relativo das diversas partes do conjunto, facilitando a **priorização de ações**. Também pode-se ter uma **lista abrangente do escopo** a ser acompanhado.

Por outro lado, tal qual acontece nos gráficos de gerenciamento de valor agregado, o modelo proposto permite que o desempenho de um empreendimento seja monitorado simultaneamente tanto nos aspectos de valores, como nos de tempo, através de um único diagrama.

Podem-se imaginar, também, diferentes aplicações para a estrutura do Diagrama de Cumprimento de Cronograma. O seu uso não se restringe ao acompanhamento de simples atividades de implantação de um empreendimento. Em lugar de atividades, pode-se acompanhar, por exemplo, contratos dos diferentes fornecedores que participam de um programa qualquer. Ou, ainda, pode-se acompanhar, em um mesmo diagrama, o desempenho global de cada uma das unidades de obras de um sistema, como as de uma usina hidroelétrica, por exemplo.

Por outro lado, não existe restrição para o grau de detalhamento que se deseja aplicar no diagrama para acompanhar as partes de um empreendimento. Assim, pode-se detalhar o Diagrama de Cumprimento de Cronograma tanto quanto seja conveniente.

Deve-se mencionar que o uso dos gráficos de gerenciamento de valor agregado continua sendo considerado muito interessante para o acompanhamento de uma atividade, quando ela for tratada isoladamente. O Diagrama de Cumprimento de Cronograma e os gráficos de gerenciamento de valor agregado podem ser considerados complementares.

Com o Diagrama de Cumprimento de Cronograma busca-se o preenchimento de uma lacuna existente entre as ferramentas disponíveis para gerenciamento de projetos e de programas. A ideia central é que, com ele, o gerente possa ir mais “diretamente ao ponto”, principalmente nas questões relacionadas com monitoramento de tempos e com a priorização das correspondentes ações corretivas.

A proposta do Diagrama de Cumprimento de Cronograma é simples, mas precisa ser entendida com cuidado. Todavia, talvez como atenuante, consta que o próprio diagrama de Gantt não foi imediatamente aceito pela comunidade gerencial, quando foi proposto no início do século XX. Foram necessários vários anos para que ele fosse incorporado ao dia-a-dia dos trabalhos. Hoje, entretanto, não dá para imaginar o mundo gerencial sem o diagrama de Gantt.

## Referências Bibliográficas

- *American National Standards Institute (2013). ANSI/SAE/EIA-748-C Standard for Earned Value Management System.*
- *Project Management Institute - PMI (2013). A guide to the Project Management Body of Knowledge - PMBOK. 5<sup>th</sup> Edition.*
- ABNT. ISO 21.500 (2012) – Orientações para o Gerenciamento de Projeto.
- Vargas, R.V. (2013). Análise de Valor Agregado. 6<sup>a</sup> Edição.

## Leituras rápidas recomendadas


- *Wikipedia (2014). Earned value management. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=556575755>.*
- *Wilson, James M. (2003). Gantt charts: A centenary appreciation. European Journal of Operational Research 149.*

## Sobre os Autores

### Roberto de Vasconcellos Pereira

É engenheiro civil formado em 1978 pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP). Trabalha como coordenador de escritório de gerenciamento da Planservi Engenharia Ltda. – PMO Planservi.

### Guilherme Costa Fontenele

É engenheiro civil formado em 2010 pela FEI/São Bernardo do Campo/SP e possui MBA em gerenciamento de projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV/SP). Também atua no PMO Planservi. 

Os autores registram um especial agradecimento ao **Professor Doutor Carlos Yukio Suzuki**, da Escola Politécnica da USP, por seu inestimável apoio e colaboração ao presente trabalho.



# MODELAGEM NUMÉRICA UTILIZANDO O PROGRAMA SIGMA/W PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TENSÃO/ DEFORMAÇÃO EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

*Clauber Costa<sup>1</sup>*

*Thiago Borges<sup>2</sup>*

*Isaac Eduardo Pinto<sup>1</sup>*

*Saulo Gutemberg<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Engenheiro de Transportes

<sup>2</sup> Engenheiro Geotécnico

### RESUMO

Os pavimentos rodoviários são estudados já há muitas décadas. A criação de alternativas de projetos de pavimentação, frente aos atuais conceitos e métodos de dimensionamento para suprir as solicitações do tráfego e das condições climáticas, corrobora para o uso e/ou aplicação de programas computacionais. Necessitam-se análises de tensões e deformações em pavimentos asfálticos visando o adequado entendimento estrutural através de modelos constitutivos elásticos linear e não-linear para as subcamadas.

A previsão das respostas estruturais em pavimentos flexíveis é de fundamental importância durante sua vida de serviço, inclusive para projetar reforços no sistema de camadas. Com esse propósito, o presente trabalho descreve os resultados das análises por meio de simulação numérica, de um pavimento flexível típico, utilizando o *software* SIGMA/W, cujo embasamento matemático é o Método dos Elementos Finitos (MEF), para modelar o comportamento tensão/deformação do sistema de camadas. Na análise axissimétrica considera-se um sistema de quatro camadas: revestimento; base; sub-base e subleito e um carregamento considerado uniformemente distribuído com pressão de 80 psi e raio da área de carregamento de  $R=10,8$  cm. Nos estudos apresentados, foram considerados os parâmetros em termos de tensões efetivas iguais aos parâmetros em termos de tensões totais, uma vez que não foi analisada a variação da poropressão nos materiais em função dos carregamentos impostos.

**Palavras-chave:** Pavimentação, modelagem numérica, método dos elementos finitos.

### ABSTRACT

*Road pavements are already studied for many decades. The creation of alternative paving projects, compared to the current concepts and design methods to meet the demands of traffic and conditions climate, supports for use and /or application programs computer. Analyzes require up voltages and deformations in asphalt pavements aiming adequate structural understanding through constitutive models linear elastic and nonlinear for the sublayers.*

*The prediction of structural responses in flexible pavements is of fundamental importance for his life service, including design reinforcements in the layer system. For this purpose, this paper describes the results of analysis by means of numerical simulation, a typical flexible pavement, using software SIGMA/W, whose mathematical basis is the method of Finite Element Method (FEM) to model the behavior stress/strain the layer system. In the analysis axisymmetric considered a four-layer system: asphalt layer; base; subbase and the subgrade and a charging considered uniformly distributed with pressure 80 psi and the loading area radius  $R = 10,8$  cm. Us studies presented, the parameters were considered in terms of effective voltages equal to the parameters terms of total stresses, since it was not analyzed variation of pore pressure in the materials as a function of the loads imposed.*

**Keywords:** Paving, numerical modeling, finite element method.

## 1 • INTRODUÇÃO

Os programas computacionais para a análise de tensões em pavimentos asfálticos normalmente utilizam modelos constitutivos elásticos lineares e não lineares. Existe uma tendência cada vez maior em se utilizar métodos mecânicos de dimensionamento de pavimentos asfálticos, compatibilizando as solicitações originais no pavimento pelas condições de carregamento e pelo meio físico com as propriedades dos materiais que constituem as camadas.

Pode-se afirmar que não é tarefa fácil modelar uma estrutura de pavimento e determinar as tensões, deformações e deslocamentos, uma vez que equações diferenciais parciais são necessárias para o equacionamento matemático do problema. No intuito de facilitar a resolução dessas equações surgiram métodos numéricos, como por exemplo, o Método dos Elementos Finitos (MEF), que estão à disposição dos projetistas e consultores por meio de programas computacionais e que podem auxiliar na análise das tensões, deformações e deslocamentos de um pavimento.

O Método dos Elementos Finitos (MEF/FEM) permite compatibilizar as diferentes camadas do pavimento de acordo com os conceitos da mecânica dos pavimentos, uma vez que as condições de equilíbrio em cada elemento e no sistema global são satisfeitas por um conjunto de equações simultâneas. O MEF é um dos procedimentos mais utilizados na análise de sólidos e estruturas, constitui-se em substituir o contínuo por uma malha de elementos interconectados por determinado número de pontos chamados nós.

