

ANÁLISE NUMÉRICA DO EFEITO DO SOBREPESO SOBRE O PAVIMENTO RODOVIÁRIO

NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF OVERWEIGHT ON ROAD PAVEMENT

BARBOSA, Isa Lorena Silva

Analista de Infraestrutura, DNIT

isa_barbosa@hotmail.com

SOARES, Verônica Ferreira

Graduanda de Engenharia Civil, UniEvangélica

veronica.soares@aluno.unievangelica.edu.br

RESUMO:

No presente trabalho foi desenvolvida uma análise empírico-matemática dos efeitos do excesso de cargas no trecho Anápolis/Cocalzinho de Goiás da BR-414, objetivando demonstrar através de cálculos, como o sobrepeso de veículos de carga pode diminuir a vida útil do pavimento. Para tanto, foi feita uma previsão da vida útil do pavimento em função do número N, quando as cargas previstas no dimensionamento são acrescidas em 10,15 e 20%. Com os resultados pode-se concluir que, como consequência da falta de conscientização por parte das transportadoras, um aumento de carga de 10%, por exemplo, pode diminuir pela metade, a vida útil da via pavimentada.

Palavras-chave: Pavimento flexível. Excesso de carga. Dimensionamento.

ABSTRACT:

In the present work an empirical-mathematical analysis of the effects of the excess of loads in the Anápolis / Cocalzinho de Goiás section of the BR-414 was developed, aiming to demonstrate through calculations how the overweight of vehicles of load can decrease the useful life of the pavement. For this, a prediction of the useful life of the pavement was made in function of the number N, when the loads foreseen in the sizing are increased by 10, 15 and 20%. With the results it can be concluded that, as a consequence of the lack of awareness on the part of the carriers, a load increase of 10%, for example, can reduce in half the useful life of the paved road.

Keywords: Flexible pavement. Excessive load. Sizing.

1. INTRODUÇÃO

Em uma entrevista no Enaex (Encontro Nacional de Comércio Exterior) 2017, Tito Silva gerente de regulação e transporte multimodal de cargas da ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), disse que o transporte rodoviário corresponde a 65% da matriz de transporte de carga em toneladas por quilômetro úteis do Brasil, contudo, a CNT (Confederação Nacional de Transportes) apontou que 57,3% das rodovias são deficientes no estado geral de conservação (2017). Essa deficiência pode estar diretamente ligada aos efeitos do excesso de cargas, já que o Brasil apresenta um grande déficit no controle e fiscalização de sobrepeso rodoviário.

Segundo Senço (2007), um dos fatores que mais influenciam no dimensionamento do pavimento, é o tráfego, que solicitará uma via durante toda sua vida útil de serviço. Tais solicitações ao longo de um período “P” para qual o pavimento foi projetado, são representadas por um ciclo de esforços dinâmicos em determinado ponto, repetições de um eixo padrão de veículos, determinado pelo parâmetro “N”.

Este trabalho tem por finalidade, demonstrar através do estudo de caso da BR 414, como a excedência de cargas, acima do previsto pelo cálculo do número “N” de um dimensionamento, pode afetar a vida útil de um pavimento.

2. EXCESSO DE PESO NAS RODOVIAS

Ao dimensionar um pavimento, dois elementos são levados em consideração: o peso por eixo de roda e o número de vezes que o veículo vai passar pelo trecho a ser pavimentado. Se algumas dessas variáveis fugirem do previsto, há um decréscimo significativo na vida útil do pavimento, conseqüentemente o aparecimento de patologias que podem colocar em risco a segurança e conforto dos usuários.

No intuito de evitar esse tipo de problema, leis e resoluções são reguladas pelo CONTRAN e o DNIT, sendo aplicadas através da PRF (Polícia Rodoviária Federal) e pelo próprio DNIT, por intermédio de balanças. Porém infelizmente na prática, a fiscalização ainda não se faz suficiente, expondo o pavimento e os próprios usuários aos riscos eminentes causados pelo peso excedido pelas transportadoras de cargas nas rodovias.

3. NÚMERO N

O efeito devastador que o excesso de peso provoca, pode ser constatado no dimensionamento do pavimento que segundo o DNER, através do Fator de Equivalência de Carga utilizado na equação, determina o número equivalente de solicitações do eixo padrão (N). Tal parâmetro pode ser definido pela seguinte equação:

$$N = 365 * P * VM * Fv * Fr \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

365= Dias do ano.

P= Período de projeto (período para qual o pavimento foi projetado).

Vm= Volume médio diário.

Fv= Fator de veículo.

Fr= Fator climático regional.

