

PROJETO DE PAVIMENTO

Dimensionamento de pavimento de concreto

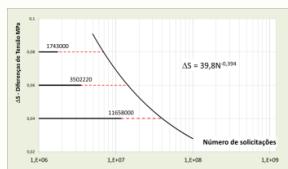
2º Semestre – 2024 - prof. Edson de Moura

1

Regra de dano linear cumulativo – Palmgren-Miner

Exercício resolvido

Dado uma determinada curva S-N de um dado material. Três níveis de diferenças de tensões (ΔS) aplicadas: 0,08, 0,06 e 0,04 MPa, e os seguintes números de solicitações: 1.730.000, 3.502.220 e 11.658.000, respectivamente. Deseja-se saber o dano cumulativo que o material sofreu com os três níveis diferenças de tensões e para uma diferença de tensão de $\Delta S = 0,037$ MPa qual o número de solicitações permitidas para que ocorra a falha do material?



3

Regra de dano linear cumulativo – Palmgren-Miner

Tensões ASI(Mpa)	N Falha	N Solicitado	Dano cumulativo (%)	Vida remanescente (%)
0,64	725	7800		
0,31		7800		
0,19	11080			

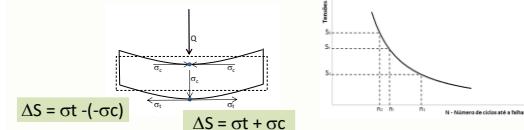
Tensões ASI(Mpa)	N Falha	N Solicitado	Dano cumulativo (%)	Vida remanescente (%)
0,71	9189			
0,63		76345		
0,57	123543			
0,27	2110890			

5

Regra de dano linear cumulativo – Palmgren-Miner

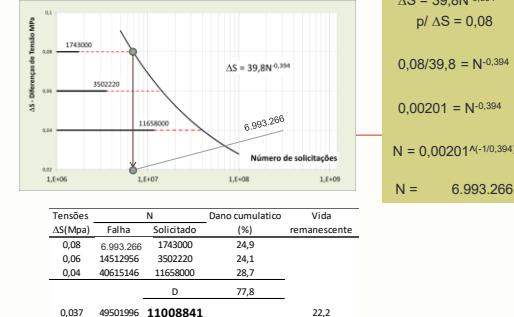
Estruturas submetidas a carregamentos cílicos estão sujeitas, comumente, a ruptura por fadiga.

O procedimento consiste em determinar o número de ciclos a que uma dada estrutura suporta antes de apresentar a falha. Utiliza-se uma curva denominada de S-N, em que: S ou ΔS a diferença tensão aplicada e N o número de carregamento aplicado.



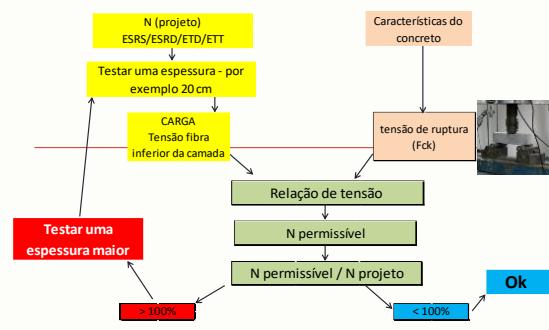
2

Regra de dano linear cumulativo – Palmgren-Miner



4

Dimensionamento de pavimento de concreto – PCA 84



6

Dimensionamento de pavimento de concreto – PCA 84

**N admissível
(permissível) em
função da relação
de tensão**

Relação de tensões(*)	Nº admissível de repetições de carga	Relação de tensões	Nº admissível de repetições de carga
0,50	ilimitado	0,68	3.500
0,51	400.000	0,69	2.500
0,52	300.000	0,70	2.000
0,53	240.000	0,71	1.600
0,54	180.000	0,72	1.100
0,55	130.000	0,73	850
0,56	100.000	0,74	650
0,57	75.000	0,75	490
0,58	57.000	0,76	360
0,59	42.000	0,77	270
0,60	32.000	0,78	210
0,61	24.000	0,79	160
0,62	18.000	0,80	120
0,63	14.000	0,81	90
0,64	11.000	0,82	70
0,65	8.000	0,83	50
0,66	6.000	0,84	40
0,67	4.500	0,85	30

(*) Igual à tensão de tração na flexão devida à carga dividida pela resistência característica à tração no flexo do concreto.

