

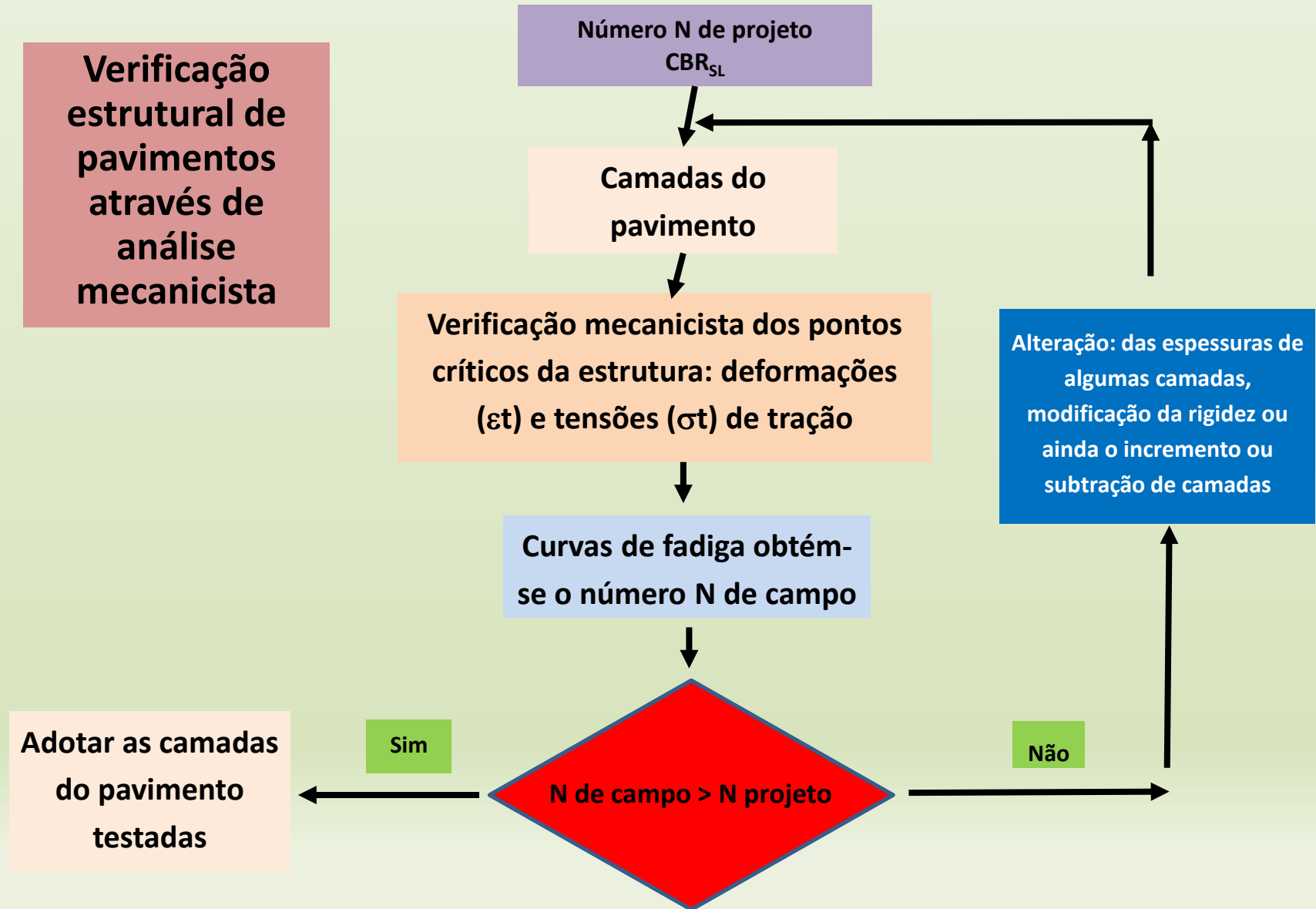
PROJETO DE
PAVIMENTO

ANÁLISE
MECANICISTA

Método de
Dimensionamento
de Pavimentos
Flexíveis e
Semirrígidos do
DER-SP

ANÁLISE MECANICISTA DE PAVIMENTOS

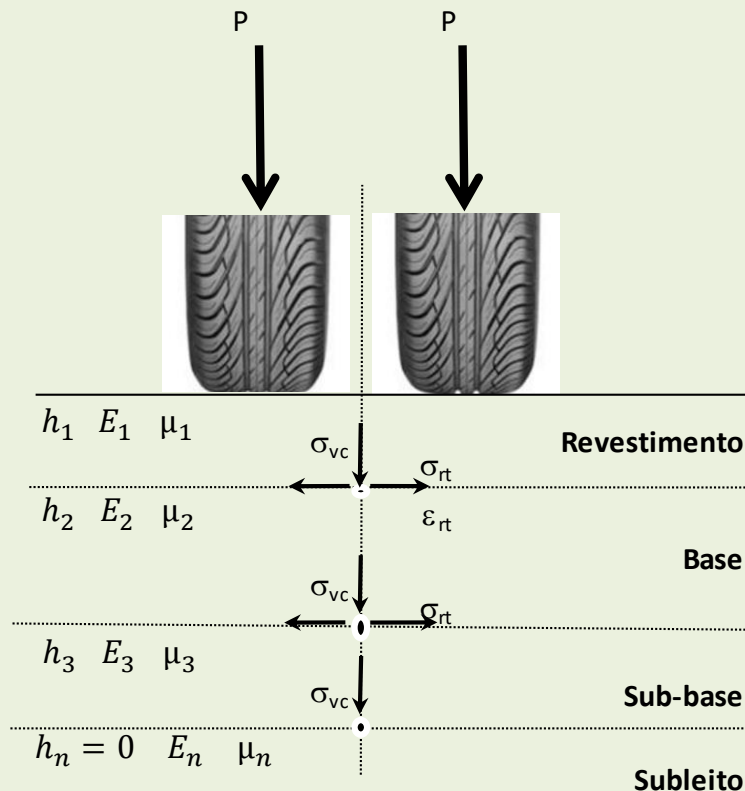
**Verificação
estrutural de
pavimentos
através de
análise
mecanicista**



Verificação mecanicista dos pontos críticos da estrutura: deformações (ϵ_t) e tensões (σ_t) de tração

Verificação mecanicista dos pontos críticos da estrutura:

- deformações de tração (ϵ_t) e
- tensões de tração (σ_t)



Parâmetros: Carga e para cada camada a espessura, modulo de elasticidade e coeficiente e Poisson

Parâmetros adicionais para a verificação mecanicista

Para a verificação mecanicista da estrutura de pavimento, é necessário o conhecimento dos parâmetros relativos à capacidade de suporte dos solos do subleito e do tráfego previsto para o período de projeto, além das propriedades dos materiais constituintes das camadas da estrutura do pavimento e de modelos de fadiga para estes materiais.

São apresentados na Tabela abaixo os valores de coeficiente de Poisson.

