



AVALIAÇÃO DA SOBRECARGA NA VIDA ÚTIL DE PAVIMENTO FLEXÍVEL – ESTUDO DE CASO EM VEÍCULOS DE USINA SUCROALCOOLEIRA

Diogenes Costa de Carvalho¹, Ruiteir da Silva Souza², Ricardo de Oliveira Mota³,
Victor Gomes Barbosa⁴

RESUMO

O dimensionamento de um pavimento flexível depende diretamente da carga aplicada pelos eixos dos veículos que solicitam esse pavimento, por meio de uma conversão em um número de repetições de um eixo tomado como padrão, número N. Com isso, a vida útil do pavimento é diretamente ligada a essa carga dos veículos transmitida ao mesmo. O presente trabalho se propõe a mostrar os efeitos danosos causados pelos veículos com cargas superiores às permitidas em resolução do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, usando como estudo de caso os dados obtidos junto à uma usina sucroalcooleira do estado de Goiás. A análise levou em consideração a carga real de apontamentos realizados na usina, a carga total permitida pela resolução e a permitida pela regulamentação com a sobrecarga limite, estabelecendo um fator de equivalência entre o eixo padrão, realizando a simulação do número N de cada uma dessas situações. Obteve-se, a partir da análise, resultados que demonstram pouca diferença entre o número N obtido considerando os veículos totalmente carregados com a carga limite da resolução do CONTRAN e o número N obtido com cargas máximas e a sobrecarga permitida. Já para o número N obtido com os limites da resolução em relação ao N calculado com a carga real levantada, obteve-se diferenças de mais de 45%, o que representou uma redução de vida útil que chegou a mais de 50%.

PALAVRAS-CHAVE: sobrecarga, número N, vida útil, desempenho do pavimento.

ABSTRACT

The dimensioning of a flexible pavement depends directly on the load applied by the axes of the vehicles requesting that pavement, by means of a conversion in a number of repetitions of a standard axis, number N. As a result, the service life of the pavement is directly linked to that vehicle load transmitted to it. This paper aims to show the harmful effects caused by vehicles with loads higher than those allowed in a resolution of the National Traffic Council - CONTRAN, using as a case study the data obtained from a sugar and alcohol plant in the state of Goiás. The analysis took into account the actual load of notes made at the plant, the total load allowed by the resolution and that allowed by the regulation with the overload limit, establishing an equivalence factor between the

¹ Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. E-mail: diogenesjatai@yahoo.com.br

² Pontifícia Universidade Católica de Goiásruiteirsilva@gmail.com

³ Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. E-mail: ricardo.mota@dnit.gov.br

⁴ Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. E-mail: eng.victorbarbosa@gmail.com



standard axis, simulating the N number of each of those situations. From the analysis, it obtained results that show little difference between the number N obtained considering the vehicles fully loaded with the load limit of the resolution of the CONTRAN and the number N obtained with maximum loads and the allowed overload. As for the number N obtained with the limits of the resolution in relation to the N calculated with the actual load lifted, differences of more than 45% were obtained, which represented a reduction of useful life that reached more than 50%.

KEY WORDS: overload, number, service life, pavement performance.

INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário de carga no Brasil é o principal meio de escoamento da produção nacional, respondendo por 61%, mesmo sendo somente 12,4% das rodovias pavimentadas. Entre 2008 e 2018 o crescimento da malha rodoviária pavimentada cresceu 8,4%, enquanto a frota de veículos cresceu 82,4% no mesmo período. Isso mostra o tanto que as rodovias brasileiras se encontram sobrecarregadas (CNT, 2018).

A pavimentação de ruas, avenidas, rodovias e outras vias tem sempre o objetivo final de obter uma confortável trafegabilidade e segurança dos usuários. Antes de dimensionar qualquer pavimento devem ser realizados consistentes estudos de tráfego para obter um bom resultado, ou seja, fazer com que as camadas do pavimento fiquem estáveis e compatíveis com o padrão necessário da obra durante a vida útil, sem esquecer a economia.

Estudos realizados por ALBANO (2005) mostram que a vida útil do pavimento diminui drasticamente com a elevação da carga atuante sobre ele, além da prevista em projeto. Isso é uma constante nas rodovias brasileiras, pois, para as empresas transportadoras, é interessante trafegar com sobrecarga, na medida que isso minimiza o número de viagens, maximizando os lucros.

