

TEXTO COMPLEMENTAR

NOÇÕES DE PROJETO E GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

1. GENERALIDADES

O projeto de um pavimento envolve duas fases distintas, que são interrelacionadas:

(a) a fase do projeto da mistura ou das misturas e que constitui o que se chama de "dosagem";

(b) a fase de projeto estrutural, também chamada de "dimensionamento".

Apesar de uma depender da outra, seus estudos podem ser desenvolvidos em paralelo e separadamente.

Nesse texto serão tratados apenas certos conceitos básicos julgados de maior interesse e fundamentais para o bom entendimento de um projeto de pavimento, mais no que se refere aos problemas de dimensionamento. Já foi vista a natureza complexa de que se reveste o estudo dos pavimentos. Resumindo podemos dizer:

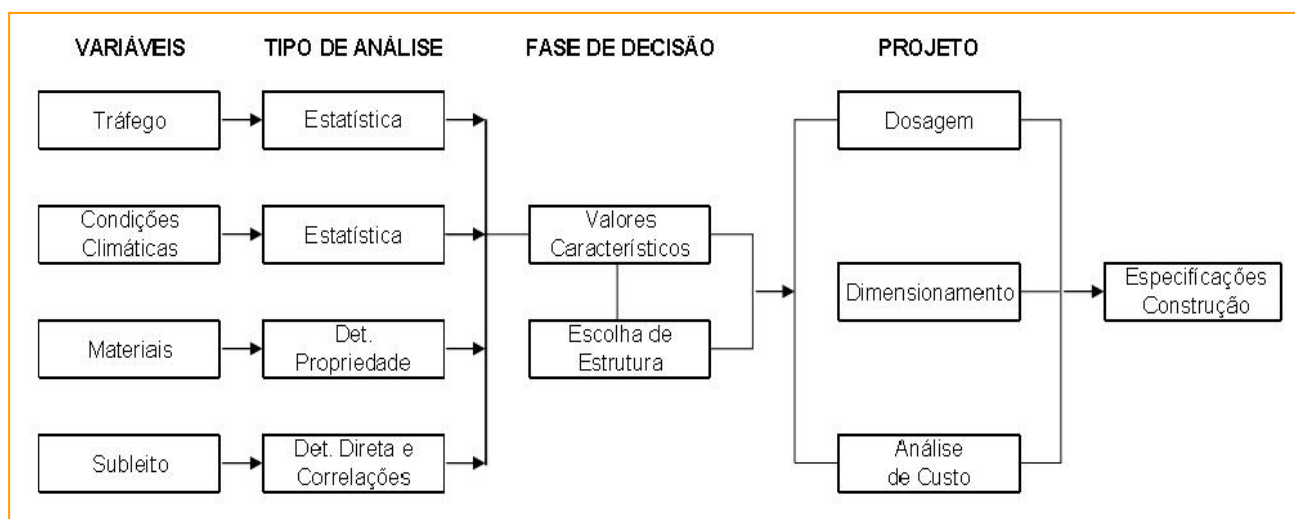
- Dimensionamento = f (condições do subsolo, propriedades das misturas constituintes; condições climáticas e ambientais; características do tráfego).

- Condições do subsolo = (resistência) f (γ , h , x , y , z , textura, estrutura, composição; velocidade de carregamento; grau de confinamento).

- Propriedades das misturas = f (local; clima; vegetação; pluviometria; topografia; variações de temperatura).

- Características do tráfego = f (cargas; distribuição das cargas; número de solicitação; composição das cargas; caráter dinâmico das cargas).

Além disso as cargas (carregamentos) devem levar em conta os efeitos do peso, da pressão de contato e a distribuição/composição de cargas devem ser consideradas tanto em relação ao espaço como em relação ao tempo.



Isto posto devemos observar que, em resumo, o estudo dos pavimentos deve considerar e se basear na análise dos solos e materiais naturais disponíveis, seu comportamento individual e em misturas, sob a ação dos vários carregamentos e sob a influência das mais variadas condições climáticas e ambientais.