3.1. VOLUME MÉDIO DE VEÍCULOS

O volume médio diário de tráfego é definido como a soma do volume total de veículos que passam por uma determinada via em um sentido, levando em consideração que esse número não é constante, admitindo uma taxa de crescimento anual (DNIT,2006). Seu cálculo é expresso pela seguinte equação:

$$Vm = Vo \frac{(2+P*t)}{2} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

Vm= Volume médio diário.

Vo = Volume de tráfego inicial (num mesmo sentido de tráfego/ nº de faixas da via num mesmo sentido).

P= Período de projeto.

t= Taxa de crescimento anual de tráfego.

3.2. FATORES DE TRÁFEGO

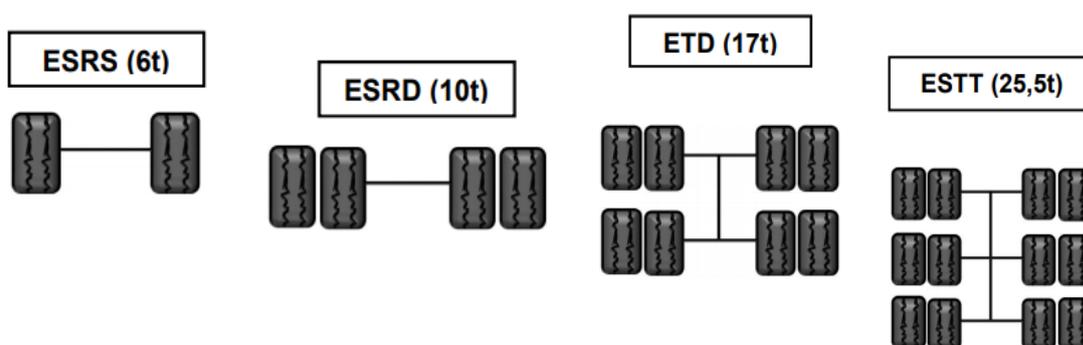
Devido a variabilidade de tipos de veículos e cargas transportadas, o tráfego se torna um dos fatores mais difíceis de serem previstos e quantificados no processo de dimensionamento do pavimento. Além do volume do tráfego, também é levado em consideração as cargas distribuídas

nos diferentes tipos de eixos veiculares, padronizados pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

3.2.1. Tipos de Eixos

Os principais eixos que circulam nas rodovias brasileiras são: Eixo Simples de Roda Simples (ESRS), Eixo Simples de Roda Dupla (ESRD), Eixo Tandem Duplo (ETD) e Eixo Tandem Triplo (ETT). Cada um deles tem um limite de carga específico regulamentado pela resolução Nº 210/06 do CONTRAN, conforme demonstrado na figura a seguir:

Figura1 - Tipos de eixos e seus limites de carga



Fonte: Autor, 2017.

3.2.2. Fator de Veículo

Objetivando a compensação da grande variedade de veículos e cargas, o Fator de Veículo transforma essa diversidade em operações de um eixo padrão através do produto do Fator de Eixo pelo Fator de Equivalência de Carga (Senço,2007).

3.3.1 Fator de Eixo

Devido à grande variedade de eixos veiculares, esse parâmetro foi criado para determinar o número médio de eixos por veículos que trafegam numa rodovia (Senço,2007). Seu cálculo é dado através da equação:

$$Fe = \sum (Ne * \%NE) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

Fe= Fator de eixo.

Ne= Número eixos por veículo.

%Ne= Porcentagem da quantidade de eixo por veículo em relação ao total.

3.2.3. Fator de Equivalência de Carga

Segundo o Manual da Pavimentação (DNIT), através dos métodos AASHTO e USACE, o Fator de Equivalência de Carga (FEC) transforma qualquer carga em um número equivalente de solicitações de um eixo padrão em função do tipo de eixo. Para efeito de cálculo usa-se o método que tiver o maior valor. As expressões para os cálculos dos FECs, são apresentadas na Tabela 01:

Tabela 1 – Fatores de equivalência de Carga

Fator de Equivalência de Carga AASHTO		Fator de Equivalência de Carga USACE	
EIXOS E CARGAS	Equações (P em tf)	EIXOS E CARGAS	Equações (P em tf)
ES> 0-8 ≥8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$ $FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$	ESRS – 6t	$FC = \left(\frac{P}{7,77}\right)^{4,32}$
TD> 0-11 ≥11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$ $FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$	ESRD- 10t	$FC = \left(\frac{P}{8,17}\right)^{4,32}$
TT> 0-18 ≥18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$ $FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$	ETD- 17t	$FC = \left(\frac{P}{15,08}\right)^{4,14}$
		ETT- 25,5t	$FC = \left(\frac{P}{22,95}\right)^{4,22}$

Fonte: AASHTO e USACE (DNIT, 2006) Adaptada

O fator de carga é dado pela equação:

$$Fc = \sum \frac{\text{Equivalências}}{100} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

Fc= Fator de Cargas.