Dentre os programas computacionais mais usados no Brasil para o cálculo de tensões e deformações pode-se citar, dentre outros, o FEPAVE2, programa baseado no MEF, desenvolvido em Berkeley, na Universidade da Califórnia, e que sofreu algumas modificações no Brasil, que considera o revestimento asfáltico como uma camada elástica linear e as subcamadas granulares com comportamento elástico não-linear (Duncan et al., 1968). Pinto e Preussler, (2010) descrevem o FEPAVE2 como um programa que utiliza o MEF para análise das tensões e deslocamentos de estruturas de pavimentos. O programa utiliza a formulação elástica bidimensional e axissimétrica de soluções pelo MEF, e considera a não linearidade elástica dos módulos das camadas do pavimento tanto na direção axial quanto radial.

Para este trabalho, com o objetivo de simular o comportamento dos materiais, será utilizado o critério elástico linear, com o auxílio do *software* SIGMA/W, que permite um modelo de análise sob condições axissimétricas, ou seja, problemas que envolvem um corpo, cujas geometrias e condições de carregamento e de contorno sejam simétricas (idênticas) em relação a um eixo axial.

Este programa ao analisar a malha de elementos finitos, possibilita acompanhar, em cada nó, as deformações ocorridas no período, podendo assim, comparar as deformações simuladas com as reais obtidas por instrumentos ou equipamentos.

## 2 • O MEF PARA ANÁLISE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Quando se deseja modelar adequadamente o comportamento dos materiais utilizados em pavimentação, é necessária a utilização de métodos numéricos. Como já foi dito, um método que tem sido bastante utilizado atualmente para calcular as tensões e deformações em pavimentos asfálticos é o Método dos Elementos Finitos (MEF), apesar de que alguns projetistas não o utilizam por não se sentirem confortáveis com tal método, que exige experiência.

O método baseia-se na transformação das equações diferenciais que descrevem um dado problema em equações algébricas de mais fácil resolução. Dessa forma, divide-se o domínio do problema em uma série de regiões (conhecidos como elementos finitos) de configuração como: triângulos, quadriláteros, tetraedros e hexaedros e cuja geometria é definida pelas coordenadas de um conjunto de pontos (conhecidos como nós). O conjunto desses elementos é chamado de malha de elementos finitos (Coutinho et al., 2008; Cavalcante et al., 2008; Botelho et al., 2009). Com essa ferramenta, podemos incrementar carregamentos estáticos e dinâmicos, além de podermos utilizar diferentes modelos (lineares e não lineares; elásticos e plásticos)

## 3 • MODELAGEM NUMÉRICA

Modelagem numérica é uma representação matemática de um processo físico real. O avanço tecnológico e as ferramentas computacionais disponíveis atualmente permitiram que os métodos analíticos se transformassem de ferramentas de pesquisa em ferramentas de trabalho, gerando análises mais embasadas e auxiliando no desenvolvimento de projetos, principalmente na área de engenharia de pavimentos.

O programa utilizado para as análises numéricas apresentadas a seguir foi o SIGMA/W. Trata-se de um *software* gráfico pertencente à empresa GEOSTUDIO® Ltda e faz parte de um pacote de programas que vem sendo cada vez mais utilizados no âmbito profissional, para análise de problemas geotécnicos.

A interface de modelagem do SIGMA/W utiliza o MEF como base teórica de cálculo matemático, permitindo a análise do comportamento

das tensões e deformações dos materiais, desde as mais simples até análises mais complexas, em regime elasto-plástico não linear. O SIGMA/W pode ser acoplado a outros programas do pacote GEOSTUDIO® Ltda.

O programa permite análises planas, bidimensionais e axissimétricas de tensão/deformação em estruturas de solo, diferentes configurações geométricas (condições de contorno, espessuras variáveis, e qualquer número de cargas, com formas e pressões de contato variáveis).

Podem ser adotados elementos triangulares e/ou quadrangulares, permitindo, inclusive, a inserção de nós secundários.

### 3.1 • Modelagem Numérica em Estudos de Tensão/Deformação

Resumidamente, os modelos constitutivos utilizados nos estudos de tensão/deformação podem ser divididos em dois grupos: lineares e não lineares; elásticos e plásticos.

O modelo linear-elástico é o modelo constitutivo mais simples, onde as deformações são diretamente proporcionais às tensões, conforme apresentado na Figura 1. Os parâmetros utilizados neste modelo são o módulo de elasticidade ( $E$ ) e o coeficiente de Poisson ( $\nu$ ).

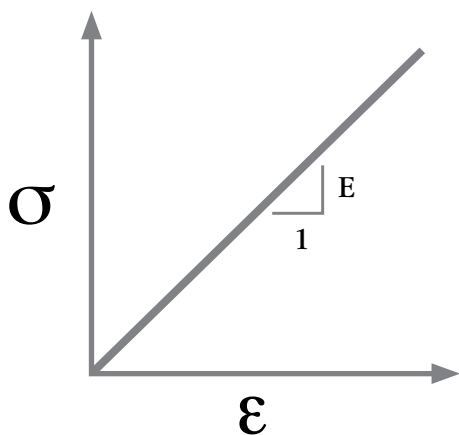


Figura 1 - Modelo linear-elástico

O modelo elasto-plástico (Figura 2) descreve uma relação elástica perfeitamente plástica. Este modelo considera que o material, ao ser carregado, gera tensões e deformações. Se o nível de tensões ultrapassar o limite elástico ou ponto de escoamento do material, deformações permanentes ocorrerão.

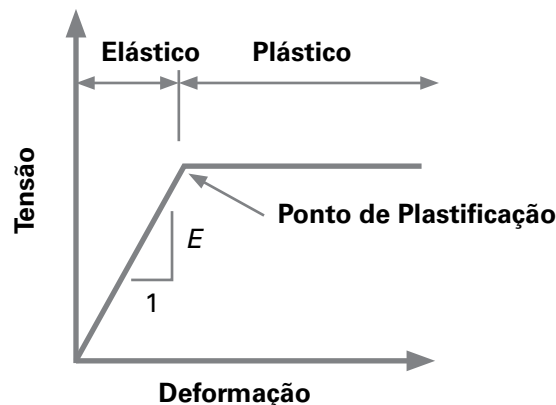


Figura 2 - Modelo elasto-plástico

### 3.2 • Geometria analisada

Para análise do comportamento estrutural do pavimento, foi utilizado o modelo axissimétrico, pois se fundamenta pela simples manipulação e, também, pelo objeto de análise ser baseado na simetria radial de uma carga circular aplicada sobre uma estrutura de pavimento.

Na modelagem axissimétrica, considera-se que a roda de um veículo provoca um carregamento circular uniformemente distribuído e que o pavimento é analisado apenas para uma carga de roda. Devido à sua simetria axial, este modelo utiliza o sistema de coordenadas cilíndricas para representar o pavimento e analisa, apenas, o semi-plano definido pela parte positiva dos eixos vertical e radial deste sistema, pois se considera que o comportamento obtido neste semi-plano seja o mesmo para outros com coordenadas angulares diferentes.

Após a verificação dos resultados do programa SIGMA/W, para o problema axissimétrico (360°), com a solução para a carga uniforme sobre uma área circular, o modelo foi comparado com o programa FEPAVE2 com o intuito de verificar-se a convergência de resultados entre os dois programas para as mesmas condições geométricas e de carregamento.