Composição do tráfego

Parte A – determinação do volume total (V_t) de veículos, com carga superior a 10 t/ eixo, que irão solicitar a via no período de 20 anos.

Por exemplo: VDMA = 1857 veículos e tx. de crescimento = 4,58% ao ano.

$$\begin{aligned} V_p &= Vt \cdot (1/(t/100)^{0.0458}) \\ V_p &= 1857 \cdot (1/(4,58/100)^{20}) = 3558 \text{ veic/dia} \\ V_t &= VDMA \quad V_m = (V + V_p)/2 \quad ETD (125,5t) \\ V_t &= 365^*P^*V/m \quad V_t = 365 \cdot 20 \cdot 2707 = \boxed{19.761.100} \text{ veículos} \end{aligned}$$

Classificação	Carga por Eixos (t)			T de cargas por tipo de veículo
Classe	Tipos	ESRS (6t)	ESRD (12t)	ETD (125,5t)
2C	com 2	6	10	16
3C	com 3	6	17	23
2S2	com 4	6	10	17
2S3	com 5	6	10	25,5
3S3	com 6	6	10	32
3D4	com 7	6	10	37,42
3T6	com 9	6	10	17,49
% por tipo de eixo (%)		42	50	187, 26
Ponderação /Peso de eixo (%)		13,8	16,4	61,4
				8,4
				305

Parte B – Distribuição dos veículos e ponderação quanto aos tipos de eixo

Composição do tráfego

Hipóteses de distribuição de carga da frota

Veículos comerciais que trafegam com: Sobrecarga: 15 % Carga máxima legal 80 % e Vazio 5 %

Tipo de Eixo	Ponderação (%)	Particularização de Vt por Carga	Fator de eixo (%)	Número de repetições previstas			Cargas por eixo
				Sobrecarga (30%)	Carregado	Vazio	
ESRS (6t)	13,8	2725669	2	8177	43611	2726	7,8
ESRD (10t)	16,4	3248444	2	9735	51918	3245	13,0
ETD (17t)	61,4	12135717	3	54611	291257	18204	22,1
ETT (25,5t)	8,4	1654870	3	7447	39717	2482	33,2

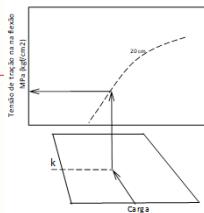
Resumindo: ao longo de 20 anos, irão passar 291.257 eixos tandem duplo (ETD) carregado com 17 t.

Dimensionamento de pavimento de concreto – PCA 84

Roteiro para determinação da tensão de tração a flexão na fibra inferior da camada de concreto

$$\sigma = \frac{12P(1-p)}{\pi k^2} \int_0^{\infty} \frac{w^2 \cos \frac{\pi w}{k}}{1 + 4(1-p)w^2 - (1-p)^2 w^4} dw$$

Equação de Westergaard



Ábacos de G. Picket e Ray (ESRD, ETD e ETT)

Composição do tráfego

$$V_t = 19.761.100 \text{ veículos}$$

Hipóteses de distribuição de carga da frota
Veículos comerciais que trafegam com: Sobrecarga: 15 % Carga máxima legal 80 % e Vazio 5 %

Tipo de Eixo	Ponderação (%)	Particularização de Vt por carga	Fator de eixo (%)
ESRS (6t)	13,8	2725669	2
ESRD (10t)	16,4	3248444	2
ETD (17t)	61,4	12135717	3
ETT (25,5t)	8,4	1654870	3

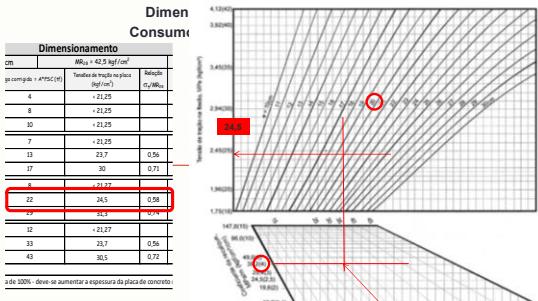
Dimensionamento com verificação do Consumo de Resistência por Fadiga (CRF)

