

REVISTA

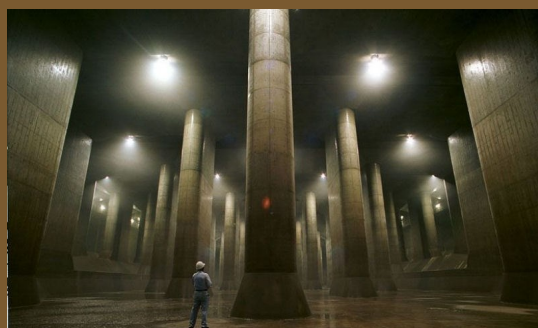
ABPV

Associação Brasileira de Pavimentação



PAVIMENTAÇÃO

ANO XIII • Nº 47 • JAN - MAR • 2018 • WWW.ABPV.ORG.BR • ISSN 1809 - 1865



Caderno de Tecnologia
RESERVATÓRIO

EXPEDIENTE



REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano XIII • Nº 47 - Jan - Mar 2018

ISSN 1809 - 1865

Rua Miguel Couto, 105 • Sobrelhojas 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

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Georgina Libório Azevedo

georgina@abpv.org.br

MTb 31365-RJ

Jean Pierre M. Santiago

jpierrems@abpv.org.br

MTb 27170-RJ

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

Presidente • Eng. Eduardo Alberto Ricci

Vice-Presidente • Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa

Diretor Financeiro • Eng. Leonardo Santana Cavalcanti

Diretor Administrativo • Eng. Fernando Augusto Junior

Diretora Técnica • Prof. Michéle Dal Tóe Casagrande

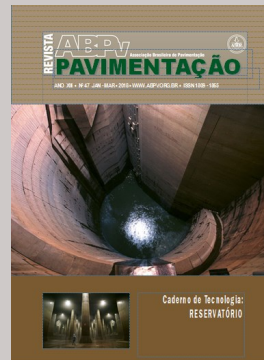
Diretor de Divulgação • Prof. Luiz Miguel de Miranda

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

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

Periodicidade • Trimestral

NOSSA CAPA



O "Templo Subterrâneo"- Tóquio

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

SUMÁRIO

EDITORIAL 3

CADERNO DE TECNOLOGIA

RESERVATÓRIO 4

Francisco José d'Almeida Diogo
Marcelo de Miranda Reis

ARTIGO 1

PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DE TRÊS SOLOS TÍPICOS DO ESTADO DO AMAZONAS: Um estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas.. 22

Messias de Oliveira Lopes

Daniel Jardim Almeida

Marcos Valério Mendonça Baia

Frank Hudson de Souza Rebelo

ARTIGO 2

INFLUÊNCIA DO CRESCIMENTO DO TRÁFEGO E DA SOBRECARGA NO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS. 46

Rodrigo André Klamt

Luciano Pivoto Specht

Deividi da Silva Pereira

Magnos Baroni

ARTIGO 3

MÉTODO MECANÍSTICO//ESTRUTURAL DINÂMICO NÃO LINEAR APLICADO A PAVIMENTO RODOVIÁRIO 62

Norberto Germano Saraiva da Silva

EDITORIAL

A Associação Brasileira de Pavimentação apresenta nesta 47^a edição o Caderno de Tecnologia que versa sobre sistemas de drenagem. cuja autoria é de Francisco José d'Almeida Diogo e Marcelo de Miranda Reis, e três artigos técnicos, sendo eles:

- PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DE TRÊS SOLOS TÍPICOS DO ESTADO DO AMAZONAS - Um estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas trata-se de um estudo comparativo das características geotécnicas de três solos típicos do Amazonas nas cidades de Manaus, Rio Preto da Eva e Iranduba. Os autores são: Messias de Oliveira Lopes, da Universidade Nilton Lins e da UFAM: Daniel Jardim Almeida, Marcos Valério Mendonça Baia e Frank Hudson de Souza Rebelo.
- INFLUÊNCIA DO CRESCIMENTO DO TRÁFEGO E DA SOBRECARGA NO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS é um estudo focado em aspectos relacionados a taxa de crescimento e ao excesso de carga com o objetivo avaliar efeitos provocados pela ação do tráfego no dimensionamento e no custo de pavimentos flexíveis. Os autores são da UFSM, Universidade Federal de Santa Maria: Rodrigo André Klamt, Luciano Pivoto Specht, Deividi da Silva Pereira e Magnos Baroni.
- MÉTODO MECANÍSTICO/ESTRUTURAL DINÂMICO NÃO LINEAR APLICADO A PAVIMENTO RODOVIÁRIO apresenta um método de cálculo numérico aplicado ao dimensionamento de pavimentos rodoviários com base nos conceitos da análise dinâmica. Seu autor é o consultor Norberto Germano Saraiva da Silva,

O envio de artigos, notas técnicas e temas para o Caderno de Tecnologia são aguardados para avaliação e possível publicação.

A Revista Pavimentação é um instrumento disseminador de informações concernentes ao desenvolvimento do nosso país. Participe através do link de submissão que se encontra no site www.abpv.org.br.

Conselho Editorial



CADERNO DE TECNOLOGIA

Francisco José d'Almeida Diogo

Professor assistente do Instituto Militar de Engenharia

Marcelo de Miranda Reis

Coordenador de Graduação e Professor Adjunto do Instituto Militar de Engenharia.

RESERVATÓRIO

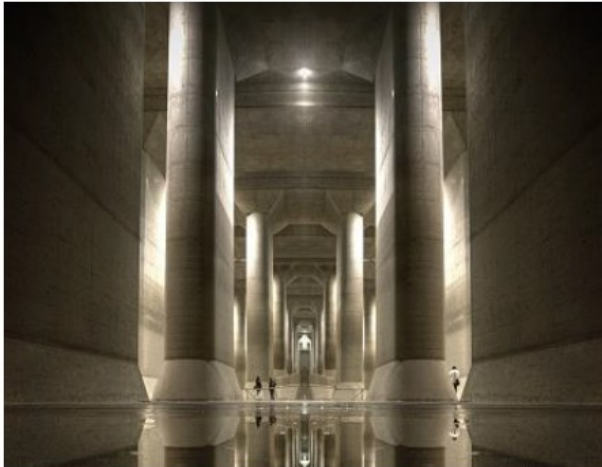


Figura 1 – Reservatório “o templo”, Tóquio¹



Figura 1- Programa de ensaios e seus resultados obtidos para a Classificação MCT

INTRODUÇÃO

No Japão, entre 1992 e 2009, foi construído um sistema de drenagem metropolitano, de Tóquio a Kasukabe, chamado de G-Cans ao custo de aproximadamente 1,5 bilhões de euros.

O sistema contém um reservatório (*o templo*) de 25,4 m de altura x 177 m de comprimento x 78 m de largura e cinco poços com 32 m de diâmetro e 65 m de profundidade, interligados por 64 km de túneis. O G-Cans foi projetado para um tempo de recorrência de 200 anos. Em Tóquio, ocorrem de dois a três tufões por ano.

¹Disponível em: <http://em.fis.unam.mx/public/mochan/soloparaingenieros/oy5ut8kvna.jpg>> Acesso em 10 mar. 2018.

²Disponível em: http://ifoto.huanqiu.com/gallery/landscape/2012-07/2656274_13.html> Acesso em 10 mar. 2018.

³Disponível em: <http://breziny.lt/wp-content/uploads/2014/01/G-Cans6.jpg>> Acesso em 13 mar. 2018.



Figura 3 – Esquema do grande sistema de drenagem G-Cans3.

Cada povo deve resolver suas adversidades empregando os melhores recursos disponíveis, mas atento ao conceito do sociólogo alemão Ulrich Beck “*pensar globalmente e agir localmente*”. Nessa linha, a metodologia mais avançada do mundo no trato da água pluvial é australiana, a WSUB (*Water Sensitive Urban Design*) que no Brasil se assemelha às chamadas *Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana*.

2 Objetivo e características

Em drenagem urbana, um reservatório tem o objetivo primário de retardar a onda de cheia, ou seja, prolongar a distribuição temporal do volume d’água pluvial, o que modera a vazão de pico. Ele está associado à redução das cargas poluentes, mas é pouco para um reservatório. Hoje não se concebe a sua existência sem integrá-lo à gestão do ciclo hidrológico urbano o que inclui as fontes de abastecimento d’água e o esgotamento sanitário. Segundo Wong, 2006, & Victorian, 2006, apud Nunes, 2011, há cinco objetivos na técnica australiana WSUB voltados às águas pluviais. Eles estão intrinsecamente relacionados às funções do reservatório. Veja-se, pois:

- *Redução do escoamento superficial (runoff) e proteção contra enchentes;*
- *Proteção dos ecossistemas aquáticos naturais e melhoria da qualidade das águas - tratamento e remoção de poluentes;*
- *Redução da demanda de água potável - armazenamento e uso das águas pluviais e/ou efluentes;*
- *Redução dos custos do sistema de drenagem e de infraestrutura em geral e, ao mesmo tempo, valorização estética do espaço urbano - integração dos sistemas de tratamento de águas pluviais com a paisagem urbana;*
- *Melhoria da qualidade ambiental urbana e do microclima urbano – áreas verdes e incremento no visual paisagístico.”*

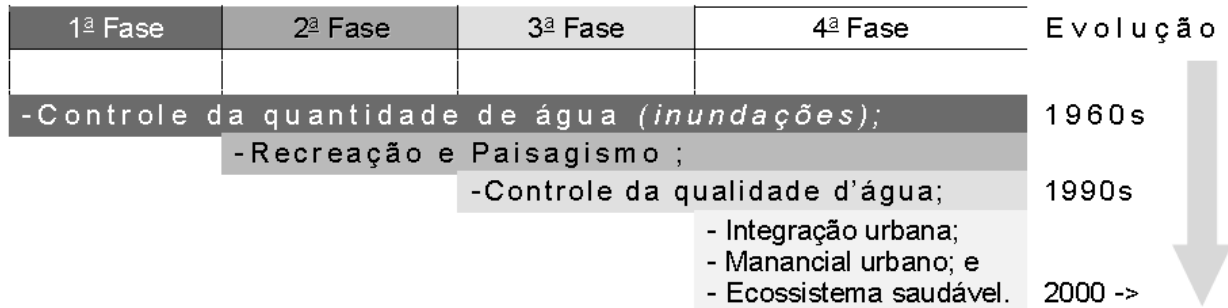


Figura 4 – Evolução do uso de um reservatório no ciclo hidrológico urbano

O controle de inundações e outros usos do reservatório competem por espaço e é preciso ajustar esse conflito, além de ser necessária uma gestão que atenda a sazonalidade dos dados estatísticos da meteorologia e as variações inopinadas, para minimizar os riscos de falha hidráulica do reservatório.

Se há risco de contaminar o lençol freático, deve-se impermeabilizar a detenção o que permite um uso diversificado, como o da Praça Júlio Andreatta em Porto Alegre/RS, mostrada abaixo.



Figura 5 – Reservatório de detenção aberto5.

Fonte: Imagem: Erika Tominaga, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, USP

3 Classificação dos reservatórios artificiais

3.1 Quanto ao tipo de armazenamento

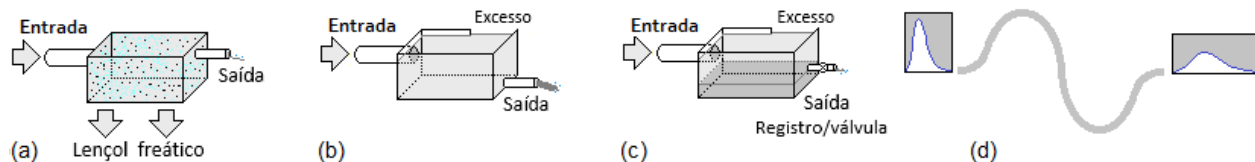


Figura 6 – Tipos de armazenamento: (a) infiltração; (b) detenção; (c) retenção e (d) condução

- 1) Infiltração: a saída é baseada em difusão para o lençol freático. São adequadas para locais com solos permeáveis e lençol freático profundo.
- 2) Detenção: é vazio, seco, a vazão de saída é pré-ajustada para uma fração do valor de entrada.
- 3) Retenção: possibilidade de controle do fluxo efluente após a chuva. O reservatório permanece com um volume morto, no mínimo, e por isso é conhecido como “molhado”.
- 4) Condução: o controle é realizado durante a condução do fluxo. Aumenta-se o tempo de concentração com maiores: seção, rugosidade e meandros do curso; adição de barreiras transversais e reduzindo a declividade do fluxo.

3.2 Quanto à existência de cobertura

Um reservatório pode encontrar-se abaixo de um pátio coberto, ser fechado, ou construído a céu aberto. Em área urbana, terreno, laje e profundidade são caros, mas a cobertura é necessária para evitar: acidentes; mau cheiro; proliferação de vetores causadores de doenças e uso popular para lançar lixo. O reservatório aberto é mais indicado quando não há uma urbanização densa. Abaixo, a Praça da Bandeira (*Rio*) sobre um reservatório fechado (*capacidade: 18×10^6 litros*).



Figura 7 – Reservatório de detenção fechado

3.3 Quanto à posição em relação ao curso d'água



Figura 8 – Reservatório em paralelo

Um reservatório a jusante da bacia hidrográfica pode operar em série (*“in line”*) ou em paralelo (*“off line”*) à linha d'água.

O paralelo é próprio de reservatórios de retenção e pode captar o excesso d'água quando um nível de cheia ultrapassa a cota de um vertedor lateral. É indicado para regiões densamente povoadas porque permite que o reservatório tenha profundidade maior que a do leito do rio e assim, ocupa menos área superficial. Neste caso, requer bombeamento. Os de retenção, são propícios à locação em série ao curso d'água.

3.4 Quanto a escala do reservatório

A regulação na origem do deflúvio superficial direto é chamada de controle na fonte. Pela importância, simplicidade, flexibilidade e popularização vem recebendo muita atenção no controle e uso d'água pluvial.

1) Reservatório de lote

Ao nível da microdrenagem, para áreas menores que 2 ha, armazena-se a água da chuva em lote urbano e com isso controla-se a geração do escoamento na fonte. O controle ocorre no jardim, estaciona-

mento, telhado, calçada e pisos locais, infiltrando a água no solo ou a receptando em microrreservatórios, podendo, ao receber um tratamento simples, ter uso não potável e local como: combate a incêndio; irrigação; lavagem de veículos, superfícies e roupa; e descarga em banheiro. É relevante se for disseminado à sociedade.

Ainda microdrenagem, atuando na fonte do deflúvio superficial, é realizado o controle com dispositivos ao longo de vias como: canais, jardim de chuva (*biorretenção*), valetas ou faixas gramadas, trincheira de infiltração, pavimento poroso ou retenção na galeria de águas pluviais.

3) Reservatório de vizinhança

Controle em loteamentos e bairros com uso de bacias de detenção, retenção, sedimentação, alagados, pequenos reservatórios, tanques enterrados em parques, praças, quadras esportivas ou estacionamentos públicos. Este nível é muito conturbado e de difícil implantação pois nas áreas metropolitanas há muitos loteamentos clandestinos, invasões de áreas públicas e abundantes ligações de esgoto cloacal no pluvial (*Adaptação de TUCCI et al,1998*).

4 Reservatórios básicos

Dentre as melhores práticas de gestão urbana envolvendo a água de chuva tem-se as medidas estruturais empregando diversas modalidades de reservatórios. A seguir, são apresentadas as propriedades de vários sistemas de armazenamento. Todos retardam e/ou reduzem o escoamento da área contribuinte, segundo a escala em que atuam.

Tabela 1 – Algumas propriedades de reservatórios urbanos básicos

Reservatório	Característica	Função	Escala	Impacto Qualidade/ Quantidade	Observações
Pavimento permeável ⁽¹⁾	Capa, revestimento e base permeáveis.	Infiltrar superficialmente para o solo ou para um coletor.	Lote e Via pública	Alta/ Média	Não indicado: tráfego intenso e local com muitos sedimentos.
Sistemas de infiltração	Vala, trincheira, tanque ou poço preenchido com material poroso.	Infiltrar para o solo ou se o solo é pouco permeável, para um coletor.	Todas (indicados a estacionamentos)	Alta/ Média	Não indicado: junto a fontes de poluição ⁽²⁾ , solo pouco permeável e lençol freático raso.
Reservatório de cobertura ⁽³⁾	Um tanque raso, vazio ou com material poroso sobre laje na cobertura.	Detenção temporária sobre a edificação.	Lote	Média/ Média	Uso como área verde.
Microrreservatório	Um pequeno reservatório de detenção.	Reduzir deflúvio, podendo ter uso ⁽⁴⁾ local não potável.	Lote e vizinhança	Média/ Média	Pode reduzir demanda de água potável para uso não potável.
Bacia de detenção seca e de detenção estendida	Reservatório vazio (<i>seco</i>) e se estendida com alguma água de fundo.	Amortecer onda de cheia e a estendida, reduz também a carga poluente. Ambos podem infiltrar.	Vizinhança	Baixa/ Alta	Eficiente para curso d'água pequeno. Eficiência: seca: ≥ 40 h; estendida ≥ 24 h
Bacia de detenção fechada	Reservatório coberto abaixo do nível do solo.	Amortecer onda de cheia com armazenamento temporário.	Vizinhança	Baixa/ Alta	Deve ser limpa com maior frequência que outros.
Bacia de retenção ⁽⁵⁾	Reservatório com leito sempre alagado (<i>volume morto</i>).	Amortecer onda de cheia; intensificar sedimentação, remover nutrientes, metais e preservar habitat nativo (<i>fauna e flora</i>). Infiltra.	Vizinhança	Média/ Alta	Valor paisagístico. Profundidade: 0,80 a 1,80m; p/ segurança humana: $\leq 1,50$ m Retenção: ≥ 12 horas
Alagado natural ou artificial ⁽⁶⁾	Ecossistema natural ou artificial com vegetação densa.	Amortecer onda de cheia da área contribuinte, intensificar a sedimentação e remover poluentes.	Vizinhança	Alta/ Média	Necessita de área plana e muito espaço. Pode atingir 10ha. Profundidade média: 15cm. Retenção: ≥ 2 dias, média: 3 dias.
Bacia de sedimentação	Bacia de captação de sedimentos.	Coletar sedimentos. Indicada no pré-tratamento de outros dispositivos.	Vizinhança	Alta/ Média	Não é adequada ao paisagismo.
Conduto de armazenamento	Canal que retarda o fluxo: alargado, com retenções no curso, etc.	Retardar a onda de cheia.	Vizinhança	- -	Pode receber tratamento paisagístico.
Faixa gramada	Faixa de escape de enchente à margem de corpos d'água.	Evitar erosão e carreamento de sólidos.	Todas	- -	Baixo custo. Declividade longitudinal $\leq 2\%$
Vala vegetada	Depressão coberta com vegetais para armazenamento temporário.	Infiltrar linearmente para o solo (<i>de infiltração</i>) ou encaminhar à uma tubulação (<i>biorretenção</i>).	Todas	Média/ Baixa	Declividade $\leq 4\%$

⁽¹⁾ Pode ser de blocos intertravados ou de capa permeável de asfalto ou concreto tudo, sobre base granular permeável.

⁽²⁾ Áreas industriais, comerciais e postos de abastecimento com produtos químicos, pesticidas e derivados de petróleo.

⁽³⁾ A palavra telhado indica uma cobertura de telha, que pode ser de laje, sobre está é adequado apoiar um reservatório.

⁽⁴⁾ O termo reuso refere-se ao reaproveitamento de água residuária e não ao uso da água da chuva (NBR 15527:2007).

⁽⁶⁾ Dispositivos que atraem pássaros não devem ficar próximos de aeroportos.

5 Orientação Tecnológica

Deve-se avaliar situações e condições quando se estudam obras para o controle do deflúvio superficial: capacidade de infiltração do solo, nível freático, aquífero em risco, subsolo impermeável, solo erodível, declividade alta, ausência de receptor natural, consumo de espaço, densidade populacional, tráfego intenso, fundações e redes subterrâneas próximas, restrição de urbanização (*aeroporto, hospital, escola, etc.*), intensidade da afluência poluída, flexibilidade de desenho urbano e limites dimensionais da medida de controle a ser inserida (*Alterado de Silveira, 2002, apud Martins, 2016*). O custo deve ser considerado, a manutenção de reservatórios de detenção (*piscinão*) pode chegar a 10% ao ano em relação ao valor da obra (*Tomaz, 2002*).

As enchentes poluem o ambiente urbano. Grande parte da carga poluente (90%) é dos primeiros 25 mm de precipitação efetiva (*Tucci, 2013*). Nela estão presentes sedimentos, poluentes orgânicos (*Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, nitrogênio e fósforo*) e poluentes metálicos (*chumbo, ferro, etc.*). A Tabela 2 mostra a eficiência de diferentes dispositivos na redução da poluição hídrica.

Tabela 2 – Porcentual de remoção de poluentes

Controle	Porcentagem de remoção (%)				
	Sólidos em suspensão	Fósforo total	Nitrogênio total	Zinco	Bactéria
Faixas gramadas	10-20	0-10	0-10	0-10	n.d.
Valetas gramadas	20-40	0-15	0-15	0-20	n.d.
Reservatório de detenção seco	50-70	10-20	10-20	30-60	50-90
Reservatório de detenção alagado	60-95	0-80	0-80	0-70	n.d.
Alagadiço	40	9-60	0-20	60	n.d.
Pavimento poroso	80-95	65	80-85	99	n.d.
n.d. - não determinado		Fonte: SMDU, 2012, apud Ribeiro, 2014			

Alguns municípios apresentam manuais bem elaborados com significativas orientações tecnológicas a diversos dispositivos de drenagem. A seguir, são mostradas tabelas desse acervo, referenciadas e relacionadas a reservatórios.