Tabela 1 - Seqüência construtiva simulada

| Etapa | Ação                                    |
|-------|---|
| 1     | Regularização e compactação do subleito |
| 2     | Execução da camada de sub-base          |
| 3     | Execução da camada de base              |
| 4     | Execução do revestimento                |
| 5     | Aplicação da carga de roda              |

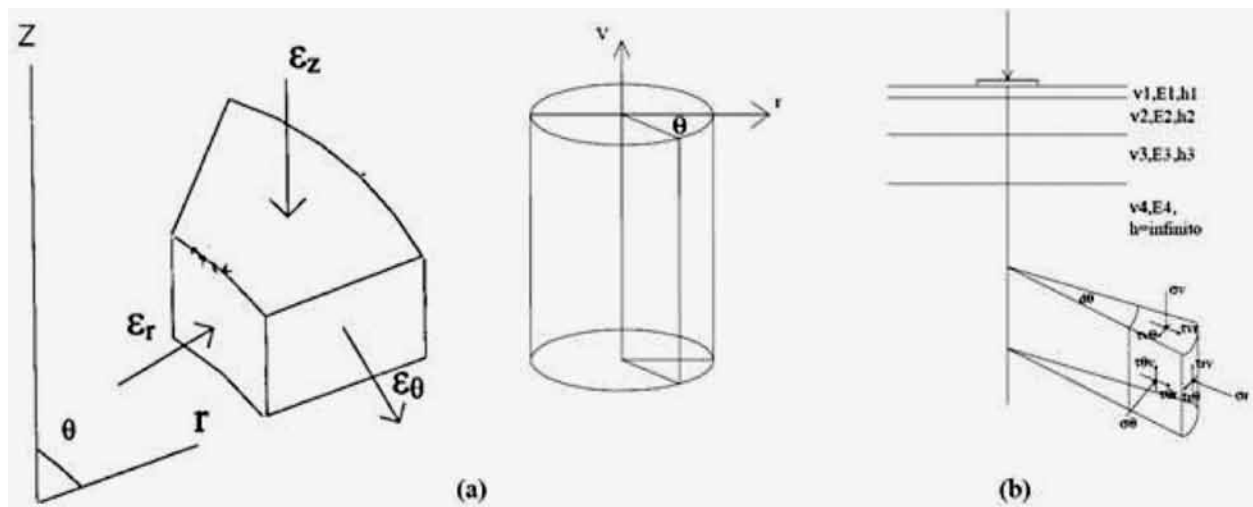
Neste trabalho, admitiu-se uma estrutura típica de pavimento flexível, constituído por 4 camadas, sendo a primeira de concreto asfáltico, a segunda uma base de agregados, a terceira uma sub-base de agregados e a quarta um subleito com material granular infinito, conforme apresentado na Tabela 2.

### 3.3 • Condições de Carregamento Simuladas

Na modelagem computacional, adotou-se o carregamento de eixo-padrão de 8,2 tf. As magnitudes das cargas por rodas foram

definidas dividindo-se a carga do eixo padrão pelo número de rodas, resultando assim:  $8.200/4 = 2.050$  kgf ou 20.500 N, por roda, que corresponde a uma pressão de 80 psi ou 5,62 kgf/cm<sup>2</sup> (549,17 kPa). Para o presente trabalho a carga foi considerada uniformemente distribuída sobre uma área circular de 10,8 cm de raio, ou seja, de diâmetro de 21,6 cm.

Sob o ponto de vista mecânico, o pavimento é representado segundo a Figura 3, que mostra o estado de tensões em um elemento sob condições axissimétricas.



**Figura 3 - Representação do modelo usualmente adotado em análises mecânicas:**  
 (a) condição axissimétrica; (b) estado de tensões em um elemento axissimétrico infinitesimal.

### 3.4 • Materiais da estrutura do pavimento

Na simulação numérica da estrutura do pavimento, foram adotados os seguintes parâmetros geométricos descritos na Tabela 2.

**Tabela 2 - Geometria do problema - sistema de camadas típico**

| Localização                             | Valor                   |
|---|-------------------------|
| Regularização e compactação do subleito | ∞                       |
| Execução da camada de sub-base          | 0,20 m                  |
| Execução da camada de base              | 0,15 m                  |
| Execução do revestimento                | 0,05 m                  |
| Aplicação da carga de roda              | 5,6 kgf/cm <sup>2</sup> |

Para a simulação numérica do comportamento estrutural do pavimento faz-se necessário estimar os valores de módulo resiliente das camadas do pavimento.

As camadas que compõem a estrutura do pavimento foram caracterizadas pelo Coeficiente de Poisson e Módulo de Elasticidade, tendo sido adotados parâmetros típicos para as camadas do pavimento. Foram usadas informações disponíveis em bibliografia especializada e baseadas na experiência dos autores em obras, ou seja, valores comumente empregados em Mecânica dos Pavimentos, que permite

a verificação das tensões e deformações no seio da estrutura do pavimento solicitada pelas cargas do trafego da rodovia.

Desta forma, para as análises foram admitidas que as camadas (revestimento, base, sub-base e subleito) apresentam seus módulos de rigidez ( $E$ ) de 3000; 300; 300 e 100 MPa, respectivamente, e coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) de 0,30 para o revestimento; 0,35 para as camadas de base e sub-base e 0,45 para o subleito, e o peso específico do material ( $\gamma$ ) de 23,52; 20,58; 20,58 e 17,64 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente, condizentes com a prática corrente, conforme listados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Parâmetros geomecânicos**

| Material   | Parâmetro  | Valor  |
|--|--|--|
| Regularização e compactação do subleito<br>Solo selecionado  | Módulo de elasticidade ( $E$ )<br>Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )<br>Peso específico ( $\gamma$ ) | 98.070 kPa<br>0,45<br>17,64 kN/m <sup>3</sup>    |
| Camada de Sub-base:<br>A camada de sub-base, utilizada para reduzir a espessura da base, tem como funções receber os esforços provenientes da camada de base e redistribuir os esforços para a fundação. | Módulo de elasticidade ( $E$ )<br>Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )<br>Peso específico ( $\gamma$ ) | 294.210 kPa<br>0,35<br>20,58 kN/m <sup>3</sup>   |
| Camada de base:<br>Tem como função receber as cargas transmitidas pela camada de regularização, uniformizar as tensões e posteriormente transmitir para a camada de sub-base.                            | Módulo de elasticidade ( $E$ )<br>Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )<br>Peso específico ( $\gamma$ ) | 294.210 kPa<br>0,35<br>20,58 kN/m <sup>3</sup>   |
| Camada de Revestimento:<br>Camada superior do pavimento e na qual circula diretamente o trafego.   | Módulo de elasticidade ( $E$ )<br>Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )<br>Peso específico ( $\gamma$ ) | 2.942.100 kPa<br>0,30<br>23,52 kN/m <sup>3</sup> |

Vale ressaltar que o revestimento foi considerado elástico-linear, de modo a facilitar o entendimento do efeito da viscoelasticidade linear no cálculo de tensões e deslocamentos. Também para as variações de temperatura existentes no revestimento, estas não foram consideradas neste trabalho, a fim de simplificar a

análise e desconsiderar o efeito da viscoelasticidade na resposta estrutural dos pavimentos.

Os coeficientes de *Poisson* das diversas camadas do pavimento foram adotados em função das recomendações do “*AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*”, 1986:

**Tabela 4 - Coeficiente de Poisson**

| Material            | Coeficiente Adotado |
|---------------------|---------------------|
| Camadas betuminosas | 0,30                |
| Camadas de BGS      | 0,35                |
| Camadas de BGTC     | 0,20                |
| Subleito            | 0,45                |