MATERIAL	Intervalo de valores de coeficiente de Poisson	Valores recomendados de coeficiente de Poisson
Concreto de cimento Portland	0,10 - 0,20	0,15
Mat. estabilizados com cimento	0,15 - 0,30	0,20
Misturas asfálticas	0,15 - 0,45	0,30
Materiais granulares	0,30 - 0,40	0,35
Solos do subleito	0,30 - 0,50	0,40

ANÁLISE MECANICISTA DE PAVIMENTOS

Os valores usuais de módulo de resiliência ou módulo de elasticidade

Materiais	Intervalo de valores de módulo de resiliência (MPa)
Concreto asfálticos	
• Revestimento (CAP 50/70)	2000 a 5000
• Revestimento (CAP 30/45)	2500 a 4500
• Binder (CAP 50/70)	2000 a 3000
• Binder (CAP 30/45)	2500 a 4000
Materiais granulares	
• Brita graduada	150 a 300
• Macadame hidráulico	250 a 450
Materiais estabilizados quimicamente	
• Solo-cimento	5000 a 10000
• Brita graduada tratada com cimento - BGTC	7000 a 18000
• Concreto compactado com rolo - CCR	7000 a 22000
Concreto de cimento Portland	30000 a 35000
Solo fino em base e sub-base	150 a 300
Solo fino em subleito e reforço de subleito	
• Solo de comportamento laterítico LA, LA' e LG'	100 a 200
• Solo de comportamento não laterítico	25 a 75

Para os solos do subleito recomendam-se as seguintes correlações entre módulo de resiliência e capacidade de suporte ISCp:

- Solos **lateríticos arenosos** (LA') e lateríticos argilosos (LG'): $MR = 22 * ISC^{0,8}$ (MPa)
- Solos **não lateríticos siltosos** (NS') e solos **não lateríticos argilosos** (NG'): $MR = 18 * ISC^{0,64}$ (MPa)
- Solos **arenosos pouco ou não coesivos**: $MR = 14 * ISC^{0,7}$ (MPa)

Módulo e Espessuras Equivalentes (Equivalência Deflectométrica)

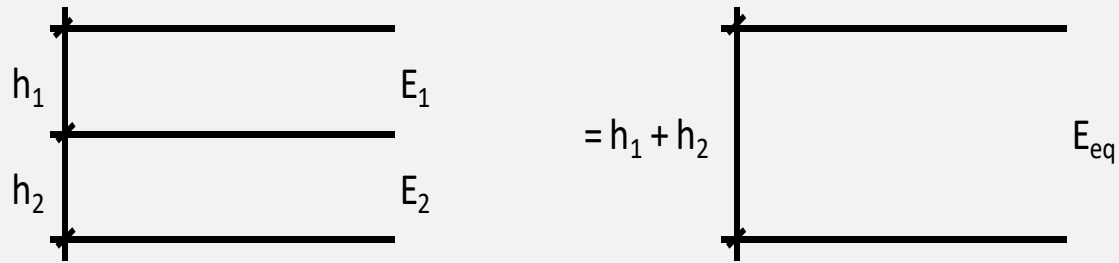
Por vezes nos deparamos com a necessidade de reduzir o número de camadas de forma a simplificar estruturas para uso de modelos e também aplicação de métodos de elemento finitos (MEF).

Logo, a redução de um sistema de duas ou mais camadas num outro uniforme de módulo ou espessura equivalente.

Em notas de aula do prof. Dr. Suzuki é apresentado o módulo equivalente entre camadas como sendo a redução do número de camadas de uma dada estrutura que propicie à estrutura resultante mesmo efeito quanto as tensões, deformações e deslocamentos.

Nesse caso tem-se como produto uma estrutura com um número menor de camadas (normalmente uma camada) de mesma espessura da estrutura original e com o módulo de resiliência equivalente.

Módulo equivalente – Palmer e Barber



$$E_{eq} = \left(\frac{h_1 E_1^{1/3} + h_2 E_2^{1/3}}{h_1 + h_2} \right)^3$$

No *Guide Pratique de Dimensionnement* (Francês) proposto pelo *Laboratoire Central de Ponts Chaussées* LCPC, consiste na redução de duas camadas em uma, obtendo-se como produto uma camada podendo ser de duas espessuras equivalente: (i) espessura equivalente h' , caso seja mantido o módulo da 2ª camada (equação 12) e (ii) espessura equivalente h'' , caso seja mantido o módulo da 1ª camada

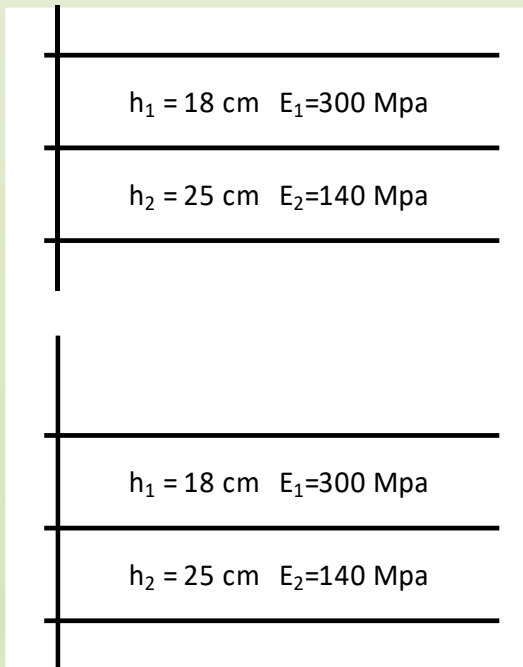
$$\frac{h_1 E_1}{h_2 E_2} = \frac{h' E_2}{h'' E_1} = \frac{p/\mu = 0,5}{h'' E_1}$$

$$h' = h_2 + 0,9h_1 \sqrt[3]{E_1/E_2}$$

$$h'' = h_1 + 0,9h_2 \sqrt[3]{E_2/E_1}$$

Exemplo.

Determinar a espessura equivalente considerando o módulo da 1ª camada e da 2ª camada da estrutura abaixo:



$$h'' = h_1 + 0,9h_2 \sqrt[3]{E_2/E_1}$$

ANÁLISE MECANICISTA DE PAVIMENTOS

$h_1 = 18 \text{ cm}$ $E_1 = 300 \text{ Mpa}$

$h_2 = 25 \text{ cm}$ $E_2 = 140 \text{ Mpa}$

$$h' = 25 + 0,9 * 18 * \sqrt[3]{300/140} =$$

$h_1 = 18 \text{ cm}$ $E_1 = 300 \text{ Mpa}$

$h_2 = 25 \text{ cm}$ $E_2 = 140 \text{ Mpa}$

$$h'' = 18 + 0,9 * 25 * \sqrt[3]{140/300} =$$

ANÁLISE MECANICISTA DE PAVIMENTOS

$h_1 = 18 \text{ cm}$ $E_1 = 300 \text{ Mpa}$

$h_2 = 25 \text{ cm}$ $E_2 = 140 \text{ Mpa}$

$$h' = 25 + 0,9 * 18 * \sqrt[3]{300/140} =$$

$h' = 46 \text{ cm}$
 $E_2 = 140 \text{ Mpa}$

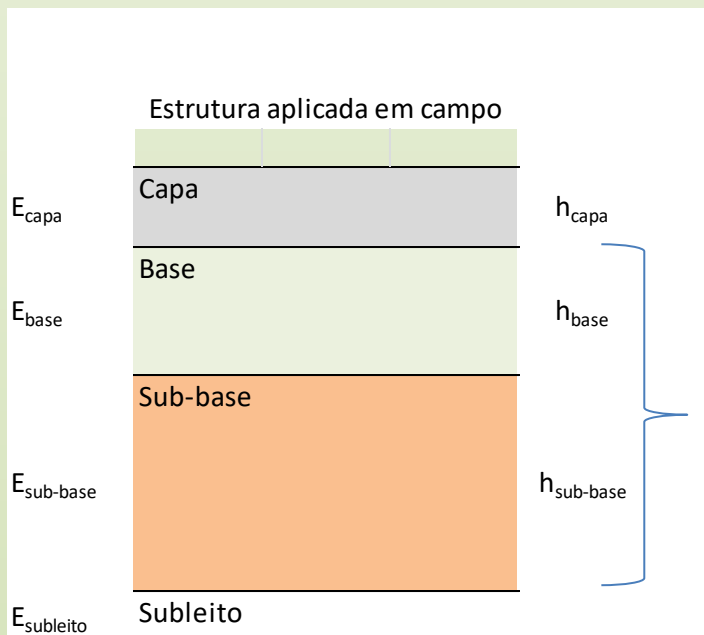
$h_1 = 18 \text{ cm}$ $E_1 = 300 \text{ Mpa}$

