

ARTIGO TÉCNICO: CONSIDERAÇÕES SOBRE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS UTILIZANDO UMA ABORDAGEM PROBABILÍSTICA

Autores: Caio Rubens Gonçalves Santos, Liedi Légi Bariani Bernucci e Carlos Yukio Suzuki

Apresentado por: Vinícius Bruno de Oliveira Araújo

Introdução

- Atualmente no Brasil se utiliza largamente em projetos de pavimentos asfálticos métodos de dimensionamento **determinísticos** que são:
 - Método da resistência do DNIT
 - Método do DER/SP
- Os parâmetros considerados em um projeto de pavimento de uma rodovia são de natureza **probabilística**.



Tratamento estatístico
não pode ser dispensado

Objetivo do artigo

Apresentar uma metodologia para a abordagem dos aspectos probabilísticos no dimensionamento de pavimentos asfálticos, verificando-se a dimensão do impacto das incertezas das variáveis no resultado.



Avaliação probabilística



Análise de risco

Quantificar as incertezas e avaliar seus efeitos no projeto e no desempenho de uma estrutura

A estrutura para análise do custo-benefício em nível de projeto baseia-se nas incertezas associadas às variáveis de entrada, que são caracterizados de acordo com sua variabilidade, sendo:

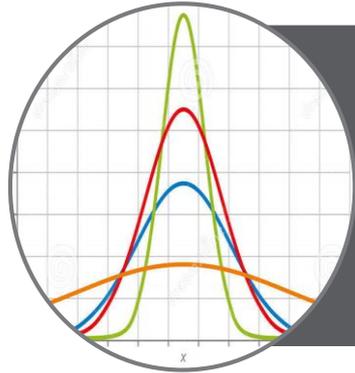
Certeza

Risco

Incerteza



Pavimentos e as distribuições probabilísticas



Qual a distribuição probabilística que melhor representa cada característica do pavimento?

Espessura

Homogeneidade dos materiais

Módulo de resistência de cada camada

“Utilização de banco de dados para identificação de distribuições mais adequadas para cada características do pavimento”

Confiabilidade

“Grau de fidelidade de uma informação em relação ao original”

Método
determinís-
tico

Método
probabilís-
tico

- Atribui um fator de segurança para os parâmetros que são incertos ou têm um efeito significativo sobre o dimensionamento final
 - Estruturas superdimensionadas
 - Estruturas subdimensionadas
- Cada parâmetro de projeto é descrito por uma distribuição de probabilidade
- A confiabilidade do projeto pode ser avaliada



Confiabilidade no dimensionamento de pavimentos

- Modelo proposto:
 - O modelo utiliza o número N (repetições de carga do eixo padrão) como critério de ruptura.



Existe o previsto e o admissível

Na abordagem determinística

- Os dois valores de número N são comparados diretamente.

Na abordagem probabilística

- Deve ser utilizado o conceito de índice de dano.