O estudo dos pavimentos envolve, portanto, a análise de diferentes variáveis interligadas entre si e de naturezas distintas. Sujeitas a vários tipos de condicionamentos empíricos, a maioria delas tem que ser estimada através de correlações empíricas, ensaios e medidas diretas, quase sempre exigindo um tratamento de fundo estatístico.

Depois de identificadas as variáveis influentes, bem como as condições específicas em que elas atuam, o principal problema consiste em escolher a melhor maneira de combiná-las e, considerando a sua viabilidade, selecionar os valores a serem utilizados. Essa é a fase crítica de decisão. Feito isso, decorre naturalmente o projeto em si, constituído pela dosagem dos componentes das várias camadas e pela determinação das suas respectivas espessuras o que leva finalmente, depois de procedidos os estudos de custo e das iterações geralmente necessárias, às especificações construtivas.

Devemos ressaltar que, como é comum em obras de Engenharia Civil, que lida necessariamente com parâmetros naturais, a parte mais difícil é a de identificação e avaliação desses parâmetros e a da concepção dos modelos teóricos que englobem o fenômeno e que mais se aproximem das condições reais, de maneira relativamente simples. O uso dos modelos e os cálculos necessários, apesar de poderem constituir a parte mais trabalhosa e a que irá realmente fornecer os resultados, exige menos "engenharia". O caráter fortemente iterativo do processo, faz parte e é consequência do mesmo quadro geral.

Para finalizar este item, é necessário considerarmos genericamente o problema do dimensionamento estrutural propriamente dito, muito confundido com o projeto do pavimento.

Como já foi visto, ele é apenas uma fase do projeto e apesar de não ser a mais crítica, dá margem à maioria das discussões. Essas discussões decorrem do fato de existirem correntes antagônicas na maneira de encarar o dimensionamento. Há os que defendem a linha totalmente empírica procurando correlações entre parâmetros quaisquer que possam de alguma forma refletir o comportamento observado dos pavimentos e os que procuram atacar o problema pela via teórica, trabalhando com as variáveis influentes e procurando a melhor maneira de tratá-las dentro de um esquema mais racional. Como até hoje nenhuma das correntes logrou êxito total, ou seja, como não se conseguiu ainda um processo satisfatório de aceitação geral, como consequência direta da complexidade do fenômeno, as posições têm-se mantido.

Esse antagonismo, entretanto, é destituído de sentido, inútil e até mesmo prejudicial. Exatamente devido à complexidade do problema, a posição mais coerente é a de utilização de todos os recursos disponíveis, procurando sempre a racionalização tendo por base modelos teóricos a serem corrigidos e aproximados pela observação sistemática embutidas nos processos empíricos.

2. CARREGAMENTOS

Os carregamentos transmitidos aos pavimentos são feitos por meio das rodas dos veículos e daí a denominação genérica de carga de roda ou carga por roda, para caracterizar esse tipo de carregamento.

As rodas podem se agrupar de várias maneiras dando origem a várias configurações. Essas configurações são mais variadas no caso das aeronaves, em função dos vários tipos de trens de pouso.

No caso dos caminhões elas vão desde rodas simples a rodas duplas em eixos simples ou em tandem (com 2 ou mais eixos).

Todas as características dos trens de pouso, para cada tipo de aeronave, são especificadas pelos fabricantes e geralmente, para estudo dos pavimentos, dependendo do tipo de aeroporto, é escolhido um avião-tipo, de projeto. No caso dos veículos rodoviários, como será visto mais tarde, é levado em conta a influência ponderada de cada tipo de veículo, cuja carga máxima e distribuição de pesos pelos seus eixos também é especificada.

Além disso, a carga máxima permitida por eixo é regulamentada em todos os países. No Brasil, a carga máxima permitida, por eixo simples é de 10 t por eixo isolado, 17 t em tandem duplo e 25,5 em tandem triplo.

Em qualquer caso, entretanto, como também será visto a seguir, há sempre a possibilidade de se reduzir os efeitos dos vários tipos de carregamento a um padrão equivalente único, definido por uma roda simples, caracterizada por uma carga em termos de força (peso), uma pressão de contato entre o pneu e a superfície do pavimento e um número esperado de repetições (n^o de aplicações da referida carga) durante a vida útil do pavimento.