$h_2 = 25 \text{ cm}$ $E_2 = 140 \text{ Mpa}$

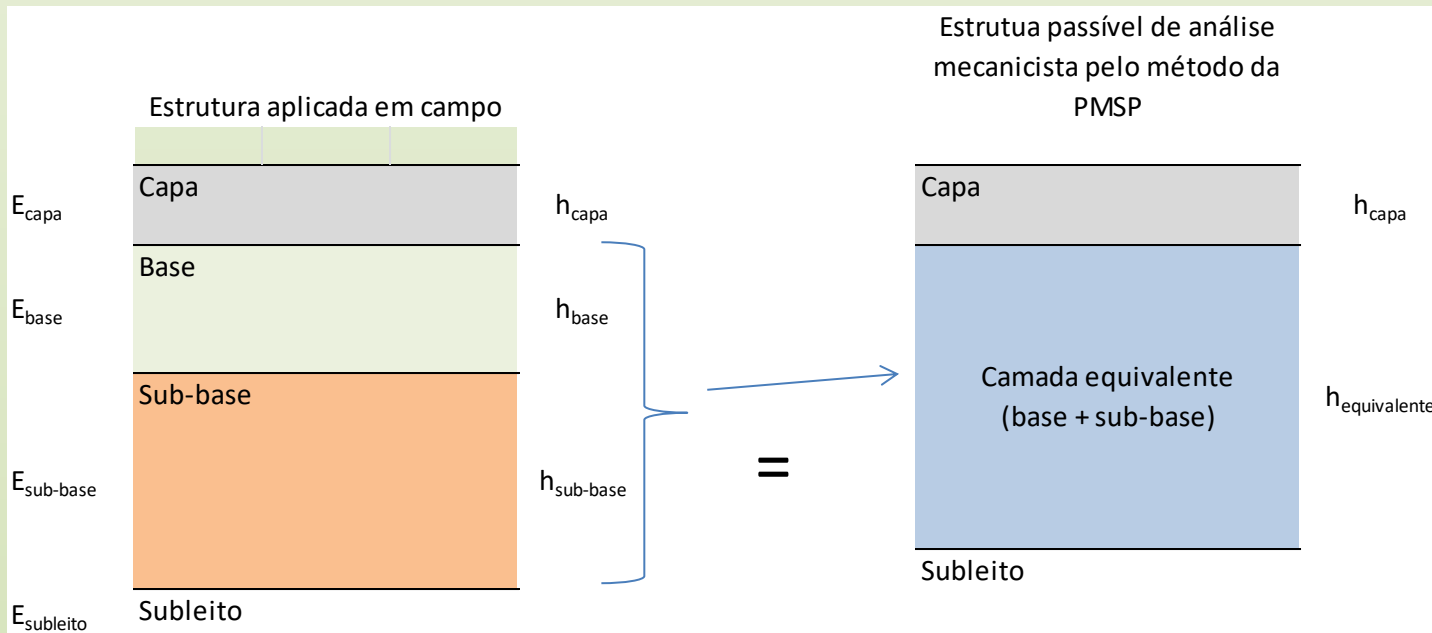
$$h'' = 18 + 0,9 * 25 * \sqrt[3]{140/300} =$$