Tabela 3 – Áreas contribuintes adequadas a dispositivos de drenagem

Dispositivos de drenagem	Área de contribuição (ha)									
	0 a 2	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 12	12 a 14	14 a 20	20 a 40	> 40
Pavimento poroso										
Trincheira e Vala										
Microrreservatório*										
Poço de infiltração										
Faixa gramada										
Bacia de detenção**										
Bacia de retenção										

* sem fundo

** variante de infiltração



Viável, dependendo de condição específica



Inviável, a princípio

Fonte: adaptado de SUDERHSA, 2002

O espaço para um reservatório de detenção é da ordem de 1 a 2% da bacia contribuinte.

Tabela 4 – Viabilidade de dispositivos de infiltração conforme a permeabilidade do solo

Dispositivos de infiltração	Capacidade de infiltração do solo (mm/h)									
	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	7,0	13	25	60	200
Pavimento poroso										
Trincheira e Vala										
Microrreservatório*										
Poço de infiltração										
Faixa gramada										
Bacia de detenção**										
Bacia de retenção										

* sem fundo

** variante de infiltração



Viável, dependendo de condição específica



Inviável, a princípio

Fonte: adaptado de SUDERHSA, 2002

Tabela 5 – Condições solo-aquífero para implantar os dispositivos de infiltração

Dispositivos de infiltração	Condições solo-aquífero			
	Freático alto	Aquífero em risco	Solo frágil à água	Subsolo duro
Trincheira, vala e pavimento				
Poço de infiltração				
Microrreservatório				
Cobertura reservatório				
Bacia de detenção				
Bacia de retenção				
Bacia subterrânea				
Conduto de armazenamento				
Faixa gramada				

Viável
 Viável, dependendo de condição específica
 Inviável, a princípio

Fonte: adaptado de SUDERHSA, 2002

6 Etapas necessárias à implantação de um reservatório

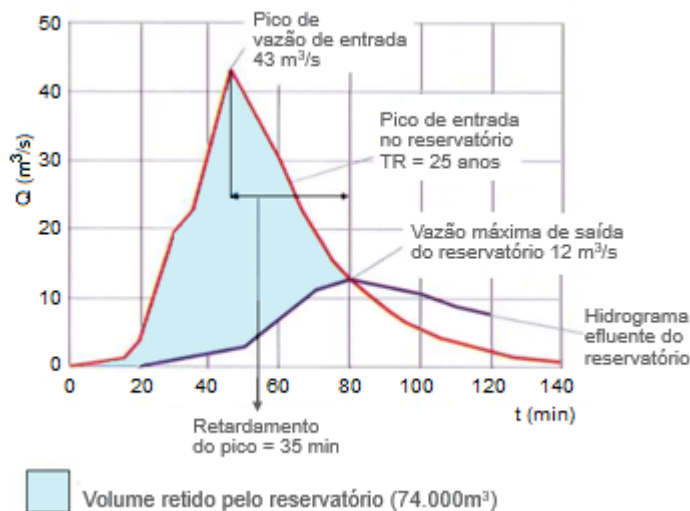
A realização de um reservatório urbano compreende as seguintes etapas:

- 1) Levantamento de dados locais (*topográficos, pedológicos, geológicos e ambientais*);
- 2) *Localização do reservatório;*
- 3) *Estudos hidrológicos para cálculo da vazão afluyente;*
- 4) *Estudos hidráulicos para cálculo da capacidade de amortecimento;*
- 5) *Definição da forma e do material do reservatório;*
- 6) *Dimensionamento do reservatório, canalização de entrada e, descargas e extravasor;*
- 7) *Definição de equipamentos eletromecânicos, órgãos acessórios e instrumentação;*
- 8) *Estudo de impacto ambiental (atenção com o lençol freático local e fundações vizinhas);*
- 9) *Elaboração dos projetos executivos de:*
 - a) *arquitetura/urbanização (sistema viário no entorno e acessos para limpeza e manutenção);*
 - b) *infraestrutura (fundações) e superestrutura (vigas, pilares e lajes);*
 - c) *instalações de eletricidade, instrumentação (segurança);*
 - d) *dispositivo de esgotamento (bombeamento), drenagem pluvial local e água potável;*
 - e) *sistema separador de esgotos sanitários;*
 - f) *retenção de lixo e controle de sedimentos; e*
 - g) *cobertura e ventilação;*
- 10) *Elaboração de documentos:*
 - a) *especificações de serviços, materiais e equipamentos;*
 - b) *memorial descritivo e justificativo;*
 - c) *listas de materiais e equipamentos;*
 - d) *orçamento e cronograma; e*
 - e) *manual de operação e de manutenção geral e sanitária.*

7 Dimensionamento Hidráulico

O controle do fluxo d'água em um reservatório ocorre tanto na entrada como na saída e pode se dar por gravidade ou por bombeamento. Os parâmetros de interesse para o amortecimento de cheias são o tempo de descarga e os valores da vazão nesse período, especialmente o máximo.

O reservatório é normalmente avaliado para chuva com tempo de recorrência de 2 anos (*de chuvas frequentes*) e dimensionado para 25 anos (*tempo de inundação*), como o do Pacaembu. Pode-se ainda aumentar a segurança e adotar uma probabilidade muito baixa às inundações, 2% a 1%, para tempo de recorrência de 50 a 100 anos ou adotar uma chuva histórica.



Basicamente, o cálculo hidráulico do reservatório requer os seguintes dados de entrada:

- Hidrograma afluente ao reservatório;
- Curva cota-volume do reservatório; e
- Equação de descarga do elemento de extravasão.

O hidrograma efluente decorre do nível d'água no reservatório e do controle da vazão que pode ser por vertedouro, orifício ou ambos.

5 Disponível em: <http://www.ebanataw.com.br/ocupacao/pacaembu3.jpg> – Acesso em 03 mar. 2018.

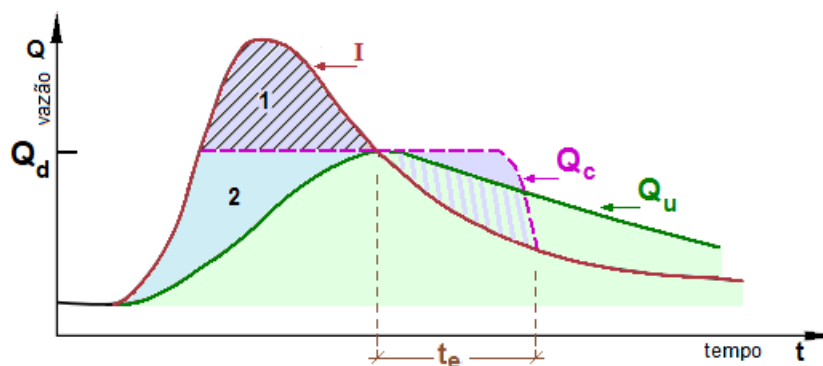


Figura 11 – Hidrograma afluente e efluente de reservatório de detenção (Adaptado de RAUDKIVI, 1979)

I – Hidrograma afluente

Q_u – Hidrograma efluente controlado, típico “in line”

Q_c – Hidrograma efluente controlado, típico “off line”

Q_d – Vazão máxima efluente (*admitida*)

1 – Volume retido quando Q_c

1 + 2 – Volume retido quando Q_u

t_e – Tempo de retardo

Os métodos de dimensionamento de bacias de detenção dividem-se em duas categorias:

a. Simplificados: das chuvas e dos volumes.

b. Baseados em modelos conceituais:

- Método PULS (*Simulação de Propagação em Reservatório*)

1) Método de Rippl

A NBR 15527/2007 apresenta seis métodos de dimensionamento do reservatório de água de chuva para aplicação não potável: descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas, ruas e pátios, espelhos d'água e usos industriais. Dentre os métodos, o de Rippl é o mais utilizado, sendo adequado para garantir uma vazão constante durante o período de estiagem e por isso, aplica-se bem ao abastecimento público, geração de energia elétrica, irrigação e regularização de cursos de água.

Neste método usam-se as séries históricas mensais ou diárias (*estas, mais precisas*).

Na formulação a seguir, a *eficiência do sistema de captação (n)* refere-se aos equipamentos de entrada do reservatório como: grade, tela, filtro e equipamento para rejeitar o escoamento inicial.

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)}$$

(Eq. 1)

$$Q_{(t)} = n \times C \times P_{(t)} \times A$$

(Eq. 2)

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0$$

(Eq. 3)

Sendo: $\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$

Onde: **A** - área de captação;

P_(t) - precipitação da chuva no tempo t;

S_(t) - volume de água no reservatório no tempo t;

Q_(t) - volume de chuva aproveitável no tempo t;

D_(t) - demanda ou consumo no tempo t;

V - volume do reservatório;

C - coeficiente de escoamento superficial

n - eficiência do sistema de captação

Tabela 6 – Exemplo de planilha de dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl7

Tempo (mês)	P (mm)	A (m ²)	C x n	Q _(t) (m ³)	D _(t) (m ³)	D _(t) - Q _(t) (m ³)	∑S _(t) (m ³)	Situação
Janeiro	243	152	0,8	30	9	-21	0	Extravasa
Fevereiro	219	152	0,8	27	9	-18	0	Extravasa
Março	201	152	0,8	24	9	-15	0	Extravasa
Abril	81	152	0,8	10	9	-1	0	Extravasa
Maio	83	152	0,8	10	9	-1	0	Extravasa
Junho	43	152	0,8	5	9	4	4	Desce
Julho	36	152	0,8	4	9	5	9	Desce
Agosto	37	152	0,8	4	9	5	14	Desce
Setembro	90	152	0,8	11	9	-2	12	Sobe
Outubro	109	152	0,8	13	9	-4	8	Sobe
Novembro	103	152	0,8	13	9	-4	4	Sobe
Dezembro	215	152	0,8	26	9	-17	0	Extravasa
Total	1.460	<i>mm/ano</i>		177	108	V (volume) =	14	

2) Método PULS (Simulação de Propagação em Reservatório)

O volume a ser armazenado em um reservatório entre dois momentos muito próximos é dado por:

$$V_{t_2} - V_{t_1} = \frac{Q_{e_1} + Q_{e_2}}{2} \Delta t - \frac{Q_{s_1} + Q_{s_2}}{2} \Delta t$$

(Eq. 4)

Onde:

Q_e - Vazão de entrada;

Q_s - Vazão de saída;

V - Volume armazenado no reservatório;

Índices 1 e 2: 1 = instante anterior ao 2

7 Disponível em: <http://maisengenharia.altoqi.com.br/hidrossanitários/>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

Operando e reordenando os termos da equação 4, tem-se um arranjo para cálculo iterativo:

$$Q_{e1} + Q_{e2} + \frac{V_1}{\Delta t/2} - Q_{S1} - Q_{S2} = \frac{V_2}{\Delta t/2} \quad (\text{Eq. 5})$$

Um exemplo de aplicação do método de PULS encontra-se a seguir, na Tabela 7, onde:

Curva cota-volume: $V = A \times (H - 100)$ (Eq. 6)

Curva do vertedor: $Q = Cd \times L \times (2 \times g)^{1/2} \times (H - 100)^{3/2}$ (Eq. 7)

A (m ²)	Cd	L (m)	g (m/s ²)	N.A. _{1 inicial}
1.600	0,5	16,90	9,81	200 m

Tabela 7 – Exemplo de planilha de dimensionamento do reservatório pelo Método PULS

Ciclo	HIDROGRAMA DE ENTRADA		SIMULAÇÃO						Obs.
	Q _{e1}	Q _{e2}	V ₁ /(Dt/2)	Q _{S1}	N.A. _{2est.}	Q _{S2}	V ₂ /(Dt/2)	N.A. _{2cal.}	
1	60	84	160.000	0,00	200,00	0,00	160.144	200,09	Inicial
					200,09	1,01	160.143	200,09	Atualização
2	84	150	160.143	1,00	200,09	1,00	160.375	200,23	
					200,23	4,25	160.372	200,23	Atualização
3	150	216	160.372	4,19	200,23	4,19	160.729	200,46	
					200,46	11,52	160.722	200,45	Atualização
4	216	280	160.722	11,35	200,45	11,35	161.195	200,75	
					200,75	24,17	161.183	200,74	Atualização
5	280	340	161.183	23,78	200,74	23,78	161.755	201,10	
					201,10	43,00	161.736	201,08	Atualização

Para gerar a Tabela 7 seguir o seguinte roteiro:

Lançar inicialmente os valores do hidrograma de entrada do reservatório na 2^a e 3^a colunas.

1. Adotar uma primeira estimativa para $NA_{2\ est.} = NA_{2\ cal.}$ do ciclo anterior, após atualização (ou $NA_{1\ inicial}$);
2. Com o nível $NA_{2\ est.}$ do ciclo atual, adotado, calcular V_1 e Q_{S1} ;
3. Calcular Q_{S2} em função de $NA_{2\ est.}$;
4. Somar os termos do lado esquerdo da equação 5 e obter V_2 ;
5. Com a curva cota-volume obter $NA_{2\ cal.}$, em função de V_2 ;
6. Se a diferença entre $NA_{2\ calculado}$ e $NA_{2\ estimado}$ for grande, adotar um novo $NA_{2\ estimado}$ como sendo igual ao $NA_{2\ calculado}$ e realizar a atualização na próxima linha;
7. Com este último $NA_{2\ calculado}$, atualizar os valores de Q_{S2} , V_2 e $NA_{2\ cal.}$.
8. Se a diferença entre $NA_{2\ atualizado}$ for pequena, em relação ao atualizado anterior encerrar a iteração;
9. Senão, volta-se ao 1º passo.

8 Esquemas e imagens de reservatórios



Figura 12 – Pavimento permeável

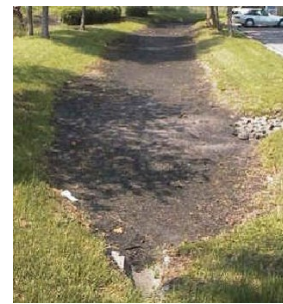
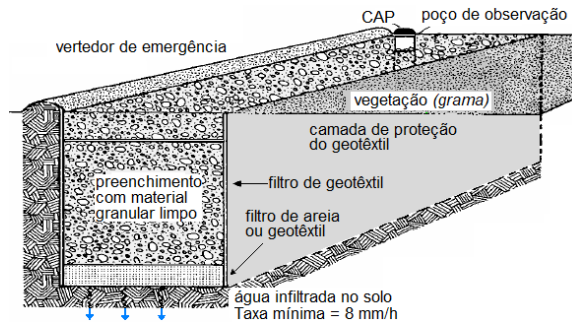


Figura 13 – Trincheira de infiltração (esquema: Shueler, 1987)

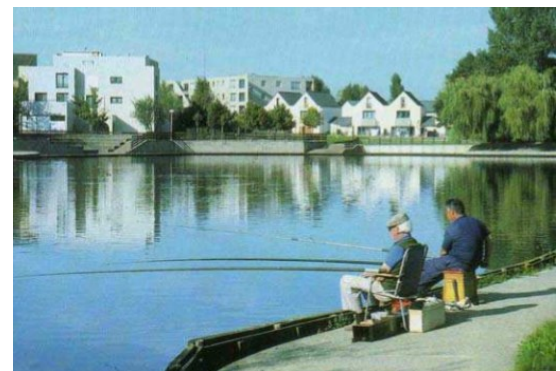
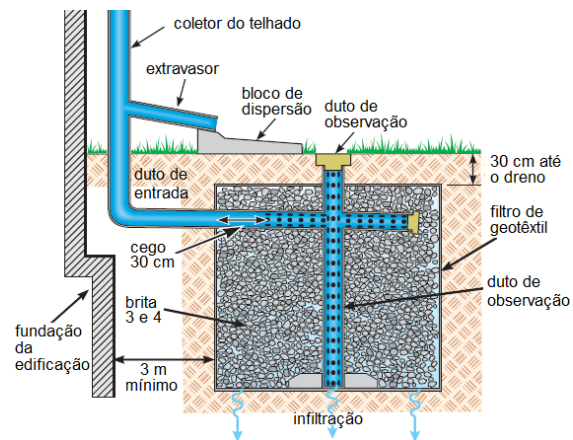


Figura 15 – Bacia de retenção na França

8 Disponível em: <http://manualzz.com/doc/33484586/water-sensitive-urban-design-impediments-and>> Acesso em 19 mar 2018

9 Disponível em: <http://www.esf.edu/ere/endreny/GICalculator/TechniquesHome.html>>. Acesso em 27 mar. 2017.

10 STU, Agences de l'eau (1994) - Guide Technique des Bassins de Retenue d'Eaux Pluviales". Tec&Doc, Paris, França. Apud Matias, Maria G. B., em Bacias de Retenção – Estudo de Métodos de Dimensionamento, 2006, p.10

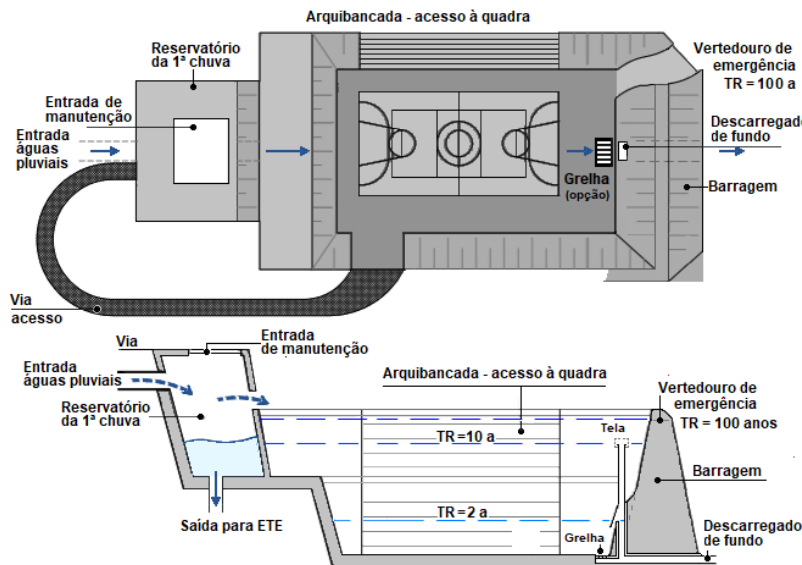


Figura 16 – Esquema de um reservatório de detenção aberto



Figura 17 – Reservatório de condução

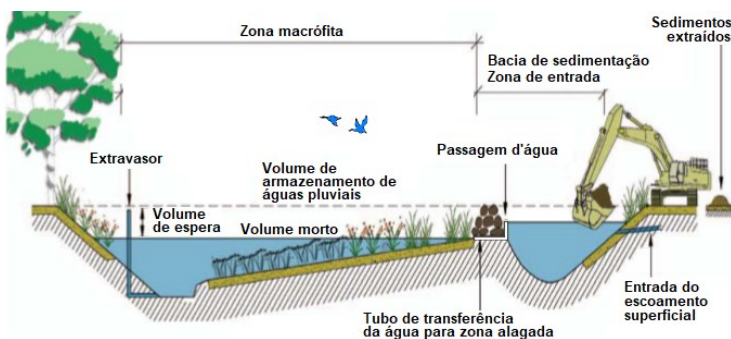


Figura 18 – Esquema de alagado artificial



Figura 19 – Vala vegetada

Fonte: Melbourne Water, 2005, apud Nunes, 2011



Figura 20 – microrreservatório¹¹

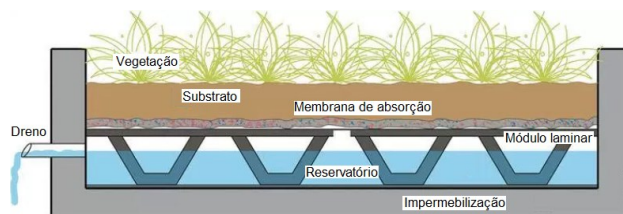


Figura 21 – Reservatório de cobertura (Campoy Estúdio)

¹¹ Disponível em: <http://www.dusolengenharia.com.br/post/tag/aproveitar-agua-da-chuva/> – Acesso em 19 mar. 2018.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- CAMPOS, M. A. S. et al. Sistema de aproveitamento de água pluvial: aspectos qualitativos e quantitativos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 10., 2007, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar, 2007. 1 CD-ROM.
- CANHOLI, A. P. Reservatório para controle de cheias da Av. Pacaembu. Reservatório de Detenção do Pacaembu. São Paulo, Revista Engenharia, n. 500, p. 12-19, 1994.
- DPLG (*Department of Planning and Local Government*). Water Sensitive Urban Design Technical Manual for the Greater Adelaide Region. Adelaide: Government of South Australia, 2010. Disponível em: <http://www.planning.sa.gov.au/go/wsud>.
- Martins, R. S. A Evolução Urbana de Nova Iguaçu: Impactos nos corpos hídricos, focando o problema das inundações no centro da cidade, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
- MELBOURNE WATER. WSUD Engineering Procedures: Stormwater. Melbourne: CSIRO Publishing, EPA Victoria, Australia, 2005.
- Nunes, R. T. S., Métodos para Inserção de Técnicas em Gestão de Águas Pluviais no Processo de Planejamento e Desenho Urbano: Estudos de Caso em Guarantã do Norte, na Região Amazônica Brasileira, e na Região Metropolitana de Melbourne, Austrália/ Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011. XVII, 194 p.
- Ribeiro, A. M., BMP's em drenagem urbana: aplicabilidade em cidades brasileiras / A.M. Ribeiro - São Paulo: EPUSP/USP, 2014. 104 p.
- Silveira, A. L. L., Drenagem Urbana – Aspectos de Gestão; Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPQ): 1 ed., 2002.
- SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem urbana e manejo de águas pluviais – Aspectos tecnológicos: diretrizes para projetos. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 2012. V.3, cap. 1.4, p. 111-122
- SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Manual de drenagem urbana: região metropolitana de Curitiba PR. Paraná: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2002. V.1
- STU, Agences de l'eau (1994) - Guide Technique des Bassins de Retenue d'Eaux Pluviales". Tec&Doc, Lavoisier. Paris, França.
- Tomaz, P., Cálculos hidrológicos hidráulicos para obras municipais, Capítulo 1 Conceito de reservatório de detenção (2002).
- Tomaz, P., Curso de Manejo de águas Pluviais, Capítulo 62- Reservatório de retenção (2009).
- Tucci, C. E. M., CRUZ, M. A. S., DA SILVEIRA A.L. L. (1998). Controle do Escoamento com Detenção em Lotes Urbanos. RBRH. IPH. UFRGS – Porto Alegre.
- Tucci, C. E. M., Curso de gestão de Águas Pluviais, Capítulo 3 –Drenagem urbana, Rhama Consultoria Ambiental, (2013).
- VICTORIA STORMWATER COMMITTEE. Urban Stormwater: Best Practice Environmental Management Guidelines. Austrália, Victoria: CSIRO Publishing (EPA Victoria, Melbourne Water Corporation), electronic edition, 2006.
- Wong, T. H. F. (org). Australian Runoff Quality: A guide to Water Sensitive Urban Design. Engineers Australia, Canberra, Australia, 2006a.



PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DE TRÊS SOLOS TÍPICOS DO ESTADO DO AMAZONAS

Um estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas.

Messias de Oliveira Lopes¹ - editor.agape@bol.com.br

Daniel Jardim Almeida² - danieljardimalmeida@gmail.com

Marcos Valério Mendonça Baia³ - marcosbaia@ufam.edu.br

Frank Hudson de Souza Rebelo³ - hudson.rebelo@gmail.com

1 - Graduando, Engenharia Civil, Universidade Nilton Lins, Manaus, Amazonas

2 - Mestre, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas

3 - Mestrando, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas

RESUMO

O crescimento da cidade de Manaus nos últimos dez anos tem se dado de forma vertical com a construção de inúmeros edifícios residenciais do tipo multifamiliar, mas sua marca principal de expansão continua sendo ainda de forma horizontal e isso se reflete na direção de municípios como Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva e Iranduba, principalmente após a construção da ponte Rio Negro, causando dessa forma a necessidade de obras de infraestrutura que envolvam obras de terra. Com a intenção de investigar o tipo de solo que compõe esta região metropolitana, realizou-se um estudo comparativo das características geotécnicas de três solos típicos do Amazonas que foram coletados nas cidades de Manaus, Rio Preto da Eva e Iranduba. Para tanto, foram realizados ensaios geotécnicos de caracterização física, mineralógica, desempenho mecânico, levantamento bibliográfico, consulta às Normas e literaturas científicas que tratam dos solos amazônicos. Dos 87 ensaios realizados em laboratório, pode-se dizer que seus resultados foram satisfatórios quando analisados comparativamente entre si e com a literatura científica e normativa. O estudo revelou ainda, que solos com material fino, mas com quartzo e feldspato em sua composição mineralógica não apresentam plasticidade e, mesmo quando submetidos em condições de saturação apresentam pouca expansividade. Também ficou claro durante a pesquisa que existem poucos trabalhos divulgados ou de livre acesso quanto à caracterização geotécnica de solos na região metropolitana de Manaus. Portanto, faz-se necessário o desenvolvimento de novas ações com o intuito de levantar e promover dados para provisão de informações a serem utilizadas em um futuro próximo.

PALAVRAS-CHAVE: : Obras de infraestrutura. Características geotécnicas. Composição mineralógica. Solos.

ABSTRACT

The growth of the city of Manaus in the last ten years has happened vertically with the construction of numerous multifamily residential buildings, but its main kind of expansion is still horizontal and this is reflected in the direction of municipalities such as Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva and Iranduba, mainly after the construction of the Rio Negro bridge, thus causing the need for infrastructure works involving land works. With the intention of investigating the soil type that composes this metropolitan region, a comparative study of the geotechnical characteristics of three soils typical of Amazonas was collected in the cities of Manaus, Rio Preto da Eva and Iranduba. For that, geotechnical tests were carried out on physical, mineralogical, mechanical, bibliographical, and scientific literature dealing with Amazonian soils. From the 87 laboratory tests, it can be said that its results were satisfactory when analyzed comparatively with each other and with the scientific and normative literature. The study also revealed that soils with fine material but with quartz and feldspar in their mineralogical composition do not present plasticity and, even when submitted under saturation conditions, show little expansivity. It was also clear during the research that there are few published works or free access works, regarding the geotechnical characterization of soils in the metropolitan region of Manaus. Therefore, it is necessary to develop new actions in order to gather data for the provision of information to be used in the near future.

KEYWORDS: Infrastructure works. Geotechnical characteristics. Mineralogical composition. Soils.

INTRODUÇÃO

Frequentemente o meio ambiente sofre com intensas modificações e impactos, o qual, na maioria das vezes, está relacionado às atividades antrópicas (ROCKSTRÖM *et al.*, 2009). Tais impactos se dão devido ao desconhecimento do homem em relação ao meio físico com suas vulnerabilidades frente aos diferentes tipos de ocupação e mau uso do solo, contribuindo dessa forma com este processo de degradação (GONÇALVES *et al.*, 2003).

Quanto ao solo, alguns desses processos de modificação implicam em consequências negativas sobre questões socioeconômicas que de certa forma se mostrarão na ocorrência de erosões, inundações, recalques, deslizamentos, ou outros fenômenos dessa natureza que, com certeza, causarão ônus aos cofres públicos e prejuízos a terceiros. Assim, faz-se necessário uma constante inovação e aprimoramento de conhecimentos técnicos e de engenharia capazes de direcionar e gerenciar a prevenção dos efeitos indesejáveis, criando assim, modelos capazes de solucionar problemas de infraestrutura.

Identificar e classificar os solos possibilita ao engenheiro civil a oportunidade de conceber projetos geotécnicos confiáveis e de soluções técnicas viáveis, conferindo a ele um importante suporte para a tomada de decisão. A preocupação com a constituição física, química e mineralógica dos solos finos é relevante (DAS, 2011). E, a necessidade de se ter o domínio desse material no tocante à resistência, ao comportamento mecânico, deformidade, permeabilidade e demais características, são trabalhos essenciais em quase todos os estudos geotécnicos para a construção de barragens, cortes, aterros, obras viárias e fundações de grandes estruturas (COZZOLINO e NOGAMI, 1993).

Como consequência dos fatores apontados acima, Manaus está hoje entre as dez cidades mais populosas do país (IBGE, 2016) e sua realidade de ocupação desordenada não é diferente da maioria das cidades brasileiras. Com isso, atividades antrópicas provocaram mudanças radicais na paisagem urbana da cidade, ocasionaram o aparecimento de sulcos, ravinas e voçorocas (VIEIRA, 2008). Tais atividades, ainda que houvesse um trabalho de conscientização, seriam inevitáveis devido à falta de um planejamento urbano antecipado que atendesse à demanda do crescimento populacional.

Quanto à gênese e à classificação dos solos do estado do Amazonas existem poucos trabalhos publicados ou de difícil acesso às informações geotécnicas existentes, mas sabe-se, de modo geral, que o município de Manaus está inserido na bacia sedimentar do Amazonas, composta por rochas de dureza menor, se comparadas à dureza do granito (SANTOS *et al.*, 2006), e que essa Formação Geológica apresenta um solo com características argilosas em superfície e, em alguns locais, alcançam profundidades que podem atingir até mais de dez metros da superfície até o fundo.

Assim, o presente trabalho delimitou-se em estudar três solos distintos coletados nos municípios de Manaus, Iranduba e Rio Preto da Eva com o objetivo de fazer um estudo comparativo para conhecer suas características físicas, mineralógicas e desempenho mecânico objetivando ao final, dar-lhes uma finalidade no tocante à obras viárias. Com isso, a partir dos resultados obtidos, pôde-se observar se possuem características e comportamentos semelhantes entre si e ao que fora abordado na literatura científica, visto que pertencem à mesma região de formação geológica (Formação Alter do Chão).

1. MATERIAIS E MÉTODOS

O Trabalho foi realizado em três etapas distintas:

Revisão bibliográfica;

Coleta das amostras;

Ensaio de laboratório.

Na primeira etapa do trabalho foi feita a revisão bibliográfica dos estudos relacionados, de modo geral, aos sistemas de classificação dos solos de forma a possibilitar o entendimento sobre o comportamento e a gênese dos solos através dos sistemas de classificações existentes. Foi investigada também a literatura científica que trata dos solos da Formação Alter do Chão que especifica os solos de Manaus, Rio Preto da Eva e Iranduba.

Com o intuito de analisar as amostras de solo coletadas em pontos distintos dos municípios que compõem a Região Metropolitana – Manaus, Rio Preto da Eva e Iranduba – foram aplicados procedimentos técnicos e normativos para a realização dos ensaios de caracterização e identificação dos solos. Para isso, convencionou-se utilizar a seguinte nomenclatura aplicada a cada uma das amostras ensaiadas:

MAO – Amostra de Solo de Manaus ;

RPEV – Amostra de Solo de Rio Preto da Eva;

IDBA – Amostra de Solo de Iranduba.

Na segunda etapa foram realizadas as coletas das amostras nas regiões estudadas para proceder aos devidos ensaios de caracterização usando como metodologia as Normas Técnicas vigentes.

1.1. COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A princípio, coletou-se material natural típico da região (material argiloso), no setor norte do Campus Manaus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), na camada superficial do subsolo, mais ou menos 1,20 m de profundidade por 4,0 m² de área circunvalada, onde se coletou uma amostra deformada de aproximadamente 80 kg de material homogeneizado no local que tipificou perfeitamente o solo de Manaus (MAO). No município de Rio Preto da Eva, retirou-se uma amostra de solo (RPEV) deformada, de um talude na entrada da cidade, mais ou menos 120 kg de material, típico da região (material argilo-arenoso) a uma profundidade de 4,0 m da crista do talude até o ponto da coleta que foi homogeneizado previamente e, no município de Iranduba a amostra de solo (IDBA), também deformada, foi retirada de um talude localizado na margem esquerda da rodovia Manoel Urbano (AM 070), no sentido Manaus-Iranduba, aproximadamente 130 kg de material recolhido, típico da região (material argiloso) a uma profundidade de mais ou menos 5,0 m do ponto de coleta até a crista do talude.

Todas as amostras coletadas foram do tipo deformada, onde ficaram expostas ao ar livre no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) para secagem prévia a uma temperatura abaixo de 60° C até atingir uma umidade dita higroscópica, conforme preconiza a NBR 6457/86. Após a secagem, as amostras foram destorroadas de forma manual e peneirada, no qual utilizou-se o material passante nas peneiras de acordo com cada ensaio proposto.

Figura 1 – Secagem prévia de material ao ar livre no LMS.

Destorroamento de solo e conjunto de peneiras para a caracterização das amostras.



Fonte: Autor.

1.2. LOCALIZAÇÃO DAS COLETAS

- Campus Manaus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), limitada nas coordenadas 3° 05'20.58" Sul – 59°57'50.60" Oeste. Elevação 36 metros.

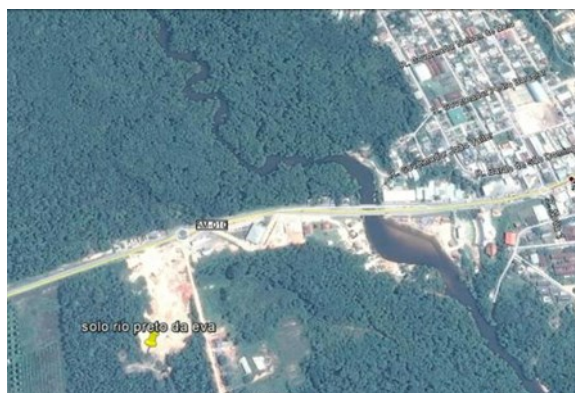
Figura 2 – Local de coleta da amostra MAO.



Fonte: Google Earth.

- Rio Preto de Eva, 2°41'58.07" S – 59°42'22.38" O – Elevação 38 metros.

Figura 3 – Local de coleta da amostra RPEV.



Fonte: Google Earth.

- Iranduba, 30°10'24.57" S – 60°06'28.99" O – Elevação 36 metros.

Figura 4 – Local de coleta da amostra IDBA.



Fonte: Google Earth.

1.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Os ensaios de caracterização física das amostras foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) da Faculdade de Tecnologia (FT) na UFAM. Os ensaios de determinação dos parâmetros físicos dos solos analisados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Procedimentos para caracterização física do solo.

PARÂMETRO DETERMINADO	MÉTODO UTILIZADO
Determinação da <i>massa específica dos grãos</i> (γ_s)	DNIT (DNER-ME 093/94)
Análise Granulométrica	ABNT – NBR 7181/84 – 6457/86
Limites de Atterberg	LL – Limite de Liquidez- ABNT – NBR 6459/84 LP – Limite de Plasticidade- ABNT – NBR 7180/84
Proctor (compactação)	ABNT – NBR 7182/86

1.4. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

1.4.1 Análise por difração de raios-x (DRX)

Por Difração de Raios-X (DRX), descreveu-se as características mineralógicas das amostras a partir de uma pequena porção, mais ou menos 5,0 g, passada em peneira # 300 e encaminhada ao Laboratório de Análise Mineralógica da Faculdade de Geologia da UFAM.

A caracterização mineralógica foi realizada em equipamento próprio de ensaio, um Difratorômetro XRD-6000 de marca SHIMITZU, onde foram utilizados os seguintes parâmetros: Campo de varredura 5° a 60° para 2 θ , com velocidade de varredura 2°/ minuto; tensão de 40 kV, corrente 30 mA. Cada argilo-mineral gerou um conjunto característico de reflexões segundo ângulos θ , que puderam ser convertidos nas distâncias interplanares formadas pelas estruturas cristalinas que compõem as amostras de solo. As fases minerais foram efetivadas por comparação com cartas padrões compiladas pelo *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS), cadastradas no *International Center for Diffraction Data* (ICDD), 2003.

1.5. COMPORTAMENTO MECÂNICO

Quanto ao comportamento mecânico dos materiais analisados, foi determinado pelos seguintes ensaios descritos na tabela abaixo:

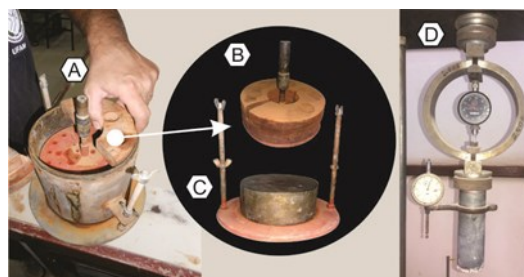
Tabela 2- Procedimentos para caracterização do comportamento mecânico.

PARÂMETRO DETERMINADO	MÉTODO UTILIZADO
Índice de Suporte Califórnia – ISC/CBR;	NBR 9895/87
Adensamento unidimensional.	NBR 12007 MB – 3336/90

Para a execução do ISC foram utilizados os resultados obtidos no ensaio de compactação: *massa específica aparente seca máxima* ($\gamma_d máx$) e *umidade ótima* ($W_{ót}$). De posse dos dados foi calculada a quantidade de água necessária para moldar cada corpo de prova (CP) no cilindro metálico grande, em *umidade ótima*, e assim obteve-se os corpos de prova: três de cada solo, perfazendo um total de duas séries de três (2 x 3), de cada solo.

O processo de homogeneização e de moldagem de cada CP seguiu conforme as recomendações normativas sendo coletadas três amostras na bacia de homogeneização e acondicionadas em cápsulas de alumínio, quando no término da compactação da segunda camada de cada CP para a determinação do teor de umidade após 24 horas em estufa à temperatura de 110° C. Foi também utilizado um disco espaçador no cilindro, filtro de papel que, colocado entre o disco espaçador e a massa de solo, teve-se o cuidado para que a massa não aderisse ao disco e assim não tivesse perda de material. A arrumação do conjunto – cilindro metálico, disco espaçador, prato perfurado e sobrecarga – pode ser compreendido melhor a partir da figura 5.

Figura 5 – (A) Cilindro grande, com colocação de sobrecarga; (B e C) Detalhe da arrumação dentro do cilindro – (B) Sobrecarga sobre prato perfurado com haste de expansão; (C) Disco espaçador sobre base; (D) Pistão de penetração com extensômetros.



Fonte: Google Earth.

Ainda no processo de moldagem dos CP's foi utilizado soquete grande, sendo aplicados 26 golpes por camada onde foram escarificadas previamente as camadas subjacentes para melhor aderência da camada posterior, perfazendo um total de 5 camadas por CP, distribuídas uniformemente de modo que resultassem iguais em cujo valor acabou na formação de um gráfico no qual plotou-se em ordenadas a pressão exercida pelo pistão e, em abscissas, a penetração do pistão, formando assim um gráfico: **pressão x penetração**.

De posse dos dados do ISC/CBR, pôde-se utilizar a tabela de correlação dos sistemas de classificação SUCS e AASHTO para conhecer o emprego de cada um dos solos analisados, em partes da estrutura de um pavimento.

Tabela 3 – Correlação CBR x Sistema de Classificação.

CBR	Qualidade	Utilização	Sist. de Classificação	
			SUCS	AASHTO
0 – 3	Péssimo	Sub-base	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 – 7	Ruim a regular	Sub-base	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 – 20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 -50	Bom	Base e sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	Alb, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	Ala, A2-4, A3

Fonte: SENÇO, 1997.

O ensaio de adensamento unidimensional (oedométrico) foi feito em prensa própria de adensamento (figura 6), em estágios de pressão aplicada em corpos de prova moldados a partir de material passante em peneira 4,8 mm onde foram homogeneizados com água de forma contínua e gradual, saturados, confeccionados em anel próprio de moldagem (figura 7), com massa de solo moldada a partir das informações do Ensaio de Proctor ($\gamma_{dm\acute{a}x}$ e $W_{\acute{o}t}$), com Grau de Compactação 100%, confinados lateralmente e com a conseqüente aferição da redução de sua altura ao final do ensaio.

Figura 6 – Prensa de Adensamento. 1- Extensômetro de leitura da pressão. 2- Base do extensômetro em contato com a célula de adensamento. 3- Cabeçote metálico em contato com o conjunto de aplicação da carga. 4- Célula de adensamento onde se encontra o anel, o CP, pedras porosas, papéis-filtro e água. 5- Base rígida para colocação da célula de adensamento.

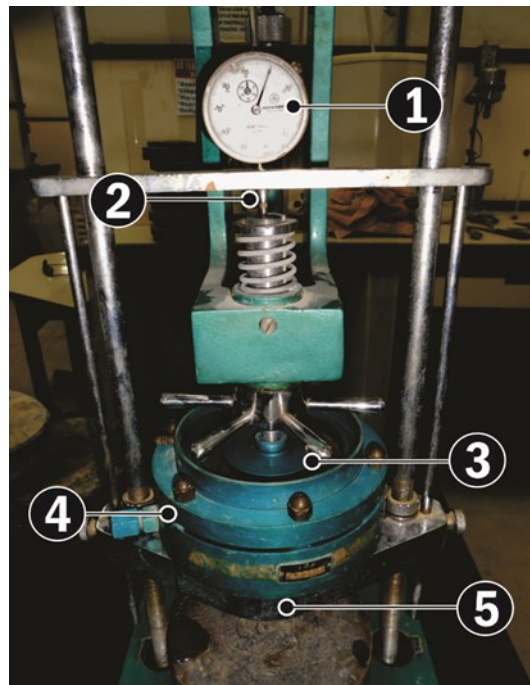


Figura 7 – CP confeccionado no anel de moldagem.

Fonte: Autor.



Fonte: Autor.

No processo de desenvolvimento do experimento, procurou-se seguir o que preconiza a NBR 12007 MB – 3336/90 que estabelece as diretrizes necessárias para a execução do ensaio, plotagem do gráfico e cálculos necessários.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

2.1.1. Massa específica dos grãos

A Tabela abaixo representa os resultados de caracterização física dos materiais analisados.

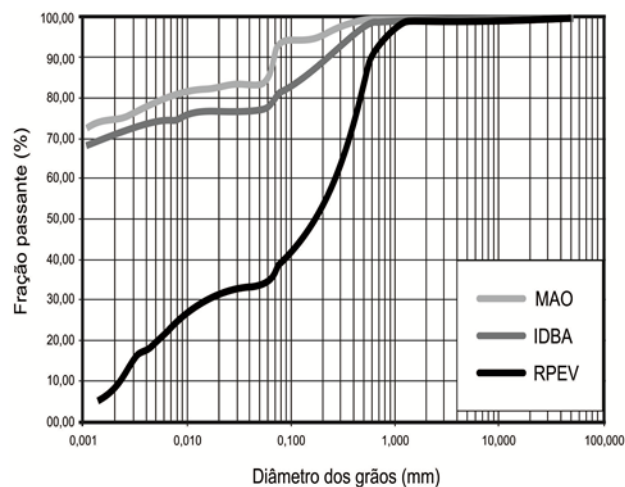
Tabela 4 – massa específica dos grãos.

AMOSTRA	δ (g/cm ³)
MAO	2,622
IDBA	2,590
RPEV	2,579

Com base nos resultados dos ensaios apresentados na Tabela 4 (*massa específica dos grãos*), pode-se observar que os resultados indicam que as amostras analisadas possuem valores de densidade muito próximos. Contudo, a amostra RPEV apresenta o menor valor (2,579 g/cm³). Com isso, pode-se deduzir que a amostra RPEV quando comparada às demais é menos densa e sedimenta com maior rapidez se comparada à amostra MAO, por exemplo. Por outro lado, a amostra MAO demora mais quanto à sedimentação e, por ser mais densa, sempre apresentará maior volume que as demais. Portanto, é possível também verificar que a amostra MAO é constituída em sua maior parte por partículas finas, onde há a predominância de fração argila (Tabela 5).

2.1.2. Distribuição granulométrica

Figura 8 – Curvas granulométricas dos solos analisados.



Fonte: Autor.

Tabela 5 – Resultados da distribuição granulométrica.

