

# **Apêndices**

---

## APÊNDICE A

### A. ESTUDOS DE TRÁFEGO

As informações e o processamento dos dados obtidos acerca do tráfego na região de estudo seguem a seguinte rotina (IPR 707, 1999):

- levantamento de dados – contagem volumétrica e classificatória, pesquisas de origem e destino (O/D) e cadastro expedito;
- determinação do tráfego atual e futuro;
- determinação do tipo, padrão e número de faixas da obra viária;
- determinação do número de operações do eixo-padrão; e
- configuração das interseções.

#### A.1. Levantamento de Dados

A projeção do volume de tráfego durante um dado período de tempo deverá, de alguma forma, exprimir os índices de crescimento anual da movimentação de cargas, portanto, dos veículos comerciais; tais índices se correlacionam com outros índices de crescimento sócio-econômico das regiões servidas pela via (Balbo, 2002).

O perfil de tráfego poderá ser obtido através de analogias com vias de natureza semelhante; quando é previsto um controle de cargas por sistemas de balança (“lei da balança”) na fase de operação, podem ser adotadas as cargas máximas legais para o dimensionamento do tráfego com fatores de segurança obtidos através de médias de pesos de veículos que ultrapassam em peso os limites legais. A figura A.01 apresenta a forma correta para acesso de veículos a balança.

Quando trata-se de projeto de manutenção e recuperação de pavimentos, o perfil do tráfego usuário pode ser determinado com base na distribuição passada/atual de veículos obtidas de estatísticas de trânsito a partir de séries históricas.

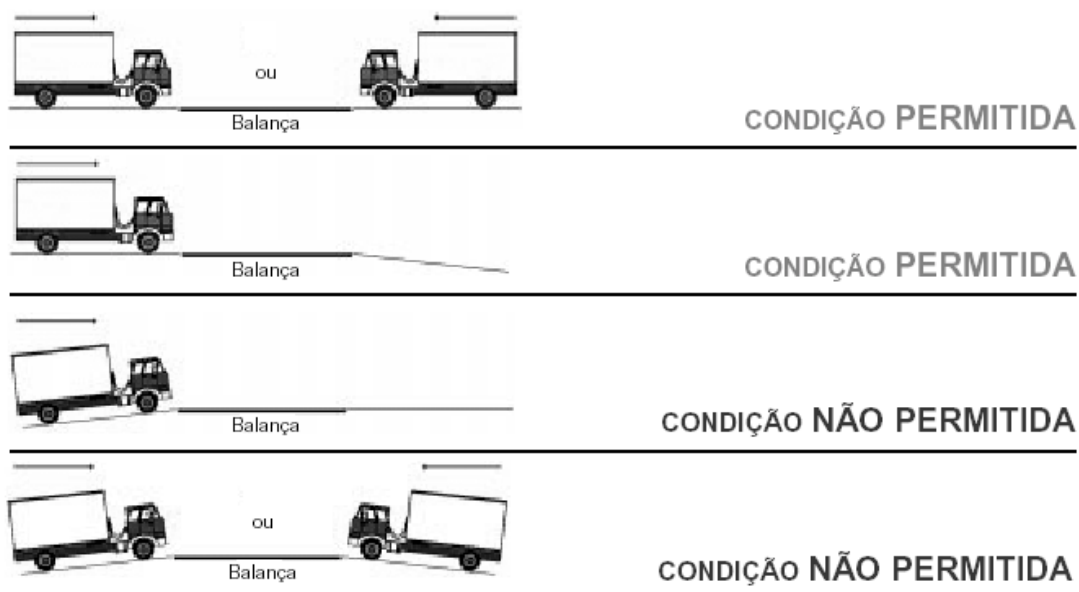
O processo mais adequado para a contabilização do tráfego é a realização de contagens volumétricas e classificatórias de veículos, em curto, porém representativo, período de amostragem, normalmente de uma semana típica do ano. Além das contagens são necessárias as pesagens de eixos para a quantificação de cargas.

Os locais dos postos de contagem deverão ser selecionados mediante visita de inspeção aos trechos e em função das necessidades estabelecidas em estudo sócio-econômico. A coleta de dados será efetuada durante 3 (três) dias úteis, 24 horas por dia e, em postos distintos, cujo quantitativo permita cobrir todos os deslocamentos que possam vir a utilizar a ligação em estudo.

#### CONDIÇÕES DE USO DA BALANÇA

Pelo menos um acesso à balança deverá ser plano, sem inclinações, o que prejudica o resultado da pesagem devido ao efeito gravidade (a carga é empurrada para trás).

##### ACESSO À BALANÇA



**FIGURA A.01 – Forma correta de acesso a balança de pesagem de automóveis.**

É conveniente a adoção da nomenclatura adotada pelo DNER para a classificação dos veículos (quadro. A.01) e a utilização de planilhas auxiliadas por contadores manuais (figura. A.02).

**QUADRO A.01 – Classificação de Veículos Rodoviários segundo o DNER (PBTC≤45t – TOLERÂNCIA = 7,5%).**

TIPO	MODELO	CARGA
2C		6+10=16
2C2		6+10+10+10=36
2C3		6+10+10+17=43

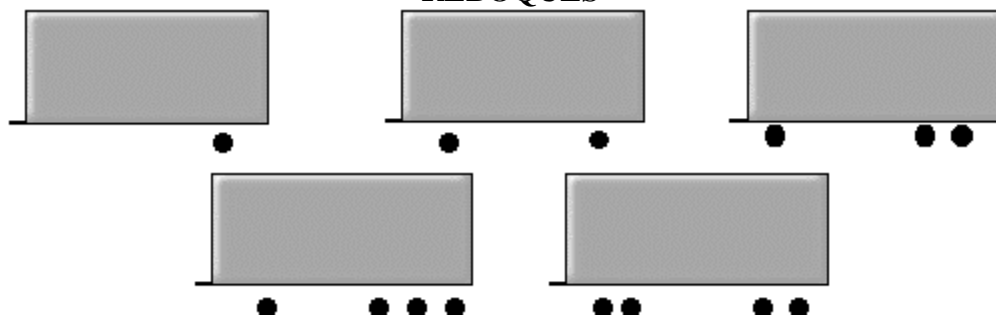
3C		$6+17=23$
3C2		$6+17+10=33$ $+10=43$
3C3		$6+17+10+17=50$ $>45$
2S1		$6+10+10=26$
2S2		$6+10+17=33$
2S3		$6+10+25,5=41,5$
3S1		$6+17+10=33$
3S2		$6+17+17=40$
3S3		$6+17+25,5=48,5$ $>45$

O PRIMEIRO NÚMERO INDICA O NÚMERO DE EIXOS NO CAVALO

A LETRA IDENTIFICA O TIPO DE VEÍCULO

O SEGUNDO NÚMERO INDICA O NÚMERO DE EIXOS NO REBOQUE

#### REBOQUES



#### SEMI-REBOQUES



**CONTAGEM CLASSIFICADA DE VEÍCULOS**  
DATA 19/11/87

Redonde: BR-116/MS  
Plata: ITRODIA - DIVISA 24/MS  
Km : 23

CONTAGEM DE TEMPERATURA  
TEMPERATURA: 22,0  
UMIDIDADE: 75,0  
VELOCIDADE: 120,0

CÓDIGO	CLASSIFICAÇÃO	TIPO DE VEÍCULO	INTERVALO (HORAS)									TOTAL	
			16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24			
2C	LEVE		11	13	11	9	6	1	4	2			57
2C			1	1	3	3	1	0	1	0			10
2C	MÉDIO		6	4	5	2	5	3	1	1			27
2C			8	8	2	2	2	2	1	3			29
3C	PESADO		33	27	30	23	28	22	15	23			201
4C			0	0	1	0	0	0	0	0			1
2S1	SEMI-REBOQUE		0	1	0	0	3	0	0	0			4
2S2			1	0	1	0	6	2	1	2			13
2S3			9	10	5	9	12	8	8	1			62
3S2			0	1	0	0	0	0	0	0			1
3S3			2	0	0	0	0	0	1	0			3
3C-3	REBOQUE		0	0	0	0	0	0	0	0			0
3S3-3			0	0	0	0	0	0	0	0			0
TOTAL			71	65	58	48	64	38	32	32			402

**FIGURA A.02 – Planilha para contagem classificatória (Fonte: BALBO, 2002).**

O significado da terminologia adotada pelo DNER advêm das cargas que solicitam os pavimentos rodoviários e classificam-se em (Balbo, 2002):

- automóveis – veículos de dois eixos e quatro rodas destinados ao transporte de pessoas;
- ônibus (2C) – veículos com dois ou três eixos, onde o eixo dianteiro possui duas rodas e os demais quatro rodas cada;
- caminhões leves – veículos com dois eixos e quatro rodas destinados ao transporte de carga leve;
- caminhões médios (2C) – veículos destinados ao transporte de carga, com dois eixos, o traseiro possuindo rodas duplas;
- caminhões pesados (3C e 4C) – veículos que possuem dois ou três eixos traseiros com quatro rodas cada e o dianteiro com duas rodas;
- reboques (2C2 ou 2C3) e semi-reboques (2S1, 2S2, 2S3, 3S2 ou 3S3) – veículos constituídos por mais de uma unidade. O eixo dianteiro do veículo trator é simples com duas rodas. Os demais, possuem quatro rodas podendo ser simples, em tandem duplo ou em tandem triplo.