$h'' = 35 \text{ cm}$
 $E_1 = 300 \text{ Mpa}$

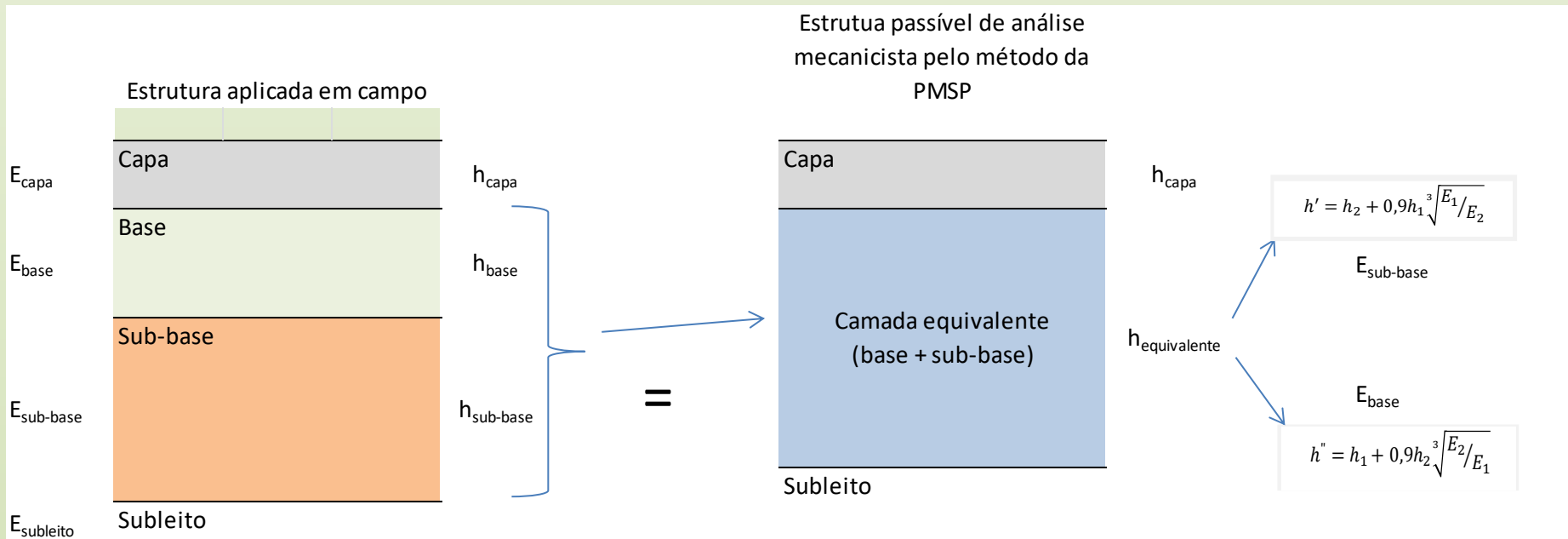
ANÁLISE MECANICISTA DE PAVIMENTOS



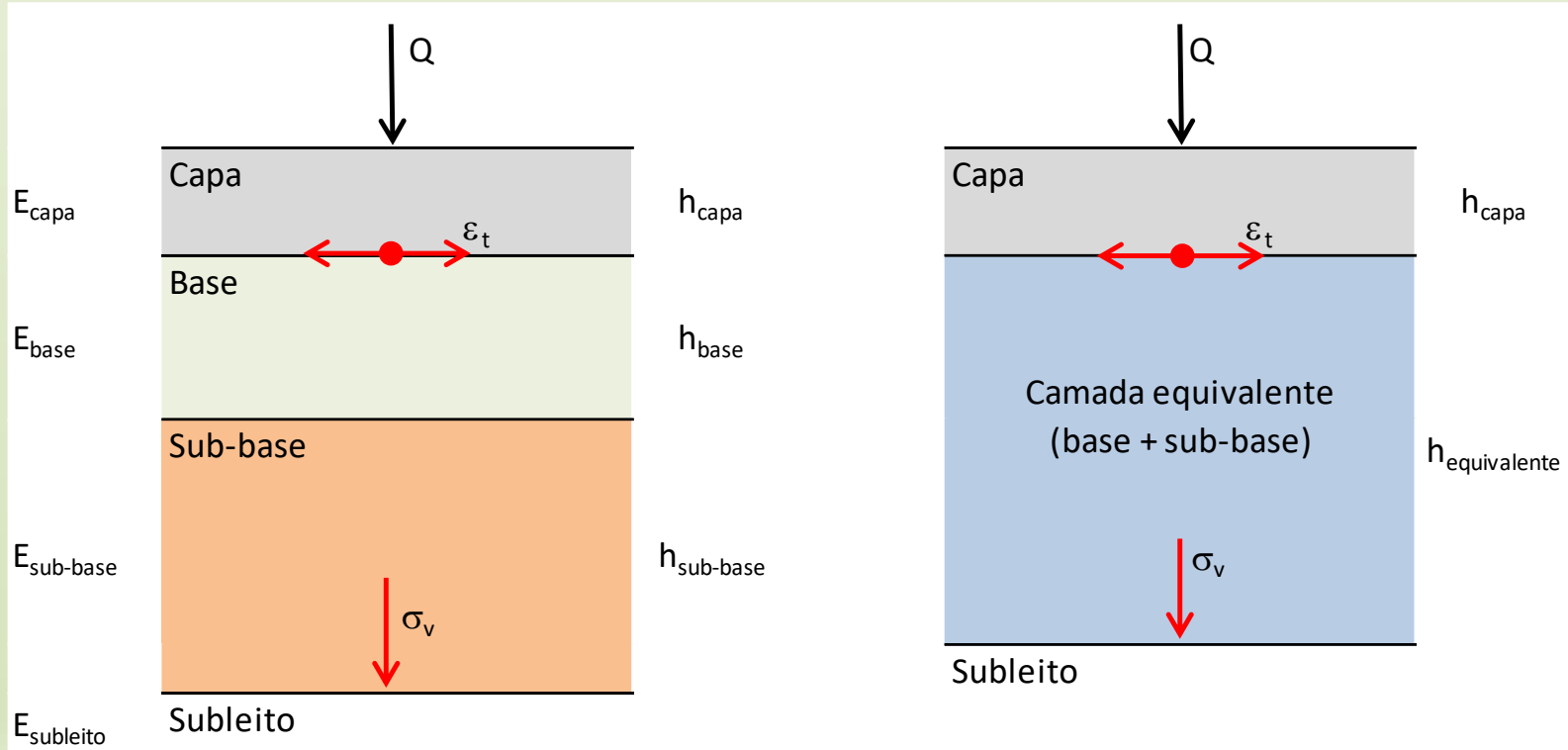
ANÁLISE MECANICISTA DE PAVIMENTOS



ANÁLISE MECANICISTA DE PAVIMENTOS



ANÁLISE MECANICISTA DE PAVIMENTOS



Exercício

Ex. I

Espessura equivalente com o módulo da camada h2

h1 = 20 cm E1 = 400 MPa

h2 = 30 cm E2 = 175 MPa

Ex.II

Espessura equivalente com o módulo da camada h1

h1 = 17 cm E1 = 300 MPa

h2 = 25 cm E2 = 7000 MPa

h1 E1

p/μ = 0,5

h2 E2

=

h' E2

=

h'' E1

$$h' = h_2 + 0,9h_1^3 \sqrt{E_1/E_2}$$

$$h'' = h_1 + 0,9h_2^3 \sqrt{E_2/E_1}$$

Exercício

Resolver os exercícios 1 e 2

Ex-1

$h_1 = 20 \text{ cm}$ $E_1 = 350 \text{ MPa}$

$h_2 = 25 \text{ cm}$ $E_2 = 100 \text{ MPa}$

$h_{\text{equiv}} =$

$E_1 = 350 \text{ MPa}$

Ex-2

$h_1 = 15 \text{ cm}$ $E_1 = 850 \text{ MPa}$

$h_2 = 20 \text{ cm}$ $E_2 = 180 \text{ MPa}$

$h_{\text{equiv}} =$

$E_2 = 180 \text{ MPa}$

$h_1 E_1$

$p/\mu = 0,5$

$h_2 E_2$

$=$

$h' E_2$

$=$

$h'' E_1$

$$h' = h_2 + 0,9h_1 \sqrt[3]{E_1/E_2}$$

$$h'' = h_1 + 0,9h_2 \sqrt[3]{E_2/E_1}$$

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Face as limitações estruturais, após o dimensionamento da estrutura do pavimento, numa forma de corrigir estruturalmente as camadas do pavimento, tem-se verificado os níveis de tensões, deformações e deslocamentos em pontos críticos da estrutura.

Caso se constate que em algum ponto crítico da estrutura em análise, esteja com solicitação acima da admissível, procede-se com modificações da estrutura:

- Alteração da espessura de uma ou mais camadas;
- Emprego de ligantes asfálticos com propriedades reológicas mais favoráveis na camada de revestimento;
- Soma ou subtração de alguma camada;
- Modificação de material – cimentado, granular etc,

Entretanto, salienta-se que a estrutura alterada deve possuir no mínimo as espessuras oriundas do método de dimensionamento. Essas alterações implicam na disponibilidade de materiais e também é uma questão de custo.

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Com os dados de entrada:

- (i) espessuras das camadas,
- (ii) módulo de resiliência e
- (iii) coeficiente de Poisson de cada camada

Através de vários programas computacionais, sendo em sua maioria com base em MEF, se obtém tensões de tração e de compressão, deslocamentos e deformações também de tração e de compressão em vários pontos da estrutura, normalmente, tem-se dado atenção aos pontos críticos.

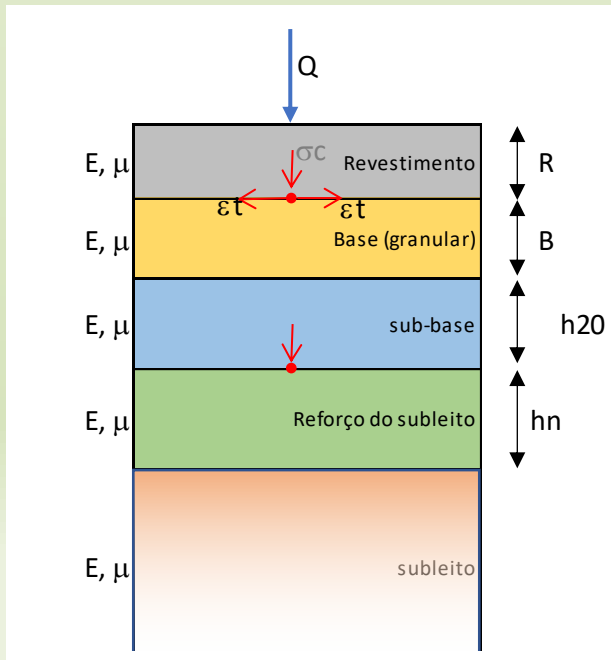
Por exemplo, quando se utiliza a análise mecanicista em camadas de rolamento, é dado atenção a deformação de tração na fibra inferior. Devido a rigidez da mistura asfáltica tem-se monitorado a deformação de tração (ϵ_t), pois esse tipo de material apresenta elevada deformação para baixos níveis de tensão.