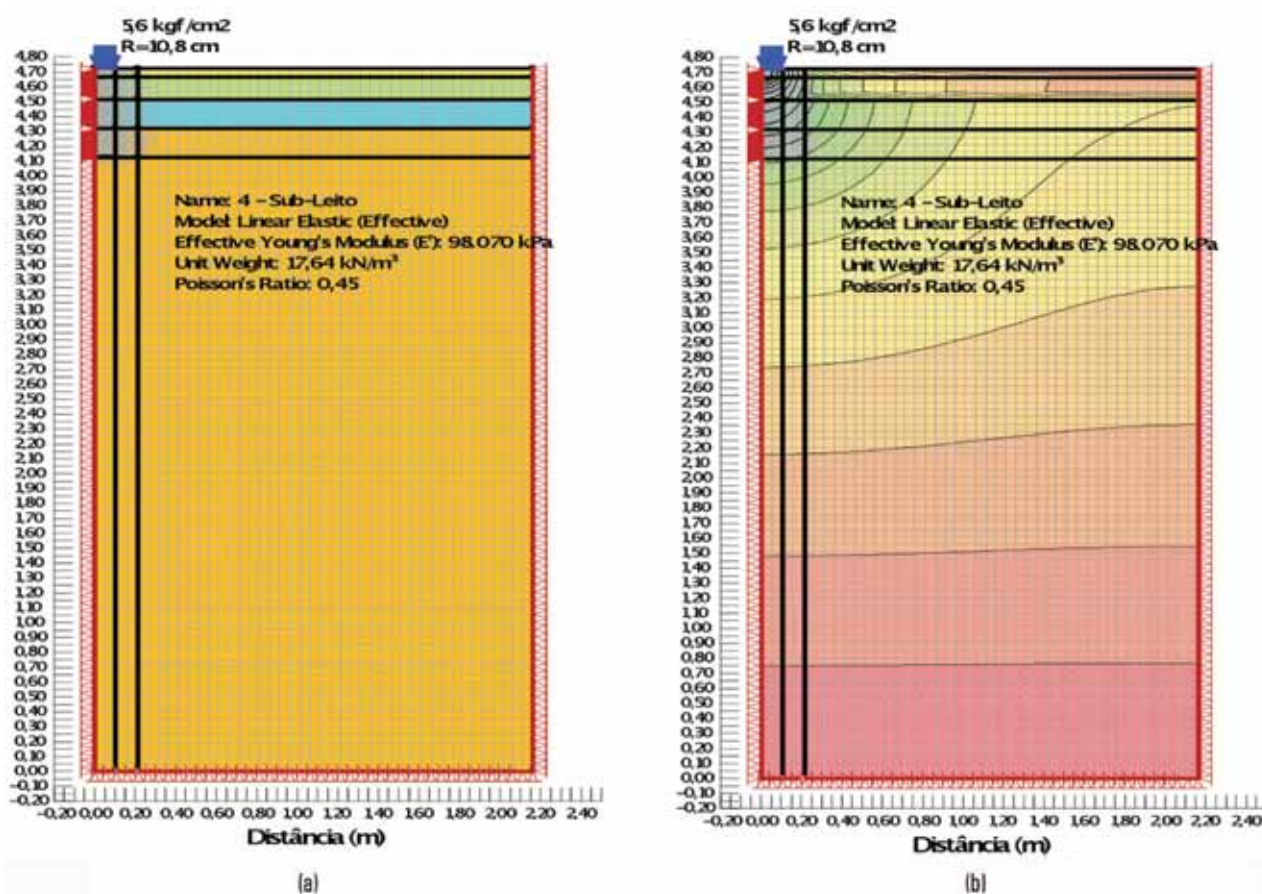
### 3.5 • Comparação entre os modelos elásticos lineares

Considera-se que o MEF é um método aproximado, como todos os métodos numéricos, mas que produz resultados bastante satisfatórios quando a divisão adotada é adequada. Ao contrário dos modelos analíticos, esse modelo necessita definir um sistema que é horizontalmente e verticalmente limitado, como mostra a Figura 4.

A localização do limite inferior e dos contornos laterais da malha deve estar o mais distante possível da carga do veículo para simular

a condição de meio semi-infinito, fazendo com que o número de elementos da malha cresça.

Desta forma, Duncan (1968), usada também por Silva (1995), admite que para obter a malha ideal, o limite radial da malha deve ser de 20 vezes o raio da área de carregamento (20R) e a última camada (subleito) deve ter espessura de aproximadamente 40 vezes o mesmo raio (40R), adotando-se espessuras de 5, 15 e 20 cm para o revestimento asfáltico, base e sub-base constituídas de material granular, respectivamente, definiram a geometria do pavimento. A seção transversal e os parâmetros dos materiais adotados nas análises numéricas são apresentados conforme a Figura 4.



**Figura 4 - Modelo numérico axissimétrico no SIGMA/W – Elástico Linear**

(a) Geometria, condições de contorno, carregamento e malha de EF gerada pelo programa SIGMA/W;

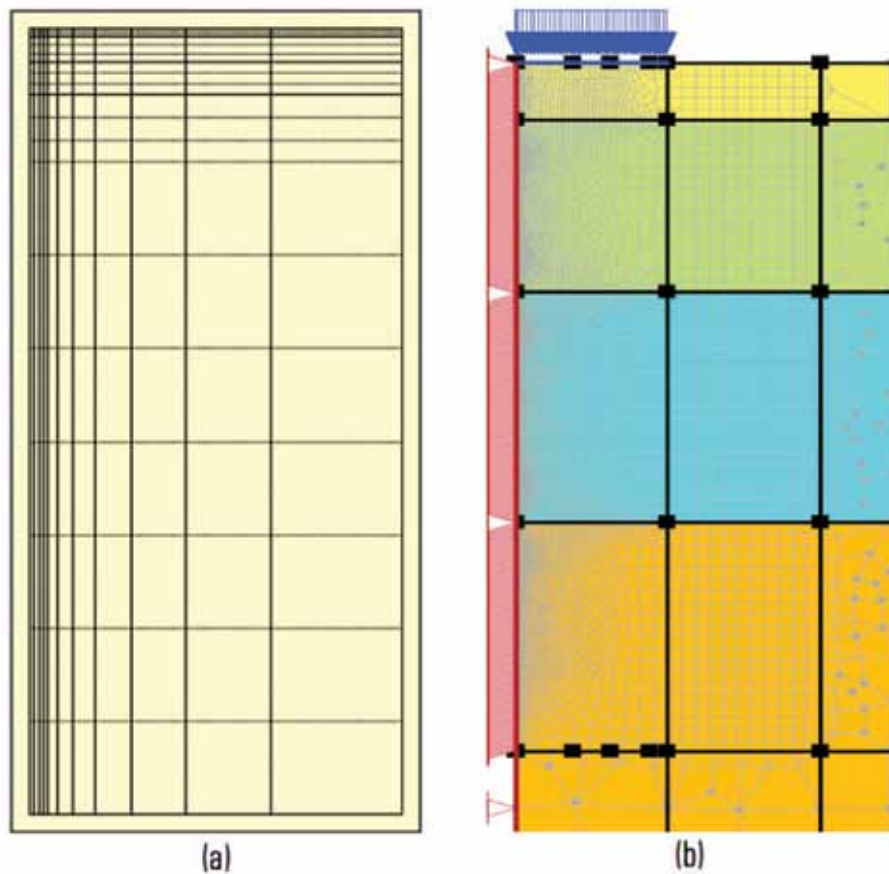
(b) Malha deformada após a condição de carregamento.

Para esta modelagem, buscou-se uma melhor discretização nas regiões mais próximas à sobrecarga (Figura 5), para realizar o refinamento da malha de elementos finitos, suficiente para abordar as peculiaridades da seção considerada. Desse modo, foram usados 13.708 nós e 13.550 elementos, conforme a Figura 4a, acima.

O procedimento de geração da malha é realizado automaticamente pelo programa através do comando *Generate Mesh*. Também é

possível refinar a malha em uma região ou linha de maior interesse. Quanto mais refinada a malha, maior o tempo de processamento, pois a quantidade de elementos é maior e, conseqüentemente, maior o número de nós e de pontos de informação.

A Figura 5b apresenta a malha para a seção estudada.