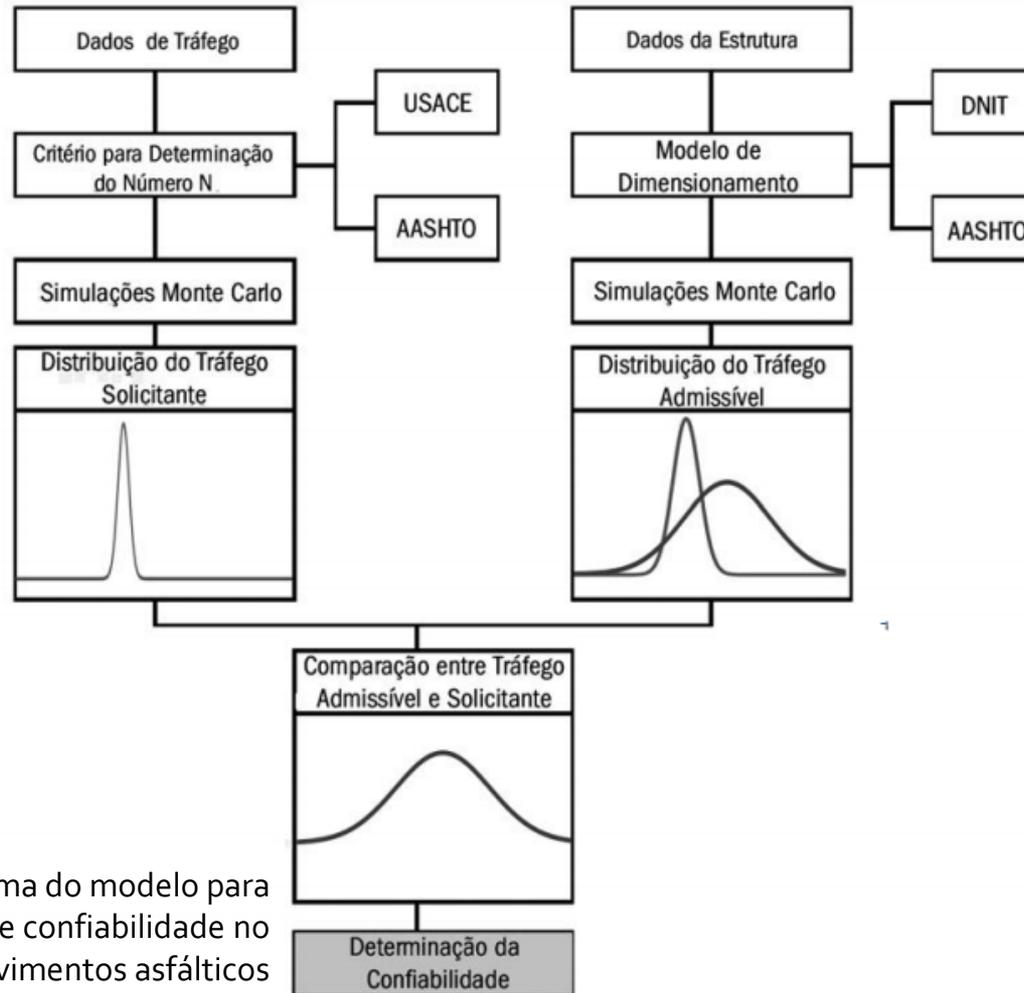


Figura 1 – Esquema do modelo para determinação de confiabilidade no dimensionamento de pavimentos asfálticos

Modelos para determinação do tráfego admissível

Método do DNIT

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$

$$N = 6,069 \times 10^{-40} \times H_t^{20,747} \times CBR^{12,407}$$

Coeficientes de
equivalência
estrutural

Determina-se a
espessura total
necessária para o
pavimento

Cálculo das espessuras
das demais camadas

As camadas são
convertidas para
espessuras reais dos
materiais

em termos de material
granular

em função dos dados
geotécnicos

características de tráfego
solicitante

Modelos para determinação do tráfego admissível

Método AASHTO

$$\log(N) = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{p_0 - p_t}{p_0 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1) \cdot 5,19}} + 2,32 \cdot \log(M_r) - 8,07$$



Sem os parâmetros de confiabilidade

$$\log(N) = 9,36 \cdot \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{p_0 - p_t}{p_0 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1) \cdot 5,19}} + 2,32 \cdot \log(M_r) - 8,07$$

SN = número estrutural do pavimento (pol);

p_0 = serventia inicial (após a construção) do pavimento asfáltico;

p_t = serventia terminal (final do período de projeto);

M_r = módulo de resiliência efetivo do subleito, em lb/pol²;

Z_R = nível de confiabilidade (Confiabilidade Estatística);

S_0 = desvio padrão.

Metodologia de análise e estudo de caso

Simulações de Monte Carlos

Tabela 3 – Parâmetros de entrada para tráfego solicitante

Descrição	Unidade	Valor Considerado no Projeto	Tipo de Variável
Volume Diário Médio Inicial	veíc.	27.807	Probabilística
Fator Direcional	%	53	Determinística
Porcentagem de Veículos Pesados	%	27	Probabilística
Fator de Veículos AASHTO Asfáltico	-	1,648	Probabilística
Fator de Veículos USACE	-	6,229	Probabilística
Taxa de Crescimento	%	7,15	Probabilística
Fator de Faixa	%	80	Determinística
Período de Projeto - Pav. Asfáltico	anos	10	Determinística