Equivalências= Produto de %NE pelo FEC.

3.2.4. Fator Climático Regional

A estrutura do pavimento pode responder de diferentes formas á mesmas cargas, sob diferentes condições climáticas. A tabela a seguir foi sugerida para o Brasil pelo DNER e mostra os valores do Fator Climático Regional a serem adotados segundo a altura média da chuva na região:

Tabela 02 – Fator Climático Regional em Função da Precipitação Anual

Altura média de Chuva (mm)	Fator Climático Regional (FR)
Até 800 mm	0,7
De 800 a 1500 mm	1,4
Mais de 1500 mm	1,8

Fonte: (DNER,1996).

4. METODOLOGIA

Esse trabalho foi desenvolvido mediante uma revisão bibliográfica realizada através de uma pesquisa informatizada de literatura e estudos nacionais, utilizando como fundamento teórico as metodologias AASHTO e USACE para o cálculo de Fator de Equivalência de Carga.

Os dados para o estudo de caso, cedidos pelo DNIT-GO, é do trecho da BR-414 localizado em Planalmira de Goiás. A partir deles foi possível calcular o número N do trecho, posteriormente usá-lo para a obtenção da redução da vida útil em anos do pavimento.

5. RESULTADOS

De acordo com os dados fornecidos pelo DNIT, o volume médio diário (Vm) do trecho Anápolis/Cocalzinho da BR-414 é de 317 veículos/dia, com uma taxa de crescimento anual de tráfego de 3%.

A pesquisa de tráfego indicou a seguinte distribuição dos veículos por eixos:

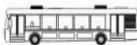
- Veículos com 2 eixos: 85,42%
- Veículos com 3 eixos: 13,30%
- Veículos com 4 eixos: 1,12%
- Veículos com 7 eixos: 0,16%

Aplicando na equação de Fator de eixo tem-se:

$$Fe = \sum(Ne * \%NE) = (2 * 0,8542) + (3 * 0,1330) + (4 * 0,0112) + (7 * 0,0016) = \mathbf{2,16}$$

Segue abaixo a tabela com os nomes, silhuetas e tipos de eixos por veículos presentes na pesquisa de tráfego:

Tabela 03 – Codificação de Classe veicular, suas respectivas silhuetas e números de eixos

VEÍCULOS	EIXOS				VEÍCULOS	EIXOS			
	ESRS	ESRD	ETD	ETT		ESRS	ESRD	ETD	ETT
ÔNIBUS 	1	1			2S3 	1	1		1
TRIBUS 	1		1		3S2 	1		2	
2C 	1	1			3S3 	1		1	1
3C 	1		1		3D4 	1		3	
2S2 	1	1	1		3D6 	1	4	2	

Fonte: (Autor,2017).

Para encontrar o valor do fator de equivalência foi usado os valores dos FECs do método USACE por ter sido o método da qual apresentou maior valor.

Tabela 05 – Valores de Fator de Equivalência de Carga por tipo de veículo no método USACE

VEÍCULOS	NE	%NE	FEC
ONIBUS	02	11,38	3,57
TRIBUS	02	2,26	8,83
2C	02	42,95	3,57
3C	02	28,53	8,83
2S2	03	0,64	12,12
2S3	03	6,09	12,87
3S2	03	0,64	17,38
3S3	03	5,93	18,13
3D4	04	1,12	25,92
3D6	07	0,16	30,53
TOTAL (%NE*FEC) =			704,24

Fonte: (Autor,2017).

Aplicando na equação do Fator de Cargas tem-se:

$$F_c = \sum \frac{\text{equivalências } (\%NE * FEC)}{100} = \sum \frac{704,24}{100} = 7,04 \quad \text{Equação (5)}$$

O fator de veículo é dado pelo produto do Fator de Eixo pelo Fator de Carga, portanto:

$$F_v = F_e * F_c = 2,16 * 7,04 = 15,20$$

Para o cálculo do número N, foi adotado um período de projeto de 10 anos e Fator Climático Regional de 1,0.

Dessa forma tem-se:

$$N = 365 * P * VM * Fv * FrN = 365 * 10 * 317 * 15,25 * 1 = \mathbf{1,76x10^7}$$

Em posse do número N, foi feita uma variação da fórmula, onde isolou-se o período de projeto em função do aumento de carga em 10% 15% e 20%:

$$P = \frac{N}{365 * VM * Fv * Fr} \quad \text{Equação (6)}$$

O aumento de carga foi aplicado no limite de carga de cada tipo de eixo e posteriormente aplicados nas fórmulas de equivalência de carga. Os resultados escolhidos foram do método USACE, que foi o método que apresentou maior valor de resultados. As novas equivalências encontradas foram:

Tabela 06 – Valores de Fator de Equivalência de Carga com aumento de carga em 10,15 e 20%.