Determinação Número 01				Dimensionamento
Type de eixo	Condição	Carga por eixo (t)	Carga completa x FRC (t)	Coeficiente de reação (k) = 4 kg/cm²/cm
Simples (rodas simples)	Vazio	3,0	4	
	Carregado	6,0	8	
	Subcarregado	7,8	10	
Simples (rodas duplas)	Vazio	5,0	7	
	Carregado	10,0	13	
	Subcarregado	13,0	17	
Tandem Duplo	Vazio	6,0	8	
	Carregado	12,0	22	
	Subcarregado	21,1	29	
Tandem Triplo	Vazio	8,0	12	
	Carregado	20,5	33	
	Subcarregado	32,2	43	

CONCLUSÃO: Valor do CRF não satisfatório. Muito acima de 100% - deve-se ajustar

FSC fator de segurança de carga relaciona-se com a forma de aplicação da carga no pavimento (cíclica) comparativamente a forma do ensaio em laboratório do concreto (estática)

FATEC – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

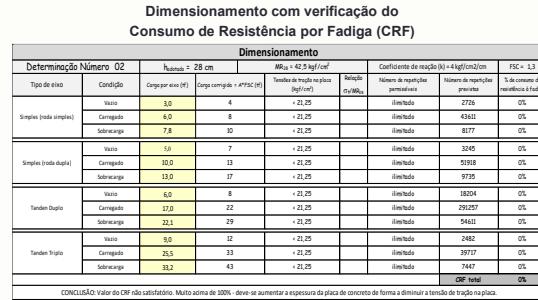


MATERIAS DE PAVIMENTAO

PROF. DR. EDSON DE MOURA

13

FATEC – Faculdade de Tecnologia de São Paulo



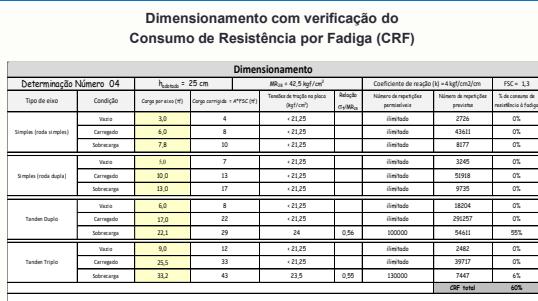
Teste 2 de placa com 28 cm. Não houve CRF foi de 0%. Espessura muito alta!

MATERIAS DE PAVIMENTAO

PROF. DR. EDSON DE MOURA

15

FATEC – Faculdade de Tecnologia de São Paulo



Teste 4 de placa com 25 cm, CRF foi de 60%. Compatível!

MATERIAS DE PAVIMENTAO

PROF. DR. EDSON DE MOURA

17

FATEC – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Dimensionamento com verificação do Consumo de Resistência por Fadiga (CRF)

Dimensionamento								
Determinação Número 01	h _{placa} = 20 cm	MR _{0,5} = 42,5 kgf/cm ²	Coeficiente de reação (N) = 4 kgf/cm ² /cm	FSC = 1,3				
Relação de tensões de repeticções de carga	Relação de tensões de repeticções de carga	Relação de tensões de repeticções de carga	Relação de tensões de repeticções de carga	Relação de tensões de repeticções de carga	Tensão de tração na placa (kgf/cm ²)	Resíduo Cr/MR _{0,5}	Número de repeticões permanecentes	Número de repeticões parciais
0,50	0,68	0,68	0,68	0,68	+21,25	Resíduo	2776	0%
0,51	400 000	0,69	2 500	0,69	+21,25	Resíduo	43611	0%
0,52	300 000	0,70	3 500	0,70	+21,25	Resíduo	5177	0%
0,53	240 000	0,71	4 500	0,71	+21,25	Resíduo	8177	0%
0,54	180 000	0,72	5 500	0,72	+21,25	Resíduo	3249	0%
0,55	130 000	0,73	6 500	0,73	+21,25	Resíduo	300 000	51,92
0,56	100 000	0,74	650	0,74	+21,25	Resíduo	5918	51,92
0,57	75 000	0,75	496	0,75	+21,25	Resíduo	1 500	9735
0,58	50 000	0,76	396	0,76	+21,25	Resíduo	2776	64,97
0,59	42 000	0,77	270	0,77	+21,25	Resíduo	1 500	9334
0,60	30 000	0,78	210	0,78	+21,25	Resíduo	2776	10930,2
0,61	24 000	0,79	160	0,79	+21,25	Resíduo	57 000	510,98
0,62	18 000	0,80	120	0,80	+21,25	Resíduo	54 611	840,65
0,63	14 000	0,81	90	0,81	+21,25	Resíduo	32 49	10,72
0,64	11 000	0,82	70	0,82	+21,25	Resíduo	2 482	
0,65	8 000	0,83	50	0,83	+21,25	Resíduo	39 717	39,72
0,66	6 000	0,84	40	0,84	+21,25	Resíduo	42 000	10,72
0,67	4 500	0,85	30	0,85	+21,25	Resíduo	7 447	67,99