Oportunamente serão discutidas com detalhes as maneiras de serem consideradas as cargas de projeto. Neste ponto vale a pena dizer apenas que o modelo mais simples e mais utilizado como carregamento é o representado por uma carga uniformemente distribuída em uma superfície circular de raio R , de tal forma que:

$$\sigma_o = \frac{P}{\pi R^2}$$

Em que P é a carga por roda (peso que atua na roda) e σ_o é a pressão de contato.

A pressão de contato é em geral adotada como sendo igual à pressão de inflação do pneu, em primeira aproximação. Essa hipótese seria válida apenas no caso de se desprezar o efeito das paredes dos pneus ou para certo intervalo de pressões em determinadas circunstâncias. Para baixas pressões de pneu, a pressão de contato sob as paredes do pneu poderá ser maior que a pressão de contato no centro do carregamento e para altas pressões pode se dar o inverso.

Além disso, a carga, na realidade, não se distribui sobre uma área circular, mas sobre uma área aproximadamente elíptica. Apesar de atualmente já se contar com recursos suficientes para poder ser considerado um carregamento de distribuição não uniforme sobre uma área não

circular, o modelo circular uniforme se justifica por ser mais simples e portanto complicar menos as análises e porque as indeterminações quanto à forma da distribuição, bem como quanto às dimensões da elipse a ser considerada ainda são grandes e sua conceituação pouco definida.

3. TIPOS DE RUPTURA

Em pavimentos costuma-se distinguir dois tipos de ruptura:

(a) a ruptura estrutural, que seria a ruptura propriamente dita, ou seja, aquela considerada por colapso ou quebra estrutural do pavimento ou de qualquer parte do pavimento, de tal forma a torná-lo inoperante por falta de condições de resistir às solicitações impostas pelo tráfego;

(b) a ruptura chamada funcional é a ruptura que, acompanhada ou não de ruptura estrutural, torna o pavimento inoperante por falta de funcionalidade, ou seja, o pavimento deixa de funcionar adequadamente devido à diminuição do conforto, à necessidade de diminuição de velocidade ou à indução de esforços suplementares nos veículos.

Se a ruptura funcional nem sempre implica na estrutural, a estrutural sempre acaba sendo também funcional, o que nos leva à consideração de que, em última análise, a preocupação final é sempre com a ruptura funcional.

O critério de avaliação do comportamento dos pavimentos se baseia, portanto, em aspectos funcionais e como estes são subjetivos, dependendo da opinião pessoal dos usuários, resulta que a avaliação do estado de um pavimento é uma questão subjetiva.

A análise da ruptura estrutural, entretanto, deverá ser colocada em termos objetivos e quantitativos, havendo, portanto, necessidade, para uma análise global, de junção criteriosa das duas conceituações.

A tendência mais recente tem sido a de se procurar quantificar, por meio de medidas e ensaios adequados, uma escala arbitrária qualitativa baseada em ponderações de vários tipos de usuários. Dentro dessa linha de idéias surgiu durante a realização do Ensaio AASHO, o conceito de serventia.

O Índice de Serventia Atual é baseado em uma escala qualitativa construída através de opinião de vários usuários. Sobre essa escala de opiniões foi associada uma escala numérica variando de 0 a 5, em que 0 indica um pavimento totalmente destruído ou inaceitável e 5 seria o valor correspondente a um pavimento perfeito.

Definida a escala, foram desenvolvidos ensaios para a medida de certas características julgadas associadas ao comportamento do pavimento e que combinadas adequadamente por meio de uma equação experimental, fornecesse o índice numérico correspondente à escala de opinião.

Atualmente os ensaios utilizados ou as medidas efetuadas dizem respeito principalmente à irregularidade longitudinal, intensidade de trincamento e a profundidade média das trilhas provocada pelas rodas.

Cumpra ainda observar que o conceito de ruptura associado a essa escala, ou seja, o valor considerado como mínimo aceitável na escala 0 a 5, varia também com o tipo de pavimento e o tipo de estrada.

