

3 - Características das Estradas Não-Pavimentadas

3.1 - Introdução

O estado da superfície ou leito carroçável de qualquer estrada depende do material, das intempéries, do tráfego e da manutenção. Uma boa estrada não-pavimentada deve ter largura da faixa de rolamento suficiente para acomodar o tráfego da região. Deve apresentar, também, resistência suficiente para suportar as cargas das rodas sem que ocorram deformações excessivas. A capacidade de suporte depende das características do material da superfície e da resistência do solo, à medida em que o teor de umidade varia. Deve contar, ainda, com um bom sistema de drenagem para evitar que a ação erosiva da água danifique o subleito e a superfície de rolamento. A boa drenagem depende, também, da declividade transversal.

3.2 - Seção Transversal

Geralmente o traçado das estradas não-pavimentadas segue as curvas naturais do terreno, evitando-se declividades acentuadas e outros obstáculos locais. Sua seção transversal varia com o tipo de solo e relevo da região, que podem influenciar na qualidade da estrada. É recomendável adotar greides com declividades, com a preocupação de assegurar uma boa drenagem. Segundo o Quadro 3.1, estradas com baixo volume de tráfego ($VDM < 50$) devem ter largura da faixa de rolamento de 4 a 5

metros, dependendo da velocidade de projeto, que varia com o tipo de terreno.

QUADRO 3.1 - CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE ESTRADAS NÃO-PAVIMENTADAS DE ACORDO COM A CLASSE DA ESTRADA.

VARIÁVEL	CLASSE 1			CLASSE 2		
VDM	< 50			50 - 400		
TERRENO	plano	ondulado	acidentado	plano	ondulado	acidentado
velocidade de projeto (km/h)	60	40	30	80	65	40
rampa máxima (%)	6,0	8,0	10,0	6,0	7,0	9,0
plataforma (m)	4,0 a 5,0, dependendo da Vp			5,5 a 6,2, dependendo da Vp		
largura do acostamento (m)	1,0			1,5		
largura total da estrada (m)	6,0 a 7,0			8,5 a 9,2		
largura das pontes (m)	3,5 a 4,0			L < 20 - 7,0 a 7,7 L > 20 - 8,5 a 9,2		
carga por eixo (t)	-			9		
faixa domínio (m)	25			35		
tipo de superfície (base granular)	granular			granular, tratamento superficial simples ou duplo		

Fonte: TRB, 1979b

Uma característica importante tanto na seção transversal como no sistema de drenagem é a declividade transversal. O DNER (1981) recomenda que as pistas não-pavimentadas devem ter declividade transversal de 3%, excepcionalmente de 4%, conforme o tipo de solo constituinte do subleito da via. Em estradas com solos argilosos a declividade pode ser maior. Essa declividade é obtida mediante o abaulamento transversal, evitando-se assim o acúmulo de água na estrada.

3.3 - Material da Superfície

O tipo e a qualidade do material da superfície influenciam no desempenho das estradas. Esse desempenho está relacionado com os defeitos que agravam-se à medida em que a estrada é mais solicitada pelo tráfego. O tipo de revestimento mais comum em estradas não-pavimentadas consiste de solo local devidamente nivelado. A qualidade do revestimento depende do tipo de solo. Segundo o TRB (1979b), a maioria dos solos proporciona uma superfície adequada apenas quando estão secos ou ligeiramente úmidos.

A superfície de rolamento deve ser lisa, firme e com boas condições de rolamento e atrito, evitando-se problemas de derrapagem dos pneus. As condições de rolamento dizem respeito às irregularidades da pista (esburacamento, materiais soltos etc) que interferem negativamente sobre o conforto e segurança do tráfego.

Como o método mais eficiente e duradouro para melhorar a superfície é o de colocar sobre o leito da estrada uma camada de pedra ou material granular de espessura adequada, este deve conter uma quantidade suficiente de solos aglutinantes de grãos finos, como silte e argila, para ligar o material quando da compactação da superfície da estrada. A espessura da camada de material necessária para proporcionar uma boa superfície varia de acordo com a qualidade do material e com as cargas do tráfego. Segundo o TRB (1979b), para estradas de baixo volume, uma espessura de 10 a 20 cm é mais comum.