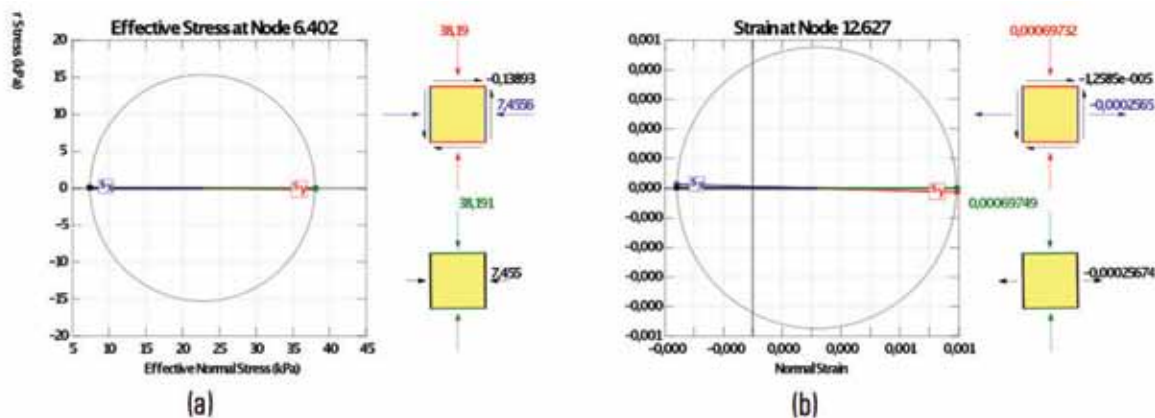


**Figura 5 - Carregamento e malha de EF nas regiões próximas a sobrecarga no SIGMA/W**

(a) Malha de EF no FEPAVE2; (b) Refinamento de Malha de EF no SIGMA/W

### 3.6 • Análise da estrutura e respostas estruturais

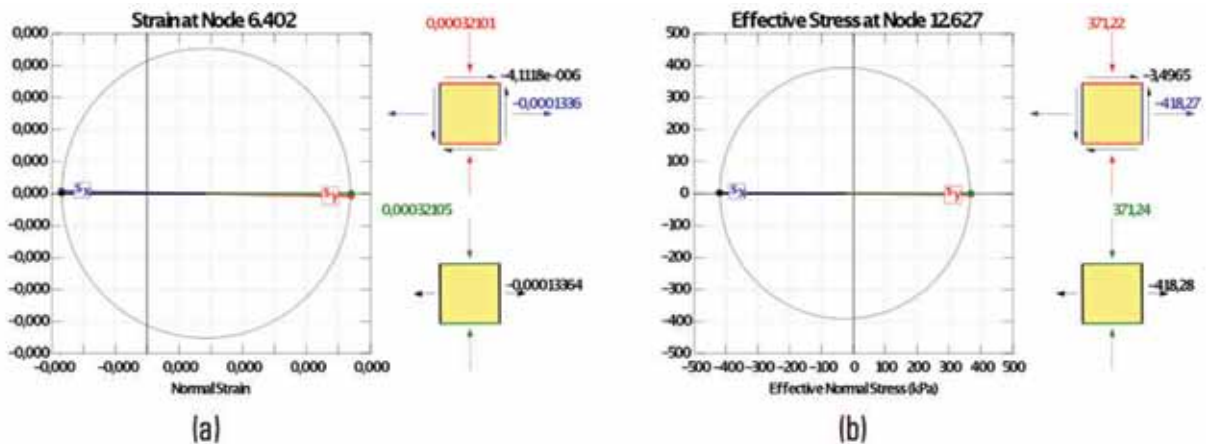
A Tabela 5 apresenta um comparativo entre os resultados obtidos nas simulações. Foram considerados os parâmetros elásticos dos materiais apresentados na Tabela 3, e a geometria do pavimento dada na Tabela 2.



**Figura 6 - Mohr-Coulomb - regiões sem plastificação sob o carregamento aplicado na superfície do pavimento.**

(a) Tensão vertical no topo do subleito ( $\sigma_{vSZ}$ ); (b) Deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento ( $\epsilon_f$ ).

Para obter resultados de informações (Círculos de Mohr, etc.) para cada região de estudo, ou seja, no nó, sugerem-se locais fora da interface, pois devido à diferença na rigidez dos materiais este local se torna impreciso devido às oscilações numéricas do método, conforme apresentado na Figura 6 e Figura 7.



**Figura 7. Mohr-Coulomb - regiões sem plastificação sob o carregamento aplicado na superfície do pavimento.**

- (a) Deformações específicas verticais de compressão ( $\epsilon_v$ ) desenvolvidas no topo do solo de fundação;
- (b) Tensões ( $\sigma_t$ ) na fibra inferior da camada asfáltica.

Seguindo a prática geotécnica comum, as propriedades dos materiais podem ser especificadas no SIGMA/W usando tanto parâmetros de tensões efetivas para parâmetros efetivos para análises em termos de tensões efetivas em condições drenadas ou não drenadas, ou parâmetros totais para estudos em termos de tensões totais em condições não drenadas.

Caso a modelagem represente uma situação usando parâmetros de tensões efetivas com alteração de poropressão, então a análise de tensão/deformação deverá ser precedida por uma análise de fluxo acoplado para definição das condições de pressão neutra com o auxílio do modelo *Coupled Stress Pore Water Pressure*, do programa SIGMA/W, com variação de poropressão. Dessa maneira, as análises serão avaliadas simultaneamente em função da variação da poropressão gerada durante o processo.

Considerando uma análise de tensão/deformação sem uma prévia da variação da poropressão em função dos incrementos de carga,

os valores da variação da pressão neutra não serão computados e a análise em questão será em termos de tensões totais.

Ao especificar as propriedades do material como parâmetros em termos de tensões efetivas, o *software* SIGMA/W vai considerar a tensão total existente, subtrair a poropressão especificada e chegar a um valor de tensão efetiva. Em um estudo de tensão/deformação, materiais com parâmetros em termos de tensões efetivas e tensões totais podem ser considerados numa mesma análise. No entanto, neste caso, caso não seja verificada alterações nas condições de poropressão, os valores em termos de tensões totais e tensões efetivas tendem a ser iguais nos respectivos materiais.

Nas análises em que os parâmetros de tensões efetivas são especificados e a análise não é conjunta com o SEEP/W, a mudança na tensão efetiva será sempre igual à mudança de tensão total, ou seja, não há variação da poropressão.

### DESLOCAMENTO VERTICAL MÁXIMO SUPERFÍCIE

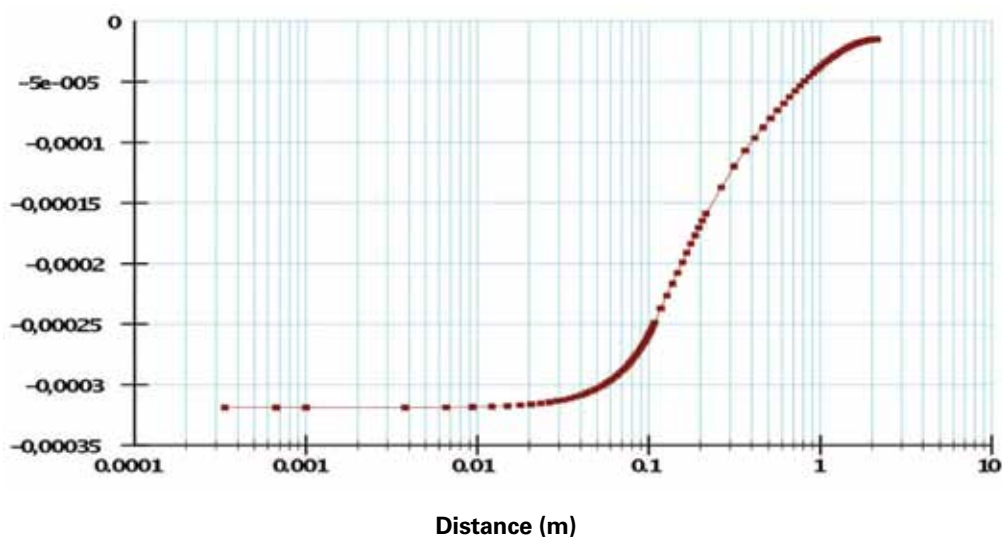


Figura 8 - Deslocamento vertical recuperável máximo da superfície do pavimento ( $\delta$ );

O deslocamento vertical máximo ( $\delta$ ) tendem a valores de  $3,189 \times 10^{-4}$  m (Figura 8 e 11a) e a deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento ( $\epsilon_t$ ) tendem a valores de aproximadamente  $2,56 \times 10^{-4}$ , conforme apresentado na Figura 9 e 11b.

### DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO NA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO

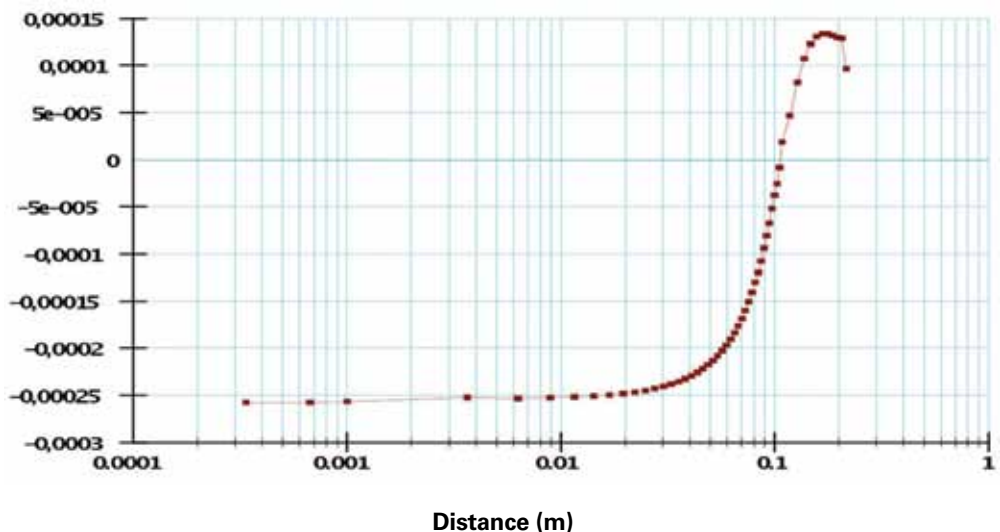


Figura 9 - Deformação específica radial de tração na fibra inferior do revestimento ( $\epsilon_t$ ).

As tensões radiais na fibra inferior da camada asfáltica ( $\sigma_r$ ) tendem a valores de 418 kPa, conforme apresentado na Figura 10 e 12a.

TENSÃO RADIAL NA FIBRA INFERIOR DA CAMADA ASFÁLTICA

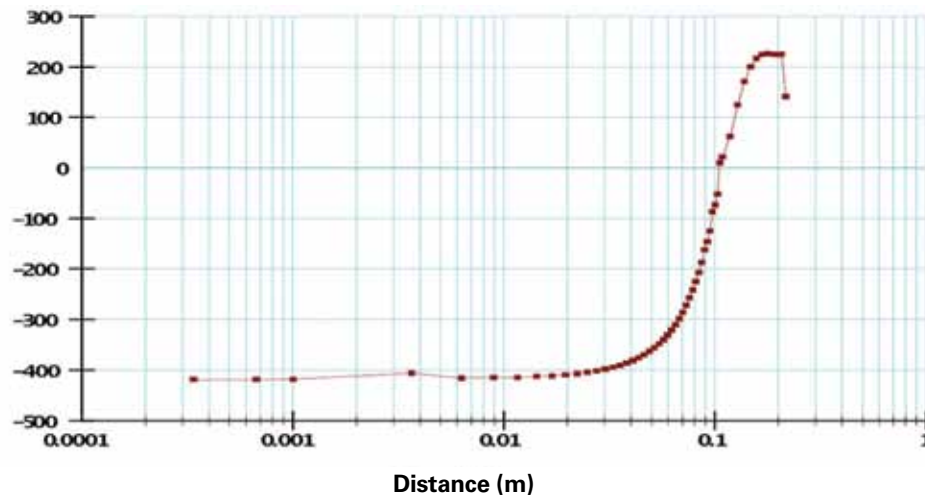


Figura 10 - Tensões radiais na fibra inferior da camada asfáltica. ( $\sigma_r$ ).

Na saída de dados do *software* SIGMA/W, pode-se verificar os deslocamentos provocados, assim como a configuração deformada. O detalhe da malha na região próxima a carga e a representação gráfica dos resultados obtidos nesta região são apresentados conforme a Figura 11.

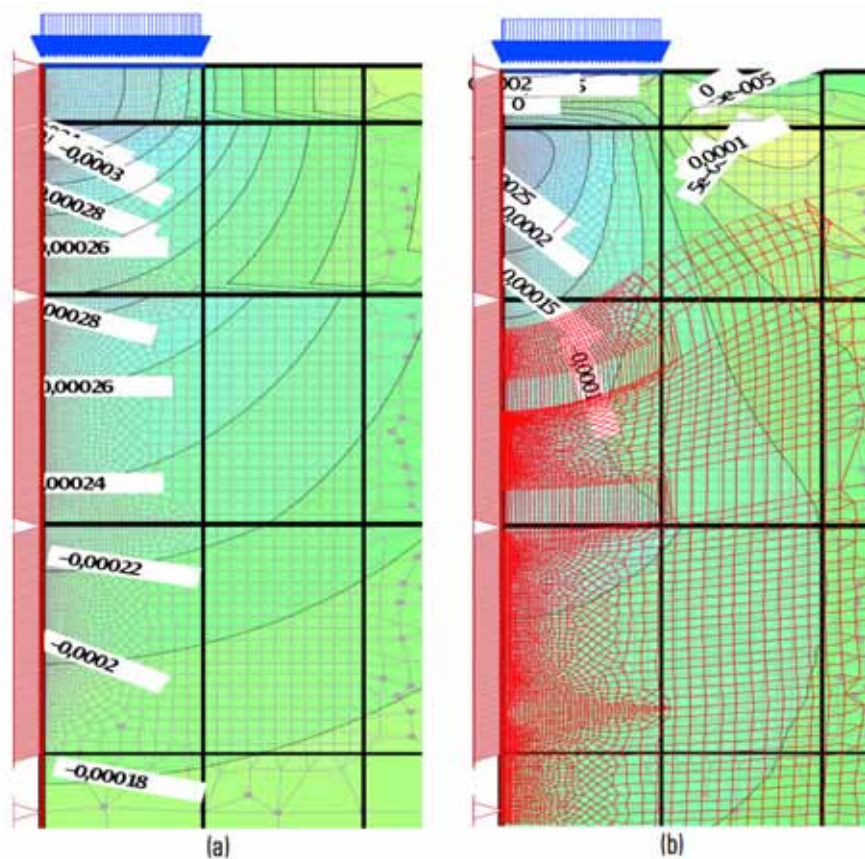


Figura 11 - Detalhe da região próxima a carga - Isovalores

- (a) Distribuição dos deslocamentos verticais ao longo da profundidade (m);
- (b) Distribuição da deformação específica radial sob o carregamento aplicado na superfície do pavimento.