Para finalizar este item temos a dizer que as causas principais das rupturas podem ser agrupadas em 4 categorias:

- a) Sobrecargas, que podem se dar tanto por excesso de peso, como por excesso de pressão de pneus ou do número de repetições de carga;
- b) Condições climáticas e ambientais adversas, não contempladas adequadamente na fase de projeto ou ocorridas dentro dos riscos assumidos;
- c) Defeitos construtivos, decorrentes em geral da falta de controle de qualidade ou da falta de conhecimentos;
- d) Falta de manutenção em níveis inadequados.

4) DIRETRIZES GERAIS

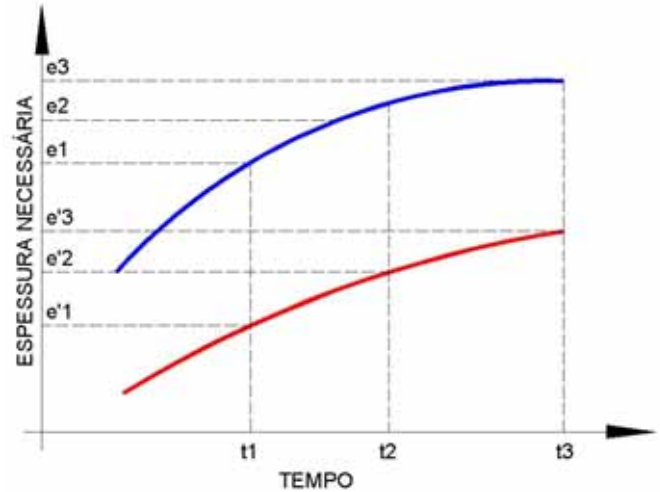
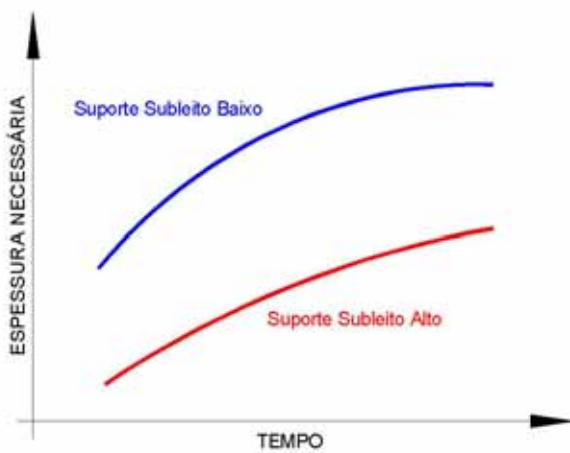
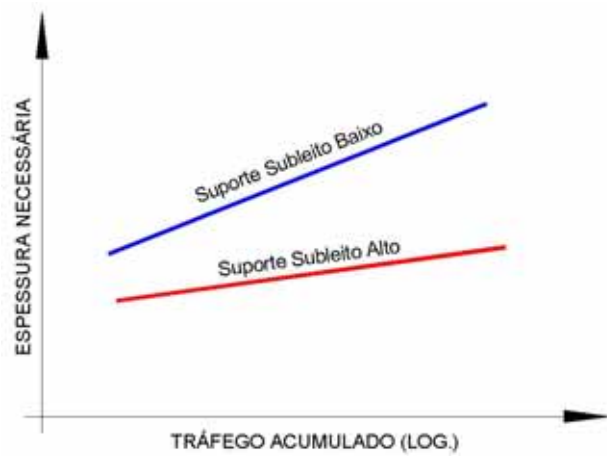
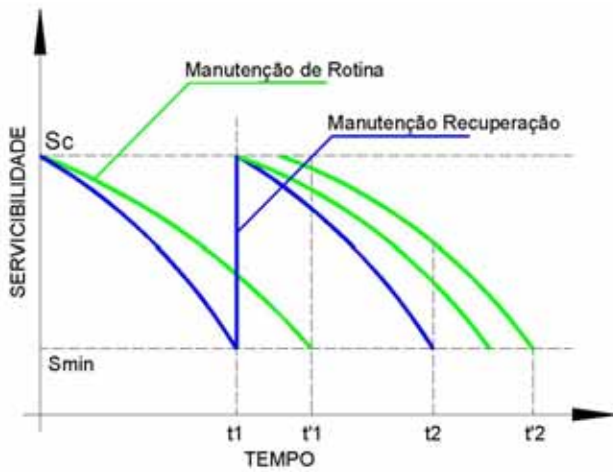
Como visto anteriormente, a preocupação básica com os pavimentos refere-se à sua operacionalidade em termos funcionais. Admitimos, para efeito de raciocínio, que essa operacionalidade se reflita bem e, portanto, possa ser representada pelo índice de Serventia ou ainda mais genericamente pela serventia.