MATERIAL (Ø mm)	AMOSTRA (%)		
	MAO	IDBA	RPEV
20 ≤ Predregulho Grosso ≤ 60	0,00	0,00	0,00
6 ≤ Predregulho Médio ≤ 20	0,00	0,00	0,20
2 ≤ Predregulho Fino ≤ 6	0,20	0,50	1,00
0,6 ≤ Areia Grossa ≤ 2	0,02	0,94	8,00
0,2 ≤ Areia Média ≤ 0,6	3,69	10,37	38,98
0,06 ≤ Areia Fina ≤ 0,20	5,90	8,04	16,75
0,002 ≤ Silte ≤ 0,06	13,76	7,98	27,84
Argila ≤ 0,002	76,44	72,36	8,13

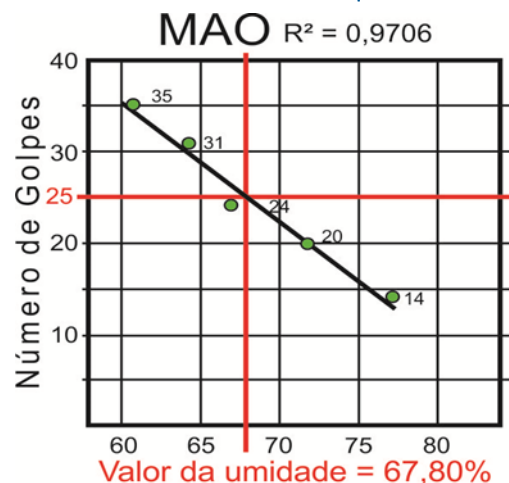
Quanto aos resultados das curvas e da distribuição granulométrica, pode-se observar o seguinte: que os solos MAO e IDBA apresentam curvas granulométricas muito próximas (Figura 8), ambos com alto teor da porção argila e não apresentam em sua composição, pedregulho médio (Tabela 5). Contudo, o solo MAO apresenta apenas um valor maior que o solo IDBA que é quanto à porção silte (13,76). Nas demais porções (MAO x IDBA), apresenta valores inferiores ao da amostra IDBA, daí o motivo pelo qual a amostra IDBA sedimenta mais rápido e apresenta menor *massa específica dos grãos* que a amostra MAO (Tabela 4). Logo, o solo MAO comparado ao solo IDBA é mais siltoso, enquanto que o solo IDBA é mais arenoso que o solo MAO, porém ambos são predominantemente argilosos (76,44 e 72,36 respectivamente). Ainda no que tange à curva granulométrica é notório observar que a curva do solo RPEV (Figura 8) se diferencia das demais, apresentando em sua composição pedregulho médio e um alto teor da porção areia média, silte e areia fina, respectivamente (tabela 5). Contudo, quando comparado aos demais, apresenta baixo teor da porção argila e um elevado teor de areia grossa e altíssimo de areia média.

O solo RPEV quando comparado aos outros dois, perde apenas na porção argila, sendo superior nas demais porções. Pode-se então deduzir que o solo RPEV quando comparado aos solos MAO e IDBA é um solo mais arenoso e mais siltoso que os demais.

2.1.3. Limites de Atterberg

Os resultados dos ensaios de Limite de Liquidez de cada amostra, foram plotados em gráfico (Figura 9) de acordo com os resultados obtidos, no qual constam os teores de umidade nas abscissas (em escala aritmética) e o número de golpes nas ordenadas (em escala logarítmica).

Figura 9 – Gráficos do Limite de Liquidez de cada solo.



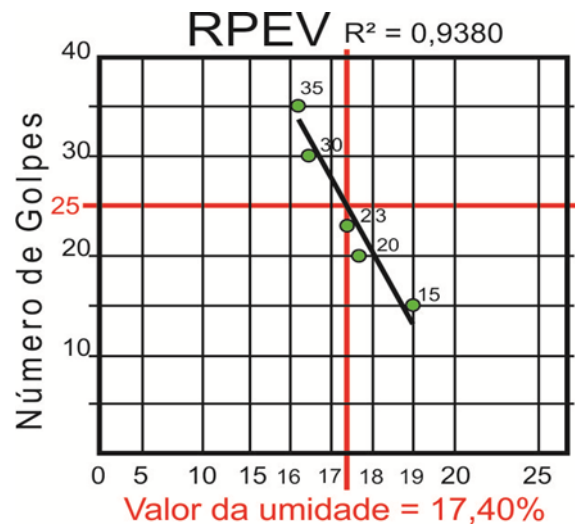
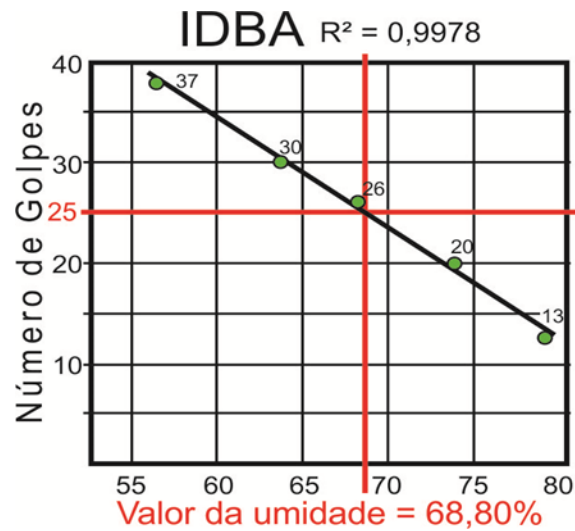


Tabela 6– Resultados dos ensaios de Limite de Plasticidade.

SOLO	MAO	IDBA	RPEV
Umidade Média Parcial	38,89	36,35	-
Varição da Média (+ 5%)	40,84	38,17	-
Varição da Média (- 5%)	36,95	34,54	-
Nova Umidade Média (%)	39,33	36,15	-
LIMITE DE PLASTICIDADE	39,00	36,00	NP

Tabela 7 – Resultados dos Limites de Consistência e Índices de Plasticidade já calculados.

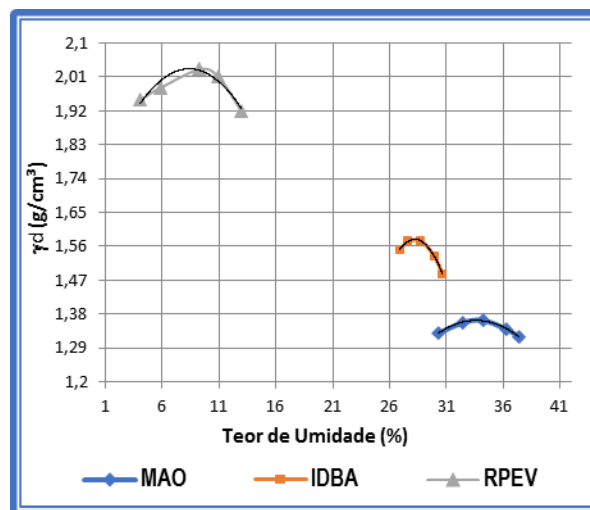
SOLO	ENSAIO		IP - %
	LL - %	LP - %	
MAO	67,80	39,00	29,00
IDBA	68,80	36,00	33,00
RPEV	17,40	NP	-

Na Figura 9 (Limites de Liquidez), observa-se o comportamento de cada solo a partir da disposição dos gráficos plotados. A Tabela 7 apresenta o Índice de Plasticidade já calculado. Nela pode-se verificar o seguinte: que de acordo com as classificações do Sistema AASHTO os solos MAO e IDBA apresentam alta plasticidade: IP acima de 11% e LL acima de 41% (Figura 9). Pelo sistema AASHTO pertencem ao Grupo A-7-5 sendo ainda classificados como solos com alto teor da porção argila, tendo um comportamento geral para uso em subleito por ser um material considerado como fraco a pobre. Pelo Sistema de Classificação SUCS, solos com LL ≥ 50 pertencem ao Grupo CH (Argila inorgânica de alta compressibilidade), argila muito plástica. Pelo Sistema de Classificação da AASHTO o solo RPEV apresenta como material predominante areia fina, sendo não plástico, pertencente ao Grupo A-3, tendo como comportamento geral excelente a bom para ser usado como subleito.

No geral, sabe-se que quanto maior a percentagem da fração argila, maior será a plasticidade de um solo (PINTO, 2006), foi o que demonstraram as amostras MAO e IDBA nos ensaios de LL e LP. Os minerais de formato lamelar ou em placas são mais plásticos, enquanto que solos com minerais como o quartzo e o feldspato, mesmo que contenham granulometria fina não apresentam plasticidade como no caso da amostra RPEV, que se mostrou como um solo não plástico (NP) na série de ensaios de LP.

2.1.4. Compactação

Figura 10 – Curvas de compactação de cada um dos solos analisados.



Fonte: Autor.

Tabela 8 – Resultados dos ensaios de compactação.

SOLO	Massa Esp. Ap. Seca Máxima ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) [g/cm ³]	UMIDADE ÓTIMA (%)
MAO	1,364	33,80%
IDBA	1,578	28,30%
RPEV	2,041	9,70%

Na Tabela 8 (ensaios de compactação) observa-se a seguinte correlação: quanto maior o teor de umidade em um solo, menor será sua *massa específica aparente seca máxima* ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) e, quanto menor seu teor de umidade, maior será sua $\gamma_{dm\acute{a}x}$. O solo MAO apresentou o maior *teor de umidade* (33,8%) e o menor valor de $\gamma_{dm\acute{a}x}$ (1,364 g/cm³), típico de solos argilosos altamente plásticos. Contudo, o solo IDBA segue a mesma tendência, apresentando da mesma forma um alto *teor de umidade* (28,3%) e *massa específica aparente seca máxima* ($\gamma_{dm\acute{a}x}$ 1,58%). Ainda quanto à curva de compactação (Figura 10), pode-se observar que o solo IDBA se apresenta também como um solo tipicamente argiloso, porém menos expansivo que o solo MAO devido os valores significativos de areia média e areia fina em sua composição.

O solo MAO se mostra um pouco mais expansivo que o solo IDBA como demonstra o gráfico de compactação, porém muito mais expansivo quando comparado ao solo RPEV. Por outro lado, o solo RPEV com menor teor de umidade (9,7%) apresenta curva de compactação mais fechada (Figura 10), com pico mais elevado, tendo o maior valor de $\gamma_{dm\acute{a}x}$ (2,04 g/cm³), mostrando-se um solo menos expansivo, típico de solos predominantemente arenosos.

2.2. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

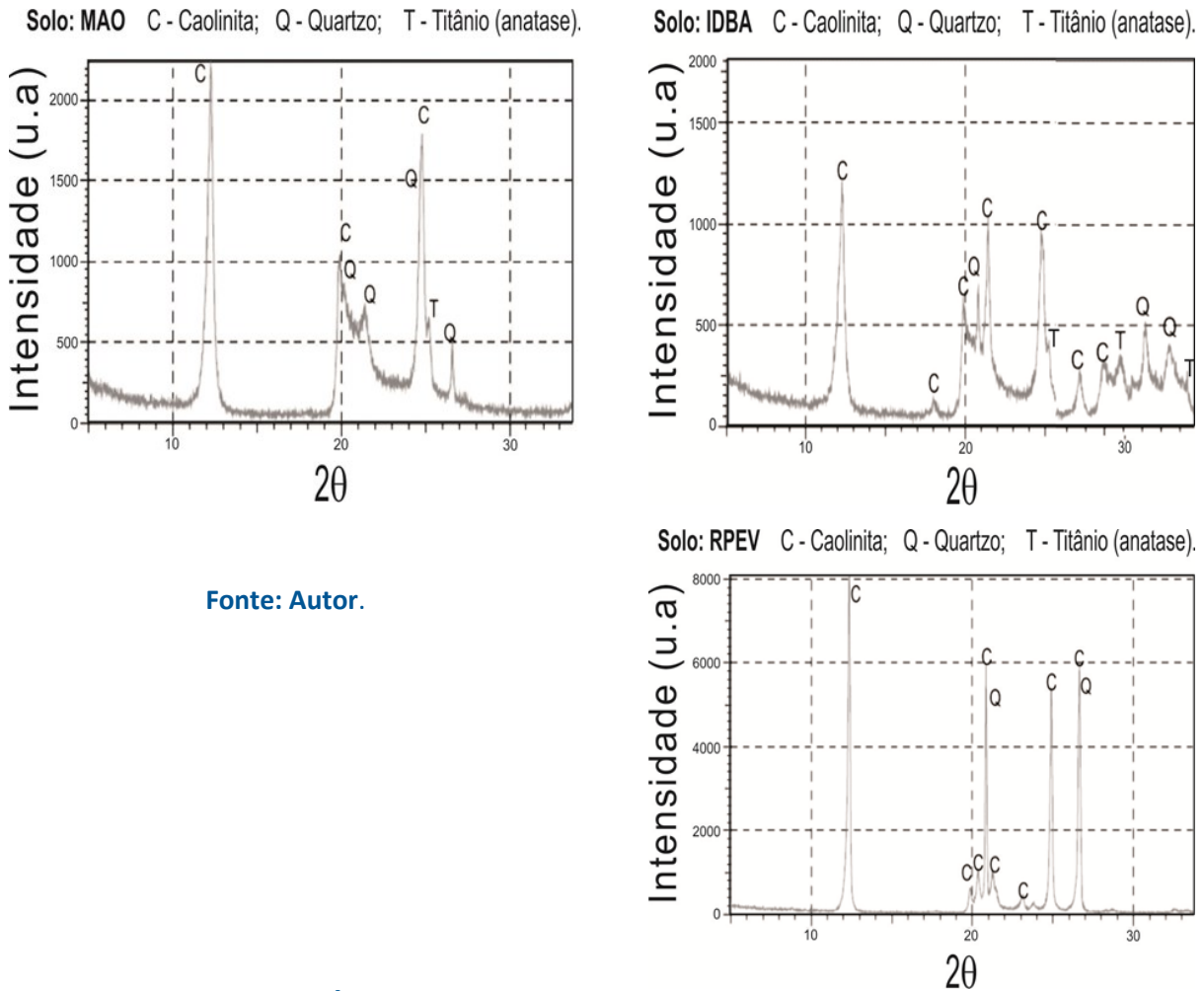
2.2.1. Identificação mineralógica por DRX

Na identificação das fases cristalinas (Figura 11), nota-se que em todas as amostras há a presença do argilomineral *caolinita* [Al₂Si₂O₅(OH)₄] e *quartzo* [SiO₂]. Apenas nas amostras MAO e IDBA há a presença de *óxido de titânio* (TiO₂) que evidencia a proximidade desses sedimentos com a rocha mãe.

O fato de haver o mesmo argilomineral em todas as amostras evidencia o que está descrito na literatura sobre o solo da região metropolitana de Manaus: neoformação caolinítica do material sedimentar subjacente (KISTLER 1954, CAPUTO *et al.*, 1972 e FERNANDES FILHO 1996).

Pode-se observar que na amostra RPEV os picos são mais agudos que nas outras duas amostras, significando que se trata de um solo que sofreu menos intemperismo e é, portanto, um solo mais consolidado. Também possui elevados picos de quartzo, se evidenciando como um material quartzoso dentro dos limites silte e pedregulho conforme demonstrado nos ensaios de granulometria.

Figura 11 – Difractogramas com resultados das análises por difração de raios-X.



Fonte: Autor.

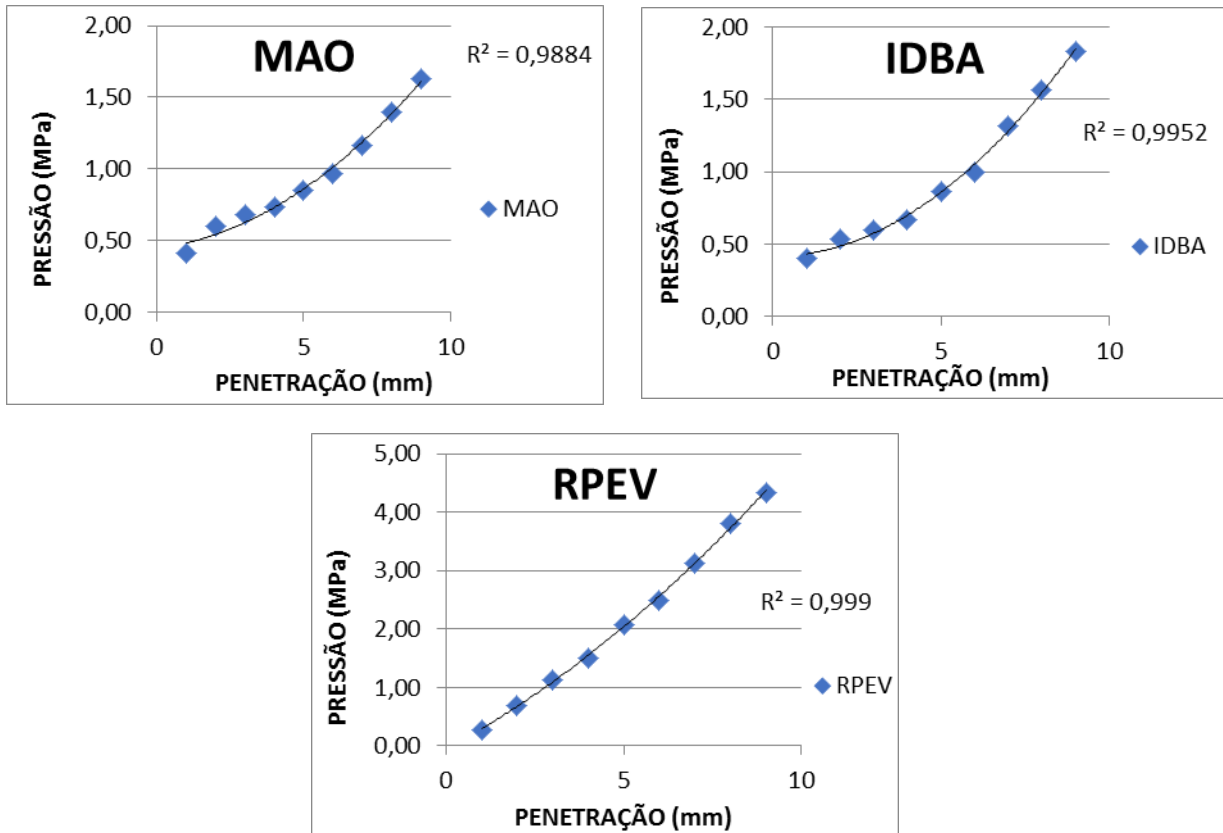
2.3. COMPORTAMENTO MECÂNICO

2.3.1. Índice de suporte califórnia/ ISC

Tabela 9 – Resultados do ensaio de expansão por imersão dos CP's.

EXPANSÃO						
SOLO	CP1 (i)	CP1 (f)	CP2 (i)	CP2 (f)	CP3 (i)	CP3 (f)
MAO	0,0	0,19	0,0	0,52	0,0	0,18
IDBA	0,0	0,23	0,0	0,40	0,0	0,19
RPEV	0,0	0,15	0,0	0,30	0,0	0,17

Figura 12 – Gráficos de pressão x penetração dos ensaios de CBR.



Fonte: Autor.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de cada solo com seus respectivos CBR's.

ALTURA	CBR - MAO		CBR - IDBA		CBR - RPEV	
	Pressão Corrigida	TOTAL	Pressão Corrigida	TOTAL	Pressão Corrigida	TOTAL
Penetração Padrão (mm)						
2,54	0,793	11,49	0,661	9,68	1,983	28,74
5,08	1,091	10,54	0,991	9,57	3,172	30,65
	CBR - MAO: 11,50%		CBR - IDBA: 9,70%		CBR - RPEV: 31,00%	

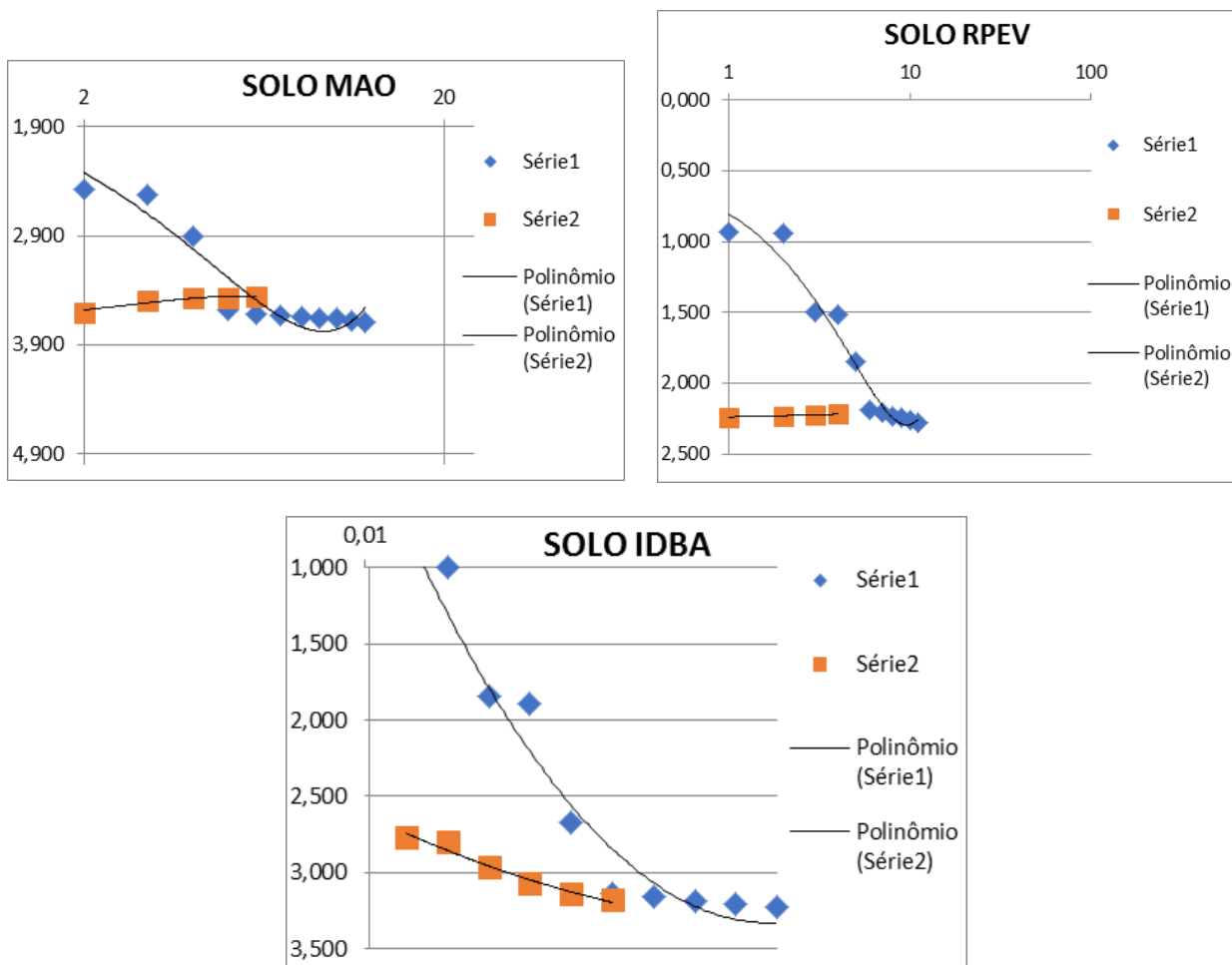
Na Tabela 9 (*ensaio de expansão por imersão*), o solo RPEV foi o que teve a menor expansão em todas as amostras que foram testadas. Um comportamento que já era esperado de um solo tipicamente arenoso.