Ainda, consideram-se em Tandem, dois ou mais eixos que constituem um conjunto integral de suspensão, podendo qualquer deles ser ou não motriz.

Os levantamentos visuais com equipes de campo são realizados em períodos sequenciais de uma hora, o que permite a verificação de flutuações horárias ocorridas nos volumes de tráfego.

Segundo Da Costa e Figueiredo (2001), a unidade de medida, no cômputo do volume de tráfego, é o carro de passeio, e para os veículos de maiores dimensões usa-se um fator de equivalência (tabela. A.01), multiplicando-se os valores determinados, para cada categoria, na contagem de veículos pela sua equivalência.

**TABELA A.01 – Equivalência de veículos.**

Automóveis	1,00
Ônibus	2,25
Caminhão	1,75
Moto	0,33
Bicicleta	0,20

Fonte: Da Costa e Figueiredo (2001).

Deve-se determinar os fatores de expansão que podem ser obtidos através de séries históricas, quando conhecidas, ou através de métodos indiretos, como por exemplo a checagem da variação de consumo de óleo diesel em postos de gasolina localizados na região durante períodos preestabelecidos (semanais ou mensais) (Balbo, 2002).

A contagem dos veículos e a utilização de fatores de expansão permitirá a definição do perfil do tráfego ao longo de um ano inteiro, o que servirá de base para a projeção do tráfego para qualquer ano do horizonte de projeto. Para tanto, é necessária a definição do volume diário médio (*VDM*) no ano de abertura da via de acordo com algum processo de contagem e expansão de dados.

“O *VDM* é obtido com base de cálculo geralmente de 365 dias para abranger todas as condições de sazonalidade semanais ou mensais, que se utiliza de uma seção da via, compreendidos os veículos de passeio, os ônibus e caminhões (leves, médios e pesados)” (Balbo, 2002).

Uma outra variável bastante utilizada para a classificação de rodovias é o *VHP* (Volume Horário de Projeto), que é expresso pela equação a seguir:

$$VHP = VDM \cdot \frac{K}{100} \quad (\text{Eq. A.01})$$

sendo o *K* um fator de multiplicação que varia normalmente entre 10% a 20%.

Quanto as pesquisas de origem e destino (O/D), elas devem ser desenvolvidas durante três dias úteis, 16 horas por dia e, em postos previamente selecionados, cobrindo todos os deslocamentos que possam vir a utilizar o segmento em estudo, os quais serão obrigatoriamente os mesmos das pesquisas volumétricas (IPR 707, 1999).

Com estas pesquisas pode-se determinar quais são os principais pólos de origem e destino das viagens, a composição da frota de veículos e participação de cada categoria nas rodovias, a motivo de viagem e frequência de utilização das rodovias e a opinião do usuário com relação ao empreendimento (IPR 707, 1999).

Finalmente, o cadastro expedito tem o objetivo de, após pesquisa e análise dos dados disponíveis, percorrer as alternativas objetivando identificar o relevo, classificando as alternativas quanto à importância, registrando os locais dos principais acessos, verificando o estado de conservação do pavimento, observações relativas ao perfil do tráfego, geometria da via e dados relevantes (IPR 707, 1999).

## A.2. Determinação do Tráfego Atual e Futuro

Conhecido o valor do  $VDM$ , o volume anual de veículos que solicitam a via no primeiro ano de referência do projeto será (Balbo, 2002):

$$V_0 = 365 \cdot VDM \quad (\text{Eq. A.02})$$

O volume anual de veículos que solicitam a via em anos futuros para os casos de crescimento linear e geométrico, respectivamente (Balbo, 2002):

$$V_f = V_0 \cdot (1 + P \cdot t) = 365 \cdot VDM \cdot (1 + P \cdot t) \quad (\text{Eq. 1.03})$$

e

$$V_f = V_0 \cdot (1 + t) = 365 \cdot VDM \cdot (1 + t)P^P \quad (\text{Eq. A.04})$$

onde  $P$  é o período de tempo decorrido em anos e  $t$  a taxa anual de crescimento do tráfego, linear ou geométrica conforme o caso.

O volume acumulado de tráfego ao longo do horizonte ou período de projeto  $P$  ( $V_p$ ) pode ser calculado através da integração das equações acima para intervalos definidos, conforme indicado abaixo, para crescimento linear e geométrico, respectivamente (Balbo, 2002):

$$V_p = \int_0^P 365 \cdot VDM \cdot (1 + P \cdot t) \cdot dP = 365 \cdot VDM \cdot \frac{[(1 + P \cdot t) - 1]}{t} \quad (\text{Eq. A.05})$$

e

$$V_p = \int_0^P 365 \cdot VDM \cdot (1+t) \cdot dP = 365 \cdot VDM \cdot \frac{[(1+t)P - 1]}{\ln(1+t)} \quad (\text{Eq. A.06})$$

“Para fins de projetos de pavimentação o volume total de veículos acumulado decorridos  $P$  anos deverá ser transformado em um número de repetições de um eixo-padrão ( $N$ ), para o caso brasileiro o ESRD de 80  $kN$ . Para tanto, todos os eixos previstos com base em contagens dos veículos usuários da via (ou outro processo) deverão ser transformados em eixos-padrão equivalentes através da adoção de fatores de equivalência de cargas coerentes com o método de projeto adotado” (Balbo, 2002).

### A.3. Determinação do Tipo, Padrão e Número de Faixas da Obra Viária

Esta etapa se resume em determinar a categoria da rodovia. Para tanto, existem dois métodos diferentes conhecidos como:

- parâmetros para a classificação funcionais de rodovias; e
- parâmetros para a classificação técnica de rodovias.

Segundo os parâmetros funcionais de uma rodovia, pode-se utilizar o exposto no quadro A.02 para a sua classificação.

Ao realizar-se a classificação técnica de uma rodovia (quadro A.03), pode-se definir qual a classe de projeto e quais as características da rodovia que será implantada.

Para tanto, será necessária a utilização do volume de tráfego determinado para o horizonte de projeto, como, também, do nível de serviço que se deseje para a rodovia que será implantada ou o que será adotado para o projeto de reabilitação de uma rodovia já existente.

Segundo Da Costa e Figueiredo (2001), é fundamenta, nesta fase, determinar-se o nível de serviço da rodovia, o qual leva em consideração a velocidade e o tempo de viagem, as interrupções do tráfego, a liberdade de manobra, o conforto e a conveniência do motorista, a segurança e os custos operacionais do veículo.

O nível de serviço de uma rodovia é classificado da seguinte maneira (Da Costa e Figueiredo, 2001):

- nível A – fluxo livre e com liberdade de escolha da velocidade;



- nível B – situa-se no início do fluxo estável, com algumas restrições de velocidade e manobra;
- nível C – fluxo estável, com oportunidades de ultrapassagem e escolha da velocidade sofrendo bastante restrições;
- nível D – situa-se próximo ao chamado fluxo instável, com velocidade de operação bem afetada, mas toleráveis por curto espaço de tempo;
- nível E – fluxo é denominado instável, com velocidade em torno de 50km/h e podem ocorrer paradas momentâneas; e
- nível F – fluxo denominado forçado a baixas velocidades, onde os volumes escoados estão abaixo da capacidade, resultando em filas de veículo acumuladas.

#### QUADRO A.02 – Parâmetros para a classificação funcional de rodovias.

Sistemas Funcionais		Funções Básicas	Parâmetros de Referência
Arterial	Principal	Viagens internacionais e inter-regionais. Elevados níveis de mobilidade. Formar sistema contínuo na região. Articulação com rodovias similares em regiões vizinhas. Conectar capitais e cidades com pop. > 150.000 hab.	Extensão: 2 a 3½ % da rede. Serviço: 30 a 35 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 120 km. Veloc. Operação: 60 a 120 km/h.
	Primário	Viagens inter-regionais e interestaduais. Atender função essencial de mobilidade. Formar sistema contínuo na região. Conectar cidades com pop. ± 50.000 hab.	Extensão: 1½ a 3½ % da rede. Serviço: 15 a 20 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 80 km. Veloc. Operação: 50 a 100 km/h.
	Secundário	Viagens intra-estaduais e não servidas pelos sistemas superiores. Formar sistema contínuo com rodovias dos sistemas superiores, atendendo função essencial de mobilidade. Conectar cidades com pop. > 10.000 hab.	Extensão: 2½ a 5 % da rede. Serviço: 10 a 20 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 60 km. Veloc. Operação: 40 a 80 km/h.
Coletor	Primário	Viagens intermunicipais. Acesso a geradores de tráfego (portos, mineração, parques turísticos, produção agrícola, etc.). Conectar cidades com pop. > 5.000 hab.	Extensão: 4 a 8 % da rede. Serviço: 8 a 10 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 50 km. Veloc. Operação: 30 a 70 km/h.
	Secundário	Ligar áreas servidas com o sistema coletor primário ou com o sistema arterial. Acesso a grandes áreas de baixa densidade populacional. Conectar centros com pop. > 2.000 hab e sedes municipais não servidas por sistemas superiores.	Extensão: 10 a 15 % da rede. Serviço: 7 a 10 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 35 km. Veloc. Operação: 30 a 60 km/h.
Local		Viagens Intra-Municipais. Acesso De Pequenas Localidades E Áreas Rurais Às Rodovias De Sistemas Superiores.	Extensão: 65 a 80 % da rede. Serviço: 5 a 30 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 20 km. Veloc. Operação: 20 a 80 km/h.

Fonte de dados primários: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 17-19), citado por Lee (2000).