5000 simulações, Erro de 2 %

Metodologia de análise e estudo de caso

Tabela 4 – Parâmetros de entrada para pavimento asfáltico – método DNIT

Descrição	Unidade	Valor Considerado no Projeto	Tipo de Variável
Coeficiente Estrutural do Revestimento	-	2,0	Determinística
Espessura do Revestimento	cm	12,5	Probabilística
Coeficiente Estrutural da Base	-	1,0	Determinística
Espessura da Base	cm	15,0	Probabilística
Coeficiente Estrutural da Subbase	-	1,0	Determinística
Espessura da Subbase	cm	30,0	Probabilística
CBR do Subleito	%	8,0	Probabilística

Metodologia de análise e estudo de caso

Tabela 5 – Parâmetros de entrada para pavimento asfáltico – método AASHTO

Descrição	Unidade	Valor Considerado no Projeto	Tipo de Variável
Índice de Serventia Inicial	-	4,2	Probabilística
Índice de Serventia Final	-	2,5	Determinística
Coefficiente Estrutural do Revestimento	-	0,44	Probabilística
Espessura do Revestimento	pol	4,92	Probabilística
Coefficiente Estrutural da Base	-	0,16	Probabilística
Coefficiente Drenagem da Base	-	1,00	Probabilística
Espessura da Base	pol	6,00	Probabilística
Coefficiente Estrutural da Subbase	-	0,11	Probabilística
Coefficiente Drenagem da Subbase	-	1,00	Probabilística

Metodologia de análise e estudo de caso

Tabela 6 – Tráfego solicitante para período de 10 anos

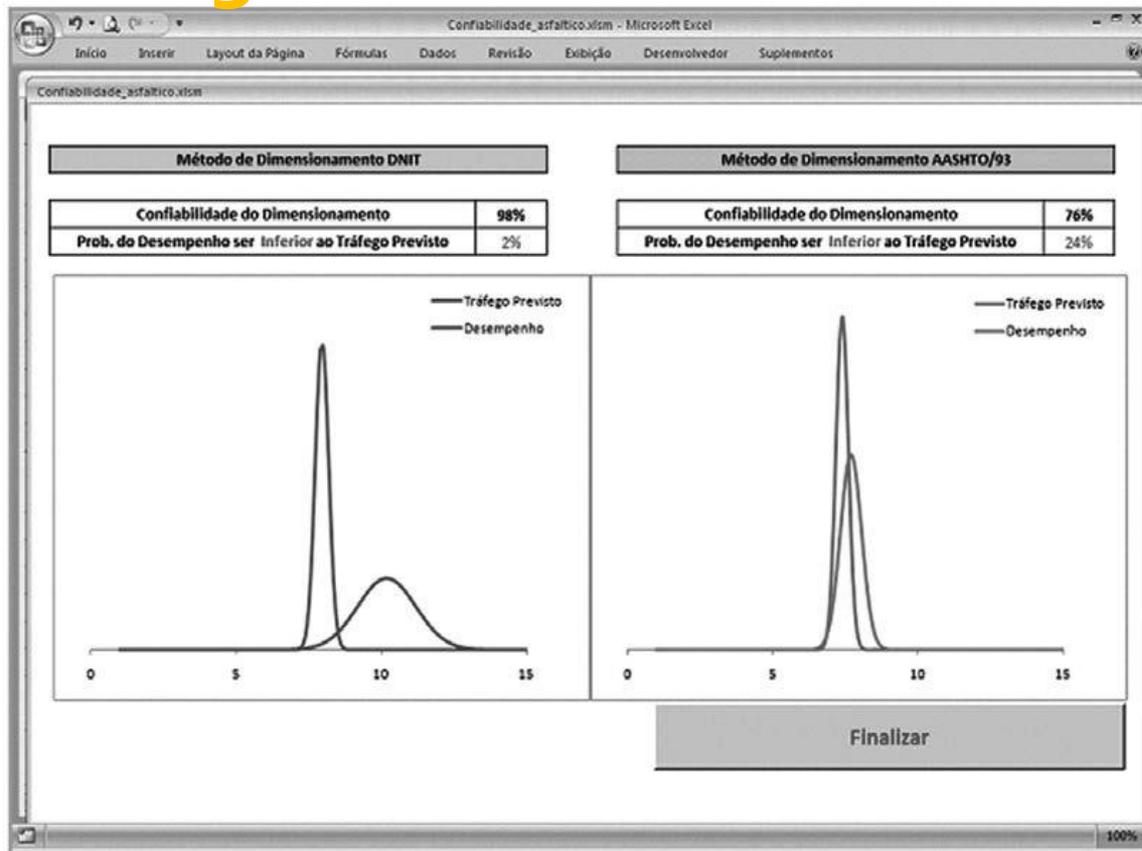
Parâmetro Tráfego Solicitante	Cálculo	Valor Médio	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Número N USACE	Determinístico	1,01E+08	-	-
	Probabilístico	1,00E+08	4,08E+07	41%
Numero N AASHTO Asfáltico	Determinístico	2,66E+07	-	-
	Probabilístico	2,68E+07	1,06E+07	40%