A ocorrência dessa sobrecarga gera danos ao pavimento como fissuras, trincas, buracos, dentre outros, o que leva à um aumento no custo de manutenção das rodovias durante sua vida útil, e no âmbito público, isso causa um déficit financeiro que poderia ser aplicado em outras áreas prioritárias.

Uma atenção especial deve ser dada para o dimensionamento dos pavimentos no Brasil, que ainda é realizado por método desatualizado, visto que os veículos transportadores evoluíram, possuindo diversas configurações de eixos e uma capacidade maior de carga. Isso, somando a falta de fiscalização e manutenção nas rodovias, traz inúmeros transtornos.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As cargas que solicitam a estrutura do pavimento ao longo de um período “P”, para o qual é projetado o pavimento, são representadas pela ação do ciclo de carregamento e descarregamento em um determinado ponto fixo da superfície de rolamento, quando da passagem das rodas dos veículos.

O dano causado pela passagem de cada veículo é, usualmente, de pequena magnitude, mas o efeito acumulativo deste dano é que determina a resistência de vida à fadiga dos pavimentos. No Brasil, os pavimentos são dimensionados conforme um número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão durante um período de projeto definido (DNIT, 2006a).

Conforme DNIT (2006b), cálculo do número “N”, que é o número de repetições (ou operações) do eixo padrão rodoviário de 8,2 tf, equivalente à determinada frota, durante o período considerado de vida útil do pavimento, é determinado por:

$$N_i = 365 \times VMD_{ai} \times FV \times FR \times FP;$$

(1)

em que:

N_i = Número equivalente de operações do eixo-padrão de 8,2t para o ano “i”;

VMD_{ai} = Volume de Tráfego Diário Médio Anual;

FV = Fator de veículos

VMD_{ai} = Somatório do volume de tráfego comercial (ônibus + veículos de carga) ocorrente no trecho até o ano “i”;

FP = Fator de Pista;

FR = Fator Climático Regional.

Na metodologia estabelecida por DNIT (2006b), somente veículos pesados (caminhões e ônibus) são considerados, e seus eixos dianteiros direcionais são sempre com rodagem singela, podendo ser contemplado a montagem de dois eixos dianteiros direcionais, de acordo com a legislação.

Geralmente, eixos traseiros dos veículos comerciais são com rodagem dupla, utilizando a suspensão tipo bogie, que é utilizada em veículos com tração 6x4, ou a suspensão balancim, utilizada em veículos com tração 6x2. Nos dois modelos, os eixos



trabalham em conjunto. Quando passam em alguma depressão, o primeiro eixo desce enquanto que o outro sobe, vantagem de que sempre os pneus estão em contato com o solo.

Os eixos são classificados em:

ESRS - Eixo Simples Roda Simples – carga máxima 6t

ESRD - Eixo Simples Roda Dupla – carga máxima 10t

ETD - Eixo TANDEM Duplo - carga máxima 17t

ETT - Eixo TANDEM Triplo - carga máxima 25,5t

Os dados do tráfego são obtidos através de contagens volumétricas classificatórias, e conforme a IS DNIT (2005), as contagens de tráfego devem ser feitas em postos de contagem em número suficiente, durante sete dias, de 24 horas, para caracterização completa do tráfego.

Além dos dados de contagem levantados, devem ser usados dados do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), visando verificação e complementação das contagens efetuadas, assim como embasamento quanto às taxas de crescimento de tráfego a serem consideradas no projeto.

Os dois métodos usuais de dimensionamento de pavimentos recomendados pelo DNIT (2006b), "pavimentos novos - Método do Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE)" e "restauração - Método da American Association of Highway and Transportation Officials (AASHTO)".

O fator de Veículos é determinado em função da composição e da configuração de eixos da frota de veículos comerciais que demandam o trecho considerados, sendo:

$$FV = FE.FC$$

(2)

em que:

FC = Fator de carga;

FE = Fator de Eixos.

Conforme DNIT (2006b), a conversão do tráfego em um número equivalente de operações de um eixo definido como padrão é efetuada aplicando-se os *Fatores de Equivalência de Cargas* (FC). Tais fatores permitem converter uma aplicação de um



eixo solicitado por uma determinada carga em um número de aplicações do eixo-padrão que deverá produzir um efeito equivalente.