Pelos resultados apresentados nos gráficos da Figura 12 (*pressão x penetração*) e na Tabela 10 (*Resultados do CBR*), já era previsto também um comportamento mecânico mais resistente do solo RPEV do que nos demais ($CBR = 31\%$), demonstrando com isso, ser um solo mais resistente à penetração. De modo geral, o solo RPEV está classificado como um solo de boa qualidade para uso em base e sub-base enquanto que os solos MAO e IDBA seriam de qualidade regular (CBR de 7 – 20%), com sua utilização em sub-base de acordo com o sistema de classificação da AASHTO.

2.3.2. Adensamento unidimensional

Para os ensaios de adensamento, foram compactados corpos de prova em anel próprio de adensamento, com teor de umidade na condição ótima e grau de compactação 100%, obtendo-se os seguintes resultados.

Figura 13 – Gráficos gerados a partir do ensaio de adensamento.



Fonte: Autor.

SOLO MAO		
Peso Esp. Ap. Inicial (Yi)	(g/cm ³)	1,407
Peso Esp. Ap. Seco Inicial (Ysi)	(g/cm ³)	1,356
Índice de Vazios Inicial (eo)	(adm)	0,933
Grau de Saturação Inicial (Si)	(%)	10,479
Altura dos Sólidos (Hs)	(cm)	0,983
Índice de Vazios (e)	(adm)	0,882
Grau de Saturação Final (Sf)	(%)	110,834

Tabela 11 – Dados das leituras efetuadas no extensômetro.

SOLO MAO				
Pressão de Ensaio (kPa)	Leitura do Carregamento (mm)	TEMPO	Descompressão (kPa)	Leitura do Descarregamento (mm)
0,255	1,810	1'	0,255	3,660
0,510	2,480	2'	0,510	3,600
0,510	2,520	4'	0,764	3,500
0,764	2,910	8'	1,018	3,470
1,018	3,580	15'	1,018	3,465
1,018	3,615	30'	1,018	3,460
1,018	3,630	1h	-	0
1,018	3,630	1h	-	0
1,018	3,640	2h	-	0
1,018	3,650	4h	-	0
1,018	3,660	8h	-	0
1,018	3,680	24h	-	0
1,018	3,690	48h	-	0

Tabela 12 – Cálculos das condições finais do ensaio.

Tabela 13 – Dados das leituras efetuadas no extensômetro.

SOLO IDBA				
Pressão de Ensaio (kPa)	Leitura do Carregamento (mm)	TEMPO	Descompressão (kPa)	Leitura do Descarregamento (mm)
0,255	0,980	1'	0,255	3,18
0,255	1,000	2'	0,510	3,14
0,510	1,845	4'	0,764	3,07
0,510	1,890	8'	0,764	2,96
0,764	2,670	15'	1,018	2,80
1,018	3,140	30'	1,018	2,77
1,018	3,160	1h	-	0
1,018	3,190	2h	-	0
1,018	3,210	4h	-	0
1,018	3,230	8h	-	0
1,018	3,240	24h	-	0
1,018	3,260	48h	-	0

Tabela 14 – Cálculos das condições finais do ensaio.

SOLO IDBA		
Peso Esp. Ap. Inicial (Yi)	(g/cm ³)	1,608
Peso Esp. Ap. Seco Inicial (Ysi)	(g/cm ³)	1,527
Índice de Vazios Inicial (eo)	(adm)	0,696
Grau de Saturação Inicial (Si)	(%)	19,645
Altura dos Sólidos (Hs)	(cm)	1,179
Índice de Vazios (e)	(adm)	0,671
Grau de Saturação Final (Sf)	(%)	130,527

Tabela 15 – Dados das leituras efetuadas no extensômetro.

SOLO RPEV				
Pressão de Ensaio (kPa)	Leitura do Carregamento (mm)	TEMPO	Descompressão (kPa)	Leitura do Descarregamento (mm)
0,255	0,935	1'	0,255	2,240
0,255	0,940	2'	0,510	2,230
0,510	1,500	4'	0,764	2,225
0,510	1,520	8'	1,018	2,220
0,764	1,845	15'	1,018	2,220
1,018	2,190	30'	1,018	2,220
1,018	2,210	1h	-	0
1,018	2,230	2h	-	0
1,018	2,240	4h	-	0
1,018	2,260	8h	-	0
1,018	2,280	24h	-	0
1,018	2,280	48h	-	0

Tabela 16 – Cálculos das condições finais do ensaio.

SOLO RPEV		
Peso Esp. Ap. Inicial (Yi)	(g/cm ³)	2,054
Peso Esp. Ap. Seco Inicial (Ysi)	(g/cm ³)	2,026
Índice de Vazios Inicial (eo)	(adm)	0,273
Grau de Saturação Inicial (Si)	(%)	13,052
Altura dos Sólidos (Hs)	(cm)	1,729
Índice de Vazios (e)	(adm)	0,226
Grau de Saturação Final (Sf)	(%)	125,305
Coef. de Adensamento (Cv)		

A partir dos dados adquiridos é possível observar na Tabela 1-Anexo o seguinte: que a leitura inicial (1 min) de carregamento para o solo MAO é quase o dobro das amostras IDBA e RPEV – 1,810 mm, 0,980 mm e 0,935 mm, respectivamente – sendo que em todas elas foram aplicadas as mesmas pressões iniciais (2,55 kPa). À medida que se aplicou mais carga, essa distância passou a diminuir significativamente após 30 minutos entre as amostras MAO e IDBA (chegando muito próximas até o final dos ensaios), porém distanciando-se da amostra RPEV.

O solo RPEV inicialmente segue com leituras próximas ao solo IDBA, porém se distanciam a partir de 30 minutos de carregamento, tornando-se mais distantes até o final do ensaio. As distâncias registradas entre as amostras MAO x RPEV são as maiores quando comparadas às amostras MAO x IDBA e quando comparadas também às amostras IDBA x RPEV. O solo MAO registra as maiores leituras e o solo RPEV, as menores.

Com base nestas observações pode-se concluir o seguinte: que o CP do solo MAO sofreu maior recalque, tendo uma perda de 2,10% em sua altura final, seguido pelas amostras IDBA (1,5%) e RPEV (0,91%). Que o solo RPEV, após 48hs de ensaio (Tabela 1-Anexo), mantinha a mesma leitura de carregamento do dia anterior (2,280 mm), apresentando estabilização após 24hs e que as demais amostras continuavam em escala progressiva.

Durante o descarregamento (Tabela 1-Anexo), a amostra RPEV estabilizou a leitura com 8 minutos (2,220 mm), permanecendo dessa forma até os 30 minutos seguintes quando parou o ensaio. As demais amostras MAO e IDBA, sem as mesmas cargas e com o mesmo tempo de descarregamento continuaram avançando na leitura de forma regressiva, apresentando certa elasticidade no CP da amostra, tendo desta vez a amostra IDBA estabilizado primeiro que a amostra MAO.

Quanto ao comportamento mecânico, observa-se que o solo RPEV quando avaliado sob as mesmas condições de ensaio dos outros dois, responde melhor quanto ao desempenho mecânico para obras de terra de engenharia. Possui melhor resistência quanto ao recalque quando submetido à carga axial sob confinamento lateral, estabiliza mais rápido que os outros dois, sendo um solo mais estável. Por outro lado, o solo MAO se demonstrou um solo mais elástico quando confinado nas mesmas condições de ensaio, seguido pelo solo IDBA.

3. CONCLUSÃO

O estudo revelou que as classificações dos materiais analisados conferem com a literatura científica e com estudos realizados sobre solos amazônicos no que tange à geologia de solos pertencentes à Formação Geológica Alter do Chão, mais precisamente à Região Metropolitana de Manaus. Revelou ainda que apesar de pertencerem à mesma região de formação geológica, com minerais semelhantes em sua composição físico-química, possuem também comportamento mecânico e algumas características físicas bem distintas quando submetidos aos mais diferentes testes de laboratório.

O estudo nos remeteu também a resultados que já eram esperados previamente quando as amostras foram investigadas nos ensaios de caracterização física e também quando submetidas aos testes de comportamento mecânico, visto que solos predominantemente arenosos possuem melhor desempenho quanto à resistência e à estabilização, e solos argilosos são mais moldáveis e demoram mais a estabilizar.

Com a pesquisa, pôde-se observar também que materiais com um grau elevado de expansividade e altamente plásticos estão mais sujeitos às deformações como visto nos ensaios de limites de liquidez, enquanto que materiais com predomínio de quartzo e feldspato, mesmo apresentando granulometria fina não possuem plasticidade, indicando assim, características de um solo altamente laterizado e não plástico como demonstrado nos ensaios de limites de plasticidade. Portanto, solos laterizados, possuem bom desempenho mecânico em obras de pavimentação viária, tendo com isso um desempenho mecânico melhor.

A investigação concluiu ainda que em função dos resultados de caracterização física, do CBR e do ensaio de adensamento unidimensional o solo RPEV apresentou em todos estes ensaios o melhor desempenho físico e mecânico para obras de pavimentação viária em função da sua estabilidade e do seu valor de resistência à penetração e ao recalque, mostrando-se desse modo, como um solo com melhor estabilidade e de excelente qualidade para uso em base e sub-base de rodovias.

Portanto, a necessidade de se ter o domínio destes materiais é relevante para a engenharia de pavimentação no que tange à viabilização e redução de custos com obras de terra e para o enriquecimento do banco de informações geotécnicas do solo da região metropolitana de Manaus, reforçando ainda a necessidade de continuação da pesquisa para uma consequente provisão de dados geotécnicos considerando que se faz necessário a coleta de mais amostras em outros pontos da região estudada onde, a partir daí, deverão ser utilizados em um futuro bem próximo.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro – RJ. ABNT NBR – 6457/86. AMOSTRAS DE SOLO – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização.
- ____ ABNT NBR – 7181/84. SOLO – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro – RJ.
- ____ ABNT NBR – 9895/87 – SOLO – Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro – RJ.
- ____ ABNT NBR – 7182/86 – SOLO – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro – RJ.
- ____ ABNT NBR – 7180/84 – SOLO – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro – RJ.
- ____ ABNT NBR – 6459/84 – SOLO – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro – RJ.
- ____ ABNT 12007 MB – 3336/90 – SOLO – Ensaio de Adensamento Unidimensional. Rio de Janeiro – RJ.
- ALMEIDA, Gil C. Paulo. Caracterização Física e Classificação dos Solos. Livro Didático de Procedimentos de Engenheiros que Atuam em Laboratórios de Solos. Universidade Federal de Juiz de Fora/ MG. Faculdade de Engenharia e Departamento de Transportes, Fevereiro de 2004.
- CARVALHO, João da Silva. Caracterização hidrogeológica da região norte da cidade de Manaus, com base em informações geofísicas (resistividade elétrica), geológicas e geomorfológicas. Tese apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)/ Universidade do Estado do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Clima e Ambiente. Manaus, 2012.
- Cláudio Villegas Valejos; Hyllttonn Wyktor D. Bazan; Jocely Maria Thomazoni Loyola; Tiago Augusto Ceccon. CÁLCULO DE ENSAIOS LABORATORIAIS DE MECÂNICA DOS SOLOS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). Departamento de Construção Civil. Disciplina de Mecânica dos Solos com Fundamentos de Geologia. Curitiba, 2005.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Geodiversidade do Estado do Amazonas. Programa Geologia do Brasil Levantamento da Geodiversidade. Manaus, 2010.
- DAS, Braja M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. 6ª ed. norte-americana: CENGAGE Learning, 2010.
- DAS, Braja M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. 7ª ed. norte-americana: CENGAGE Learning, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Limites de Consistência dos Solos: Latossolo Amarelo e Podzólico Vermelho. Manaus, 1981.
- MT – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) – SOLOS – Determinação da Densidade Real – DNER-ME 093/94. Rio de Janeiro.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Os Solos Tropicais Lateríticos e Saprólíticos e a Pavimentação, In: 18ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1983, Porto Alegre.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, Eliana Fernandes. Estudo Comparativo de Diferentes Sistemas de Classificações Geotécnicas Aplicadas aos Solos Tropicais. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos/SP e aprovada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil com ênfase em Transportes. São Carlos, 2006.

SENÇO, W. (1997), **Manual de técnicas de pavimentação**. Editora Pini Ltda. São Paulo, SP. 746p.

VARGAS, m. Introdução a mecânica dos solos. 1ª Edição, São Paulo 1997.

ZORZI, Clayton. “Caracterização dos Solos Tropicais Lateríticos para reforço de Pavimentos”. Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado na Universidade São Francisco em 10 de Dezembro de 2008.



21^a | REUNIÃO DE
RPU | PAVIMENTAÇÃO URBANA

12 e 13 de setembro de 2018 | Transamerica Expo, São Paulo

Tabela – 1-Anexo – Dados comparativos das leituras efetuadas nas três amostras de solo.

MAO					IDBA					RPEV				
TEMPO	PRESSÃO (kPa)	CARREGAMENTO (mm)	DESCOM-PRESSÃO (kPa)	DESCAR-REGAMENTO (mm)	TEMPO	PRESSÃO (kPa)	CARREGAMENTO (mm)	DESCOM-PRESSÃO (kPa)	DESCAR-REGAMENTO (mm)	TEMPO	PRESSÃO (kPa)	CARREGAMENTO (mm)	DESCOM-PRESSÃO (kPa)	DESCAR-REGAMENTO (mm)
1'	0,255	1,810	0,255	3,660	1'	0,255	0,980	0,255	3,18	1'	0,255	0,935	0,255	2,240
2'	0,510	2,480	0,510	3,600	2'	0,255	1,000	0,510	3,14	2'	0,255	0,940	0,510	2,230
4'	0,510	2,520	0,764	3,500	4'	0,510	1,845	0,764	3,07	4'	0,510	1,500	0,764	2,225
8'	0,764	2,910	1,018	3,470	8'	0,510	1,890	0,764	2,96	8'	0,510	1,520	1,018	2,220
15'	1,018	3,580	1,018	3,455	15'	0,764	2,670	1,018	2,80	15'	0,764	1,845	1,018	2,220
30'	1,018	3,615	1,018	3,450	30'	1,018	3,140	1,018	2,77	30'	1,018	2,190	1,018	2,220
1h	1,018	3,630	-	0	1h	1,018	3,160	-	0	1h	1,018	2,210	-	0
2h	1,018	3,640	-	0	2h	1,018	3,190	-	0	2h	1,018	2,230	-	0
4h	1,018	3,650	-	0	4h	1,018	3,210	-	0	4h	1,018	2,240	-	0
8h	1,018	3,660	-	0	8h	1,018	3,230	-	0	8h	1,018	2,260	-	0
24h	1,018	3,680	-	0	24h	1,018	3,240	-	0	24h	1,018	2,280	-	0
48h	1,018	3,690	-	0	48h	1,018	3,260	-	0	48h	1,018	2,280	-	0

Fonte: Autor.



**INFLUÊNCIA DO CRESCIMENTO
DO TRÁFEGO E DA
SOBRECARGA NO CUSTO DE
IMPLANTAÇÃO E
RESTAURAÇÃO DE
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

**Rodrigo André Klamt¹,
Luciano Pivoto Specht²,
Deividi da Silva Pereira²,
Magnos Baroni³**

¹Mestre – UFSM, Universidade Federal de Santa Maria –
Santa Maria – RS

²Professor Doutor – UFSM – Santa Maria – RS

³Professor Mestre – UFSM – RS

RESUMO

Sabe-se que o tráfego no Brasil tem aumentado de forma significativa nos últimos anos devido à dependência do modo rodoviário de transporte. Além disso, os veículos comerciais surgem no mercado com novas configurações, com mais eixos e com maior capacidade de carga, em função também da legislação, que atualmente tolera sobrecarga por eixo de 10%. Diante deste cenário, o presente estudo teve por objetivo avaliar efeitos provocados pela ação do tráfego no dimensionamento e no custo de pavimentos flexíveis, focando em aspectos relacionados a taxa de crescimento e ao excesso de carga. A partir da análise de séries históricas de 11 praças de pedágio, concluiu-se que a taxa de crescimento de tráfego real está consideravelmente acima da proposta pelo DNIT (2006), que é de 3,00%; a taxa de crescimento média global do estudo foi de 7,16%. Quanto ao dimensionamento pelo método do DNIT, para diferentes valores de CBR de subleito (4%, 10% e 16%), a espessura de revestimento foi a mesma para todos os carregamentos, atingindo o limite superior do método em 12,5cm. Pela análise empírico-mecanística os valores de espessura de revestimento foram de até 16 cm, em função da fadiga e deformação permanente, apresentando uma diferença de custo em função da sobrecarga em veículos comerciais na ordem de 7%. Com relação ao dimensionamento de reforço de pavimentos considerando a sobrecarga, o custo é majorado em até 5%. Portanto, a pesquisa permitiu obter parâmetros reais de forma a subsidiar novos projetos de engenharia rodoviária, além de mostrar a importância de conhecer o perfil de carregamento de tráfego para o dimensionamento de pavimentos.

PALAVRAS-CHAVE: taxa de crescimento de tráfego. sobrecarga em veículos comerciais. dimensionamento de pavimentos.

ABSTRACT

It is known that traffic in Brazil has significantly increased in recent years due the dependence on road transportation. Besides that, commercial vehicles come to market with new settings, with more axes and greater load capacity, also due to the legislation, that currently tolerates an overload of 10% per axle. In this scenario, the present study aims to evaluate the effects caused by the action of traffic on the dimensioning and cost of flexible pavements, focusing on aspects related to growth rate and overloading. From the analysis of historical series of 11 toll plazas, it was concluded that the real traffic growth rate is significantly above the proposal by DNIT (2006), which is 3.00%; the overall average growth rate of the study was 7.16%. As for the dimensioning by DNIT method, for different CBR values of the subgrade (4%, 10% and 16%), the coating thickness was the same for all loads, reaching the upper limit of the method in 12,5cm. Through empirical and mechanistic analysis, the coating thickness values were up to 16 cm, depending on fatigue and permanent deformation, presenting a difference of costs due to the overload in commercial vehicles in the order of 7%. Regarding the dimensioning of pavement reinforcement, considering the overload, the cost is increased by up to 5%. Therefore, the survey allowed to obtain real parameters in order to support new road engineering projects, in addition to showing the importance of knowing the traffic load profile for the dimensioning of pavements.

KEYWORDS: traffic growth rate. overload in commercial vehicles. pavements design.

1. INTRODUÇÃO

Percebe-se, com o passar dos anos, o quão grande é o crescimento da frota de veículos no Brasil. Em 2000, o país possuía 29.722.950 veículos rodando por suas rodovias, sendo que destes, 1.397.247 eram caminhões. Em dezembro de 2013 o Brasil já possuía 81.600.729 veículos, sendo 2.488.680 caminhões. Portanto, em 13 anos o Brasil teve um aumento de aproximadamente 175% no volume total de veículos e, aproximadamente, 78% mais caminhões nas estradas brasileiras (DENATRAN, 2014).

O transporte desempenha papel essencial dentro da sociedade e é primordial aos serviços básicos de saúde, educação, energia, alimentação, entre outros. No entanto, mesmo que maior parte do transporte de carga passe pelas rodovias brasileiras, o país apresenta um complexo problema em sua malha viária. Segundo a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2014), indicações gerais mostram que, no ano de 2014, 49,9% das rodovias do país estão classificadas como: regulares, ruins ou péssimas.

O significativo aumento de veículos, aliado ao excesso de peso dos eixos rodoviários, vêm impondo severas dificuldades à manutenção das vias de tráfego, elevando os custos decorrentes de sua conservação. Logo, como consequência, tem-se agravado a deterioração das rodovias, que são causas dos esforços não previstos no dimensionamento de pavimentos e de seus complementos, as obras de artes especiais (pontes e viadutos).

Estudos vêm apoiando a busca de estruturas de pavimentos através de eficientes sistemas de prevenção, antevendo um comportamento adequado para as inúmeras solicitações de tráfego, tendendo a substituir a base semi-empírica pela empírico-mecanística, baseado em espectros de carga por eixo. Os métodos empírico-mecanísticos são de grande importância, pois se trata o pavimento como uma estrutura de engenharia prevendo a evolução da condição ao longo do tempo e/ou tráfego acumulado, o que tende a real situação encontrada em campo (Fontenele, 2011).