As pedras e areias limpas, sem silte e argila, proporcionam uma boa capacidade de suporte às cargas das rodas quando estão bem compactadas, porém como não têm ligante, são desagregadas pelas rodas com muita facilidade. Quando contêm a proporção adequada de ligante, resultam estáveis, sem provocar desagregação do material. Quando há muito ligante, os solos, ao umedecer, ficam moles e podem se transformar em barro, deixando a estrada intransitável em épocas de chuvas. Quando estão muito secos, por outro lado, formam torrões muito duros de escavar e podem produzir também muita poeira. Se os solos apresentam variações na sua composição, devem ser colocados os mais nobres nas camadas superiores e os de pior qualidade nas camadas inferiores. A pressão que uma roda exerce sobre o solo diminui com o aumento da profundidade, de modo que se os piores solos estão nas camadas mais inferiores, estarão sujeitos a menor pressão e haverá menor possibilidade de que se deformem por ação das cargas. Os melhores solos da camada superior são capazes de suportar cargas concentradas maiores sem deformações excessivas.

O comportamento dos solos nas estradas depende da forma como são colocados, ou seja, da sua compactação. A superfície de uma estrada bem compactada é mais durável, menos apta à formação de trilhas de rodas e

requer menor custo na manutenção do que uma superfície sem compactar.

3.4 - Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem ineficiente é um dos principais fatores na formação dos defeitos em estradas não-pavimentadas, em épocas de chuvas. Para evitar problemas é necessário que a estrutura de drenagem esteja em condições adequadas para conduzir a água da superfície de rolamento para fora da estrada. Um bom sistema de drenagem deve conter dispositivos apropriados e em condições de uso.

A drenagem pode ser superficial ou subterrânea. A drenagem superficial consiste na coleta e remoção das águas superficiais que atingem ou possam atingir a estrada. A drenagem subterrânea realiza a interceptação das águas no subsolo do leito da estrada. As águas superficiais que descem a encosta num corte de estrada irão deslizar sobre o talude, erodindo-o e carregando o material de erosão para a pista, podendo dificultar ou impedir o tráfego normal dos veículos. Para evitar esse problema é necessário construir um canal paralelo ao longo da crista do talude do corte para interceptar essas águas. Quando a água escoar sobre a pista de rolamento, devem ser tomadas medidas que evitem sua infiltração ou acumulação, o que é feito dando-se declividade transversal adequada à superfície.

A declividade transversal facilita o escoamento da água para as valetas laterais, evitando a formação de poças d'água. Em estradas com rampas acentuadas, deve-se colocar lombadas para reduzir a velocidade da água e direcioná-la para as valetas, que devem estar limpas para evitar o acúmulo de água e para escoá-la para as sangras. As sangras servem para direcionar a água para fora da estrada, conduzindo-a para as bacias de acumulação. As valetas podem ser revestidas com grama, para diminuir a velocidade da água e evitar assim problemas de erosão. O Quadro 3.2 mostra as rampas críticas das valetas em função do tipo de solo.

QUADRO 3.2 - RAMPAS CRÍTICAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE SOLO DAS VALETAS

TIPO DE MATERIAL	RAMPAS CRÍTICAS (%)
AREIA	1 - 3
ARGILA	2 - 5
PEDREGULHO FINO	4 - 6
PIÇARRA MOLE	> 5

Fonte: TRB (1979b)

3.5 - Nível de Serviço

O nível de serviço está relacionado com volume de tráfego (VDM), visibilidade e com as condições da superfície de rolamento da estrada. Segundo DOBSON e POSTILL (1983), quando o tráfego de caminhões excede a 13% do total do tráfego de veículos, a largura da faixa de rolamento deve ser aumentada para permitir a passagem dos veículos com segurança. Essa largura adotada em função do VDM varia entre 4,9 e 6,7 m, não sendo uma característica universal, mas sim da maioria das estradas não-pavimentadas.