As condições de uma rodovia considerada com fluxo livre são as seguintes (Da Costa e Figueiredo, 2001):

- condições geométricas ou físicas – velocidade média de  $100\text{km/h}$ , sem restrições à ultrapassagem, no mínimo duas ou três faixas de tráfego no mesmo sentido, largura mínima da faixa de tráfego de  $3,50\text{m}$ , acostamentos adequados ( $2,50\text{m}$ ), gabarito vertical com mínimo de  $5,50\text{m}$  e pavimento em bom estado;
- condições de operação – fluxo livre sem interferências laterais com veículos ou pedestres, controle total de acesso com faixas de aceleração e desaceleração e somente carros de passeio na corrente de tráfego; e
- condições ambientais – condições adequadas definidas pela *Highway Capacity Manual*.

#### QUADRO A.03 – Parâmetros para a classificação técnica de rodovias.

Classes de Projeto	Características	Critérios de Classificação Técnica	Relevo da Região		
			Plano	Ondulado	Montanhoso
0	Via Expressa Controle Total de Acesso	Decisão Administrativa	120	100	80
I	A Pista Dupla Controle Parcial de Acesso	Quando os Volumes de Tráfego Previstos para a Classe IB Apresentarem Níveis de Serviço Abaixo de C e D	100	80	60
	B Pista Simples Controle Parcial de Acesso	Volume Horário de Projeto $VHP > 200$ Volume Médio Diário $VDM > 1.400$	100	80	60
II	Pista Simples	$1.400 > VDM > 700$	100	70	50
III	Pista Simples	$700 > VDM > 300$	80	60	40
IV	A Pista Simples	$300 > VDM > 50$	70	50	35
	B Pista Simples	$VDM > 50$			

Fonte: Da Costa e Figueiredo (2001).

No caso de projetos de melhoramento de rodovias existentes, foram introduzidas mais cinco denominações diferentes, variando da Classe 0 a Classe IV, conhecidas por M-0, M-I, M-II, M-III e M-IV (LEE, 2000).

#### A.4. Determinação do Número de Operações do Eixo-Padrão

Um projeto de pavimento flexível bem concebido, deve atender a limitações de:

- tensões que possam provocar ruptura por cisalhamento;
- deformações permanentes; e

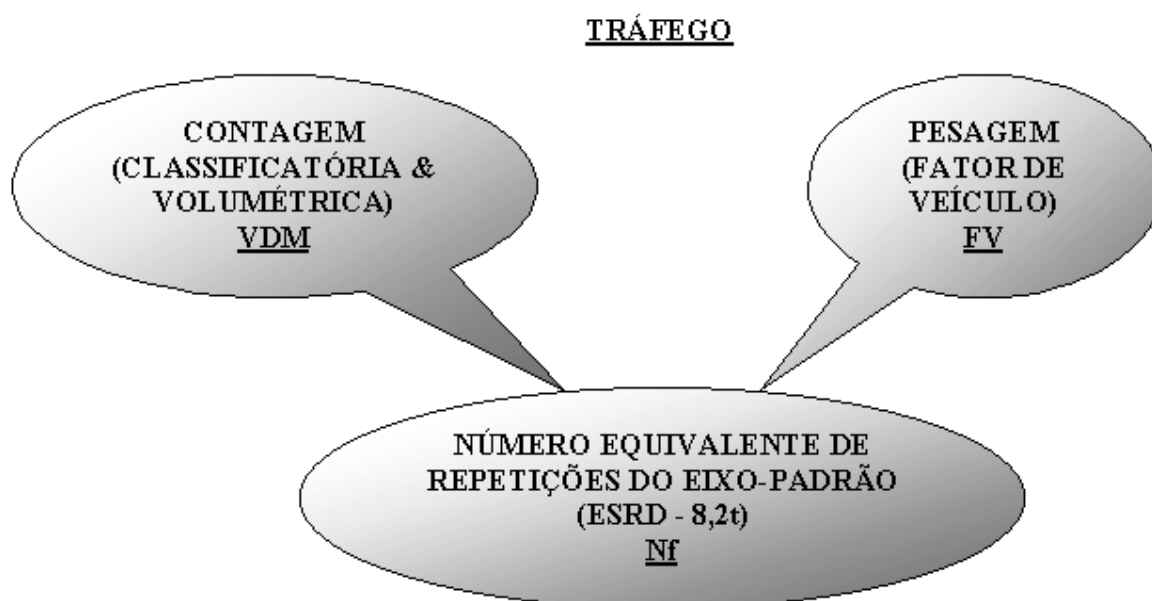
- deformações recuperáveis ou elásticas.

Um pavimento bem dimensionado, em função do CBR, garante as duas primeiras condições. Contudo, a repetição das cargas transientes pode levar a ruptura por fadiga do revestimento betuminoso ou da camada cimentada permanente, se não for considerado o limite admissível das deformações elásticas para um “N” de projeto – repetições do carregamento (Balbo, 2002).

Então, a definição de uma estrutura de pavimento para sua posterior construção está intimamente relacionada com as magnitudes das cargas que a solicitarão.

Nos pavimentos rodoviários, o esquema geral de tratamento das solicitações do tráfego é a conversão de todo seu universo de eixos e cargas em um número equivalente de repetições de um eixo-padrão.

O resumo de um estudo dos efeitos do tráfego futuro em um pavimento pode ser observado na figura A.03 e vai ser detalhado adiante.



**FIGURA A.03 – Resumo do estudo de tráfego no projeto de pavimentação rodoviária  
(Fonte: Albuquerque, 2002).**

A carga que cada tipo de veículo transferirá ao pavimento é determinada através da seguinte rotina de cálculo (Balbo, 2002):

- tabulação das categorias de eixos encontrados em amostragem de veículos durante as pesagens, por intervalo de carga verificado;

- tabulação do número de eixos na amostra que se enquadram em cada uma das categorias indicadas;
- cálculo da porcentagem de eixos tabulados em relação ao número total de veículos da amostra ( $p_i$ );
- tabulação, com base na metodologia de projeto adotada, dos fatores de equivalência de cargas de cada categoria de eixo indicada ( $FEC_{i,p}$ ); e
- cômputo dos produtos ( $p_i \cdot FEC_{i,p}$ ) para cada categoria de eixo indicada.

O fator de equivalência pode ser obtido por dois diferentes métodos, o do AASHTO/GEIPOT/DNER e DNER/USACE.

O cálculo do fator de equivalência pelo AASHTO/GEIPOT/DNER leva em consideração a “serventia” do pavimento, a partir de características da superfície dependentes do desempenho estrutural do pavimento (adequado para projetos de recuperação).

O fator de equivalência da AASHTO foi idealizado a partir de estudos de solicitações tangenciais por um eixo padronizado de  $8.165kgf$  para que conduzisse a um determinado índice de serventia pré-definido. Essas solicitações tangenciais causam esforços ao revestimento do pavimento.

Quando assumindo um índice de serventia não inferior a 2,0 e que as deformações verticais máximas não superam a superfície do subleito, os valores dos fatores de equivalência da AASHTO se aproximam aqueles obtidos através da teoria da elasticidade, podendo-se então estender o mecanismo de cálculo dos  $FECs$  para eixos de roda duplas mais carregados e até para tandem-duplos que não superem a  $25tf$ .

Porém, o fator de equivalência não depende só da carga aplicada, mas da estrutura do pavimento. Além disso, a utilização dos  $FECs$  da AASHTO é bastante influenciada pelas condições climáticas, do tipo de solo existente no subleito e das pressões de inflação (que solicitam as seções do pavimento), sendo necessário tomar os devidos cuidados com relação as condições dos EUA, para onde foram formulados, e as do Brasil (Pereira, 1992).

Mesmo com essas considerações, esse foi o único método que foi gerado com o respaldo de verificações experimentais de campo.

O cálculo do fator de equivalência pelo DNER/USACE leva em consideração o “afundamento plástico” do pavimento, sendo aplicável à resolução de problemas de dimensionamento onde a

maior preocupação é a proteção da infraestrutura do pavimento (subleito) quanto a deformações permanentes (adequado para projetos de pavimentos novos).

O fator de equivalência do USACE, como está associado a ruptura plástica da porção inferior da estrutura, não é adequado para a resolução de problemas ligados à estimativa da vida das camadas betuminosas do pavimento no que respeita à fadiga. Além disto, a espessura implícita para o cálculo dos fatores de equivalência do CE é de 34,3cm, sendo inferior a espessura das rodovias brasileiras de tráfego pesado (Pereira, 1992).

As equações gerais apresentadas a seguir para o cálculo dos fatores de equivalência de cargas por este método são bastante influenciadas pelo número de coberturas (número de vezes em que a área de contato da roda simples – eixo simples, ou de uma das rodas simples – eixo duplo, se sobrepõe ao ponto crítico, o qual é o que recebe um número de solicitações maior que os demais) tomado como referência pelo CE 5.000 coberturas (Pereira, 1992).

$$\log FEC_c = \frac{1}{0,23} \sqrt{\frac{P_{eq}}{P_{ep}}} - \left[ \frac{0,15}{0,23} + \log 5000 \right] \quad (\text{Eq. A.07})$$

$$\log FEC = \frac{1}{0,23} \sqrt{\frac{P_{eq}}{P_{ep}}} - \left[ \frac{0,15}{0,23} + \log 5000 \right] + \log \frac{(Rc)_p}{Rc} \quad (\text{Eq. A.08})$$

Onde:

$FEC_c$  → fator de equivalência referido ao número de coberturas;

$FEC$  → fator de equivalência de carga de eixo genérica;

$P_{eq}$  → pressão de contato equivalente;

$P_{ep}$  → carga de roda simples equivalente ao eixo - padrão adotado, referida a profundidade  $e_p$  (em lb), onde  $e_p$  é a espessura do pavimento que, apresentado sobre o subleito considerado, pode resistir a 5.000 coberturas de uma carga de roda simples igual à carga de roda simples equivalente ao eixo - padrão e referida a profundidade  $e_p$  (em polegadas);

$(Rc)_p$  → número de operações requerido para a obtenção de uma cobertura;

$Rc$  → número de operações da carga de eixo genérica suficiente para a realização de uma cobertura.