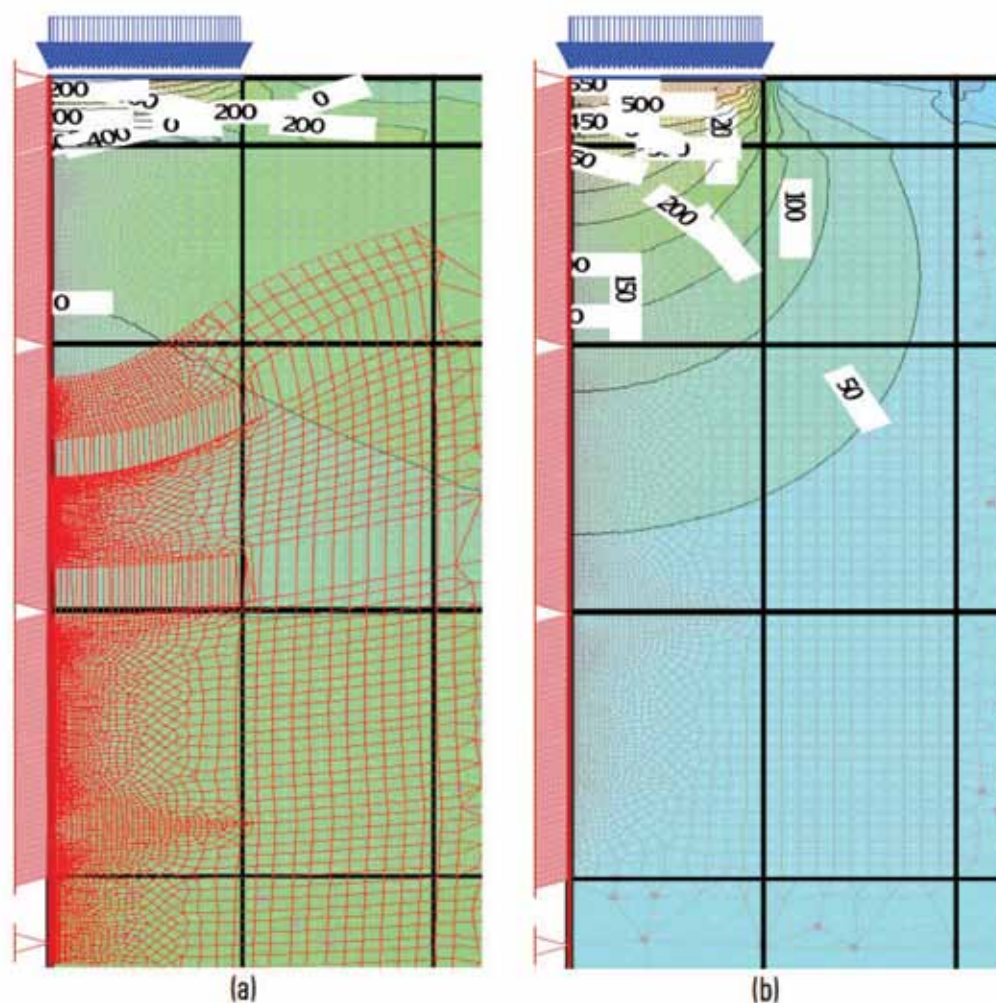
Dado que, dentre outras diferenças, o FEPAVE2 utiliza elementos quadriláteros enquanto o SIGMA/W adota elementos triangulares, ou seja, que a solução numérica é sensível à malha, e podem ocorrer algumas diferenças entre os resultados obtidos pelos programas.

Tabela 4 apresenta um comparativo entre os resultados obtidos, usando-se o modelo elástico linear. Os resultados das avaliações revelaram que a deflexão máxima na superfície ( $\delta$ ) é 3% maior no FEPAVE2; a tensão vertical no topo do subleito ( $\sigma_{vSL}$ ) é 27% menor no FEPAVE2; a deformação específica de tração na camada inferior do revestimento ( $\epsilon_t$ ) é 5% maior na análise com o SIGMA/W, assim como a tensão radial na fibra inferior do revestimento ( $\sigma_r$ ) com 26% maior na análise com o SIGMA/W. Desta forma, conclui-se que, no caso em estudo, a análise, produz resultados similares à análise

linear elástica (levemente divergentes), em termos de deslocamento no ponto de aplicação da carga ( $\delta$ ) e deformação específica ( $\epsilon_t$ ), para as camadas superiores do sistema. A tensão de tração na fibra inferior do revestimento ( $\sigma_r$ ) e a tensão vertical no topo do subleito ( $\sigma_{vSL}$ ) mostraram resultados com variabilidade.

É clássico que aumentando o refinamento malha de EF, têm-se resultados mais consistentes, no entanto, é necessário fazer estudos de sensibilidade para assegurar que o refinamento seja válido, comparando-se os mesmos resultados requeridos alterando-se a malha no mesmo programa.

Na Figura 12, é apresentado a distribuição das tensões verticais e radiais sob o carregamento aplicado na superfície do pavimento.



**Figura 12 - Tensões induzidas por carregamento aplicado na superfície - Isovalores**  
(a) Distribuição das tensões radiais (kPa); (b) Distribuição das tensões verticais (kPa).

Tabela 5 - Parâmetros estruturais obtidos através dos modelos elásticos lineares

| DESCRIÇÃO    | $\delta$ ( $\times 10^{-2}$ mm) -<br>Deslocamento vertical recuperável máximo da superfície do pavimento | $\sigma_{vSL}$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) -<br>Tensão admissível no topo do subleito | $\sigma_t$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) -<br>Tensão de tração na fibra inferior do revestimento | $\epsilon_t$ ( $\times 10^{-4}$ ) -<br>Deformação Específica Radial de Tração |
|--------------|--|--|---|---|
| FEPAVE2      | 32,85  | 0,284  | -3,12   | 2,42  |
| SIGMA/W      | 31,89  | 0,389  | -4,20   | 2,56  |
| $\Delta$ (%) | 3%   | 27%  | 26%   | 5%  |

A análise tensão/deformação foi realizada em um ponto: sob a roda ( $x=0; y=0$ ). Em relação à profundidade da análise, foram analisados os seguintes critérios de ruptura:

- A deflexão máxima ( $\delta$ ) na superfície: Critério de deformação permanente;
- Deformação específica radial de tração máxima ( $\epsilon_t$ ) na fibra inferior da camada asfáltica: Critério de trincamento por fadiga da camada betuminosa;
- Tensões ( $\sigma_t$ ) na fibra inferior da camada asfáltica; Critério de trincamento por fadiga da camada betuminosa;
- Tensões/deformações verticais ( $\sigma_{vSL}$ ) no topo do subleito: Critério de deformação permanente.

A avaliação das tensões induzidas por carregamento aplicado à superfície ou no interior de uma massa de solo tem sido feita, em geral, admitindo o solo como um material elástico e utilizando as soluções da Teoria da Elasticidade que melhor se aplicam a cada problema e a cada tipo de solicitação.

O emprego da Teoria da Elasticidade aos solos é, contudo, questionável, já que o comportamento desses materiais não satisfaz às exigências de material elástico, principalmente no que se refere à reversibilidade das deformações no carregamento-descarregamento. Até determinado nível de tensões, existe certa proporcionalidade entre tensões e deformações, de maneira que se considera um módulo de elasticidade como representativo do material. Entretanto, é importante definir até que ponto, ou em que casos, serão legítimos utilizar essas soluções na avaliação do estado de tensões. Em problemas que envolvem carregamento essencialmente monótono de massas de solo por tensões com valores inferiores àqueles que provocariam o colapso dessas massas, as soluções da Teoria da Elasticidade podem ser aplicadas no cálculo do estado de tensão induzido.

## 4 • CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma estratégia para o aumento da precisão e eficiência da análise de pavimentos flexíveis baseada no uso de elementos finitos. Procurou investigar os aspectos relacionados ao comportamento mecânico de um pavimento típico rodoviário, por meio de análise numérica.

Entretanto, para uma boa precisão dos resultados, é fundamental que as informações sobre a estrutura do pavimento, com relação às espessuras das camadas e às características físicas e mecânicas dos materiais constituintes das camadas, sejam bem obtidas, para que a modelagem computacional seja mais precisa e real. Dessa forma, pode-se facilitar a análise estrutural de um pavimento, podendo até contribuir para diagnósticos de deterioração e possível reabilitação.

A distribuição dos acréscimos de tensão vertical com a profundidade ao longo de uma linha no eixo de simetria do carregamento apresentaram valores de cerca de 10% da carga induzida, de 549,17 kPa no topo do subleito até onde o material é efetivamente solicitado.

Os resultados mostraram-se favoráveis em termos dos deslocamentos e deformações e apresentaram resultados bastante próximos, na comparação entre o FEPAVE2 e o SIGMA/W, ou seja, nos estudos deve-se considerar uma avaliação de tendências e comportamento, uma vez que os parâmetros de entrada geralmente apresentam erros e/ou incertezas muito maiores que os erros provenientes da solução numérica, quando bem elaborada.

Desta forma, havendo resultados semelhantes, tem-se que a malha está otimizada e segura para os estudos. Assim, este é um estudo cauteloso.