Equivalências (%NE * FEC)		
10%	15%	20%
1.213,96	1.563,20	1.899,99

Fonte: (Autor,2017)

Aplicando as novas equivalências na equação de FC, tem-se:

Para acréscimo de 10% de carga:

$$Fc = \sum \frac{\text{equivalências (\%NE * FEC)}}{100} = Fc = \sum \frac{1.213,96}{100} = \mathbf{12,139}$$

Para acréscimo de 15% de carga:

$$Fc = \sum \frac{\text{equivalências (\%NE * FEC)}}{100} = Fc = \sum \frac{1.563,20}{100} = \mathbf{15,632}$$

Para acréscimo de 20% de carga:

$$Fc = \sum \frac{\text{equivalências } (\%NE * FEC)}{100} = \sum \frac{1.899,99}{100} = 18,999$$

Para obter o decréscimo da vida útil, o último passo é aplicar os valores até aqui encontrados na fórmula do P isolado:

Para acréscimo de 10% de carga:

$$P = \frac{N}{365 * VM * Fv * Fr} = \frac{1,76x10^7}{365 * 317 * (2,37 * 12,139) * 1} = 5,29 \text{ anos}$$

Para acréscimo de 15% de carga:

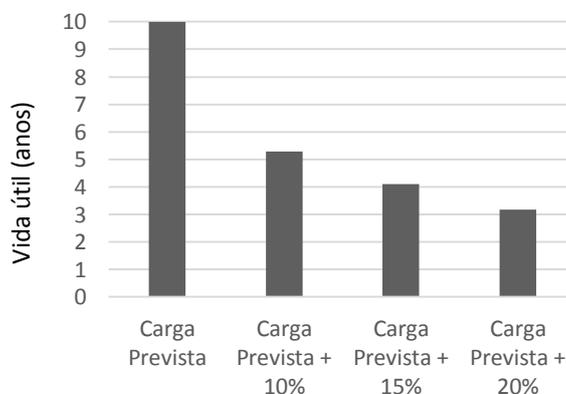
$$P = \frac{N}{365 * VM * Fv * Fr} = \frac{1,76x10^7}{365 * 317 * (2,37 * 15,632) * 1} = 4,10 \text{ anos}$$

Para acréscimo de 20% de carga:

$$P = \frac{N}{365 * VM * Fv * Fr} = \frac{1,76x10^7}{365 * 317 * (2,37 * 18,999) * 1} = 3,17 \text{ anos}$$

O gráfico a seguir demonstra de maneira sucinta como o excesso de peso não previsto pelo dimensionamento, pode reduzir drasticamente a vida útil do pavimento:

Figura 02. Gráfico de redução de vida útil.



Fonte: Autor, 2017

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os resultados obtidos neste trabalho, pôde-se concluir que quando há um acréscimo de peso de carga em caminhões transportadores 10% acima do especificado por lei, há uma diminuição de aproximadamente 5 anos na vida útil do pavimento. Assim como no acréscimo de 15% e 20% de peso, um decréscimo próximo de 6 e 7 anos respectivamente.

Segundo o DNIT (2017), em todo o Brasil, apenas cinco estados têm balanças para pesar os caminhões e verificar se eles levam excesso de cargas. Pelos levantamentos feitos nessas balanças, sabe-se que muitos veículos transportadores ultrapassam os 20% do limite permitido por lei. As consequências do carregamento excessivo de peso afetam não só os usuários das rodovias como também de todos os brasileiros, já que com o aparecimento de patologias no asfalto, há um aumento três vezes maior em obras de restauração, acarretando em custos que poderiam ser evitados, congestionamentos de veículos e riscos de contaminação do meio ambiente.

Assim, a análise realizada nesse trabalho fornece uma noção do tamanho da influência que o excesso de carga provoca na redução da vida útil do pavimento e confirma a necessidade do aumento da fiscalização com balanças nas rodovias brasileiras.

REFERÊNCIAS

- BERNUCCI, L. B. et al. (2007) Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros, Rio de Janeiro.
- CNT (2017), Anuário CNT do transporte – Estatísticas Consolidadas. Confederação Nacional do Transporte. Brasília.
- CONTRAN (2006), Resolução nº 210/06 de 13/11/2006. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências, Brasília.
- DNER (1981), Método de projetos de pavimentos flexíveis. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro.
- DNIT. (2006). Manual do estudo de tráfego. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos de Pesquisa. 3. ed. Rio de Janeiro.
- FONTENELE, H. B.; Zanincio, C. E.; Junior, C. P.(2011) O excesso de peso nos veículos rodoviários de carga e seu efeito, Londrina.
- SENÇO, W.(2007) Manual de técnicas de pavimentação, Vol. 1, 2º ed., Pini, São Paulo.