O quadro A.04 apresenta as fórmulas utilizadas para cálculo do  $FEC$ , para diferentes tipos de eixos, pelos os dois métodos observados anteriormente.

A somatória dos valores ( $p_i \cdot FEC_{i,p}$ ) fornece o valor do chamado fator de veículo ( $FV$ ) ou fator de caminhão ou equivalência de operações, relativo ao perfil de tráfego verificado em

pesagens por 100 veículos da amostra. O valor absoluto do fator de veículo será portanto (Balbo, 1992):

$$FV = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i \cdot FEC_{i,p})}{100} \quad (\text{Eq. A.09})$$

**QUADRO A.04 – Equações para cálculo de fatores de equivalência.**

Tipo de Eixo	Método (carga em tf)	
	GEIPOT/DNER	DNER/USACE
Simplex de roda simples	$\left(\frac{P}{7,77}\right)^{4,32}$	$2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
Simplex de roda dupla	$\left(\frac{P}{8,17}\right)^{4,32}$	$1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Duplo Tandem roda dupla	$\left(\frac{P}{15,08}\right)^{4,14}$	$1,528 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo roda dupla	$\left(\frac{P}{22,95}\right)^{4,22}$	$1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

Fonte de dados preliminares: Pereira (1992).

O número de solicitações equivalentes do eixo-padrão será então determinado levando-se em consideração as seguintes condições (Balbo, 2002):

- *VDM* calculado com base nas contagens volumétricas e classificatórias é representativo de uma seção de via;
- *VDM* é representativo da frota total de veículos. Para fins de projeto de pavimentação, podendo ser considerado apenas os veículos comerciais (ônibus, caminhões médios, caminhões pesados, reboques e semi-reboques), sendo desprezados os veículos de passeio, utilitários e caminhões leves. Isto é realizado através da inclusão de um fator de frota comercial ( $F_f$ ) que representa a porcentagem de veículos comerciais existentes em relação ao universo da frota, o que é obtido através da contagem classificada;
- volume acumulado de veículos deverá ser considerado em apenas um sentido (caso a via apresente dois sentidos) através da inclusão de um fator de sentido ( $F_s$ ). Assim, ter-se-á  $F_s = 1,0$  para vias com um sentido apenas e  $F_s = 0,5$  para vias com dois sentidos de tráfego; e
- caso a via possua mais de uma faixa de tráfego por sentido, o volume acumulado de veículos deverá ainda ser estimado apenas para a faixa supostamente mais carregada,

através da inclusão de um fator de distribuição de frota por faixa ( $F_d$ ), que representa a porcentagem dos veículos comerciais que se utilizam de tal faixa. Valores de  $F_d$  entre 0,8 e 1,0 são comumente adotados em projetos rodoviários. Para o caso de acostamentos, o dimensionamento é comumente realizado empregando-se  $F_d$  entre 0,01 e 0,05.

A expressão geral para o cálculo do número de repetições equivalentes do eixo-padrão ( $N$ ) será, portanto, para crescimento linear e geométrico, respectivamente (Balbo, 2002):

$$N = 365 \cdot \left\{ VDM \cdot \frac{[(1 + P \cdot t)^2 - 1]}{2 \cdot t} \right\} \cdot FV \cdot F_f \cdot F_s \cdot F_d \quad (\text{Eq. A.10})$$

e

$$N = 365 \cdot \left\{ VDM \cdot \frac{[(1 + t) - 1]}{\ln(1 + t)} \right\} \cdot FV \cdot F_f \cdot F_s \cdot F_d \quad (\text{Eq. A.11})$$

onde os itens entre chaves nas equações A.10 e A.11 podem ser expressos através de uma projeção linear de séries históricas.

## APÊNDICE B

### B. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS PARA CONSTRUÇÃO RODOVIÁRIA

A equipe de topografia tem fundamental importância em projeto e construção de rodovias.

Através dela é que pode-se materializar os pontos notáveis da rodovia em campo conforme ela foi projetada, realizar controle geométrico da execução e realizar a medição dos serviços de engenharia.

A seguir serão descritos os conhecimentos básicos necessários à realização dos trabalhos por equipes de topografia em construção rodoviária.

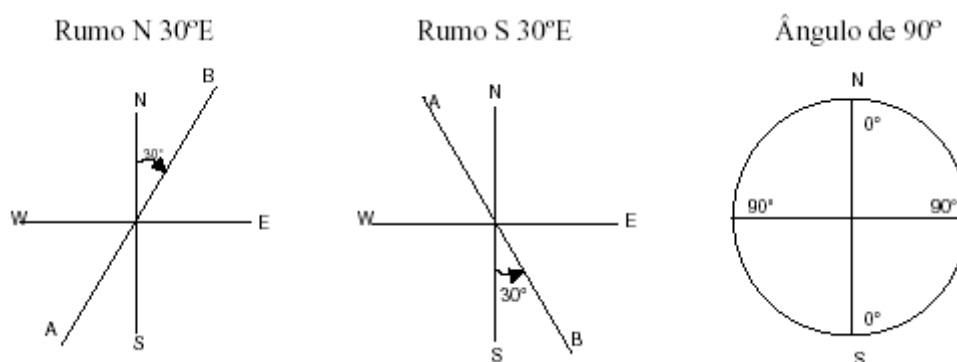
#### B.1. Ângulos de Orientação Utilizados em Topografia

Na locação de poligonais de rodovias, são três os ângulos principais que devem ser observados (rumos, azimutes e deflexões), além das coordenadas dos pontos (x;y).

“Para medir a direção de uma linha, usa-se rumos ou azimutes, grandezas que podem ser magnéticas ou verdadeiras, de acordo com a linha Norte-Sul de referência” (FUNASA, 2003).

O Rumo é o ângulo que uma linha faz com o Norte-Sul, a partir do Norte ou do Sul como origem, e vai até Este (E) ou Oeste (W), tendo, no máximo,  $90^\circ$ .

A figura B.01 a seguir apresenta alguns exemplos de representação de rumos em quadrantes de  $360^\circ$ .

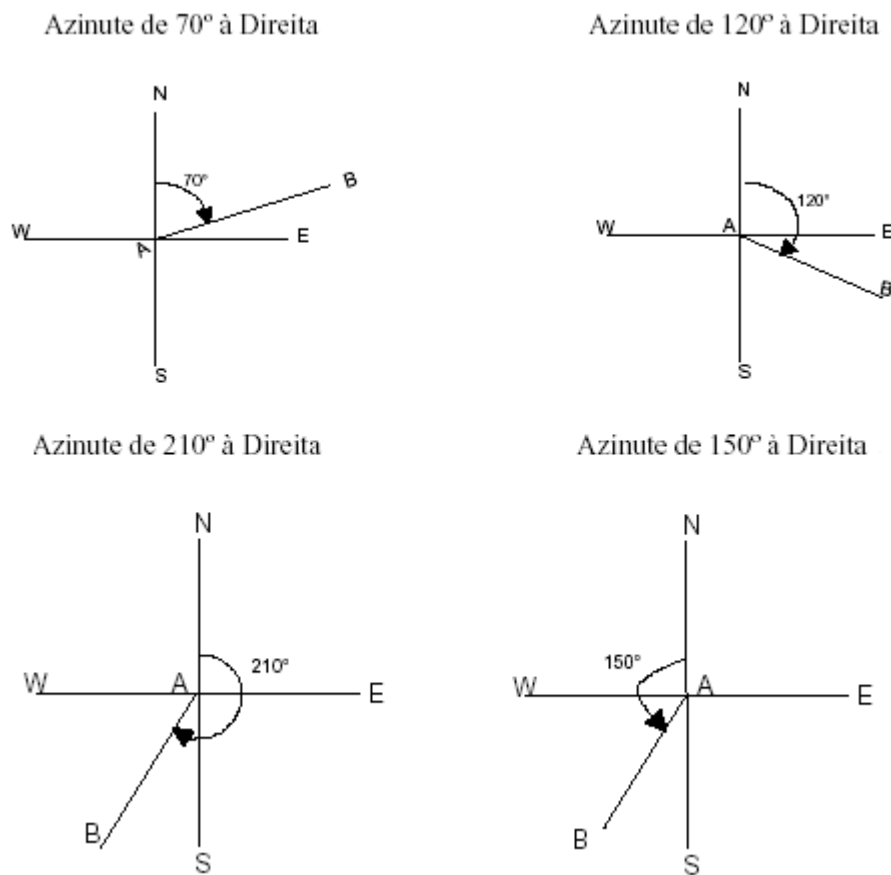


**FIGURA B.01 – Representação gráfica de Rumos (Fonte: FUNASA, 2003).**

O Azimute é o ângulo que uma linha faz com o Norte-Sul, a partir do Norte para a direita ou para a esquerda, variando de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ .



A figura B.02 a seguir apresenta alguns exemplos de representação de azimutes em quadrantes de 360°.



**FIGURA B.02 – Representação gráfica de Azimutes (Fonte: FUNASA, 2003).**

As relações entre Azimutes à Direita e Rumos podem ser observadas no quadro B.01 a seguir.

**QUADRO B.01 – Relações entre Azimutes à Direita e Rumos.**

Quadrante	Azinute → Rumo	Rumo → Azinute
1°	$R = A_z (NE)$	$A_z = R$
2°	$R = 180^\circ - A_z (SE)$	$A_z = 180^\circ - R$
3°	$R = A_z - 180^\circ (SO)$	$A_z = R + 180^\circ$
4°	$R = 360^\circ - A_z (NO)$	$A_z = 360^\circ - R$

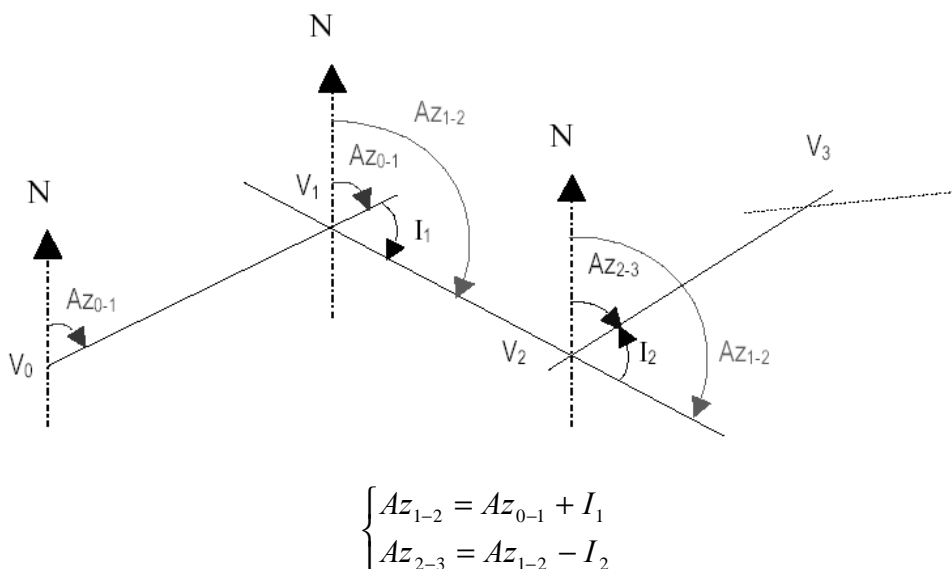
Fonte: Brandalize (2003), pág. 71.

Já o ângulo de deflexão “é a medida de quanto se está desviando quando se passa do alinhamento anterior para o seguinte nesse vértice” (Lee, 2000).

A deflexão pode ser medida a direita ou a esquerda, de acordo com o sentido escolhido, e seu cálculo é realizado pela equação B.01.

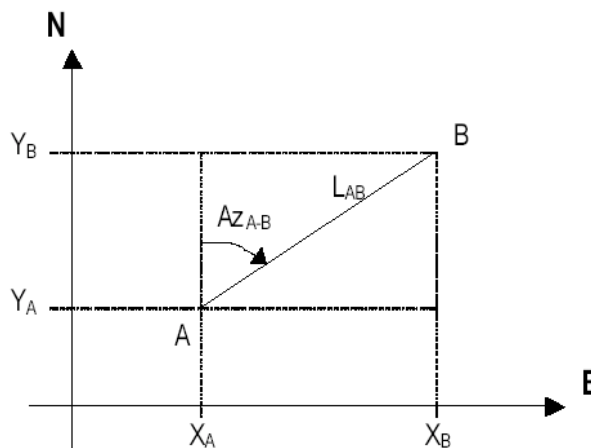
$$\text{Deflexão } (I) = \text{Azimute}_{(n+1)} - \text{Azimute}_{(n)} \quad (\text{Eq.B.01})$$

Analisando-se a equação B.01, pode-se sugerir a representação gráfica e prática, na figura B.03, dos azimutes e deflexões.



**FIGURA B.03 – Representação gráfica dos azimutes e deflexões (Fonte: Lee, 2000).**

Já as coordenadas de um ponto podem ser definidas através da analogia da figura B.04 com a utilização das equações B.02 e B.03.



**FIGURA B.04 – Representação cartesiana das coordenadas de pontos (Fonte: Lee, 2000).**

$$X_B = X_A + L_{AB} \cdot \text{sen}(Az_{A-B}) \quad (\text{Eq.B.02})$$

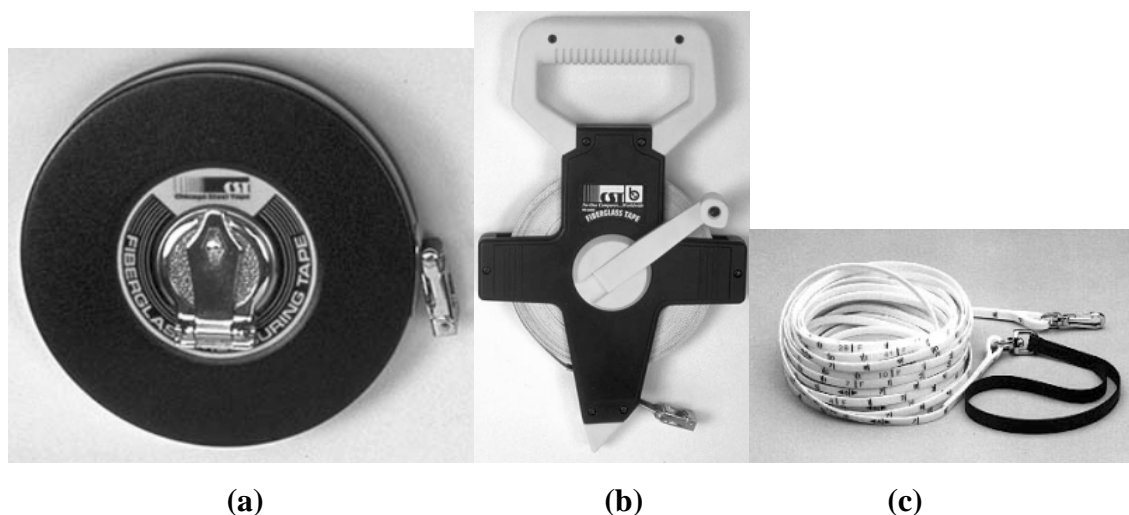
$$Y_B = Y_A + L_{AB} \cdot \text{cos}(Az_{A-B}) \quad (\text{Eq.B.03})$$

## B.2. Medidas de Distância

### B.2.1. Medidas Diretas

As medidas diretas de distância, como o próprio nome já diz, são aquelas há a necessidade de percorrê-las para compará-las com um grandeza padrão. Os principais dispositivos de medição de direta de distância, conhecidos também por diastímetros, e seus acessórios são os seguintes (Brandalize, 2003):

- fita e trena de aço (fig. B.05-a);
- trena de lona;
- trena de fibra de vidro (fig. B.05-b e B.05-c); e
- acessórios: piquetes, estacas, fichas, balizas, nível de cantoneira, barômetro de bolso, dinamômetro, termômetro, nível de mangueira e caderneta de campo.



**FIGURA B.05 – Trena: de aço (a) e de fibra de vidro (b e c) (Fonte: Brandalize, 2003).**

Esses aparelhos são muito sensíveis ao manuseio e as condições ambientes, como o clima. A quadro B.02 a seguir apresenta o grau de precisão de diastímetros em levantamentos.

**QUADRO B.02 – Grau de precisão de diastímetros.**

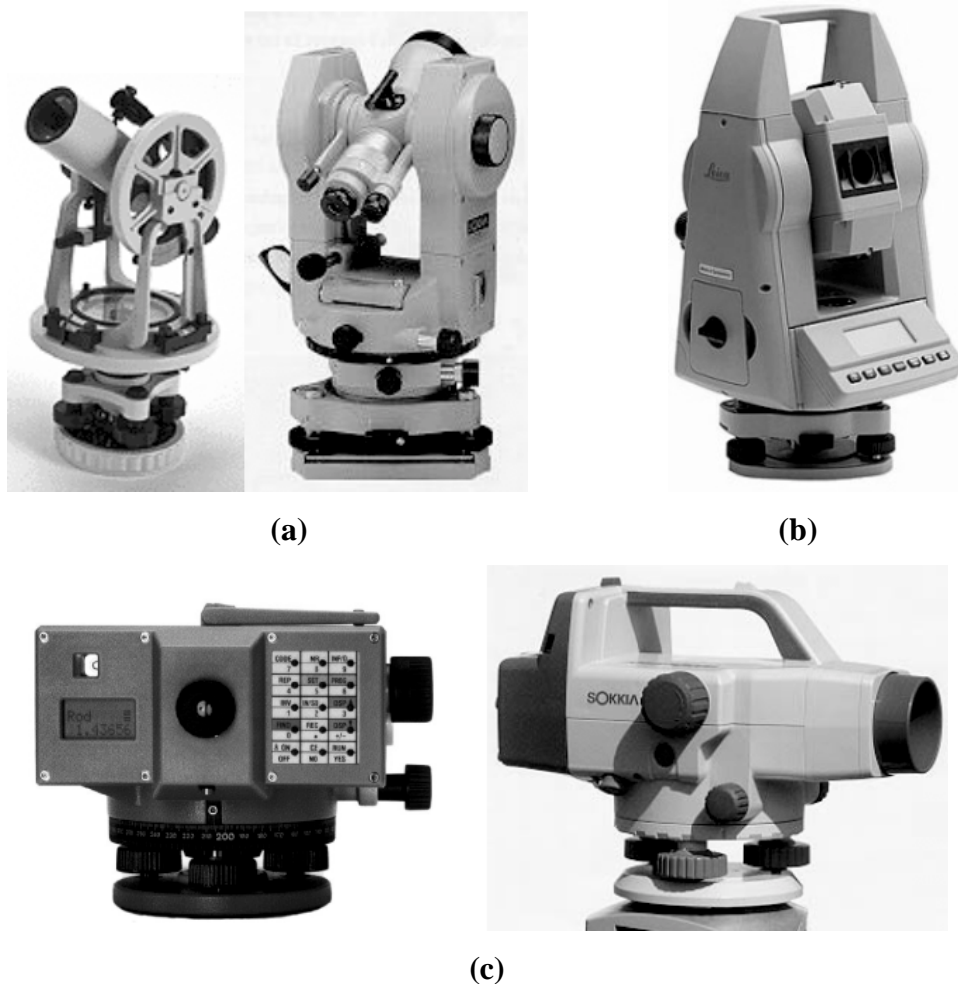
Diastímetro	Precisão
Fita e trena de aço	1 cm / 100 m
Fita Plástica	5 cm / 100 m
Fita de lona	25 cm / 100 m