## Referências Bibliográficas

- Anderson, D. L. e R. L. Ungless (1977) *Infinite Elements*. International Symposium of Innovative Numerical and Analytical Applied Engineering Science. França.
- Araújo, P. C.; J. B. Soares; A. S. Holanda; E. P. Parente e F. Evangelista (2010) *Dynamic Viscoelastic Analysis of Asphalt Pavements using Finite Element Formulation*. Road Materials and Pavement Design, v. 11, p. 409–433.
- Beer, G. e J. L. Meek (1981) *Infinite Domain Elements*. International Journal of Numerical Methods in Engineering, v. 17, n. 1, p. 43–52.
- Bernucci, L. B.; L. M. G. Motta; J. A. P. Ceratti e J. B. Soares (2007) *Pa-vimentação Asfáltica*, Second edition, Petrobras: ABEDA, Rio de Janeiro, RJ.
- Bettess, P. (1992) *Infinite Elements*. Ed. Penschaw Press, Inglaterra.
- Botelho, R. P.; R. N. A. Cavalcante; R. P. Coutinho; A. S. Holanda e E. Parente Jr (2009) *Desenvolvimento de um Sistema Gráfico para TRANSPORTES* v. 21, n. 3 (2013) p. 5–13 13
- *Análise Numérica de Pavimentos Asfálticos*, IV Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço, Fortaleza, CE, p. 1–12.
- Cavalcante, R. N. A.; R. P. Coutinho; A. S. Holanda e E. Parente Jr (2008). *Gerador de Malha Bidimensional para Análise de Tensões e Deformações em Pavimentos Asfálticos*. Anais do XXIX Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, CILAMCE, p. 1-18.
- Christensen, R. M. (1982) *Theory of Viscoelasticity*. Dover (2a ed.), New York, NY, USA.
- Collop, A. C.; A. T. Scarpas; C. Kasbergen e A. de Bondt (2003). *Development and Finite Implementation of a Stress Dependent Elasto-Visco-Plastic Constitutive Model with Damage for Asphalt*. Transportation Research Board 82nd, Annual Meeting. p. 1–27.
- Cook, R.; D. Malkus e M. Plesha (2002) *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. 2a Edição, Editora John Wiley & Sons.
- Coutinho R. P.; R. N. A. Cavalcante; A. S. Holanda e E. Parente Jr (2008). *Desenvolvimento de um Gerador de Malhas para Análise de Pavimentos Pelo Método dos Elementos Finitos*. Anais do XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Fortaleza – CE, p. 1–12
- Davids, W. G. (2009) *EverStress FE1.0 Software for 3D Finite Element Analysis of Flexible Pavement Structures: Summary of Features and Capabilities*, p. 1-4.
- Franco, F. A. C. P. (2007) *Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Hjelmstad, K. D.; Q. Zuo e J. Kim (1997). *Elastic Pavement Analysis Using Infinite Elements*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. v. 1568, p. 72–76. DOI: 10.3141/1568-09.
- Holanda, A. S.; E. Parente Jr.; T. D. P. Araújo; L. T. B. Melo; F. Evangelista Jr. e J. B. Soares (2006). *Finite Element Modeling of Flexible Pavements*. XXVII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering (CILAMCE), Belém, Pa-rá.
- Huang, Y. H. (2004) *Pavement Analysis and Design*, Second edition, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Lakes, R. S. (1998) *Viscoelastic Solids*. CRC Press.
- Lee, H. J. (1996). *Uniaxial Constitutive Modeling of Asphalt Concrete Using Viscoelasticity and Continuum Damage Modeling*. PhD thesis, Civil Engineering Department, North Carolina University, USA.
- Lynn, P. P. e Hadid, H. A. (1981) *Infinite Elements with 1/rn type decay*. International Journal of Numerical Methods in Engineering, v. 17, n. 3, p. 347–355.
- Marques, J. M. M. C. e D. R. J. Owen (1984) *Infinite Elements in Quasi-static Materially Nonlinear Problems*. Computers and Structures, v. 18, n. 4, p. 739–751.
- Medina, J. e L. M. G. Mota (2005). *Mecânica dos Pavimentos*. 2ª edição. 574p. Editora UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.
- Motta, L. M. G. (1991) *Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- NCHRP/TRB (2004) *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*, Appendix RR: *Finite Element Procedures for Flexible Pavement Analysis*, Illinois, USA.
- Olson, L. G. e K. J. Bathe (1985). *An Infinite Element for Analysis of Transient Fluid-Structure Interactions*. Eng. Comput., v. 2, p. 319–329.
- Portela, E. L.; E. Parente Jr.; R. P. Botelho e A. S. Holanda (2008) *Análise Viscoelástica de Pavimentos Asfálticos Pelo Método dos Elementos Finitos*. Anais do XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Fortaleza – CE, p. 1-12.
- Rahman, M. T.; K. Mahmud e S. Ahsan (2011). *Non Stress-Strain Characteristics of Flexible Pavement Using Finite Element Analysis*. Int. Journal of Civil and Structural Engineering, v. 2, n. 1, p. 233–249.
- Shames, I. H. e F. A. Cozzarelli (1997) *Elastic and Inelastic Stress Analysis*. Taylor & Francis, Revised Printing.
- Simulia (2007) *ABAQUS User's Manual*, Version 6.7.
- Souza, F.V.; Soares, J.B. (2003) *Efeito da consideração do comportamento viscoelástico linear do revestimento no cálculo de tensões e deslocamentos em pavimentos asfálticos*. XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Brasil.
- Soares, J. B.; A. Mateos e L.M.G. Motta (2009) *Aspectos gerais de métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos de vários países e a relação com um novo método brasileiro*. Revista Pavimentação (ABPv), Outubro, p. 20–35.
- Soares, J. B. e F. Souza (2002) *Verificação do Comportamento Viscoelástico Linear em Misturas Asfálticas*. Anais do 16º Encontro de Asfalto, IBP, Rio de Janeiro. ①

# TUDO SOBRE INFRAESTRUTURA VIÁRIA E RODOVIÁRIA



5ª EDIÇÃO

## BRAZIL ROAD EXPO 2015

24-26  
MARÇO

TRANSAMERICA  
EXPO CENTER  
São Paulo - SP

Expo: 12h - 20h  
Summit: 10h - 18h




### VENHA VISITAR O EVENTO E CONHEÇA NOVIDADES E LANÇAMENTOS DO MERCADO

270 MARCAS EXPOSITORAS  
NACIONAIS E INTERNACIONAIS

15.000m<sup>2</sup> DE EXPOSIÇÃO  
INDOOR E OUTDOOR

FAÇA JÁ SEU CREDENCIAMENTO GRATUITO NO SITE  
INFORMANDO O CÓDIGO AN#ABPV

[www.brazilroadexpo.com.br](http://www.brazilroadexpo.com.br)

 /RoadExpo  @BrazilRoadExpo  /in/brazilroadexpo

Apoio Oficial

 DNIT

 Ministério dos Transportes

 ANTT  
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

 Dersa

 ABCR  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO DE VIAS

 ABSeV

 ANEOR

 ANETRANS

 ABR

 ABR

 ALTIMA

Organização

 CLARION



# A BASE DE TUDO INOVAÇÃO

- Sistema vibratório exclusivo Cat® tipo pod. Confiável, requer muito pouca manutenção.
- Sistema de bombas duplas proporciona fluxo independente para excepcional tração e para o confiável sistema vibratório.
- Sistema opcional de medição de Compactação chamado MDP. Ampla faixa de aplicação e menos variabilidade que os sistemas baseados no acelerômetro.

Contate seu distribuidor para mais informações e opções de aluguel.

**CONSTRUÍDA PARA FAZER.**



Entre em contato conosco acessando [www.cat.com/paving](http://www.cat.com/paving)

 [facebook.com/CATPaving](https://facebook.com/CATPaving)

 [youtube.com/CATPaving](https://youtube.com/CATPaving)