Para os limites legais para Peso excedente dos veículos, deve ser considerado 7,5% por eixo, e 5% PBT (Peso Bruto Total) do veículo.

Os fatores de equivalência da AASHTO baseiam-se na perda de serventia (PSI) e variam com o tipo do pavimento (flexível e rígido), índice de serventia terminal e resistência do pavimento (número estrutural – SN). Eles são diferentes dos obtidos pelo USACE, que avaliaram os efeitos do carregamento na deformação permanente (afundamento nas trilhas de roda) (DNIT, 2006b).

Os trechos experimentais da AASHTO e do USACE, forneceram subsídios para o desenvolvimento de fatores de equivalência de carga por eixo. As várias seções de pavimento foram submetidas ao carregamento de veículos com diferentes tipos de eixos e cargas. Foram avaliados os efeitos do carregamento na perda de serventia para diversas concepções de pavimento. Em Ferro *et al.* (2010) estão apresentados os fatores de equivalência referenciais da AASHTO e USACE.

Conforme Ferro *et al.* (2010), fator de Eixos é definido como sendo o número que multiplicado pelo número de veículos, dá o número de eixos correspondentes, que nada mais é que a média ponderada das quantidades percentuais dos diversos tipos de eixos que atuam no pavimento.

O tráfego considerado para efeito de projeto é o da faixa mais solicitada da rodovia. Na falta de dados mais precisos, na Tabela 1 são fornecidas indicações quanto às percentagens “c” de veículos comerciais (em relação ao tráfego comercial nos dois sentidos) na faixa de trânsito selecionada para o projeto. Desprezam-se os carros de passeio e os utilitários, por terem fatores de veículo muito baixos.

Tabela 1. Percentuais de veículos comerciais na faixa de projeto (DNIT, 2006b)

Número de Faixas de Tráfego da Rodovia	Percentual de Veículos Comerciais na faixa de projeto.
2 (pista simples)	50 %
4 (pista dupla)	35 a 48 %
6 ou mais (pista dupla)	25 a 48 %



O Fator climático Regional seria o responsável por levar em conta as variações de umidade dos materiais do pavimento, durante as estações do ano (o que se traduz em variações de capacidade de suporte dos materiais) o número equivalente de operações do eixo-padrão ou parâmetro de tráfego, N, deve ser multiplicado por um coeficiente (F.R.) que, na pista experimental da AASHTO, variou de 0,2 (ocasião em que prevalecem baixos teores de umidade) a 5,0 (ocasiões em que os materiais estão praticamente saturados) (DNIT, 2006a).

O valor final a ser adotado deve ser uma média ponderada dos diferentes coeficientes sazonais, levando-se em conta o espaço de tempo em que ocorrem.

DNIT (2006a) recomenda a adoção de um coeficiente, para projeto, um valor de C.B.R compreendido entre o que se obtém antes e o que se obtém depois da embebição, ou seja, um valor correspondente à umidade de equilíbrio. O valor comumente adotado para o FR é 1,0 (um), conforme resultados de pesquisas desenvolvidas no IPR/DNER.

Conforme a CONTRAN (2006), os pesos por eixos máximos dos veículos são definidos conforme a seguir:

ESRS - Eixo Simples Roda Simples - 6t

ESRD - Eixo Simples Roda Dupla - 10t

ETD - Eixo TANDEM Duplo - 17t

ETT - Eixo TANDEM Triplo - 25,5t

Já a CONTRAN (2015) estabelece o limite de 5% (cinco por cento) sobre os limites de pesos regulamentares para o peso bruto total (PBT) e 10% (dez por cento) sobre os limites de peso regulamentares por eixo de veículos transmitidos à superfície das vias públicas. Qualquer veículo que trafegar fora desse limite estabelecido, estará sujeito a sanções que vão desde multa até apreensão do veículo, passando por transbordo de carga excedente para liberação do veículo.

METODOLOGIA DA PESQUISA

Para a verificação da diminuição da vida útil do pavimento, objeto deste estudo, foram utilizados dados obtidos de uma usina sucroalcooleira do estado de Goiás. Tais dados correspondem às pesagens e contagem dos veículos de carga de transporte da matéria prima, a cana de açúcar.