Metodologia de análise e estudo de caso

Tabela 7 – Resultados da análise de desempenho

Parâmetro Desempenho		Valor Médio	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Espessura em Termos de Material Granular (cm)	Determinístico	70	-	-
	Probabilístico	70,16	4,20	5,99%
Número Estrutural - SN (pol)	Determinístico	4,42	-	-
	Probabilístico	4,42	0,46	10,31%
Desempenho - Equação DNIT	Probabilístico	1,40E+11	7,48E+11	533,13%
Desempenho - Equação AASHTO Asfáltico	Probabilístico	6,74E+07	6,69E+07	99,18%

Metodologia de análise e estudo de caso



Metodologia de análise e estudo de caso

Tabela 8 – Resultados de confiabilidade do estudo de caso.

Dimensionamento	Método	Probabilidade de Sucesso	Probabilidade de Falha
Pavimento Asfáltico	DNIT (2006)	98%	2%
Pavimento Asfáltico	AASHTO (1993)	76%	24%

Tabela 9 – Período de projeto para as estruturas analisadas e confiabilidade de 90%

Dimensionamento	Método	Período de projeto para confiabilidade de 90%
Pavimento Asfáltico	DNIT (2006)	28 anos
Pavimento Asfáltico	AASHTO (1993)	5 anos

Metodologia de análise e estudo de caso

Tabela 10 – Tráfego solicitante para período de 15 anos

Parâmetro Tráfego Solicitante	Cálculo	Valor Médio	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Número N USACE	Determinístico	1,84E+08	-	-
	Probabilístico	1,82E+08	7,45E+07	41%
Numero N AASHTO Asfáltico	Determinístico	4,86E+07	-	-
	Probabilístico	4,88E+07	1,96E+07	40%

Tabela 11 – Tráfego solicitante para período de 20 anos

Parâmetro Tráfego Solicitante	Cálculo	Valor Médio	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Número N USACE	Determinístico	3,01E+08	-	-
	Probabilístico	3,00E+08	1,21E+08	40%
Numero N AASHTO Asfáltico	Determinístico	7,97E+07	-	-
	Probabilístico	8,02E+07	3,33E+07	42%

Metodologia de análise e estudo de caso

Tabela 12 – Resultados de confiabilidade do estudo de caso para outros períodos de projeto

Dimensionamento	Método	Período de Projeto (anos)	Ht _{REQ} (cm) SN _{REQ} (pol) D _{REQ} (pol)	Dif. entre (Ht, SN e D) e mín.req.	Probabilidade de Sucesso
Pavimento Asfáltico	DNIT (2006)	10	54,24	29%	99%
		15	55,83	25%	97%
		20	57,17	22%	95%
	AASHTO (1993)	10	3,992	11%	76%
		15	4,383	1%	53%
		20	4,719	-6%	35%