Dessa forma, a pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos provocados pela ação do tráfego no dimensionamento e no custo de pavimentos flexíveis, focando em aspectos relacionados à taxa de crescimento e excesso de carga.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa constituiu-se, primeiramente, na coleta de dados de tráfego de 11 praças de pedágio de rodovias concessionadas das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, com a finalidade de calcular, a partir de séries históricas, a taxa de crescimento anual do N para cada caso. Em uma segunda etapa, é apresentado um estudo mais aprofundado da BR 116/RS, onde buscou-se propor diferentes cenários para carga dos veículos comerciais e diferentes taxas de crescimento (real e a proposta pelo DNIT), para posterior dimensionamento e análise de custo de pavimentos.

Os dados de tráfego das rodovias foram fornecidos pelas Empresas Concessionárias de Rodovias do Estado do Rio Grande do Sul e do Estado do Rio de Janeiro, sendo as praças de pedágio (contagem classificatória do tráfego) P1, P2 e P3 situadas na região metropolitana de Porto Alegre/RS; as praças P7, P8 e P9, P10 e P11 na região Sul do Rio Grande do Sul; as praças P4 e P5 situadas no Rio de Janeiro; e a praça P6 situada em Minas Gerais. A Tabela 1 apresenta a localização das praças de pedágio das rodovias de onde foram obtidos os dados, bem como o período de série histórica considerado.

Praça	Localização	Estado	Período Série Histórica de Dados
P1	BR 290 - km 19 - Santo Antônio da Patrulha	RS	2009 - 2013
P2	BR 290 - km 77 - Gravataí	RS	2009 - 2013
P3	BR 290 - km 110 - Eldorado do Sul	RS	2009 - 2013
P4	BR 040 - km 104 - Duque de Caxias	RJ	1997 - 2012
P5	BR 040 - km 45 - Petrópolis	RJ	1997 - 2012
P6	BR 040 - km 816 - Simão Pereira	MG	1997 - 2012
P7	BR 392 - km 111 – Glória	RS	2002 - 2013
P8	BR 116 - km 510 – Retiro	RS	2001 - 2013
P9	BR 116 - km 430 – Cristal	RS	2001 - 2013
P10	BR 392 - km 52 - Capão Seco	RS	2001 - 2013
P11	BR 116 - km 541 – Pavão	RS	2002 - 2013

TABELA 1 - Localização e período de série histórica de cada praça de pedágio.

2.1. EVOLUÇÃO DO TRÁFEGO

O número N é o número de repetições dos eixos dos veículos equivalentes às solicitações do eixo padrão rodoviário de 8,2 tf durante o período de vida útil do pavimento, calculado pela Equação 1.

$$N = 365.VDM \cdot \left(\frac{(1 + P.t)^2 - 1}{2.t} \right) \cdot F_v \cdot F_f \cdot F_d \quad (1)$$

Onde: VDM: Volume diário médio de tráfego; Fv: Fator de Veículo, calculado com os FEC (Fatores de Equivalência de Carga) da USACE ou da AASHTO; Ff: Fator de Frota; Fd: Fator de Distribuição (optou-se por utilizar os valores médios dos intervalos propostos pelo Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006)); P: Período de projeto; t: Taxa de crescimento.

Além de obter o número NUSACE anual de cada rodovia para cada ano da série histórica, teve-se também por finalidade fornecer a taxa de crescimento do tráfego anual em função do número NUSACE, comparando-a com a taxa de crescimento fornecida pelo DNIT. Segundo o DNIT (2006, p. 234), “a experiência mostra que o tráfego costuma crescer a taxas anuais de variação relativamente lenta. Ultimamente tem sido comum adotar, à falta de informações de variáveis socioeconômicas, uma taxa de crescimento anual de 3,00%, próxima da taxa de crescimento econômico do país como um todo, o que resulta em uma função exponencial”.

2.2. Dimensionamento de pavimentos e análise de custos

Nesta etapa foi realizado um estudo de caso de BR 116/RS – Praça de Retiro, utilizando então o VDM do ano de 2013 para o cálculo do número N acumulado pela metodologia USACE, e adotado um período de projeto de 10 anos. Com base em estudos realizados no Rio Grande do Sul, PRIME (2013) e LASTRAN e DAER (2003), foram definidos os cenários de carregamentos.

Desta forma, buscou-se trabalhar com três fatores diferentes em cada uma dessas variáveis (5%, 10% e 15% de veículos com alguma sobrecarga; 10%, 15% e 20% de sobrecarga nos eixos constituintes dos veículos, em relação ao peso máximo legal de cada eixo), além de considerar duas taxas de crescimento diferentes, a taxa de crescimento média encontrada para a praça de Retiro neste estudo (4,86%) e a taxa proposta pelo DNIT (2006), que é de 3,00%. Maiores detalhes podem ser consultados em Klamt (2014).

Para o dimensionamento foi definida uma estrutura típica de pavimento composta com materiais usuais do estado do RS. A Tabela 2 apresenta os materiais e suas propriedades elásticas. Cabe ressaltar que são estudados três casos diferentes de CBR de subleito: CBR = 4%, CBR = 10% e CBR = 16%. Os valores de módulo de resiliência foram obtidos a partir de Ribas (2014).

Camada	Material da Camada	Módulo de Resiliência (MPa)	Coefficiente de Poisson	Aderência
Revestimento	Concreto Asfáltico	5.000	0,30	Não Aderido
Base	Brita Graduada Simples	250	0,35	Aderido
Sub-Base	Macadame Seco	300	0,35	Aderido
Sub-leito	Solos finos, siltosos ou argilosos	40/100/160 ¹	0,40	Aderido

Nota: ¹ Varia de acordo com o CBR; foi utilizada a relação $M_r=10 \cdot CBR$ para definição dos valores de módulo do subleito.

Tabela 2 - Características dos materiais constituintes do pavimento

É importante destacar a questão de aderência entre camadas de pavimentos, especialmente a ligação entre a base e o revestimento. A comunidade técnica tem discutido isso e ainda não se chegou em um consenso. Essa condição impõe maiores deformações na tração da fibra inferior do revestimento, estando então a favor da segurança em dimensionamentos e verificações mecanicistas.

Ressalta-se ainda que o dimensionamento dos pavimentos foi realizado em duas etapas: Na primeira etapa utilizou-se o método consagrado do DNIT criado pelo antigo DNER (1981). Em uma segunda etapa, realizou-se uma análise empírico-mecânica dos pavimentos, analisando os principais mecanismos de degradação: a deformação permanente e o trincamento por fadiga. Partindo dos pressupostos já apresentados, os cenários para dimensionamento de pavimentos deste estudo ficam dispostos conforme Tabela 3.

Após dimensionamento inicial pelo método do DNIT, foi realizada uma análise empírico-mecânica por meio da Ferramenta AEMC (Análise Elástica de Múltiplas Camadas) do software SiPa-vBR, desenvolvido por Franco (2007), a fim de encontrar valores de ϵ_t (deformação de tração na fibra inferior do revestimento) e ϵ_v (deformação vertical no topo do subleito) críticos. Tal processo é realizado alterando-se apenas a espessura do revestimento, ou seja, variar-se-á a espessura de revestimento até que ambos os casos (ϵ_t e ϵ_v) atendam aos requisitos dos modelos considerados. Para isto, é considerado o eixo rodoviário padrão de 82kN com pressão de inflação dos pneus de 0,56 MPa.

Cenários	% Veículos com CML	% Veículos com SC	% SC	% Veículos vazios	TC (%)
1	80	0	0	20	3,00
2	80	0	0	20	4,86
3	75	5	10	20	3,00
4	75	5	10	20	4,86
5	75	5	15	20	3,00
6	75	5	15	20	4,86
7	75	5	20	20	3,00
8	75	5	20	20	4,86
9	70	10	10	20	3,00
10	70	10	10	20	4,86
11	70	10	15	20	3,00
12	70	10	15	20	4,86
13	70	10	20	20	3,00
14	70	10	20	20	4,86
15	65	15	10	20	3,00
16	65	15	10	20	4,86
17	65	15	15	20	3,00
18	65	15	15	20	4,86
19	65	15	20	20	3,00
20	65	15	20	20	4,86

CML = Carga Máxima Legal; SC = Sobrecarga; TC = Taxa de Crescimento.

TABELA 3 - Cenários considerados para pesquisa

Os modelos para estimativa do número N de projeto foram selecionados de acordo com os dois principais fatores de degradação dos pavimentos flexíveis, sendo eles:

Afundamento na trilha de roda: O modelo utilizado foi do Instituto do Asfalto dos Estados Unidos - MS-1, de 1969 e reeditado pela nona vez em 1991, como segue:

$$N_f = 1,365 \cdot 10^{-9} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_v} \right)^{4,47} \quad (2)$$

Onde: N_f = número de ciclos até a ruptura por deformações permanentes nas trilhas de roda, calculado pela metodologia da AASHTO; ε_v = deformação específica vertical no topo do subleito.

Trincamento por fadiga: O modelo para avaliar a fadiga do revestimento (tração) foi utilizado o modelo do FHWA:

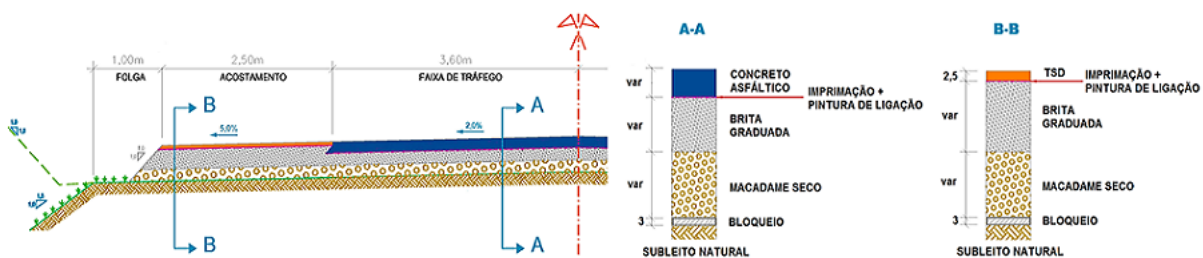
$$N = 1,092 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{3,512} \quad (3)$$

Onde: N = vida de fadiga da camada asfáltica calculado pela metodologia da AASHTO; ε_t = deformação específica de tração na fibra inferior do subleito.

É importante relatar que para ambos os métodos (Instituto do Asfalto e FHWA) os fatores de conversão campo-laboratório estão implícitos nos modelos e representam, pela falta de modelos brasileiros, o que há de consolidado na literatura.

Foi realizado, também, o dimensionamento das restaurações segundo o método PRO-11/1979 Procedimento B (DNER, 1979), que é prática corrente no Brasil. No estudo, foi considerado que o raio de curvatura não tem influência no dimensionamento, ou seja, raio de curvatura $R_c \geq 100$ m. Foram adotadas deflexões características (D_c) típicas encontradas em pavimentos, com valores de 75, 100 e 125×10^{-2} mm. Estas são comparadas com as deflexões admissíveis calculadas por meio do número N, pelo método FEC/USACE, de cada um dos cenários de carregamento, buscando com isso, encontrar a espessura de reforço para cada uma das deflexões características.

O levantamento dos custos unitários de referência para os serviços empregados nas estruturas definidas foi realizado utilizando-se as composições do sistema SICRO 2 do DNIT (<http://www.dnit.gov.br/servicos/sicro/sul>), tendo como referência o mês de maio de 2014. Foi adotado o SICRO da região sul e todos os detalhes das composições estão em Ribas (2014) e em Klamt (2014). Foram considerados apenas os custos de pavimentação para uma rodovia classe I-B, com seção tipo e suas camadas constituintes indicadas na Figura 1, onde também são apresentados os custos unitários para cada serviço. O desnível do acostamento considerado foi de 2,5 cm. Os custos de terraplanagem não foram considerados no estudo.



Custo unitário (R\$)						
CA (m³)	PL (m²)	IP (m²)	BGS (m³)	MS (m³)	BL (m³)	TSD (m²)
R\$ 541,56	R\$ 0,78	R\$ 2,95	R\$ 235,04	R\$ 216,14	R\$ 193,33	R\$ 9,12

Legenda: CA: concreto asfáltico; PL: pintura de ligação; IP: imprimação; BGS: brita graduada simples; MS: macadame seco; BL: camada de bloqueio; TSD: tratamento superficial duplo.

FIGURA 1 - Seção tipo rodovia classe I-B para levantamento de custos e preço unitário para os diferentes serviços

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1. EVOLUÇÃO DO TRÁFEGO

A Tabela 4 apresenta os valores de NUSACE e NAASHTO anuais encontrados para as praças de pedágios em estudo, considerando os veículos comerciais com 100% da carga máxima legal. As Figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, a evolução do número N e da taxa de crescimento com o passar dos anos.

De acordo com a Figura 2 e Tabela 4 percebe-se que com o passar dos anos há um aumento no valor de número NUSACE anual das praças de pedágio em estudo. Destaca-se que a praça P4, no Rio de Janeiro, apresenta um elevado acréscimo do número N (crescimento médio de 21,85% nos últimos 5 anos), reflexo da evolução econômica da região sudeste. Este aumento de tráfego, se não previsto no dimensionamento da estrutura, pode redundar em graves problemas estruturais ao pavimento. Outras duas praças que merecem destaque são a P7 e P10, na região Sul do RS, com crescimento no número N elevado ao longo da série histórica (crescimento médio da P7 igual a 16,93% e da P10 igual a 9,07%) e variações de solicitação ao longo do tempo. Estes dados demonstram a realidade das regiões, onde o número de veículos comerciais tem aumentado e, como consequência, uma maior solicitação é imposta no pavimento, resultando, possivelmente, na degradação precoce do pavimento.

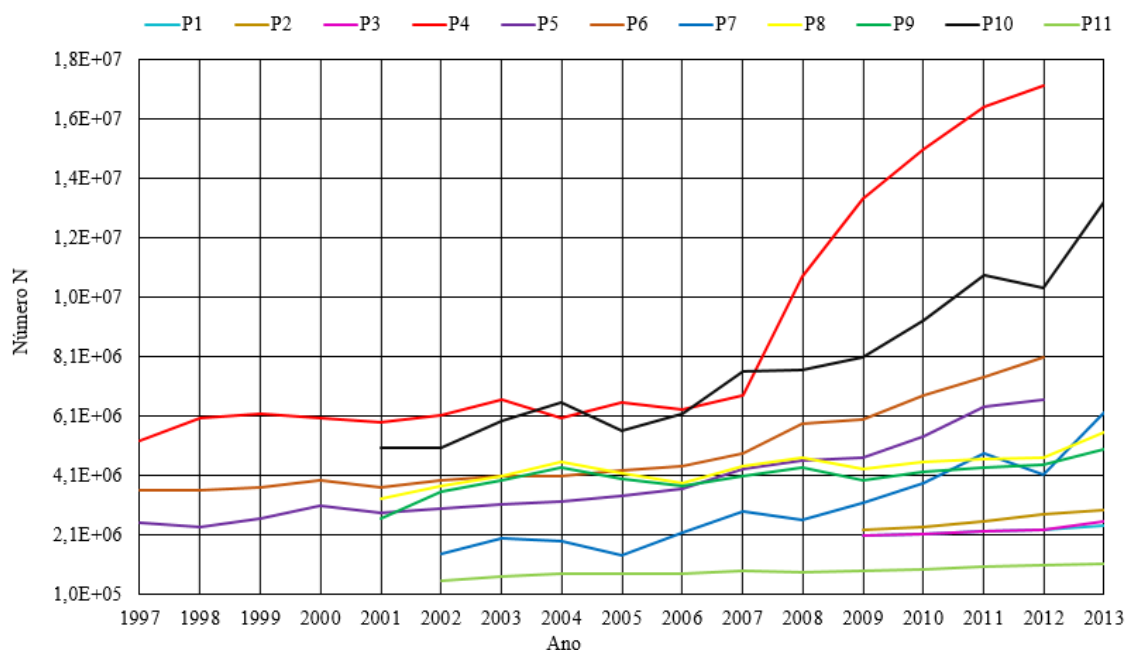


FIGURA 2 - Evolução do número NUSACE com o passar dos anos para as praças de pedágio

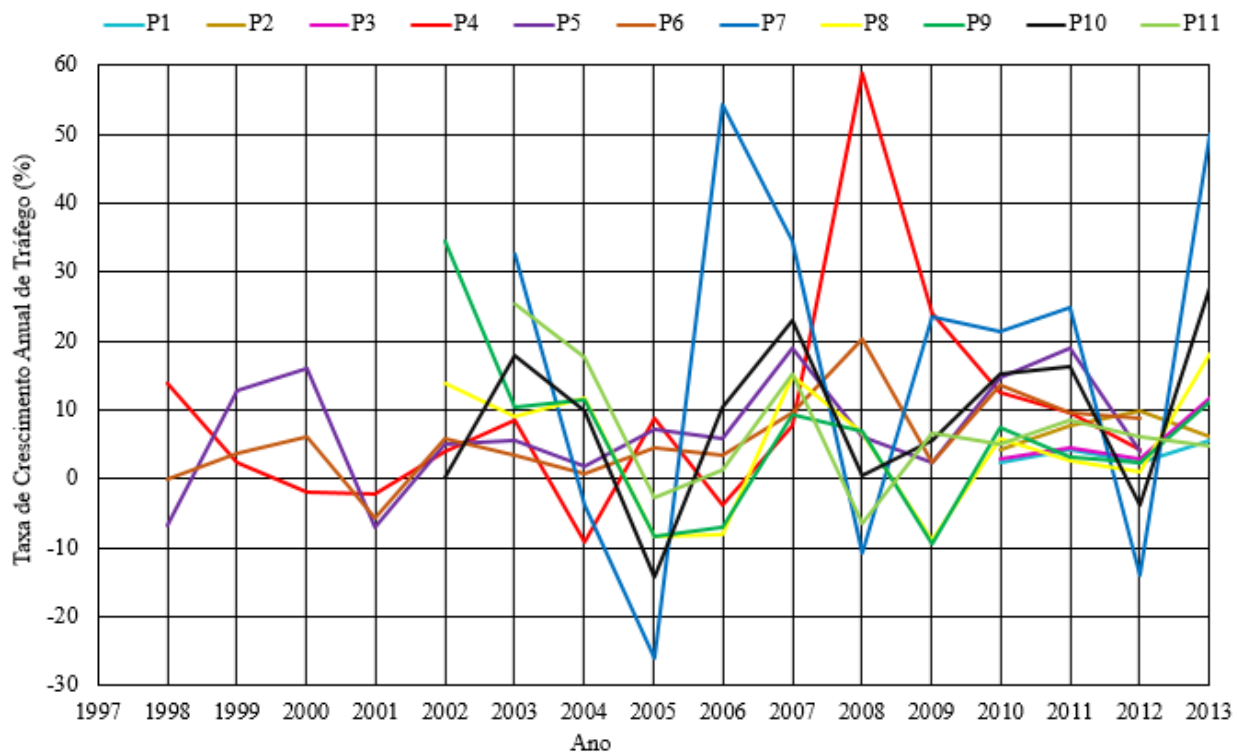


FIGURA 3 - Evolução da Taxa de Crescimento com o passar dos anos das praças de pedágio.