Os dados obtidos são referentes à pesagem da safra do ano de 2008, que teve um período de transporte de 92 dias corridos. Foi adotada uma taxa de crescimento anual da frota de 3%.

Os veículos de transporte de carga correspondem, de acordo com a classificação de DNIT (2006b), aos tipos 3C e 3D3, Figura 1, conhecidos na usina como “Paliteiro” e “Romeu e Julieta”, respectivamente.

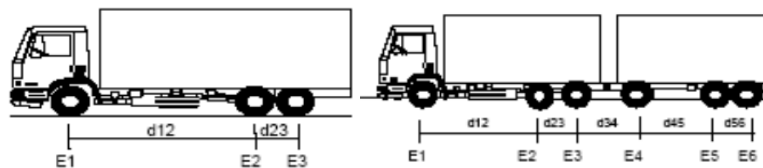


Figura 1. Veículos tipo 3C e 3D3 (DNIT, 2006b)

A análise do peso líquido fornecido por esta tabela, verificou-se que houve um acréscimo de aproximadamente 43% de carga no veículo tipo 3C e 31% no veículo tipo 3D3, em relação aos limites legais de carga, já acrescidos os 5% em relação ao PBT (Peso Bruto Total).

Para definição do número de passagens diárias de cada veículo, foi feita a média no prazo decorrente da safra, e encontrado o valor de 8 passagens diárias do veículo 3C e 121 passagens do veículo tipo 3D3.

Foram realizados os cálculos para três diferentes situações: para solicitações com cargas totais, cargas nos limites legais (5% a mais sobre o PBT), e a média das cargas reais obtidas pela pesagem da usina.

Na obtenção do número N, foi levado em consideração apenas o método USACE, para a obtenção dos fatores de equivalência de carga e para a determinação do peso por conjunto de eixo, nas três situações, foram impostas a cada eixo as cargas legais, sobrecarga máxima permitida e a carga real levantada, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2. Pesos por conjunto de eixo em cada categoria de veículo

CARREGAMENTO	Categoria	Pesos por Conjunto de Eixo (t)				FECj			
		CE1	CE2	CE3	CE4	CE1	CE2	CE3	CE4
CHEIO	3C	6	17	0	0	0,278	8,549	0,000	0,000



TOLERÂNCIA LEGAL		6,3	17,85	0	0	0,338	11,171	0,000	0,000
REAL		9,016	25,545	0,000	0,000	1,721	79,753	0,000	0,000
CHEIO	3D3	6	10	17	17	0,278	3,289	8,549	8,549
TOLERÂNCIA LEGAL		6,3	10,5	17,85	17,85	0,338	4,463	11,171	11,171
REAL		8,275	13,791	23,445	23,445	1,006	24,558	49,826	49,826

Logo em seguida, foi determinado fator de veículo individual (FVi) para cada conjunto de eixo, de cada categoria de veículo, nas três diferentes situações, como pode ser observado na Tabela 3.

A partir do FVi encontrou-se o fator de veículo (FV) da frota, levando em consideração a porcentagem de solicitação de cada veículo, como mostra a Tabela 4.

Tabela 3. Determinação dos FVi para cada conjunto de eixo de cada categoria de veículo

CATEGORIA	CE1	CE2	CE3	CE4	Fvi
CHEIO (3C)	0,278	8,549	0,000	0,000	8,827
TOLERÂNCIA (3C)	0,338	11,171	0,000	0,000	11,510
REAL (3C)	1,721	79,753	0,000	0,000	81,474
CHEIO (3D3)	0,278	3,289	8,549	8,549	20,665
TOLERÂNCIA (3D3)	0,338	4,463	11,171	11,171	27,144
REAL (3D3)	1,006	24,558	49,826	49,826	125,217

Tabela 4. Determinação de FV a partir de FVi



CATEGORIA	VMDa	Pi(%)	Fvi	Pi x Fvi
CHEIO (3C)	8	6,612	8,827	58,359
TOLERÂNCIA				
(3C)	8	6,612	11,510	76,096
REAL (3C)	8	6,612	81,474	538,671
CHEIO (3D3)	113	93,388	20,665	1929,872
TOLERÂNCIA				
(3D3)	113	93,388	27,144	2534,946
REAL (3D3)	113	93,388	125,217	11693,820

E, por fim, para obter o número N para as diferentes situações utilizou-se, além dos dados obtidos anteriormente, o fator de pista (FP) igual à 0,5 (Pista simples) e o fator climático igual à 1,0, conforme indicado em DNIT (2006b).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após análise dos dados obtidos e a aplicação das metodologias, pôde-se fazer a análise dos impactos das sobrecargas na vida útil do pavimento.