Observe-se que, as misturas asfálticas empregadas em camada de rolamento, quando aplicadas com espessuras (normalmente acima de 4 cm) propiciam a formação de linha neutra, ou seja, a parcela superior a linha neutra está sob tensão de compressão e outra (a inferior) sob tensão de tração.

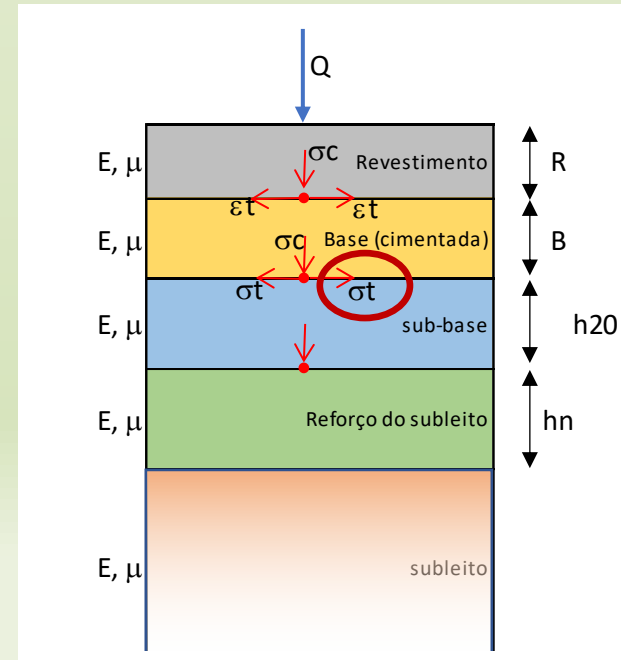
Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Com os dados de entrada: (i) espessuras das camadas,
(ii) módulo de resiliência e
(iii) coeficiente de Poisson de cada camada

Pavimentos flexíveis



Pavimentos semirrígidos



Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Não faz sentido a análise da resistência compressão de misturas asfálticas, pois esse material oferece boa resistência à compressão, se comparada com a resistência à tração.

Logo, a atenção é quanto a deformação de tração (e_t) na fibra inferior da camada de rolamento.

De forma análoga, tem-se dado atenção a fibra inferior de camadas cimentadas.

Devido a rigidez dos materiais cimentados, o que implica em elevado valor de módulo de resiliência, tem-se monitorado a tensão de tração (s_t), pois são mais mensuráveis que os valores de deformação, ao contrário do que ocorre com a mistura asfáltica.

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Outro ponto a ser considerado na análise mecanicista é a tensão vertical no topo do subleito, caso ocorra uma tensão superior a admissível, pode ocorrer deformação permanente na estrutura como um todo.

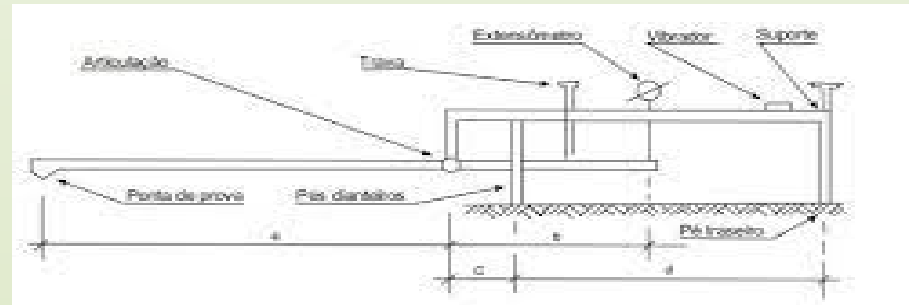
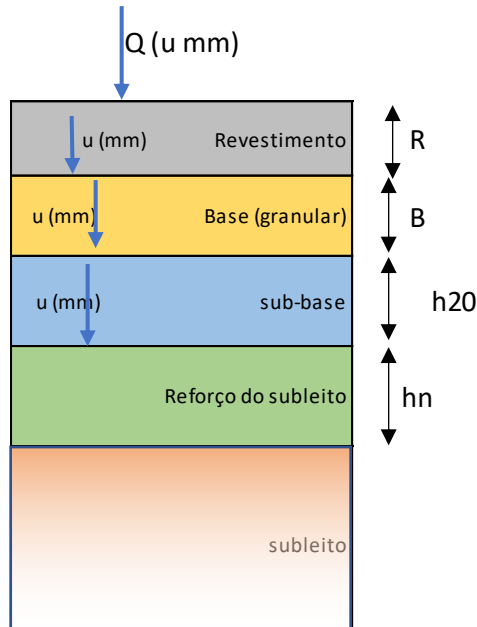
Através de modelos, com base no CBR ou mesmo em tensão admissível pode-se constatar se a estrutura está compatível com a resistência do subleito. Resumidamente, monitoramos os pontos abaixo:

Camada	Parâmetro monitorado	Local
Revestimento de CA	Deformação de tração	Fibra inferior
Base ou sub-bases cimentadas	Tensão de tração	Fibra inferior
Subleito	Tensão vertical	Topo

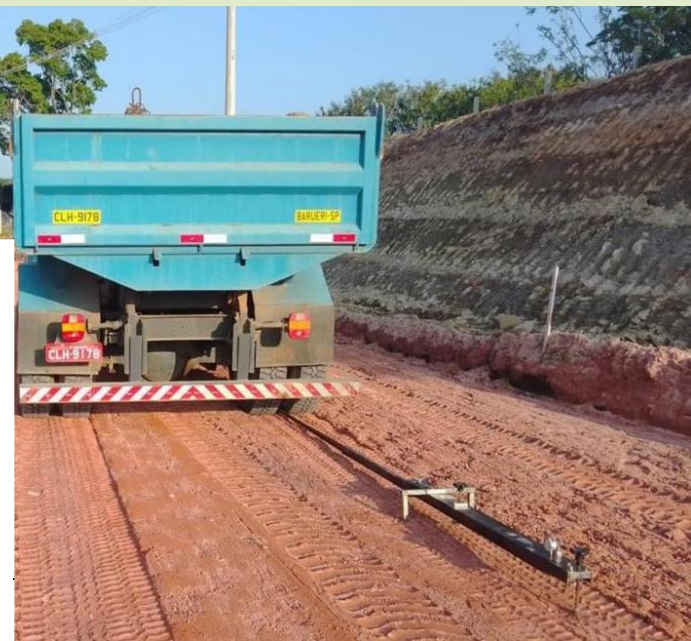
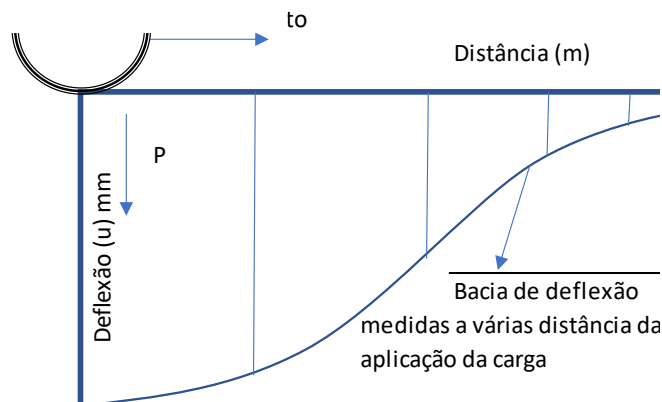
Além dos parâmetros de tensão e deformação abordados, tem-se utilizado o parâmetro deslocamento, normalmente, para empregado em controle tecnológico nas construções de camadas e também na determinação de camadas de reforço de pavimento existente