Outro fator importante no nível de serviço diz respeito às condições de rolamento da superfície da estrada. As condições de rolamento podem ser definidas em relação à qualidade de viagem, custo de manutenção dos veículos que trafegam nessas vias, desgaste dos pneus e conforto do usuário. Um indicador que reflete as condições de rolamento é o grau de deterioração da superfície em forma de trilhas de rodas, corrugações e buracos. A velocidade limite também reflete as condições de rolamento das estradas não-pavimentadas. O Quadro 3.3 mostra a velocidade limite em função das condições da superfície da estrada, segundo CHAVES (1965), que estudou a formação de corrugações na superfície das estradas não-pavimentadas, suas características, causas e possíveis soluções.

QUADRO 3.3 - VELOCIDADE LIMITE SEGUNDO AS CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DAS ESTRADAS NÃO-PAVIMENTADAS

VELOCIDADE LIMITE (km/h)	CONDIÇÕES DA ESTRADA
0	INTRANSITÁVEL
10	MUITO RUIM
20	RUIM
30	REGULAR
40	BOM
60	MUITO BOM

Fonte: CHAVES, 1963

BERGER e GREENSTEIN (1987) estudaram em que medida o nível de serviço influencia o custo de operação dos veículos. Segundo QUEIROZ et al. (1979), a irregularidade longitudinal é a principal medida das condições do pavimento que pode ser diretamente relacionada aos custos operacionais dos veículos. A irregularidade é uma característica física, objetivamente mensurável na superfície do pavimento, que serve para avaliar o desempenho dos pavimentos. Na Pesquisa Sobre o Inter-relacionamento de Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias (GEIPOT, 1981) foram utilizados dois equipamentos para medir a irregularidade na superfície dos pavimentos: o *Maysmeter* e o Perfilômetro de Dinâmica de Superfície.

Os Quadros 3.4 e 3.5 e as Figuras 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 mostram as porcentagens dos itens (combustível, salário, peças, depreciação, pneus, juros, mão-de-obra e óleo+graxa) no custo de operação por quilômetro de ônibus e de caminhão (três eixos), com três anos de uso em estradas pavimentadas e não-pavimentadas. Os trechos das estradas não-pavimentadas avaliadas apresentavam um valor de QI¹ de 138 cont/km, enquanto que nas estradas pavimentadas o QI era de 38 cont/km.

QUADRO 3.4 - PORCENTAGEM DE CADA ITEM NO CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO DE ÔNIBUS E DE CAMINHÃO EM ESTRADAS PAVIMENTADAS

ESTRADAS PAVIMENTADAS					
ITENS DE CUSTO	ÔNIBUS		ITENS DE CUSTO	CAMINHÃO	
	INDIVIDUAL	ACUMULADO		INDIVIDUAL	ACUMULADO
COMBUSTÍVEL	30	0	COMBUSTÍVEL	38	0
SALÁRIO	17	30	SALÁRIO	18	38
PEÇAS	14	47	PEÇAS	15	56
DEPRECIÇÃO	12	61	DEPRECIÇÃO	8	71
PNEUS	9	73	PNEUS	7	79
JUROS	9	82	JUROS	7	86
MÃO-DE-OBRA	5	91	MÃO-DE-OBRA	5	93
ÓLEO+GRAXA	4	96	ÓLEO+GRAXA	2	98
TOTAL	100	100	TOTAL	100	100

¹QI - "Índice de quarto de carro", expresso em contagens por quilômetro, é uma estatística de irregularidade e consiste nos resultados gerados pelo simulador de quarto de carro do Perfilômetro de Dinâmica de Superfície, SD. Os resultados foram convertidos em QI, através de equações de correlação estabelecidas periodicamente para cada *Maysmeter*. Segundo a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), a irregularidade longitudinal é definida como o "desvio de uma superfície de pavimento em relação a uma superfície perfeitamente plana, desvio esse com magnitude capaz de afetar a qualidade de rolamento, a dinâmica dos veículos e a drenagem".