Por uma série de fatores, a serventia diminui com a utilização do pavimento, ou seja, a serventia decresce com o tempo. A lei da variação desse decréscimo depende do tipo de pavimento, das condições de suporte do subleito, das condições de tráfego e do nível de manutenção.

As variáveis de interesse no projeto de pavimentos se resumem em: serventia, espessura necessária de pavimento, suporte do subleito (C.B.R.), nível ou política de reabilitação e o tráfego (associado ao tempo).

Partindo de um nível inicial, a serventia cai com o decorrer do tempo e a ação do tráfego, até atingir o nível mínimo num tempo t_1 , função das características da estrada. Com um nível de manutenção digamos normal, o decréscimo de serventia é mais lento fazendo com que se atinja o nível mínimo num tempo $t'_1 > t_1$.

Atingindo o nível mínimo aceitável, para que não haja deterioração total do pavimento é necessária à execução de serviços de reabilitação mais importantes (reforço, recapeamento, restauração, etc.), de forma a reconduzir a serventia ao seu nível inicial. Esses ciclos se repetem ao longo da vida do pavimento e deixa clara a influência da manutenção/reabilitação.



A espessura do pavimento necessária varia linearmente com o logaritmo do tráfego acumulado, sendo a variação mais sensível (coeficiente angular da reta maior) para o caso de menor capacidade de suporte de subleito. Como o tráfego acumulado é função do tempo, a espessura necessária pode ser colocada em função do tempo. A influência da capacidade de suporte de subleito na espessura do pavimento e, conseqüentemente no seu custo, é evidente.

Para um tráfego acumulado correspondente ao tempo t_1 , seria necessário uma espessura e_1 , que terá condições de suportar até o tempo t_1 , sem levar em conta as necessidades de manutenção. A partir de t_1 a espessura e_1 é insuficiente, havendo necessidade de um reforço que aumente a espessura para e_2 , que será por sua vez suficiente até o tempo t_2 , e assim por diante.

Tal esquema é denominado de construção por etapas e permitiria uma aplicação de capital menor no início de construção. Isto é, permitiria um investimento menor inicial à custa de uma inversão maior em restauração a ser somado ao custo da manutenção normal para manter a serventia em níveis adequados.

Juntando-se os fatos acima, concluímos que as possibilidades de enfoque a serem dadas no projeto de um pavimento são muitas, dependendo, fundamentalmente, da política de investimentos a ser seguida.

Considerando que as atividades de recapeamento ou restauração representam parcelas mais importantes em termos de custo de reabilitação do pavimento propriamente dito, poderíamos finalmente considerar que o custo inicial cresce com o intervalo necessário ao recapeamento. Isto é, um pavimento melhor e de maior espessura, portanto mais caro, implicará na necessidade de recapeamentos a intervalos maiores, seja porque demorará mais para atingir o nível de serventia mínimo, seja porque tem maior capacidade de suportar o tráfego acumulado.

Os custos anuais de reabilitação, por outro lado, serão tantos menores quanto maior o intervalo de recapeamento, variando, portanto, em sentido contrário ao do custo inicial.

O custo total ou global, considerando valor presente ou anual equivalente, deverá apresentar um valor ótimo corresponde ao valor mínimo da soma entre os custos iniciais e os de reabilitação.

A análise feita foi simplificada de forma a apenas salientar os fatores condicionantes à fixação das diretrizes básicas a serem consideradas no projeto de um pavimento, em termos de custo, e para evidenciar os vários níveis de decisão envolvidos.

O problema do projeto de um pavimento é, portanto, um problema de minimização de custo total, no qual estão envolvidas muitas variáveis de naturezas diversas, onde a decisão do engenheiro é fundamental e que, para melhor ser obtida, deve contar com os recursos de análise de sistemas, isto é, necessita de um enfoque sistêmico.