Fonte: Brandalize (2003), pág. 25.

### B.2.2. Medidas Indiretas de Distância

O processo de medida indireta de distância é aquele em que pode-se calcular em função das medidas de grandezas indiretas (Brandalize, 2003). Os equipamentos utilizados neste tipo de medição são:

- teodolito (fig. B.06-a), estação total (fig. B.06-b) e e/ou nível digital (fig. B.06-c);
- mira ou régua graduada;
- nível de cantoneira;
- baliza; e
- acessórios: tripé e fio de prumo.

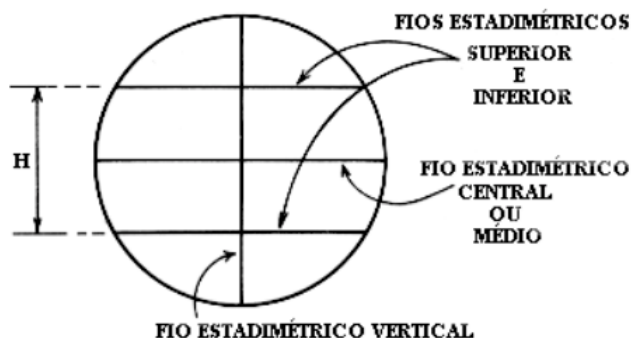


**FIGURA B.06 – Dispositivos de medição indireta de distância: teodolito (a), estação total (b) e nível digital (c) (Fonte: Brandalize, 2003).**

“Ao processo de medida indireta denomina-se Estadimetria ou Taqueometria, pois é através do retículo ou estadia do teodolito que são obtidas as leituras dos ângulos verticais

e horizontais e da régua graduada, para o posterior cálculo das distâncias horizontais e verticais” (Brandalize, 2003).

A estadia do teodolito é composta por 3 fios estadimétricos horizontais (FS, FM e FI) e por um fio estadimétrico vertical, conforme figura B.07.



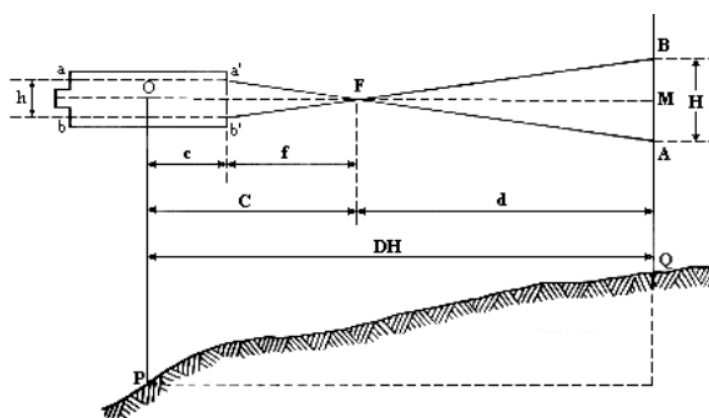
**FIGURA B.07 – Fios estadimétricos do teodolito (Fonte: Brandalize, 2003).**

### B.2.2.1. Métodos

Brandalize (2003) aponta 04 métodos para a realização de medidas indiretas de distância, os quais estão listados a seguir:

#### a) Distância Horizontal – Visada Horizontal

Deve ser realizado conforme a ilustração da figura B.08, com o teodolito estacionado no ponto P e a régua graduada no ponto Q, tendo-se a luneta do teodolito na posição horizontal. Realiza-se, então, as leituras dos três fios estadimétricos horizontais.



**FIGURA B.08 – Método da distância horizontal – visada horizontal (Fonte: Brandalize, 2003).**

Da qual têm-se:

$f$  = distância focal da objetiva;  
 $F$  = foco exterior à objetiva;  
 $c$  = distância do centro ótico do aparelho focal da objetiva;  
 $C = c + f$  = contante do instrumento;  
 $d$  = distância do foco à régua graduada;  
 $H = AB = B - A = FS - FI$  = diferença entre as leituras;  
 $M$  = leitura do retículo médio.

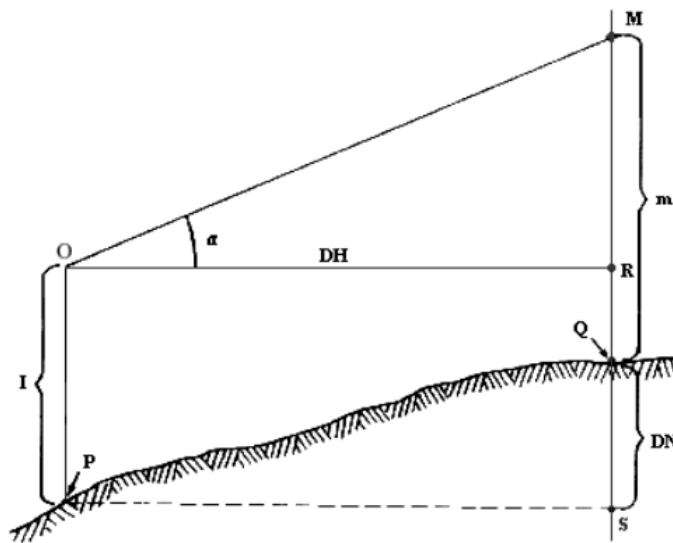
Da figura, por semelhanças, obtêm-se:

$$DH = 100 \cdot H + C \quad (\text{Eq.B.04})$$

$C$  é a constante de *Reichembach*, que assume valor  $0\text{cm}$  para equipamentos com lunetas analíticas e valores que variam de  $25\text{cm}$  a  $50\text{cm}$  para equipamentos com lunetas aláticas.

#### b) Distância Horizontal – Visada Inclinada

É o processo onde é necessário inclinar a luneta do equipamento, para cima ou para baixo, a um ângulo  $\alpha$  em relação a horizontal, para que se possa observar o ponto Q (fig. B.09).



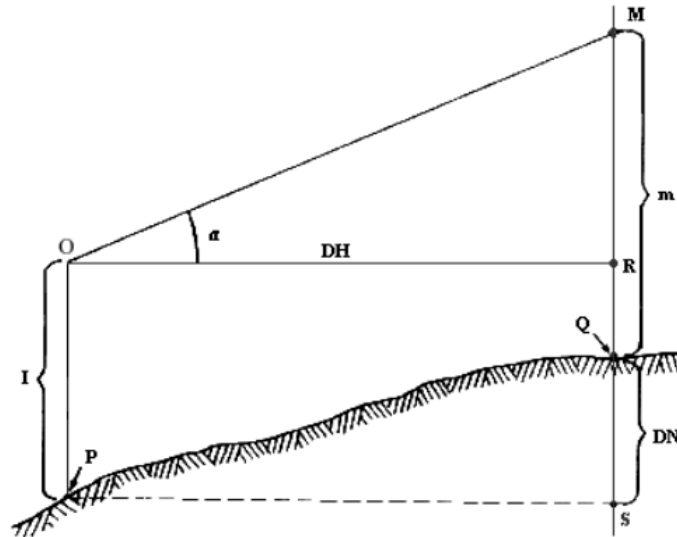
**FIGURA B.09 – Método da distância horizontal – visada inclinada (Fonte: Brandalize, 2003).**

Da figura, por semelhanças, obtêm-se:

$$DH = 100 \cdot H \cdot \cos^2 \alpha + C \quad (\text{Eq.B.05})$$

c) Distância Vertical – Visada Ascendente

É o processo onde mede-se a distância vertical, ou diferença de nível, entre dois pontos com a luneta inclinada para cima (fig. B.10).