Quando se submete o pavimento a cargas na tolerância estabelecida pelo DNIT, nota-se que o número de repetições do eixo padrão, o número N, admissíveis no pavimento não altera consideravelmente, como mostra a Figura 2. Com isso, se, em um projeto hipotético, fossem usadas as cargas legais sem a sobrecarga, o N adotado seria de $5,03 \times 10^6$ e, caso todos os veículos, trafegassem usufruindo da tolerância legal de 5% em cada eixo, o N seria de $5,17 \times 10^6$, uma diferença de apenas 2,78%, não diminuindo consideravelmente a vida útil prevista.

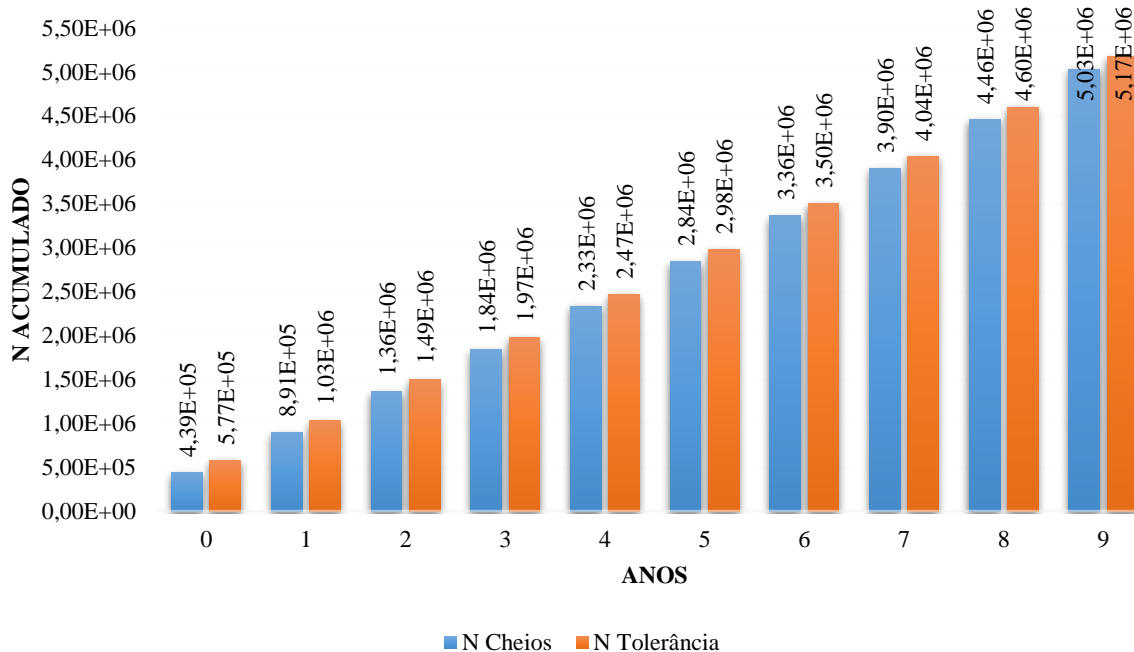


Figura 2. Limite Legal x Tolerância Legal

Já quando se leva em consideração as cargas reais, obtidas dos dados retirados da pesagem dos veículos de transportes da usina, nota-se grande impacto no número N, sendo apresentado na Figura 3 a análise do número de repetições dos veículos com cargas totais e na tolerância estabelecida pelo CONTRAN (2006), em decorrência de 10 anos de tráfego com uma taxa de crescimento de 3% ao ano.