*) igual à tensão de tração na fissura devido à carga dividida pela resistência ao esforço de fadiga.

LIGULADOU VÁRIOS LÓPES NO INSTRUMENTO. MUITO SOMA DE 100% - deve-se aumentar a espessura da placa de concreto de forma a diminuir a tensão de tração na placa.

Teste de placa com 20 cm, CRF foi de 10930%. Muito alto!

PROF. DR. EDSON DE MOURA

MATERIAS DE PAVIMENTAO

PROF. DR. EDSON DE MOURA

PROF. DR. EDSON DE MOURA

FATEC – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Dimensionamento com verificação do Consumo de Resistência por Fadiga (CRF)

Dimensionamento								
Determinação Número 03	h _{placa} = 23 cm	MR _{0,5} = 42,5 kgf/cm ²	Coeficiente de reação (N) = 4 kgf/cm ² /cm	FSC = 1,3				
Relação de tensões de repeticões de carga	Relação de tensões de repeticões de carga	Relação de tensões de repeticões de carga	Relação de tensões de repeticões de carga	Relação de tensões de repeticões de carga	Tensão de tração na placa (kgf/cm ²)	Resíduo Cr/MR _{0,5}	Número de repeticões permanecentes	Número de repeticões parciais
0,50	0,68	0,68	0,68	0,68	+21,25	Resíduo	2776	0%
0,51	400 000	0,69	2 500	0,69	+21,25	Resíduo	43611	0%
0,52	300 000	0,70	3 500	0,70	+21,25	Resíduo	5177	0%
0,53	240 000	0,71	4 500	0,71	+21,25	Resíduo	8177	0%
0,54	180 000	0,72	5 500	0,72	+21,25	Resíduo	3249	0%
0,55	130 000	0,73	6 500	0,73	+21,25	Resíduo	300 000	51,92
0,56	100 000	0,74	650	0,74	+21,25	Resíduo	5918	51,92
0,57	75 000	0,75	496	0,75	+21,25	Resíduo	1 500	9735
0,58	50 000	0,76	396	0,76	+21,25	Resíduo	2776	64,97
0,59	42 000	0,77	270	0,77	+21,25	Resíduo	1 500	9334
0,60	30 000	0,78	210	0,78	+21,25	Resíduo	2776	10930,2
0,61	24 000	0,79	160	0,79	+21,25	Resíduo	57 000	510,98
0,62	18 000	0,80	120	0,80	+21,25	Resíduo	54 611	840,65
0,63	14 000	0,81	90	0,81	+21,25	Resíduo	32 49	10,72
0,64	11 000	0,82	70	0,82	+21,25	Resíduo	2 482	
0,65	8 000	0,83	50	0,83	+21,25	Resíduo	39 717	39,72
0,66	6 000	0,84	40	0,84	+21,25	Resíduo	42 000	10,72
0,67	4 500	0,85	30	0,85	+21,25	Resíduo	7 447	67,99

CONCLUSÃO: Valor do CRF não satisfatório. Muito acima de 30% - deve-se aumentar a espessura da placa de concreto de forma a diminuir a tensão de tração na placa.

Teste 3 de placa com 23 cm. CRF foi de 338%. CRF muito alto! Precisa aumentar a espessura da placa

PROF. DR. EDSON DE MOURA

MATERIAS DE PAVIMENTAO

PROF. DR. EDSON DE MOURA

PROF. DR. EDSON DE MOURA

FATEC – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Obrigado pela atenção

Nosso curso de Projeto de Pavimento
fimda aqui!

MATERIAS DE PAVIMENTAO

PROF. DR. EDSON DE MOURA

MATERIAS DE PAVIMENTAO

PROF. DR. EDSON DE MOURA

17