Metodologia de análise e estudo de caso

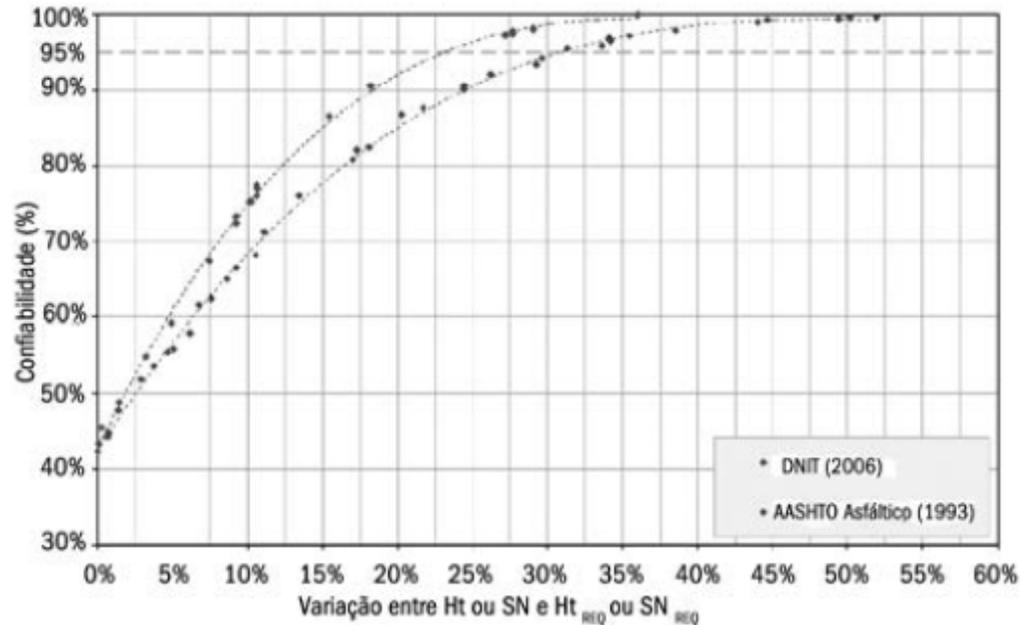


Figura 3 – Variação da confiabilidade em função do acréscimo de espessura requerido (DNIT) ou acréscimo de SN requerido (AASHTO) na estrutura de pavimento

Metodologia de análise e estudo de caso

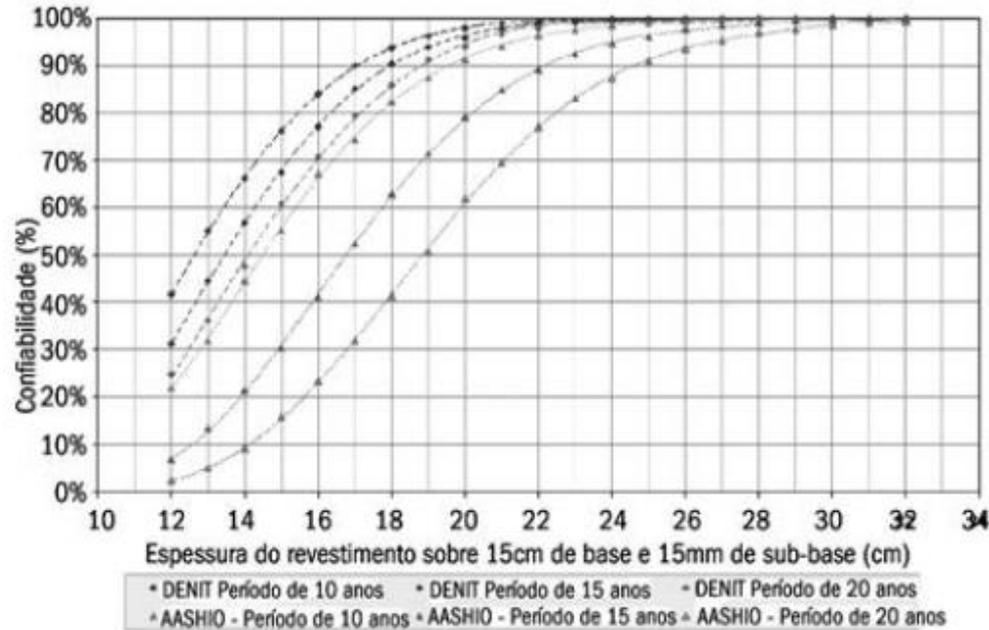


Figura 4 – Variação da confiabilidade do pavimento em função da espessura do revestimento asfáltico usando cálculo das espessuras pelo DNIT e pela AASHIO

Conclusões

DNIT

Aumento na espessura
= aumento no tráfego

Desvio padrão de 1,00

AASHTO

Aumento do tráfego =
expressivo aumento na
estrutura

Desvio padrão de 0,41,
recomenda-se 0,44



Conclusões

- O método estatístico abre a possibilidade de introduzir novos parâmetros no DNNIT.
- Método determinista resulta em estruturas com probabilidade de sucesso de 50 %
- Com os resultados da análise desse modelo pode realizar avaliação do que ocorre caso as hipóteses de projeto não seja confirmadas durante a execução