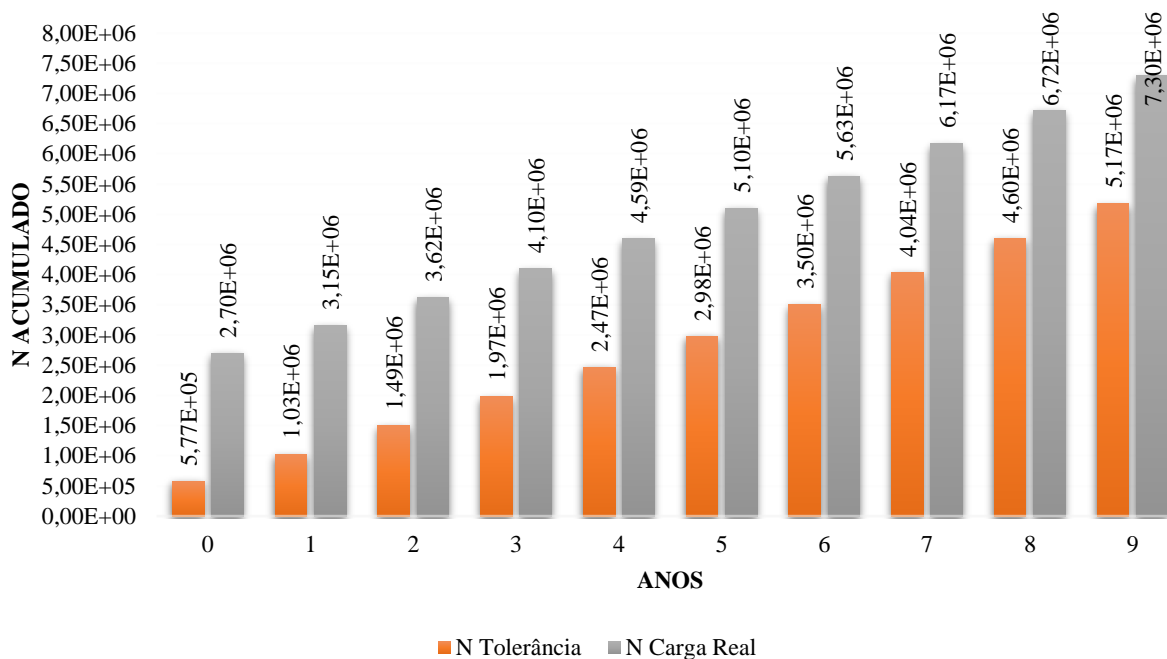


Figura 3. Tolerância Legal x Carga Legal

A Figura 4 apresenta a drástica diferença do número N calculado a partir da carga com tolerância legal em comparação com as cargas reais aplicadas pelos veículos de transporte da usina no pavimento. Nessa situação, o número de repetições alcançado no 10º ano pelos veículos em condições legais de tráfego é atingido pelos veículos da usina entre o 5º e o 6º ano de vida útil do pavimento, diminuindo em cerca 40% a vida útil do pavimento. Em relação a carga sem a tolerância é apresentada a Figura 4.