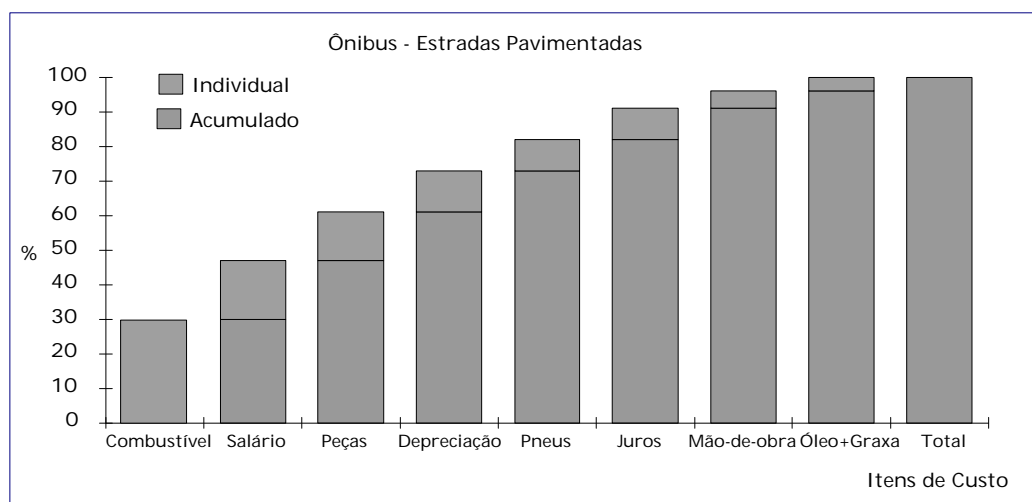


FIGURA 3.1 - PORCENTAGEM DE CADA ITEM NO CUSTO DE OPERAÇÃO ACUMULADO DE UM ÔNIBUS EM ESTRADAS PAVIMENTADAS (FONTE: GEIPOT, 1981)

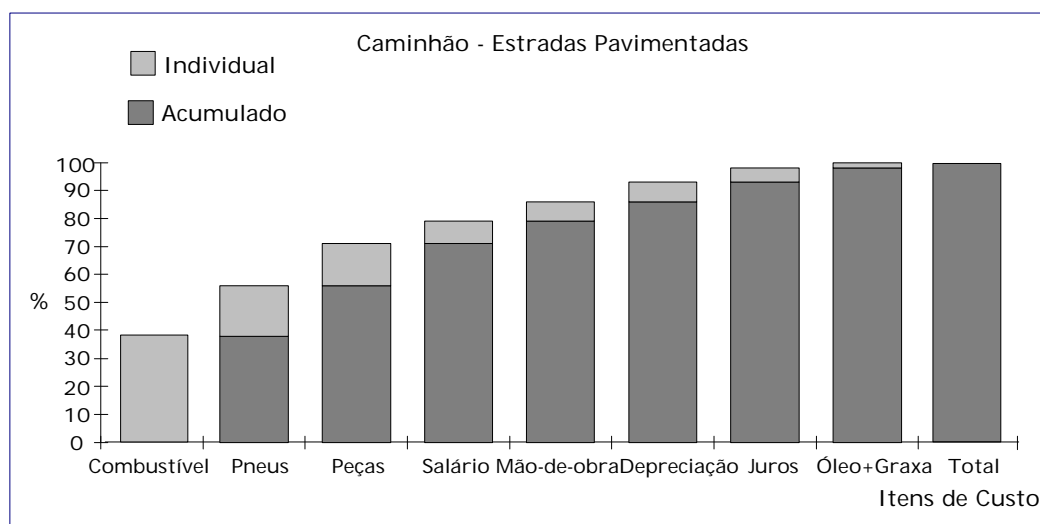


FIGURA 3.2 - PORCENTAGEM DE CADA ITEM NO CUSTO DE OPERAÇÃO ACUMULADO DE UM CAMINHÃO EM ESTRADAS PAVIMENTADAS (FONTE: GEIPOT, 1981)