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Deslocamento no topo de cada camada, normalmente, para empregado em controle tecnológico nas construções de camadas e também na determinação de camadas de reforço de pavimento existente.

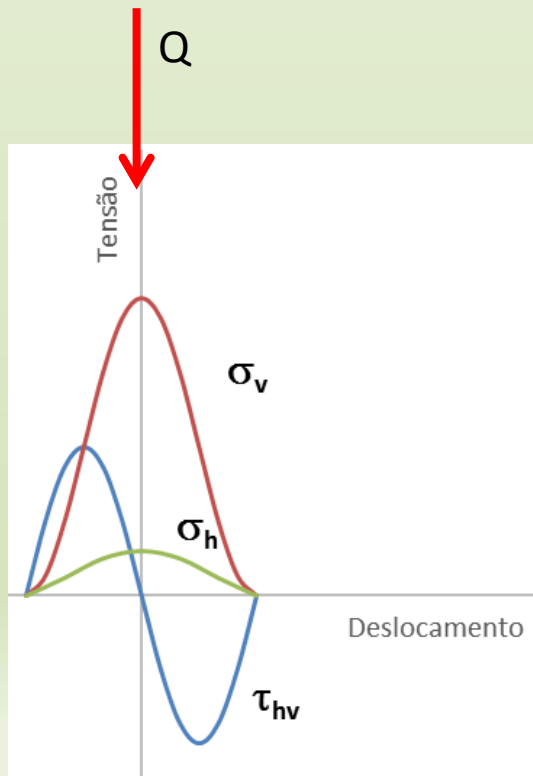


Viga Benkelman

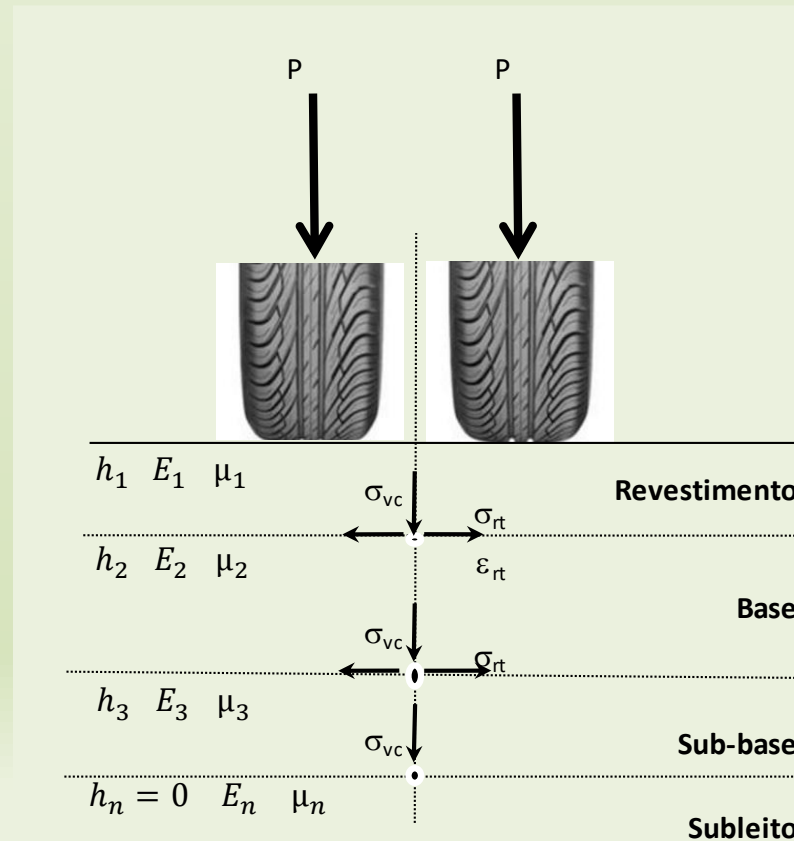


Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Tensões: verticais,
horizontais e de
cisalhamento sob ação
da carga



Pontos críticos considerados para análise dos parâmetros: tensões verticais de compressão (topo do subleito), deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento e tensão horizontal de tração na camada de base (cimentada)



Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Consta na instrução de projeto IP-08 da PMSP procedimentos para determinação de: deflexão, deformação e tensão de tração em vários pontos da estrutura de pavimentos de características: flexíveis, semirrígidos convencionais e semirrígidos invertidos

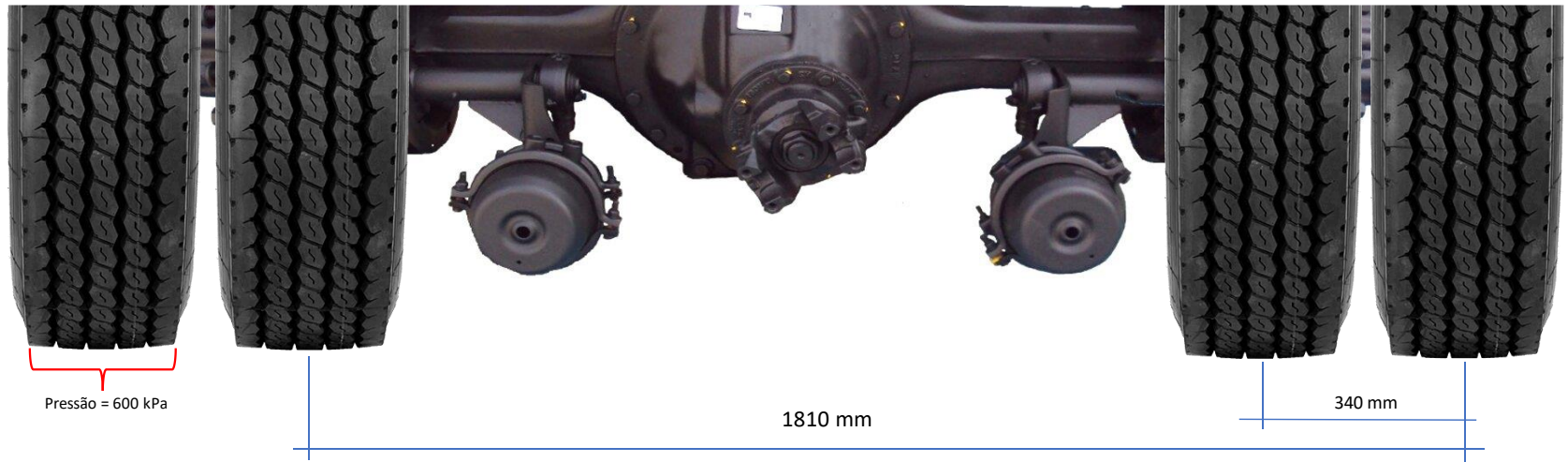
Pavimento	Camada	Parâmetro		
		Deformação	Tensão	Deflexão
Semirrígido convencional	Base - BGTC	tração fibra inferior		
	Base cimentada	topo da camada de revestimento		
Semirrígido invertido	Sub-base BGTC	fibra inferior CA	tração fibra inferior	
Flexível		fibra inferior CA		