TABELA 4 - Número N anual e taxa de crescimento para as praças de pedágio (Eixos com a Carga Máxima Legal)

Praça	N	Ano																	
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
P1	NUSACE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,08E+06	2,13E+06	2,22E+06	2,27E+06	2,40E+06
	NAASHITO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,92E+05	7,03E+05	7,27E+05	7,41E+05	7,78E+05
	TC (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,34	4,25	2,27	5,66
P2	NUSACE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,26E+06	2,33E+06	2,52E+06	2,78E+06	2,95E+06
	NAASHITO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,89E+05	8,18E+05	8,83E+05	9,64E+05	1,01E+06
	TC (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,13	7,58	9,89	6,01	
P3	NUSACE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,06E+06	2,12E+06	2,21E+06	2,28E+06	2,55E+06
	NAASHITO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,15E+05	7,35E+05	7,62E+05	7,90E+05	8,65E+05
	TC (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,99	4,45	2,95	11,72	
P4	NUSACE	5,28E+06	6,01E+06	6,15E+06	6,04E+06	5,91E+06	6,14E+06	6,66E+06	6,04E+06	6,57E+06	6,22E+06	6,80E+06	1,08E+07	1,34E+07	1,51E+07	1,65E+07	1,72E+07	-	-
	NAASHITO	2,53E+06	2,77E+06	2,74E+06	2,65E+06	2,61E+06	2,68E+06	2,81E+06	2,57E+06	2,79E+06	2,70E+06	2,83E+06	4,28E+06	5,35E+06	5,95E+06	6,47E+06	6,67E+06	-	-
	TC (%)	-	13,83	2,31	-1,83	-2,12	3,82	8,49	-9,20	8,68	-3,88	7,59	58,80	24,10	12,46	9,68	4,14	-	-
P5	NUSACE	2,51E+06	2,34E+06	2,64E+06	3,06E+06	2,84E+06	2,98E+06	3,15E+06	3,20E+06	3,43E+06	3,63E+06	4,33E+06	4,60E+06	4,70E+06	5,40E+06	6,42E+06	6,67E+06	-	-
	NAASHITO	9,85E+05	9,20E+05	1,01E+06	1,15E+06	1,07E+06	1,12E+06	1,16E+06	1,18E+06	1,28E+06	1,36E+06	1,59E+06	1,69E+06	1,73E+06	1,95E+06	2,28E+06	2,33E+06	-	-
	TC (%)	-	-6,89	12,73	16,04	-7,10	4,91	5,47	1,77	7,20	5,90	19,06	6,22	2,34	14,89	19,00	3,83	-	-
P6	NUSACE	3,59E+06	3,58E+06	3,72E+06	3,94E+06	3,72E+06	3,94E+06	4,07E+06	4,10E+06	4,28E+06	4,42E+06	4,85E+06	5,28E+06	5,97E+06	6,78E+06	7,44E+06	8,09E+06	-	-
	NAASHITO	1,34E+06	1,34E+06	1,38E+06	1,46E+06	1,37E+06	1,45E+06	1,47E+06	1,48E+06	1,53E+06	1,60E+06	1,74E+06	2,08E+06	2,14E+06	2,40E+06	2,59E+06	2,75E+06	-	-
	TC (%)	-	-0,12	3,69	6,12	-5,73	5,84	3,35	0,72	4,45	3,34	9,58	20,18	2,47	13,66	9,67	8,78	-	-
P7	NUSACE	-	-	-	-	-	1,48E+06	1,96E+06	1,89E+06	1,39E+06	2,15E+06	2,89E+06	2,58E+06	3,18E+06	3,86E+06	4,83E+06	4,15E+06	6,22E+06	
	NAASHITO	-	-	-	-	-	5,54E+05	7,30E+05	6,68E+05	5,07E+05	7,60E+05	9,95E+05	8,84E+05	1,06E+06	1,26E+06	1,54E+06	1,30E+06	3,05E+06	
	TC (%)	-	-	-	-	-	-	32,76	-3,83	-26,20	54,26	34,42	-10,75	23,43	21,29	24,94	-14,05	50,00	
P8	NUSACE	-	-	-	-	3,30E+06	3,75E+06	4,09E+06	4,57E+06	4,19E+06	3,85E+06	4,45E+06	4,72E+06	4,30E+06	4,55E+06	4,67E+06	4,72E+06	5,57E+06	
	NAASHITO	-	-	-	-	1,24E+06	1,43E+06	1,53E+06	1,57E+06	1,44E+06	1,32E+06	1,49E+06	1,57E+06	1,42E+06	1,46E+06	1,50E+06	1,51E+06	1,34E+06	
	TC (%)	-	-	-	-	-	13,80	8,93	11,82	-8,29	-8,14	14,90	6,64	-8,97	5,81	2,74	0,95	18,09	
P9	NUSACE	-	-	-	-	2,64E+06	3,55E+06	3,92E+06	4,27E+06	4,01E+06	3,73E+06	4,08E+06	4,35E+06	3,93E+06	4,23E+06	4,36E+06	4,46E+06	4,96E+06	
	NAASHITO	-	-	-	-	9,57E+05	1,30E+06	1,43E+06	1,45E+06	1,33E+06	1,24E+06	1,35E+06	1,40E+06	1,26E+06	1,33E+06	1,37E+06	1,39E+06	1,44E+06	
	TC (%)	-	-	-	-	-	34,43	10,38	11,48	-8,32	-6,97	9,36	6,77	-9,60	7,46	3,26	2,25	11,24	
P10	NUSACE	-	-	-	5,03E+06	5,05E+06	5,96E+06	6,55E+06	5,61E+06	6,20E+06	7,62E+06	7,67E+06	8,09E+06	9,32E+06	1,08E+07	1,04E+07	1,33E+07		
	NAASHITO	-	-	-	1,84E+06	1,88E+06	2,17E+06	2,19E+06	1,87E+06	2,07E+06	2,49E+06	2,47E+06	2,57E+06	2,91E+06	3,34E+06	3,18E+06	6,80E+06		
	TC (%)	-	-	-	-	-	0,29	18,01	9,92	-14,33	10,48	23,04	0,36	5,53	15,23	16,22	-3,89	27,73	
P11	NUSACE	-	-	-	5,40E+05	6,77E+05	7,96E+05	8,43E+05	7,74E+05	8,93E+05	9,83E+05	9,00E+05	8,43E+05	9,00E+05	9,45E+05	1,02E+06	1,09E+06	1,14E+06	
	NAASHITO	-	-	-	2,32E+05	2,88E+05	2,99E+05	2,87E+05	2,99E+05	2,90E+05	3,14E+05	3,14E+05	3,14E+05	3,27E+05	3,43E+05	3,63E+05	3,77E+05	7,38E+05	
	TC (%)	-	-	-	-	-	25,47	17,56	17,56	1,21	15,09	-6,49	6,73	5,00	8,45	6,09	4,80		

Nota: TC - Taxa de Crescimento; os valores de FV (Fator de Veículo) estão apresentados em Klumt (2014)

Conforme a Figura 3 e Tabela 4, nota-se que na região sul do RS há grandes picos de crescimento de tráfego de um ano para o outro, como por exemplo, na praça P7, nos anos 2005 e 2006. Este caso específico, de acordo com a CONAB (2015) que apresenta os dados de produtividade das lavouras de milho, soja e arroz no RS, é perceptível a redução da produtividade no ano de 2005 creditado a forte seca. Logo, a produção de grãos aumentou muito em 2006, com a alta na safra. Este fato pode ser uma hipótese do crescimento do tráfego de um ano para o outro (2005 para 2006), proporcionando uma importante elevação de um ano para o outro, que chega a ordem de 75% (caso da P7).

Isso mostra que a taxa de crescimento proposta pelo DNIT (3,00%) está fora de realidade para as rodovias em estudo, indicando a concepção de que os pavimentos atuais estão sendo dimensionados com taxas menores que os reais, o que pode prejudicar a sua vida útil.

O crescimento médio na região metropolitana do RS foi de 5,35%, nas rodovias do RJ e MG foi 7,29% e na região sul do RS igual a 8,84%. Evidente que, a partir de 2015, um novo cenário econômico se desenha e o país dá sinais que o ciclo econômico iniciado em 2008 chegou ao fim, ou seja, o panorama econômico do Brasil mudou radicalmente, estagnando o setor produtivo. Ainda, Klamt (2014), com a mesma base de dados utilizada neste trabalho, tentou correlações de número N com PIB e com o crescimento da frota de veículos e não verificou correlações estatísticas consistentes.

Com o objetivo de definir o número N acumulado real de projeto para cada uma das regiões adotou-se a taxa de crescimento média de todos os anos da série histórica em cada uma das praças de pedágio. Para este cálculo, ainda considerou-se um período de projeto de 10 anos. Dessa forma, a Tabela 5 apresenta os valores do número NUSACE acumulado com a taxa de crescimento real de cada rodovia e com a taxa de crescimento do DNIT (3,00%) para as rodovias estudadas.

Por meio da Tabela 5 nota-se que a média da taxa de crescimento, em função da série histórica, manteve-se acima da taxa de crescimento do DNIT (3,00%) em todas as praças, ficando mais de 13,00% acima da taxa do DNIT na praça P7. A média de cada praça, de cada região e global (7,16%) também se mantiveram acima da taxa do DNIT, demonstrado que até o início de 2015, o tráfego em distintas regiões do país mostra-se com uma dinâmica diferente e influenciado por fatores regionais, de forma a incentivar projetistas a analisar de forma mais adequada o tráfego, visando qualificar cada vez mais os projetos de pavimentos no Brasil e também na busca minimização de restaurações precoces, com vista a economia e durabilidade dos pavimentos.

Praça	TC DNIT (%)	N (TC DNIT)	TC Real (%)	N (TC Real)	Diferença (%)
P1	3,00	2,76E+07	3,63	2,83E+07	2,73
P2	3,00	3,39E+07	6,90	3,97E+07	16,96
P3	3,00	2,93E+07	5,53	3,25E+07	10,99
P4	3,00	1,98E+08	9,13	2,51E+08	26,64
P5	3,00	7,67E+07	7,01	9,00E+07	17,44
P6	3,00	9,30E+07	5,73	1,04E+08	11,88
P7	3,00	7,16E+07	16,93	1,15E+08	60,58
P8	3,00	6,40E+07	4,86	6,92E+07	8,08
P9	3,00	5,71E+07	5,98	6,45E+07	12,95
P10	3,00	1,53E+08	9,07	1,93E+08	26,37
P11	3,00	1,31E+07	7,38	1,56E+07	19,03
Média Global					19,42

TC - Taxa de Crescimento

TABELA 5 - Número NUSACE acumulado em função das diferentes taxas de crescimento.

Ao analisar a Tabela 5, pode-se observar que o aumento médio foi na ordem de 19,42% no número N. Dessa forma, percebe-se o quão influente é a da taxa de crescimento do tráfego para projetos de pavimentos, se não considerado o crescimento real do tráfego estar-se-á subdimensionando a estrutura ou diminuindo sua vida útil, como consequência, serão necessárias intervenções de conservação e reforço precoces (o que impacta no custo geral de transportes e no custo Brasil). A importância do conhecimento do perfil de carregamento de tráfego de cada região se mostra indispensável, visto a discrepância de resultados para cada praça em estudo.

3.2 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS E ANÁLISE DE CUSTOS

A Tabela 6 apresenta os valores de número N acumulado, calculados com FECs da USACE, para cada um dos cenários propostos, bem como o resultado do dimensionamento de pavimentos pelo método do DNIT e da análise empírico-mecânica para os três diferentes casos em estudo (CBR subleito = 4%, 10% e 16%). Além disso, para fins de comparação do custo/km de pavimento em função da sobrecarga é apresentado o custo do pavimento dimensionado pela análise empírico-mecânica para CBR subleito = 10%, escolhido pelo fato de ser o CBR médio entre os estudos.

Pela Tabela 6 percebe-se a influência da sobrecarga no cálculo do número N de pavimentos flexíveis. Se comparar o cenário 1 (menor carregamento) com o cenário 19 (maior carregamento) a diferença no número N é na ordem de 23,11%. Já a influência da taxa de crescimento, no caso em estudo, ao comparar o cenário 1 com o cenário 2, nos quais há apenas a alteração da taxa de crescimento, a diferença é de aproximadamente 7,48% do primeiro para o segundo.

No dimensionamento do DNIT, para CBR subleito 4%, teve-se alteração de apenas 2,0 cm na camada de sub-base para os cenários com maior valor de número N. Para CBR do subleito 10% verifica-se que não houve diferença na estrutura do pavimento para diferentes cenários de carregamento (diferentes valores de número N). Para CBR subleito 16% não há necessidade da implantação da camada de sub-base, apenas o revestimento e a base resistiriam aos efeitos do tráfego, o que pode ser creditado pela elevada espessura de revestimento e a melhor qualidade do material de subleito.

Na análise empírico-mecanística com CBR do subleito igual a 4%, foi possível verificar que o fator determinante no dimensionamento empírico-mecanístico é a deformação de tração na fibra inferior do revestimento que conduz ao trincamento por fadiga em todos os cenários de carregamento. Além disso, quanto maior for o carregamento (maior número N), maior é a espessura de revestimento, variando de 14 cm até 16 cm.

Para o CBR do subleito igual a 10%, igualmente, o fator determinante no dimensionamento empírico-mecanístico é o trincamento por fadiga. Neste caso, a espessura de revestimento variou de 15 cm à 16 cm. Como para o CBR 10% a espessura total do pavimento é menor que para CBR 4%, as espessuras de revestimento são maiores para CBR 10%, solicitando mais o revestimento.

Para CBR de subleito igual a 16%, o fator determinante em alguns cenários é a fadiga (na fibra inferior do revestimento), já em outros cenários são determinantes a fadiga em conjunto com a deformação permanente (no topo do subleito), devido a menor espessura total do pavimento que vem a solicitar mais o subleito. A espessura de revestimento variou de 14 cm (menores carregamentos) até 16 cm (maiores carregamentos). Vale mencionar que a espessura prevista pelo método oficial foi sempre insuficiente, se analisada sob a ótica mecanicista.

Quanto ao custo da estrutura dimensionada pelo método empírico-mecanístico (CBR = 10%), na análise da influência da sobrecarga, o menor carregamento (cenário 1) apresentou 12,5 cm de espessura de revestimento e o maior carregamento (cenário 20) possui 14 cm de espessura, o que representa uma diferença no custo final do pavimento na ordem de R\$ 51.449,58 por quilômetro de pavimento, ou seja 2,80%. Para um trecho de 50 quilômetros, por exemplo, a influência no custo da obra seria de aproximadamente dois milhões e meio de reais, em função da diferença de carregamento considerado. Para o caso do CBR de 16% a diferença chega a 7,30%.

Com relação ao dimensionamento de reforço de pavimento foi possível perceber que o aumento da porcentagem de veículos comerciais e sobrecarga nestes veículos, e o respectivo aumento no número N, ocasionam uma diminuição da deflexão admissível e, como consequência, um aumento na espessura de reforço. Como ilustração, o reforço foi de 9 cm para D_c igual 75×10^{-2} mm e de 19 cm para 125×10^{-2} mm para o mesmo N. A mudança de cenários de tráfego muda a solução de reforço em 1 cm em 25 a 30% dos cenários de tráfego, aumentando a espessura para os maiores valores de número N.

Quanto ao custo, a diferença para os casos de menor carregamento (de menor espessura de reforço – Cenário 1 – $N = 5,23E+07$) para os de maior carregamento (maior espessura de reforço – Cenário 20 – $N = 7,35 E+07$), para todas as situações de deflexão característica estudadas (75, 100 e 125×10^{-2} mm), é da ordem de R\$ 51.450,00 por quilômetro de pavimento (ou 4,95%), em função da diferença de carregamento.

4. CONCLUSÕES

Pode se concluir que a evolução do tráfego tem tendência de crescimento, para o período considerado, em todas as praças estudadas, superiores às recomendadas pelo DNIT (de 3,00%), chegando a 17% no caso mais crítico. No cálculo do número NUSACE a diferença é na ordem de 23%, em função do carregamento. Já a influência da taxa de crescimento é de aproximadamente 7% no número NUSACE. Ou seja, no presente estudo a diferença de carregamento dos veículos comerciais teve maior influência do que a taxa de crescimento.

Quanto ao dimensionamento pelo método do DNIT para as diferentes considerações de CBR de subleito, podem-se constatar algumas características e limitações do método: a espessura do revestimento é apenas função do número N, assim como, em parte também acabam sendo, as espessuras da base e sub-base, ou seja, não leva em conta no dimensionamento as propriedades dos materiais; o revestimento de 12,5 cm para todos os casos estudados mostra que atingiu-se o limite superior de método para o tráfego corrente nas rodovias brasileiras.

Na análise empírico-mecânica, tanto para CBR subleito de 4% como de 10%, em todos os cenários de carregamentos o fator determinante para o dimensionamento foi a deformação de tração na fibra inferior do revestimento que conduz ao trincamento por fadiga. Para os pavimentos com CBR subleito 16% o fator determinante em alguns cenários foi o trincamento por fadiga (no revestimento), já em outros cenários são determinantes a fadiga em conjunto com a deformação permanente (no topo do subleito), isto devido a menor espessura total do pavimento que acaba por solicitar mais o subleito.

O dimensionamento semi-empírico ao influenciar no dimensionamento, tem influência direta também no custo e principalmente na vida útil do pavimento. A diferença de custo em função do carregamento chega à ordem de 7,3%. Já para o caso de reforço de pavimento, a diferença dos casos de menor para os de maior carregamento, foi de 4,95% por quilômetro de pavimento.


Com relação ao dimensionamento de reforço de pavimento, observa-se alteração de 1,0 cm de espessura em função do carregamento, elevando o custo do projeto em aproximadamente 5,0%.

Conclui-se, dessa forma, a importância de conhecer o perfil de carregamento de cada região para dimensionamento dos pavimentos. Cada local possui características de tráfego intrínsecas, sendo assim, um fator determinante para gerenciar pavimentos rodoviários, proporcionando conforto e segurança para usuário e evitando, também, a degradação precoce da infraestrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION. *Mechanistic-empirical pavement design guide*. Washington, D. C., 2002.
- ASPHALT INSTITUTE. *Asphalt Pavement for Highways and Streets*, Manual Series No. 1, Lexington, 1991.
- Confederação Nacional de Transporte. *Pesquisa CNT de rodovias*. Disponível em < <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/edicoes.aspx?origem=1>>. Acesso em: 23 out. 2014.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safras agrícolas. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em 05 jan. 2016
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. *Método de projeto de pavimentos flexíveis*. Rio de Janeiro: DNER – Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1981. 34p.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. *Avaliação estrutural de pavimentos flexíveis. PRO 11*. Rio de Janeiro: 1979. 16p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. *Manual de Estudos de Tráfego*. Rio de Janeiro: IPT, 2006.
- Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). *Pesquisa Frota de Veículos no Brasil*. Disponível em <<http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>>. Acesso em: 5 abr. 2014.
- FHWA. Freight Management and Operations – *Commercial Vehicle Size and Weight Program*. Disponível em: <<http://www.ops.fhwa.dot.gov/index.asp>>. Acesso em: outubro/2013.
- FONTENELE, H. B. *Representação do tráfego de veículos rodoviários de carga através de espectros de carga por eixo e seu efeito no desempenho de pavimentos*. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.
- FRANCO, F. A. C. P. *Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2007.
- KLAMT, R. A. *Influência da ação do tráfego no custo de construção e restauração de pavimentos asfálticos*. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 172 p. 2014.
- LASTRAN (Laboratório de Sistemas de Transporte, do Departamento de Engenharia de Produção e Transportes da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). *A Influência do Tráfego de Composição de Veículos de Carga – CVC's sobre os Pavimentos das Rodovias do Rio Grande do Sul*. Relatório, v.1. DAER (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem). 2003. Contrato nº PJ/CD/158/02.
- PRIME. Prime Engenharia e Consultoria LTDA. *Projeto Executivo de Pavimentação para Implantação da 4ª faixa da BR 290 – segmento km 75 + 040 ao km 94 + 300*. Setembro de 2013.
- RIBAS, J. *Parâmetros elásticos típicos de materiais de pavimentos flexíveis do Rio Grande do Sul e sua aplicação em uma análise de custo/benefício*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 190 p.; Santa Maria, 2014.

The logo for ABP (Associação Brasileira de Pavimentação) is displayed in a blue, stylized font. It features the letters 'A', 'B', and 'P' in a bold, serif typeface, with a small 'V' symbol to the right. The logo is set against a white background with a faint, circular emblem behind it.A photograph of a road construction site. A large, white, tracked roller is shown from the rear, moving along a newly laid gravel surface. The roller has 'TECNOPAV' and 'Wirtgen' logos on its side. The background shows a dense line of green trees under a cloudy sky. The right side of the image is overlaid with a semi-transparent orange gradient containing text.

**MÉTODO
MECANÍSTICO/
ESTRUTURAL
DINÂMICO NÃO LINEAR
APLICADO A
PAVIMENTO RODOVIÁRIO**

**Norberto Germano Saraiva da
Silva - ngss@terra.com.br
Consultor**

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar um método de cálculo numérico aplicado ao dimensionamento de pavimentos rodoviários com base nos conceitos da análise dinâmica.

É incontestável que a ação dos pneumáticos, de um veículo sob determinada velocidade retilínea, induz forças de inércia na estrutura do pavimento, ou seja, o movimento dos veículos gera velocidades e acelerações no corpo estradal e a dissipação destas forças de inércia, por efeito de amortecimento, adotado como viscoso, deverá ser efetuada de forma adequada para resistir aos pulsos de carga ou a carga cíclica dinâmica dos pneumáticos acoplados aos veículos em movimento retilíneo.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento. Resiliência . Dinâmica. Tráfego.

ABSTRACT

The objective of this work is to present a numerical calculation method applied to the design of road pavements based on the concepts of dynamic analysis.

It is indisputable that the action of the tires of a vehicle under a certain rectilinear velocity induces forces of inertia in the pavement structure, that is, the movement of the vehicles generates speeds and accelerations in the road body and the dissipation of these forces of inertia, by effect of damping, adopted as viscous, must be carried out adequately to withstand the load pulses or the dynamic cyclic load of the tires coupled to the vehicles in rectilinear motion.

KEYWORDS: Pavement. Resilient. Dynamic . Traffic.

CONCEITUAÇÃO

Vários autores e pesquisadores brasileiros na área de Pavimentação acreditam que o procedimento estático equivalente, utilizado para cálculo e dimensionamento de pavimentos rodoviários é razoável, na medida em que os efeitos inerciais ou forças surgidas pela aceleração do movimento instalado no pavimento, devido ao tráfego dos veículos, têm pequena influência para as velocidades usuais dos veículos e para as irregularidades comumente existentes nas vias.

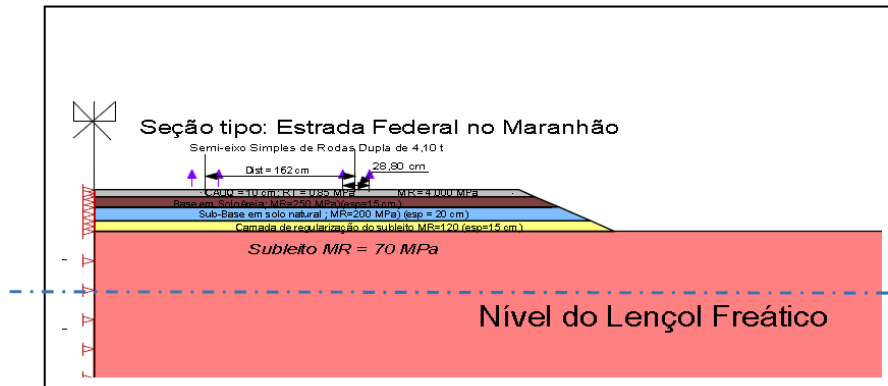


Figura 01 – Seção tipo de uma rodovia no Estado do Maranhão

A figura 01 tenta reproduzir uma seção típica de um pavimento rodoviário executado para suportar tráfego das principais rodovias no Estado do Maranhão. É composta por subleito, sub-base, base e revestimento em concreto asfáltico usinado a quente. As dimensões e o principal parâmetro estrutural estão indicados na figura, até mesmo o nível do lençol freático (linha azul tracejada) indicando que a análise também poderá ser realizada, tanto em termos de tensões totais como efetivas.

Que diferença faz a análise realizada com o carregamento externo aplicado no pavimento, ser na forma estática ou dinâmica? Na opinião do autor deste trabalho, o cálculo com a carga aplicada de forma estática simplesmente conduz a resultados (mecânicos/estruturais), cujas utilizações através das funções de previsão de desempenho (empirismo) tem conduzido ao caos, a maioria das rodovias maranhenses e brasileiras.