QUADRO 3.5 - PORCENTAGEM DE CADA ITEM NO CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO DE ÔNIBUS E DE CAMINHÃO EM ESTRADAS NÃO-PAVIMENTADAS

ESTRADAS NÃO-PAVIMENTADAS					
ITENS DE CUSTO	ÔNIBUS		ITENS DE CUSTO	CAMINHÃO	
	INDIVIDUAL	ACUMULADO		INDIVIDUAL	ACUMULADO
COMBUSTÍVEL	26	0	COMBUSTÍVEL	28	0
SALÁRIO	19	26	SALÁRIO	24	28
PEÇAS	15	45	PEÇAS	16	52
DEPRECIÇÃO	11	60	DEPRECIÇÃO	9	68
PNEUS	9	71	PNEUS	8	77
JUROS	9	80	JUROS	7	85
MÃO-DE-OBRA	8	89	MÃO-DE-OBRA	6	92
ÓLEO+GRAXA	3	97	ÓLEO+GRAXA	2	98
TOTAL	100	100	TOTAL	100	100

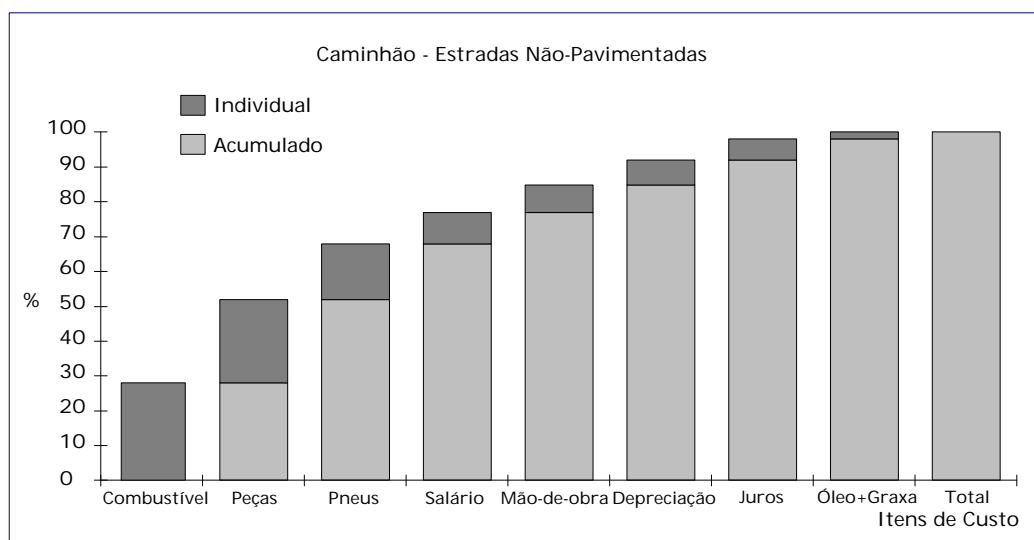


FIGURA 3.3 - PORCENTAGEM DE CADA ITEM NO CUSTO DE OPERAÇÃO ACUMULADO DE UM CAMINHÃO EM ESTRADAS NÃO-PAVIMENTADAS (FONTE: GEIPOT, 1981)