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Na determinação desses parâmetros são adotadas equações concebidas com base no ESRD com as seguintes características:

Carga sobre o eixo de 80 kN



Modelos para verificação à fadiga

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Modelos para verificação à fadiga

Concreto asfáltico

Deflexão

$$N = 5,548 * 10^{16} * D_0^{-5,319} \quad \text{Para espessura de revestimento} < 100\text{mm}$$

$$N = 3,036 * 10^{13} * D_0^{-3,922} \quad \text{Para espessura de revestimento} > 100\text{mm}$$

Deformação

$$N = 6,64 * 10^{-7} * (1/e_t)^{2,93}$$

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Modelos para verificação à fadiga

Brita graduada tratada com cimento

$$N_f = 10^{(17,137 - 19,608RT)}$$

- N_f = número N ocorridos em campo para que ocorra a ruptura por fadiga
- RT = é a relação entre tensões, da tensão de tração na flexão na fibra inferior da camada cimentada em serviço (atuante) pela tensão na flexão de ruptura característica do material em questão (resistente) ($\sigma_{tf} / f_{ct,f}$)
- σ_{tf} = Tensão de tração atuante (kgf/cm²)
- $f_{ct,f}$ = Tensão de tração admissível (normalmente adotado 8 kgf/cm²)

Modelos para verificação à fadiga

Brita graduada tratada com cimento

Outra forma de verificação da estrutura analisada é através da relação entre as tensões: atuante de tração na flexão na fibra inferior da camada, pela tensão admissível, essa relativa ao número N de projeto e a tensão de ruptura a flexão do material em questão

$$\sigma_{t(adm)} = \left[\left(\frac{17,137 - \log\left(\frac{N_{projeto}}{FCL}\right)}{19,608} \right) * \sigma_{t(ruptura)} \right]$$

$\sigma_{t(adm)}$: tensão admissível (MPa)

$N_{projeto}$ (N_p): Número N de projeto

FCL: fator campo laboratório (adotar 0,05)

$\sigma_{t(ruptura)}$: tensão de ruptura do material (MPa)

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Modelos para avaliação mecanicista

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Modelos para avaliação mecanicista

Pavimento semirrígido convencional - base cimentada

Tensão de tração na flexão da camada de base cimentada

$$\sigma_t = 59,463847 * e_{CA}^{-0,323205} * e_{BGTC}^{-1,178098} * e_{BGS}^{-0,007887} * E_{SUB}^{-0,214274} * Q_{ESRD}^{0,970153}$$

- σ_t = tensão de tração na flexão na base (Mpa)
- e_{CA} = espessura de concreto asfáltico (mm)
- e_{BGTC} = espessura da base de brita graduada tratada com cimento (mm)
- e_{BGS} = espessura da sub-base de brita graduada simples (mm)
- E_{SUB} = módulo de resiliência do subleito (Mpa)
- Q_{ESRD} = carga total sobre o eixo simples de rodas duplas (kN)

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Modelos para avaliação mecanicista

Pavimento semirrígido convencional - base cimentada

Tensão de tração na flexão da camada de base cimentada

$$\sigma_t = 59,463847 * e_{CA}^{-0,323205} * e_{BGTC}^{-1,178098} * e_{BGS}^{-0,007887} * E_{SUB}^{-0,214274} * Q_{ESRD}^{0,970153}$$

Material	E (Mpa)	Coeficiente de Poisson	Espessura (mm)
Concreto asfáltico	3.000	0,35	100 a 150
BGTC	15.000	0,25	200 a 400
Sub-base	100	0,35	150 a 250
Subleito	25 a 100	0,40	Infinito

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Modelos para avaliação mecanicista

Pavimento semirrígido convencional - base cimentada

Deflexão na superfície do pavimento semirrígido quando da utilização de camada de base com material cimentado

$$D_0 = 10^{3,019694} * e_{CA}^{-0,137129} * e_{BC}^{-0,370613} * E_{CA}^{-0,118338} * E_{BC}^{-0,126027} * E_{SUB}^{-0,767296}$$

- D_0 = deflexão na superfície do pavimento (mm)
- e_{BC} = espessura da camada de base cimentada (mm)
- E_{CA} = módulo de resiliência da camada de CA (MPa)
- E_{BC} = módulo de resiliência da camada de base cimentada (Mpa)

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Modelos para avaliação mecanicista

Pavimento semirrígido convencional - base cimentada

Deflexão na superfície do pavimento semirrígido quando da utilização de camada de base com material cimentado

$$D_0 = 10^{3,019694} * e_{CA}^{-0,137129} * e_{BC}^{-0,370613} * E_{CA}^{-0,118338} * E_{BC}^{-0,126027} * E_{SUB}^{-0,767296}$$

Material	E (Mpa)	Coeficiente de Poisson	Espessura (mm)
Concreto asfáltico	1.500 a 4.500	0,35	50 a 150
Base cimentada (solo cimento)	2.500 a 7.500	0,25	150 a 300
Subleito	20 a 250	0,40	Infinito

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Pavimento semirrígido convencional - base cimentada

Exemplo

Qual a espessura da camada de base cimentada (BGTC) para que a tensão admissível ($\sigma_{t \text{ adm}}$) seja superior a tensão de tração (σ_t) com emprego de falha por fadiga.

Ex. 1 - Dimensionar as duas estruturas de pavimentos (I e II) semirrígidos, pelo método do CBR, para $N = 8,8 \cdot 10^7$ solicitações, BGTC como material de base ($\sigma_{t \text{ ruptura}} = 1,3 \text{ MPa}$) e sub-base de material granular.

- Pavimento I com subleito de solo não laterítico (NS') de $\text{CBR}_{\text{nl}} = 5\%$ e
- Pavimento II com subleito de solo laterítico (LG') de $\text{CBR}_{\text{nll}} = 15\%$.