**FIGURA B.10 – Método da distância vertical – visada ascendente (Fonte: Brandalize, 2003).**

Da figura têm-se:

$$QS = RS + RM - MQ$$

onde:

$$QS = DN = \text{diferença de nível};$$

$$RS = I = \text{altura do instrumento};$$

$$MQ = M = FM = \frac{FS + FI}{2} = \text{leitura do retículo médio.}$$

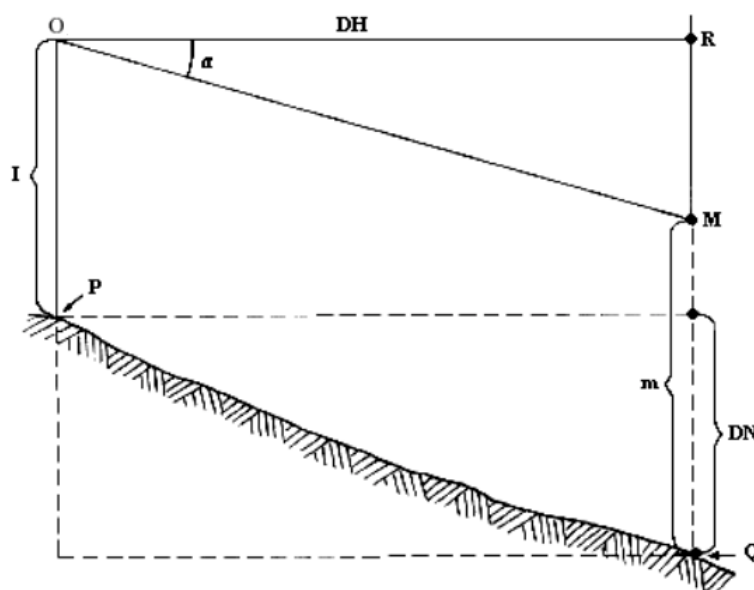
Do triângulo ORM, resulta-se em:

$$DN = 50 \cdot H \cdot \text{sen } 2\alpha - FM + I \quad (\text{Eq.B.06})$$

Quando  $DN$  é positivo, no sentido da medição, indica-se aclive e quando negativo declive.

d) Distância Vertical – Visada Descendente

É o processo onde mede-se a distância vertical, ou diferença de nível, entre dois pontos com a luneta inclinada para baixo (fig. B.11).



**FIGURA B.11 – Método da distância vertical – visada descendente (Fonte: Brandalize, 2003).**

Do triângulo ORM, resulta-se em:

$$DN = 50 \cdot H \cdot \text{sen } 2\alpha + FM - I \quad (\text{Eq.B.07})$$

Quando  $DN$  é positivo, no sentido da medição, indica-se declive e quando negativo aclave.

### B.3. Planimetria

“A finalidade da planta planialtimétrica é de fornecer o maior número possível de informações da superfície representada para efeitos de estudo, planejamento e viabilização de projetos” (Brandalize, 2003).

A planta planialtimétrica pode ser utilizada para (Brandalize, 2003):

- escolha do melhor traçado e de locação de estradas, determinando-se: declividade máxima de rampas; mínimo de curvas necessário; movimentação de terra (volumes de corte e aterro); locais sujeitos a inundação; necessidades de obras especiais; e
- serviços de terraplanagem, onde é possível: estudar o terreno para fins de planificação; determinar os volumes de corte e aterro necessários à construção; retificar as curvas de nível segundo os projetos idealizados.

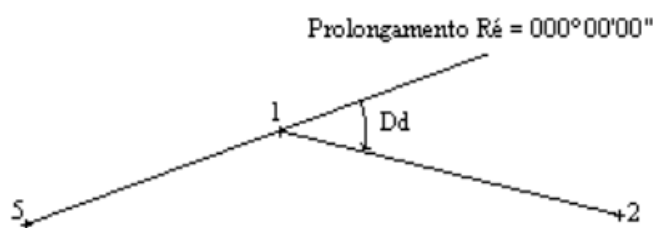


### B.3.1. Levantamento por Deflexão

“A deflexão é um ângulo horizontal que o alinhamento à vante forma com o prolongamento do alinhamento à ré, para um aparelho estacionado, nivelado e centrado com a perfeição, em um determinado ponto de uma poligonal. Este ângulo varia de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . Pode ser positivo, ou à direita, se o sentido de giro for horário, negativo, ou à esquerda, se o sentido de giro for anti-horário” (Brandalize, 2003).

Brandalize (2003) propõe o seguinte procedimento para a medida de deflexão utilizando teodolito eletrônico ou um estação total (fig. B.12):

- executar a pontaria (fina) sobre o ponto de ré (primeiro alinhamento);
- zerar o círculo horizontal do aparelho nesta posição (procedimento padrão  $\rightarrow$  Hz =  $000^\circ 00' 00''$ );
- liberar somente a luneta do aparelho e tombá-la segundo o prolongamento do primeiro alinhamento;
- liberar e girar o aparelho (sentido horário ou anti-horário), executando a pontaria (fina) sobre o ponto de vante (segundo alinhamento); e
- anotar ou registrar o ângulo (Hz) marcado no visor LCD que corresponde à deflexão medida.



**FIGURA B.12 – Deflexão entre um prolongamento de poligonal e uma poligonal**  
(Fonte: Brandalize, 2003).

### B.3.2. Levantamento por Caminhamento

É utilizado para o levantamento de superfícies relativamente grandes e de relevo acidentado. Este é um procedimento que oferece maior confiabilidade na obtenção dos resultados, quando comparado a outros métodos (Brandalize, 2003).

Brandalize (2003) aponta as seguintes etapas para o levantamento por caminhamento de poligonais abertas:

- reconhecimento do terreno – fase de implantação de piquetes para a delimitação da superfície a ser levantada (poligonal aberta com ponto de partida PP e com ponto de chegada PC);
- levantamento da poligonal – fase onde percorre-se as estações da poligonal, uma a uma, no sentido horário, medindo-se ângulos e distâncias horizontais, devendo anotar-se todos esse dados em cadernetas de campo ou registrar na memória do próprio aparelho;
- levantamento dos detalhes;
- orientação da poligonal – é feita através da determinação do rumo ou azimute verdadeiro do primeiro alinhamento a partir de uma base conhecida;
- computação dos dados – processo de fechamento angular e linear, transporte dos rumos/azimutes e das coordenadas; e
- desenho da planta e redação do memorial descritivo.

#### **B.4. Altimetria**

A altimetria é utilizada para a realização de nivelamentos, construção de perfis e de curvas de nível.

A seguir pode-se observar a forma de realização destes serviços.

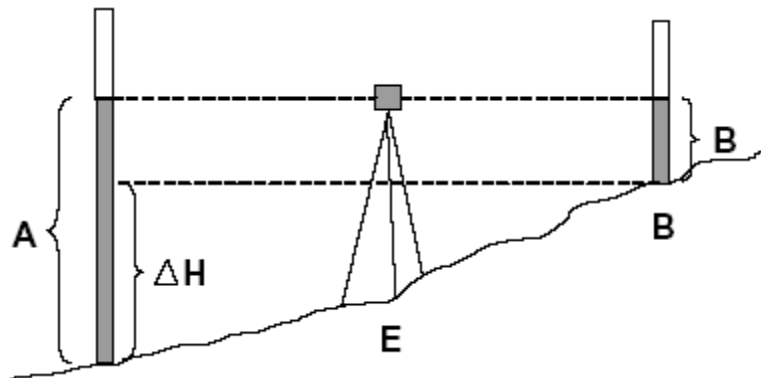
##### **B.4.1. Nivelamento Geométrico**

Serve para determinar o desnível entre dois pontos.

Segundo FUNASA (2003), o nivelamento geométrico pode ser linear simples, linear composto, irradiado simples e irradiado composto, onde:

- no Linear Simples determina-se de um único desnível, onde, de acordo com a posição do instrumento, pode assumir três casos diferentes. No primeiro caso o aparelho é estacionado a igual distância entre dois pontos dos quais deseja-se estabelecer o desnível (fig. B.13). No segundo caso o instrumento é estacionado sobre um dos pontos (fig. B.14), onde estacionando o aparelho no ponto B mede-se a altura do instrumento

( $\Delta I$ ) e faz-se a leitura do ponto A, correspondente ao fio médio. No terceiro caso o instrumento será estacionado atrás de um dos pontos (fig. B.15);



**FIGURA B.13 – Nivelamento Linear Simples I (Fonte: FUNASA, 2003).**

$$|\Delta H| = L_a - L_b = L_r - L_v \quad (\text{Eq.B.08})$$

onde :

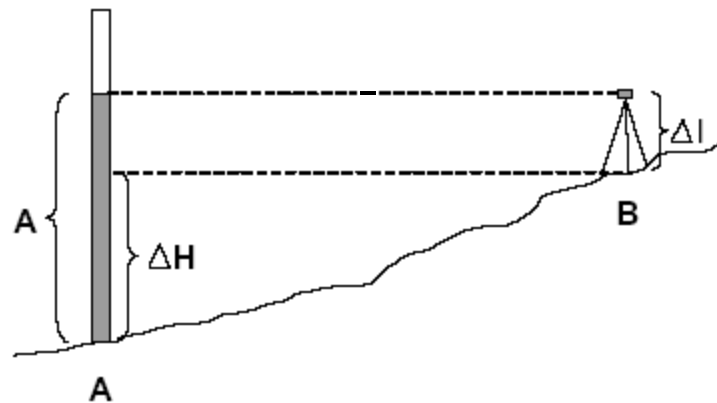
$\Delta H \rightarrow$  diferença de nível;

$L_a \rightarrow$  altura do ponto A;

$L_b \rightarrow$  altura do ponto B;

$L_r \rightarrow$  leitura de ré;

$L_v \rightarrow$  leitura de vante.