Do ponto de vista da análise matricial das estruturas e das equações diferenciais que representam e regem o fenômeno físico em discussão e evidência, as incongruências e incoerências podem ser facilmente detectadas ao se comparar os resultados oriundos das formulações matemáticas seguintes, onde a equação 2.0 nada mais é que uma simplificação da equação 1.0, ou seja, quando se considera o sistema em repouso, tem-se a equação 2.0.

$$[M] \{\ddot{a}\} + [D] \{\dot{a}\} + [K] \{a\} = \{F\} \tag{1.0}$$

$$[K] \{a\} = \{F\} \tag{2.0}$$

onde:

[M] = matriz massa;
 [D] = matriz de amortecimento;
 [K] = matriz de rigidez;
 {F} = vetor das forças externas aplicadas;
 { \ddot{a} } = vetor das acelerações nodais;
 { \dot{a} } = vetor das velocidades nodais e
 {a} = vetor dos deslocamentos nodais

e o vetor das forças nodais equivalentes aos diferentes carregamentos externos de natureza dinâmica ou estática são descritos conforme a equação 3.0

$$\{F\} = \{F_b\} + \{F_s\} + \{F_n\} + \{F_g\} \quad 3.0$$

onde:

{F_b} = forças gravitacionais como o peso próprio;
 {F_s} = forças superficiais como uma força distribuída aplicada numa superfície;
 {F_n} = forças concentradas nos nós como a massa de um pneumático em movimento e
 {F_g} = forças devidas a uma excitação sísmica como o impacto entre placas tectônicas

O próprio software como o “SISPAVBR” a ser utilizado pelo DNIT a partir de abril/2018, na fase de cálculo (mecânico) utiliza a equação 2.0 para a obtenção do campo de tensão e deformação, que posteriormente serão utilizados nas Funções de Previsão de Desempenho (empirismo) para dimensionamento do pavimento e avaliação da vida útil. Ou seja, o novo método de cálculo oficial do DNIT não considera o movimento Harmônico Dinâmico da massa do eixo padrão acoplado ao veículo numa velocidade, v qualquer, e a justificativa de alguns pesquisadores e especialistas brasileiros é que a excitação dinâmica provocada pelo eixo padronizado, em movimento, não é suficiente para romper a condição de repouso das forças mássicas ou que a aceleração induzida é pouco significativa. Seria a mesma coisa, como se afirmar que o sistema estrutural do pavimento, não vibrará ou apresenta fator de amortecimento igual ou superior a 1,00. É de se perguntar: qual o nível mínimo da aceleração (% de g) que se deva admitir para que um sistema estrutural, como um pavimento rodoviário, mereça ser calculado e dimensionado através da equação 1.0 ?

A carga externa aplicada no modelo matemático da figura 01 é na forma harmônica dinâmica, expressa pela seguinte função senoidal:

$$\{F_n\} = m.\text{sen}(wt) \quad 4.0$$

onde,

{F_n} = força nodal equivalente a massa do pneumático;
 w = frequência angular dos pneumático em movimento, em rad/s;
 t = tempo, período do movimento circular, em s e,
 m = massa do pneumático, em tf.

Os parâmetros geomecânicos de cálculo podem ser obtidos de ensaios laboratoriais e de campo, de forma simples ou da bibliografia nacional e internacional no tocante aos módulos de elasticidade tangente inicial, MR; massas específicas, γ , e coeficientes de amortecimento, μ .

O modelo matemático utilizado adota um comportamento não linear entre as relações tensões-deformações dos materiais das camadas constituintes do pavimento e tal comportamento pode ser representado mais adequadamente através de modelos não lineares cíclicos dinâmicos que procuram representar a trajetória das relações tensões-deformações, durante um processo de carregamento cíclico dinâmico. Tais modelos são adequados para representar a resistência ao cisalhamento e a tração das camadas do pavimento, geração de pressão neutra, mudanças nas tensões efetivas durante o ciclo de carregamento sob condições não drenadas. Vários modelos cíclicos não lineares dinâmicos têm sido desenvolvidos para modelar o comportamento mecânico dos materiais sob carregamento cíclico dinâmico; todos são caracterizados por:

- a) Uma curva principal que pode ser na forma de uma hipérbole e
- b) Uma série de “regras” que governam o comportamento descarga-recarga, degradação ou redução da rigidez e outros efeitos.

O mais simples destes modelos pode ser representado por uma simples curva hiperbólica e poucas regras básicas; outros mais complexos podem incorporar regras adicionais que poderão melhor simular a incorporação de carregamento irregular, adensamento, geração de pressão neutra e outros efeitos. No entanto, a aplicabilidade de modelos cíclicos dinâmicos não linear é geralmente restrita a uma faixa bastante limitada, embora importante, das condições iniciais e da trajetória das tensões. Neste trabalho se utiliza de um exemplo simplificado de forma que a curva representativa do efeito de histerese possa ser descrita na forma de uma hipérbole, cuja expressão é a da equação 5.0,

$$F_{bb}(\gamma) = \frac{G_{max}\gamma}{1 + \left(\frac{G_{max}}{\tau_{max}}\right)|\gamma|} \tag{5.0}$$

sendo:

- $F_{bb}(\gamma)$ = a função hiperbólica;
- G_{max} = módulo distorsional máximo;
- τ_{max} = tensão tangencial máxima e
- γ = distorção dinâmica.

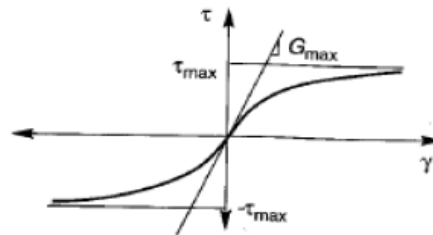


Figura 02 – Curva de Histerese na forma Hiperbólica, em função de γ e τ , assintótica para $\tau = G_{max}$ com $\tau = \tau_{max}$ e $\tau = -\tau_{max}$.

Os valores de G_{max} e τ_{max} são obtidos de ensaios de campo, laboratório ou utilizando das vastíssimas informações empíricas na literatura técnica nacional e sobretudo internacional. De qualquer forma, para o modelo de análise não linear utilizado, a resposta das camadas do pavimento à carga cíclica dinâmica induzida pela passagem dos veículos na superfície do pavimento, terá que obedecer às quatro seguintes regras:

1. As relações tensões-deformações, em qualquer ponto do modelo matemático, deverão seguir a curva da figura 02
2. Se ocorrer uma inversão na direção da tensão, em um ponto qualquer no modelo, representado por (γ_r, τ_r) , a curva tensão-deformação segue a trajetória conforme a expressão 6.0

$$\frac{\tau - \tau_r}{2} = F_{bb} \left(\frac{\gamma - \gamma_r}{2} \right) \quad 6.0$$

Em outras palavras, a curva de descarga ou recarga tem a mesma forma da curva da figura 02, sendo que, neste caso, a origem deverá ser fixada no ponto de inversão da direção da tensão, no entanto, ampliada por um fator da ordem de duas vezes. Estas duas primeiras regras que descrevem o comportamento de “Masing” não são suficientes para representar a resposta das camadas do pavimento sob cargas cíclicas dinâmicas. Assim, serão adicionadas mais duas regras, a seguir, para completar o modelo:

3. Se a curva de descarga ou recarga excede a máxima deformação distorcional do último ciclo de carga e intercepta a trajetória da curva principal (backbone) da figura 02, ela deverá seguir a trajetória de histerese até o próximo ponto de inversão de tensão.
4. E por último como quarta regra, se a atual curva de descarga ou recarga corta uma curva de recarga ou descarga do ciclo anterior, a curva da relação tensão-deformação atual deverá seguir aquela do ciclo anterior.

Modelos que seguem estas quatro regras básicas são frequentemente designados por “modelo estendido de Masing”. Como exemplo deste modelo, descreve-se, de forma gráfica, na figura 03 e descritivamente, a seguir.

Na figura 03, cargas cíclicas dinâmicas iniciam no ponto A e a curva de relação tensão-deformação, durante o carregamento inicial (do ponto A para o ponto B), segue a curva de histerese como estabelecido pela regra 1. No ponto B, a carga muda de direção e o segmento de descarga se afasta do ponto B ao longo do caminho da curva de histerese conforme proposto pela regra 2. O módulo que relaciona as tensões com as deformações nas condições iniciais de descarga, é igual ao G_{max} . O caminho da descarga atravessa a curva de histerese no ponto C e conforme a regra de número 3, segue dentro desta curva (backbone) até atingir o próximo ponto de inversão da carga, ponto D. A curva de recarga se afasta do ponto D respeitando a regra de número 2 e o processo se repete até encerrar o ciclo de carga cíclica dinâmica.

Apesar deste modelo ser expresso de forma simples e formulado em termos de tensões efetivas, ele incorpora todas as características do processo de histerese como o módulo de cisalhamento e o coeficiente de amortecimento.

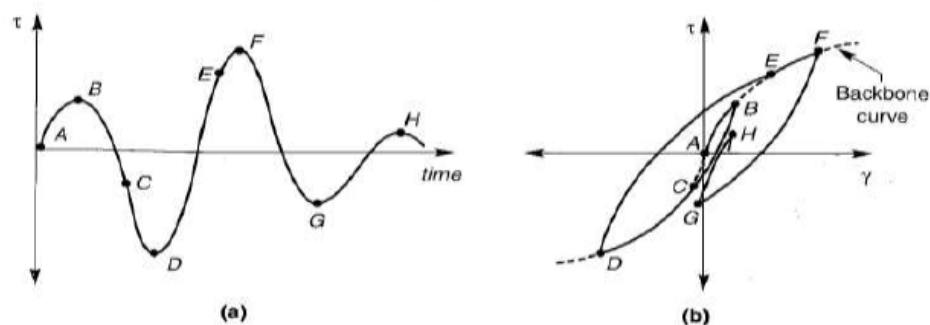


Figura 03 – Regras estendidas de Masing: (a) variação da tensão dinâmica de corte com o tempo; (b) comportamento resultante da relação tensão-deformação (curva de histerese “backbone” indicada pela linha tracejada)

CÁLCULOS NUMÉRICOS

Para o cálculo e pela simplicidade do modelo matemático, para cada camada do pavimento, precisa-se apenas dos seguintes parâmetros:

Camadas Flexíveis:

- Módulo Resiliente, MR;
- Coeficiente de Poisson, ν ;
- Massa específica, γ ;
- Coeficiente de Amortecimento Viscoso, μ ;
- Coesão Drenada, c' e
- Ângulo de Atrito Interno Drenado, ϕ'

Camadas Semirrígidas e Rígidas:

- Módulo Resiliente, MR;
- Coeficiente de Poisson, ν ;
- Massa específica, γ ;
- Coeficiente de Amortecimento Viscoso, μ ;
- Resistência a Tração, σ_t

Para o carregamento externo aplicado no modelo, precisa-se definir a velocidade retínea do veículo; adota-se a velocidade média de 80 km/h para um ESRD (eixo simples de roda dupla) com massa de 8,20 toneladas.

RESULTADOS NUMÉRICOS E GRÁFICOS

O modelo matemático fornece de forma numérica e gráfica, os seguintes resultados:

- Deslocamento;
- Velocidade;
- Aceleração;
- Tensões;
- Deformações, etc

em função do período de rotação do pneumático, assim como gráficos correlacionando estas e várias outras informações pertinentes, entre si.

AFERIÇÃO DA CAPACIDADE OU DESEMPENHO ESTRUTURAL DAS CAMADAS DO PAVIMENTO

Generalidades

Para a formulação destas funções de previsão de desempenho, adotou-se como premissa a equação empírica (PRO-DNER/DNIT 11/79) que relaciona deflexões elásticas lineares com o volume de tráfego, número N , equação 7.0.

$$\text{Log}(D_{adm}) = [1,0962 - 0,1761 \log(N)] + \log(P) \quad 7.0$$

onde D_{adm} é expresso em 0,01 mm e P em kN, peso do eixo utilizado no ensaio.

Através da expressão matemática, equação 7.0, percebe-se que para um ESRD (eixo simples de roda dupla) pesando 82 kN, corresponde um volume de tráfego equivalente a $N=5,48 \times 10^5$ repetições daquele eixo padrão. A partir destas premissas, calcula-se o expoente indicado nas expressões 10.0 e 11.0.

Nas Camadas flexíveis

Para que não surjam deformações permanentes por efeito de histerese, devido ao tráfego dos veículos, nas camadas flexíveis, é necessário que

$$\tau_{max(din,calc)} \leq \sigma_{n(din,calc)} \cdot \text{tg} \phi + c \quad (8.0)$$

com

$\tau_{max(din,calc)}$ = tensão de cisalhamento máxima dinâmica calculada pelo modelo matemático para um ciclo de carga no tempo, T , ou período de rotação do pneumático;

$\sigma_{n(din,calc)}$ = tensão normal nos planos de tensão máxima de cisalhamento, calculada pelo modelo matemático para um ciclo de carga no tempo, T , ou período de rotação do pneumático;

c = coesão do solo granular da camada e

ϕ = ângulo de atrito interno do solo granular da camada.

Esta informação é fornecida automaticamente pelos algoritmos de cálculo do modelo matemático utilizado e na forma gráfica.

Nas Camadas Semirrígidas e Rígidas

Admitindo-se que as ações dinâmicas se relacionam com as ações estáticas através da aceleração gravitacional, g , pode-se escrever que:

$$\left\{ \frac{\sigma_{t(est,RCD)}}{\sigma_{t(din,calc)}} \right\} = f(g) \quad (9.0)$$

Da mesma forma, pode-se admitir que,

$$N^x = f(g) \quad (10.0)$$

com

$\sigma_{t(din,calc)}$ = tensão a tração calculada pelo modelo matemático nas camadas semirrígidas e rígidas para um ciclo de carga no tempo, T, ou período de rotação do pneumático

$\sigma_{t(est,RCD)}$ = tensão de tração no ensaio de compressão diametral para o revestimento asfáltico ou tensão de tração a partir da resistência a compressão simples para as camadas semirrígidas e rígidas;

N = volume de tráfego de projeto que deverá ser aplicado ao modelo;

x = um índice, função de g(aceleração da gravidade) e da premissa para o comportamento elástico linear do pavimento nos ensaios de deflectometria, ou seja, nenhuma camada de um pavimento, classificado como rodoviário, poderá apresentar deformação permanente, consoante o PRO 11/79 (DNIT), ítem 3.0 (Conceituação e definições) quando da aplicação de um eixo padrão pesando 82 kN no ensaio com viga Benkelman e também de um fator de segurança para compensar as incertezas do procedimento. Aceitando como válidas, tais premissas, deduz-se que o máximo volume de tráfego, N(USACE), que não deverá provocar **deformações permanentes** em qualquer tipo de pavimento para fins rodoviários, é $N(USACE) \leq 5,47 \times 10^5$.

Igualando a equação 9.0 a equação 10.0, funções da aceleração da gravidade, impõe-se a condição de que, para uma camada semirrígida e rígida não ceder ou romper a tração por efeito histerético, é necessário e suficiente que:

$$\left\{ \frac{\sigma_{t(est,RCD)}}{\sigma_{t(din,calc)}} \right\} \leq N^x \tag{11.0}$$

Para um fator de segurança (FS) igual a 1,40 N será expresso pela equação 12.0:

$$N = \left[\frac{\sigma_{t(est,RCD)}}{\sigma_{t(din,calc)}} \right]^{5,00} \tag{12.0}$$

Após a verificação do dimensionamento através das funções de previsão de desempenho, equação 11.0, para cada camada do pavimento, ou seja, caso o N de tráfego calculado seja próximo ao de projeto adotado, encerra-se o processo de cálculo (mecânico/estrutural), caso contrário, recalcula-se o pavimento, modificando-se as espessuras de alguma das camadas ou se alterando os módulos resilientes. Repete-se o cálculo até se atingir o N de tráfego do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DNER/DNIT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994-1997).
- Dong-Soo Kim and Kenneth H. Stokoe II; "Soil Damping Computed with Ramberg-Osgood-Masing model" XIII ICSMFE, New Delhi, India / XIII CIMSTF, 1994, New Delhi, India
- Iwan, W. D. (1967). "On a class of models for the yielding behavior of continuous and composite system". Journal of Applied Mechanics, Vol. 34, N° E3, pp. 612-617.
- Masing, G.(1926). " Eigenspannungen und Verfertigung beim Messing", Proceedings, 2nd International Congress on Applied Mechanics, Zurich.
- Radim Halama, Josef Sedlák and Michal Sofer; "Phenomenological Modelling of Cyclic Plasticity", Technical University of Ostrava, Czech Republic, 2012.
- Vucetic, M. (1990), " Normalized behavior of clay under irregular cyclic loading", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, N° 1, pp 29-46.
- Vucetic, M. (1994)," Cyclic threshold shear strains in soils", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 120, N° 12, pp 2208-2228.
- Vucetic, M. and Dobry, R. (1991), "Effect of soil plasticity on cyclic response", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 117, N° 1 , pp 89-107.
- Sílvio de Souza Lima e Sérgio Hampshire de Carvalho Santos; "Análise Dinâmica das Estruturas", Editora Ciência Moderna, 2008.
- Steven L Kramer; "Geotechnical Earthquake Engineering", Pearson Education 2003.



21^a | **REUNIÃO DE**
RPU | **PAVIMENTAÇÃO URBANA**

12 e 13 de setembro de 2018 | Transamerica Expo, São Paulo

Submissão de Trabalhos Técnicos para a Revista Pavimentação

- 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, editadas em fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. Número maior de páginas poderá ser aceito em casos excepcionais a critério da Editoria da Revista.
- 11. Os textos deverão ser escritos em português, em linguagem adequada e correta, sendo de responsabilidade do(s) autor(res) a revisão ortográfica, as referências bibliográficas devem seguir o padrão ABNT, tipo por citação de sobrenome e ano (ex. MATHEUS, 1994) e preferencialmente os artigos devem apresentar um resumo de 200 a 300 palavras, resumo em inglês de igual conteúdo do resumo em português (ABSTRACT) e indicar de 3 a 5 palavras-chaves. Artigos em outros idiomas podem eventualmente serem aceitos a critério da Editoria da revista.
- 12. Estas especificações podem ser eventualmente revistas a critério da Editoria da Revista e da Diretoria da ABPv a qualquer tempo, cabendo aos artigos e contribuições já submetidos se adequarem seguindo as regras existentes à época da submissão do seu material. 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, sugestões e se associando à ABPv.



www.abpv.org.br

[INSCREVA-SE EM EAD](#)

[ENSINO A DISTÂNCIA](#)

[DRENAGEM URBANA](#)

[CLICANDO AQUI!](#)

[CLIQUE AQUI!](#)

[ANUIDADE DE 2018](#)

Sócio individual - pessoa física

ATENÇÃO: Se estiver inadimplente com outros anos, entre em contato com a Secretaria

RESPONDA A PESQUISA E ESCOLHA EM QUAL CIDADE DESEJA A REALIZAÇÃO DE SEU(S) CURSO(S) .

CLIQUE NO(S) DE SEU INTERESSE , PREENCHA AS INFORMAÇÕES PARA QUE RECEBA A PROGRAMAÇÃO AO TÉRMINO DESTE LEVANTAMENTO!

- ◆ [AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E PROJETO DE REFORÇO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E MEIO AMBIENTE - PRESENCIAL](#)
- ◆ [BÁSICO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA - PRESENCIAL](#)
- ◆ [CONTROLE DA QUALIDADE EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA - PRESENCIAL](#)
- ◆ [CUSTOS E ORÇAMENTOS RODOVIÁRIOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [DRENAGEM – URBANA - PRESENCIAL](#)
- ◆ [DRENAGEM DE ESTRADAS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [ENGENHARIA FERROVIÁRIA - PRESENCIAL](#)
- ◆ [HDM 4 - PRESENCIAL](#)
- ◆ [MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [MATERIAIS E MISTURAS ASFÁLTICAS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [MECÂNICA DOS PAVIMENTOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [MÉTODO BAILEY DE DOSAGEM - PRESENCIAL](#)
- ◆ [PRÁTICO DE MATERIAIS ASFÁLTICOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [PRÁTICO DE SOLOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DE OBRAS RODOVIÁRIAS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [QUALIDADE DE MATERIAIS E SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA - PRESENCIAL](#)
- ◆ [TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS - CONSTRUÇÃO, QUALIDADE E CASOS DE OBRAS - PRESENCIAL](#)

RESPONDA A PESQUISA E ESCOLHA EM QUAL MÊS DESEJA A REALIZAÇÃO DE SEU (S) CURSO(S)!

CLIQUE NO(S) DE SEU INTERESSE , PREENCHA AS INFORMAÇÕES PARA QUE RECEBA A PROGRAMAÇÃO AO TÉRMINO DESTE LEVANTAMENTO!

- ⇒ [AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E PROJETO DE REFORÇO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E MEIO AMBIENTE - EAD](#)
- ⇒ [BÁSICO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA - EAD](#)
- ⇒ [CONTROLE DA QUALIDADE EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA - EAD](#)
- ⇒ [CUSTOS E ORÇAMENTOS RODOVIÁRIOS - EAD](#)
- ⇒ [DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS - EAD](#)
- ⇒ [DRENAGEM DE ESTRADAS - EAD](#)
- ⇒ [DRENAGEM URBANA - EAD](#)
- ⇒ [ENGENHARIA FERROVIÁRIA - EAD](#)
- ⇒ [HDM 4 - EAD](#)
- ⇒ [MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS - EAD](#)
- ⇒ [MATERIAIS E MISTURAS ASFÁLTICAS - EAD](#)
- ⇒ [MECÂNICA DOS PAVIMENTOS - EAD](#)
- ⇒ [MÉTODO BAILEY DE DOSAGEM - EAD](#)
- ⇒ [PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DE OBRAS RODOVIÁRIAS - EAD](#)
- ⇒ [QUALIDADE DE MATERIAIS E SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA - EAD](#)
- ⇒ [TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS - CONSTRUÇÃO, QUALIDADE E CASOS DE OBRAS - EAD](#)