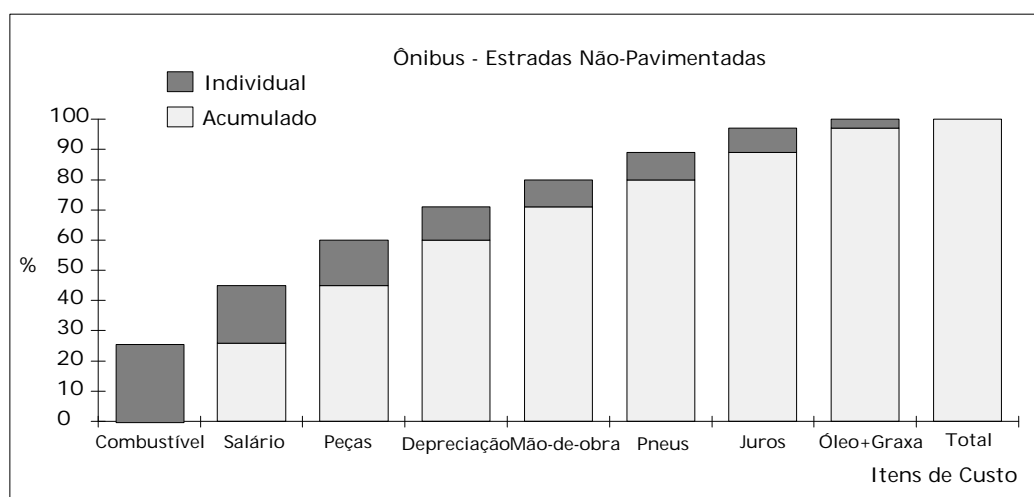


FIGURA 3.4 - PORCENTAGEM DE CADA ITEM NO CUSTO DE OPERAÇÃO ACUMULADO DE UM ÔNIBUS EM ESTRADAS NÃO-PAVIMENTADAS (FONTE: GEIPOT, 1981)

A Figura 3.6 ilustra a porcentagem de aumento nos custos de operação de veículos de estradas pavimentadas para estradas não-pavimentadas. O acréscimo no custo de operação por quilômetro de ônibus e caminhões em estradas não-pavimentadas ocorre devido às condições da superfície de rolamento. Neste caso, o aumento ocorreu principalmente pelo desgaste de peças dos veículos. Em função da diferença no custo de operação fica mais evidente a necessidade de se manter as estradas não-pavimentadas em boas condições.

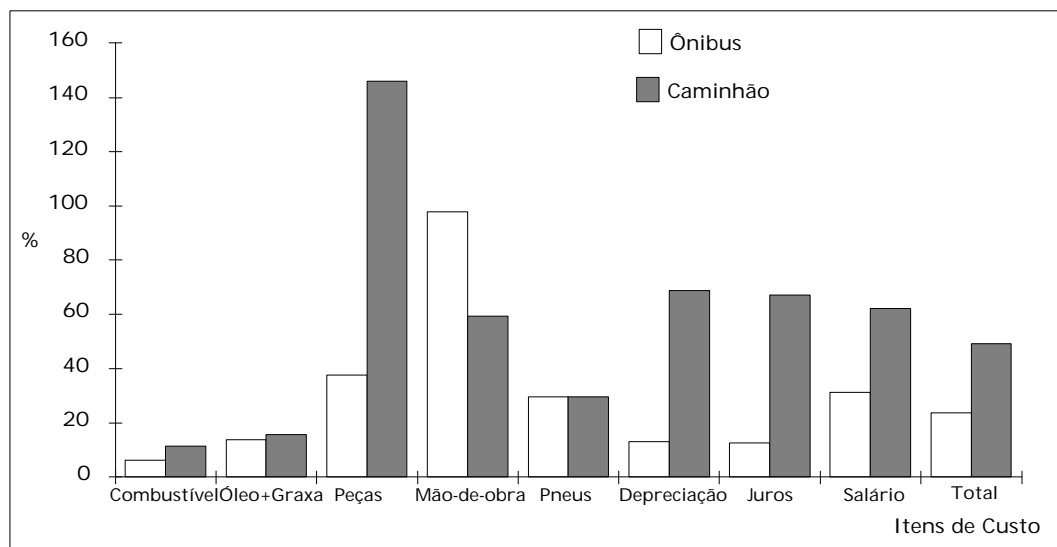


FIGURA 3.5 - PORCENTAGEM DE AUMENTO NO CUSTO DE OPERAÇÃO DE ÔNIBUS E CAMINHÃO DE ESTRADAS PAVIMENTADAS PARA ESTRADAS NÃO-PAVIMENTADAS (FONTE: GEIPOT, 1981)