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Pavimento semirrígido convencional - base cimentada

São apresentadas as duas estruturas obtidas com base no método de dimensionamento do CBR. O aumento da resistência da camada de subleito de $CBR\% = 5\%$ para 15% propiciou uma diminuição na espessura da camada de sub-base

Camada	Material	Pav I		Pav II	
		Espe ssura (mm)	MR (MPa)	Espe ssura (mm)	MR (MPa)
Revestimento	CA	125	3000	125	3000
Base	BG TC	150	10000	150	10000
Sub-base	Granular	320	200	150	200
Subleito		CBR = 5% (NS')	50*	CBR = 15% (LG)	190**

(*) Valor de $MR = 18 * CBR^{0,64}$ - DER-SP

(**) Valor de $MR = 22 * CBR^{0,8}$ - DER-SP

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Pavimento semirrígido convencional - base cimentada

$N_p = 8,80E+07$ solicitações	$\sigma_t(\text{ruptura}) = 1,3$ Mpa	FCL = 0,05	$\sigma_t(\text{adm}) = 0,5232$ MPa
-------------------------------	--------------------------------------	------------	-------------------------------------

		Pav I		Pav II		Pav I		Pav II		Pav I		Pav II	
		Avaliação I		Avaliação II		Avaliação III		Avaliação IV		Avaliação V		Avaliação VI	
Espressuras (mm)		$\sigma_t(\text{atuante})$	$\frac{\sigma_{t(\text{atuante})}}{\sigma_{t(\text{adm})}} \leq 1$	$\sigma_t(\text{atuante})$	$\frac{\sigma_{t(\text{atuante})}}{\sigma_{t(\text{adm})}} \leq 1$	$\sigma_t(\text{atuante})$	$\frac{\sigma_{t(\text{atuante})}}{\sigma_{t(\text{adm})}} \leq 1$	$\sigma_t(\text{atuante})$	$\frac{\sigma_{t(\text{atuante})}}{\sigma_{t(\text{adm})}} \leq 1$	$\sigma_t(\text{atuante})$	$\frac{\sigma_{t(\text{atuante})}}{\sigma_{t(\text{adm})}} \leq 1$	$\sigma_t(\text{atuante})$	$\frac{\sigma_{t(\text{atuante})}}{\sigma_{t(\text{adm})}} \leq 1$
BGTC	150	0,9894	1,89	0,7477	1,43	0,9328	1,78	0,7049	1,35	0,6739	1,29	0,6780	1,30
	160	0,9169	1,75	0,6929	1,32	0,8645	1,65	0,6533	1,25	0,6246	1,19	0,6283	1,20
	170	0,8537	1,63	0,6452	1,23	0,8049	1,54	0,6083	1,16	0,5815	1,11	0,5850	1,12
	180	0,7981	1,53	0,6032	1,15	0,7525	1,44	0,5687	1,09	0,5437	1,04	0,5469	1,05
	190	0,7489	1,43	0,5659	1,08	0,7060	1,35	0,5336	1,02	0,5101	0,98	0,5132	0,98
	200	0,7050	1,35	0,5328	1,02	0,6646	1,27	0,5023	0,96	0,4802	0,92	0,4831	0,92
	210	0,6656	1,27	0,5030	0,96	0,6275	1,20	0,4742	0,91	0,4534	0,87	0,4561	0,87
	220	0,6301	1,20	0,4762	0,91	0,5940	1,14	0,4489	0,86	0,4292	0,82	0,4318	0,83
	230	0,5979	1,14	0,4519	0,86	0,5637	1,08	0,4260	0,81	0,4073	0,78	0,4097	0,78
	240	0,5687	1,09	0,4298	0,82	0,5362	1,02	0,4052	0,77	0,3874	0,74	0,3897	0,74
	250	0,5420	1,04	0,4096	0,78	0,5110	0,98	0,3862	0,74	0,3692	0,71	0,3714	0,71
	260	0,5175	0,99	0,3911	0,75	0,4879	0,93	0,3687	0,70	0,3525	0,67	0,3546	0,68
	270	0,4950	0,95	0,3741	0,72	0,4667	0,89	0,3527	0,67	0,3372	0,64	0,3392	0,65
	280	0,4743	0,91	0,3584	0,69	0,4471	0,85	0,3379	0,65	0,3231	0,62	0,3250	0,62

	Espressuras (mm)	E (MPa)	Espressuras (mm)	E (MPa)	Espressuras (mm)	E (MPa)	Espressuras (mm)	E (MPa)	Espressuras (mm)	E (MPa)	Espressuras (mm)	E (MPa)
Revestimento	125		125		150		150		125		125	
BGTC (relação ≤ 1)	260		210		250		200		190		190	
BGS	320		150		320		150		320		150	
Subleito		50		190		50	190			300		300

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Análise mecanicista – IP 08 PMSP

Pavimento semirrígido convencional - base cimentada

Resumo:

- A estrutura (Pav I e Pav II) inicialmente concebida pelo método do CBR não atendem as condições de ruptura por fadiga.
- Dentre os parâmetros: espessura do revestimento e da sub-base e a capacidade de suporte do subleito, esse último é o que exerce maior influência na tensão de tração na fibra inferior da camada de BGTC.

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Exercício - Pavimento semirrígido convencional - base cimentada

Determinar qual a espessura da camada cimentada (BGTC) para que a tensão admssível (baseada no Nprojeto) seja superior a tensão de tração na flexão na base (tensão atuante) derminado pela tensão de tração na fibra inferior mais solicitada da camada cimentada de BGTC com emprego da falha por fadiga, com as possíveis combinações abaixo.

Elaborar no mínimo três combinações e apontar a que apresenta o menor custo

Exercício 1

Adotar: N de projeto =	8,60E+07	solicitações	$\sigma_{t(ruptura)}$ =	1,1 Mpa	FCL = 0,05
------------------------	----------	--------------	-------------------------	---------	------------

$$\sigma_t = 59,463847 \cdot e_{CAUQ}^{-0,323205} \cdot e_{BGTC}^{-1,178098} \cdot e_{BGS}^{-0,007887} \cdot E_{sub}^{-0,214274} \cdot (Q_{ESRD})^{0,970153}$$

onde:

σ_t = tensão de tração na flexão na base (MPa)

e_{CAUQ} = espessura de CAUQ (mm)

e_{BGTC} = espessura da base (mm)

e_{BGS} = espessura da subbase (mm)

E_{sub} = módulo de resiliência do subleito (MPa)

Q_{ESRD} = carga total sobre o eixo simples de rodas duplas (kN)

$$\sigma_{t(adm)} = \left[\left(\frac{17,137 - \log\left(\frac{N_{projeto}}{FCL}\right)}{19,608} \right) * \sigma_{t(ruptura)} \right]$$

Simulação			Espressuras (mm)	
	Camada	MR (MPa)	recomendadas	\$
	Revestimento	-0-	100 /125/150	2500/5cm
	BGTC	-0-	180 a 250	6000/10cm
	BGS	-0-	200	1000/10 cm
	Subleito	50 a 125		

σ_t (adm) =		MPa
--------------------	--	-----

Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos do DER-SP

Exercício - Pavimento semirrígido convencional - base cimentada

Espessuras de BGTC (mm)	Condição 1		Condição 2		Condição 3	
	σ_t (atuante)	$\frac{\sigma_{t(atuante)}}{\sigma_{t(adm)}} \leq 1$	σ_t (atuante)	$\frac{\sigma_{t(atuante)}}{\sigma_{t(adm)}} \leq 1$	σ_t (atuante)	$\frac{\sigma_{t(atuante)}}{\sigma_{t(adm)}} \leq 1$
180						
190						
200						
210						
220						
230						
240						
250						
260						
270						
280						
Revestimento	Espessuras (mm) e E do subleito (MPa) - VALORES ADOTADOS					
	Espessuras (mm)	E (MPa)	Espessuras (mm)	E (MPa)	Espessuras (mm)	E (MPa)
	100		125		150	
	BGTC					
	BGS	220	220		220	
	Subleito	100		150		175
Análise de custo	\$ Revestimento		\$ Revestimento		\$ Revestimento	
	\$ BGTC		\$ BGTC		\$ BGTC	
	\$ BGS		\$ BGS		\$ BGS	
	Total		Total		Total	