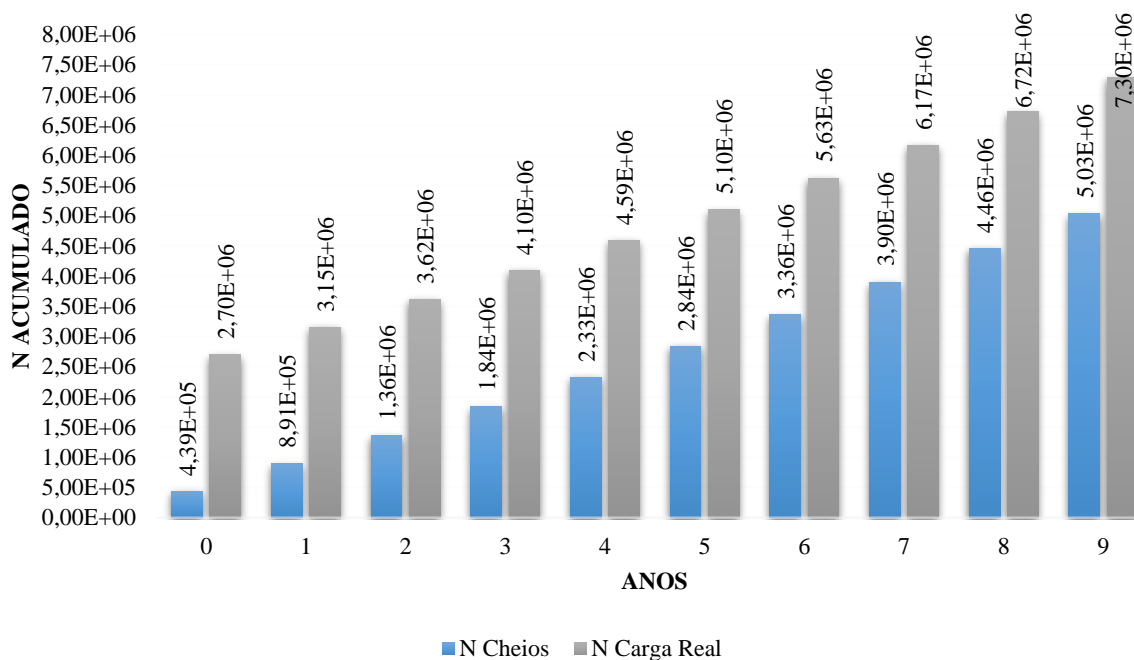


Figura 4. Limite Legal sem tolerância x Carga Real

Da análise da Figura 4 pode-se observar que a diferença chegou a mais de 45% entre os valores do número N e, caso fosse definido um projeto de pavimento usando o limite legal e fosse aplicada a carga correspondentes aos veículos da usina, a vida útil do pavimento seria atingida entre o 4 e o 5º ano, diminuindo a vida útil do pavimento em mais de 50%.

CONCLUSÕES

Como discutido, o cálculo do número N e os estudos de tráfego realizados para sua obtenção são decisivos no sucesso do dimensionamento de pavimentos.

No presente trabalho foram realizadas várias simulações no cálculo do número N para dimensionamento do pavimento com diferentes configurações de carga, sendo as cargas totais dos veículos de carga (veículos totalmente carregados sem sobrecarga) estabelecidas pelo CONTRAN (2006), cargas nos limites legais (5% a mais sobre o PBT), e a média das cargas reais obtidas pela pesagem de usina, sendo 31% e 43% superiores em relação aos limites legais.

Na primeira e na segunda situação não houve diminuições significativas na vida útil do pavimento. Na terceira situação houve uma redução significativa na vida útil do



pavimento, de 10 anos para 6 anos, reduzindo aproximadamente 40% do prazo de vida útil do pavimento.

Observando essa prerrogativa, diversos fatores são determinantes, como a segurança e conforto dos usuários que trafegam na rodovia, a destruição do patrimônio público devido à falta de uma fiscalização efetiva, gastos excessivos com manutenção em patologias, etc.

Com isso, vislumbra-se política públicas para combater esses tipos de ações indevidas de utilização da rodovia e conscientização dos usuários no sentido de cumprimento das determinações legais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, J. F. Efeitos dos Excessos de Carga Sobre a Durabilidade de Pavimentos. Porto Alegre, RS: Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul da UFRGS, 2005. 232p.

CNT Rodovias. Pesquisa CNT de rodovias 2018. Disponível em <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relatorio-gerencial>>. Acesso em: 14 de junho de 2019.

Conselho Nacional de Trânsito. Resolução CONTRAN nº 210 de 13 de novembro de 2006. Brasília, DF. 2006.

Conselho Nacional de Trânsito. Resolução CONTRAN nº 526 de 29 de abril de 2015. Brasília, DF. 2015.

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006a. 274p. (IPR. Publ., 719).

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de estudos de tráfego. - Rio de Janeiro, 2006b. 384 p. (IPR. Publ., 723).

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Instrução de Serviço nº 05 de 09/12/2005. Brasília, DF. 2005.

FERRO, Claudia Cristina.; SOBREIRO, Fernanda Pilati.; LEANDRO, Rodrigo Pires. Uma Investigação da Influência do Excesso de Carga no Dimensionamento de



ETIS

Journal of Engineering,
Technology, Innovation
and Sustainability

Pavimento Flexível: Um Estudo de Caso da Rodovia BR-364/163/MT. Coninfra 2010 - 4º Congresso de Infraestrutura de Transportes. São Paulo, 2010.

Manual de estudos de tráfego. - Rio de Janeiro, 2006. 384 p. (IPR. Publ., 723).

Manual de pavimentação. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719).

Soares, J.B.; Motta, L.M.G; Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2001; Volume:1; P381-389; XV ANPET; Campinas-SP.