**FIGURA B.14 – Nivelamento Linear Simples II (Fonte: FUNASA, 2003).**

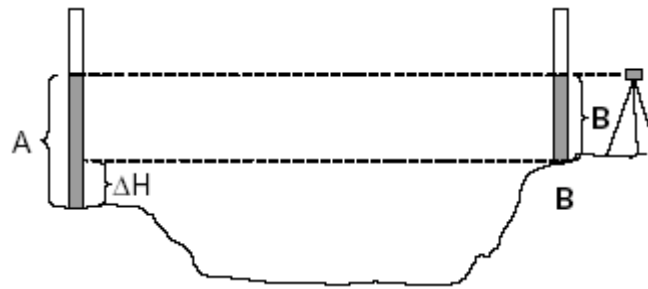
$$|\Delta H| = L_a - \Delta I \quad (\text{Eq.B.09})$$

onde :

$\Delta H \rightarrow$  diferença de nível;

$L_a \rightarrow$  altura do ponto A;

$\Delta I \rightarrow$  altura do instrumento.



**FIGURA B.15 – Nivelamento Linear Simples III (Fonte: FUNASA, 2003).**

$$|\Delta H| = L_a - L_b = L_r - L_v \quad (\text{Eq.B.10})$$

onde :

$\Delta H$  → diferença de nível;

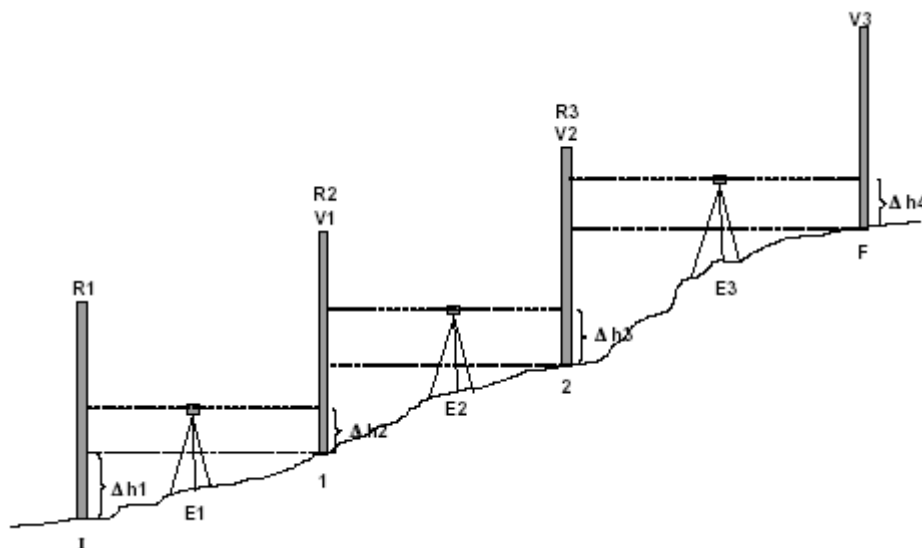
$L_a$  → altura do ponto A;

$L_b$  → altura do ponto B;

$L_r$  → leitura de ré;

$L_v$  → leitura de vante.

- no Linear Composto faz-se uma série de nivelamento lineares simples (fig. B.16). O nivelamento linear composto deverá ser fechado para permitir o seu controle. Entende-se por nivelamento fechado, aquele que começa em um ponto de altitude ou cota conhecida e termina em um ponto de altitude conhecida, podendo o ponto de partida ser também o ponto de chegada;



**FIGURA B.16 – Nivelamento Composto (Fonte: FUNASA, 2003).**

$$\Delta h_1 = L_{r1} - L_{v1}$$

$$\Delta h_2 = L_{r2} - L_{v2}$$

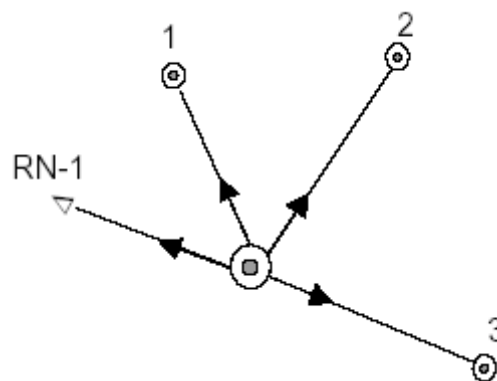
$$\Delta h_3 = L_{r3} - L_{v3}$$

$$\Delta h_4 = L_{r4} - L_{v4}$$

então :

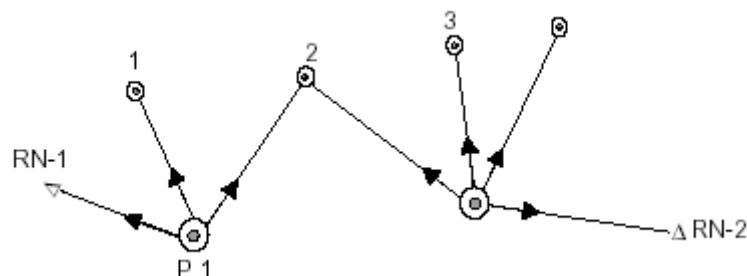
$$\Delta H_{if} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \dots \quad (\text{Eq.B.11})$$

- no Irradiado Simples estaciona-se o nível em ponto qualquer, fora do alinhamento dos pontos a nivelar, e lê-se as miras localizadas nos demais pontos (fig. B.17). A primeira leitura é considerada leitura ré, as demais são consideradas leituras vantes. A leitura ré é feita sobre um ponto de altitude ou cota que determinará a altitude do plano de referência. Uma vez estabelecido o plano de referência os demais pontos terão suas altitudes ou cotas, subtraindo-se as leituras vantes do plano de referência; e



**FIGURA B.17 – Nivelamento Irradiado Simples (Fonte: FUNASA, 2003).**

- no Irradiado Composto é quando for necessário mais de um estacionamento (fig. B.18). Aqui também é válido o conceito de nivelamento fechado utilizado no nivelamento geométrico linear composto.



**FIGURA B.18 – Nivelamento Irradiado Composto (Fonte: FUNASA, 2003).**

### B.4.2. Construção de Perfis

Brandalize (2003) estabelece o seguinte procedimento para o levantamento de um perfil de poligonais:

- toma-se o maior afastamento (fechada) ou o perímetro (aberta) de uma poligonal e determina-se a linha principal a ser levantada;
- faz-se o estaqueamento desta linha em intervalos de 5m, 10m ou 20m com a ajuda de balizas e trena ou de teodolito. É importante que as estacas sejam numeradas;
- faz-se o levantamento altimétrico desta linha e determinam-se todos os seus desníveis;
- determinam-se também as linhas transversais às estacas da linha principal com a ajuda de um teodolito. Se a linha longitudinal escolhida for o perímetro da poligonal, deve-se traçar, em cada estaca, a linha transversal segundo a bissetriz do ângulo horizontal naquele ponto;
- faz-se o estaqueamento das linhas transversais com a mesma precisão da linha principal, ou seja, em intervalos de 5m, 10m ou 20m;
- faz-se o levantamento destas linhas transversais e determinam-se todos os seus desníveis;
- representam-se os valores dos desníveis obtidos e das distancias horizontais entre as estacas em um sistema de eixos ortogonais da seguinte forma:

No eixo x são lançadas todas as distancias horizontais entre as estacas (perímetro da linha levantada) em escala apropriada. Ex.: 1:750.

No eixo y são lançados todos os valores de cota/altitude das estacas levantadas também em escala apropriada. Ex.:

1:75 (escala em y 10 vezes maior que a escala em x) → perfil elevado.

1:750 (escala em y igual à escala em x) → perfil natural.

1:1500 (escala em y 2 vezes maior que a escala em x) → perfil rebaixado.

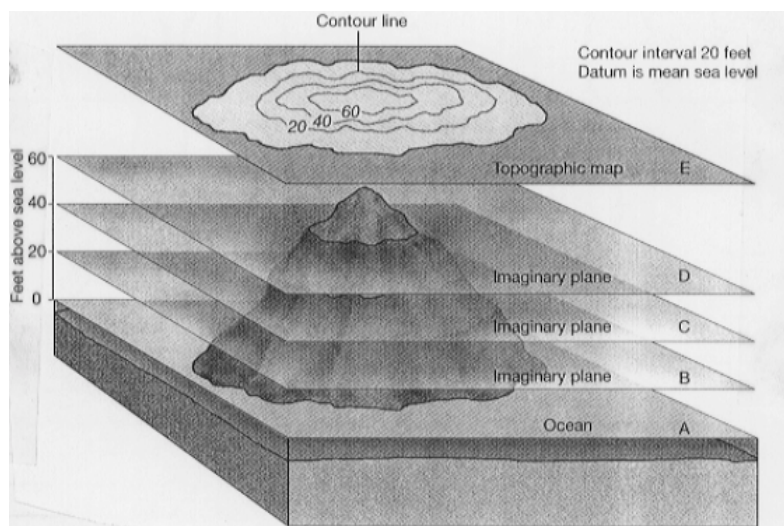
- uma vez representadas as estacas no eixo x, estas devem ser unidas, através de linhas ortogonais, às suas respectivas cotas já representadas no eixo y. Desta forma, cada

interseção de duas linhas ortogonais (x e y) dará como resultado um ponto definidor do perfil; e

- desenho final do perfil deverá compor uma linha que une todos os seus pontos definidores.

### B.4.3. Curvas de Nível

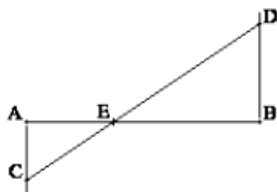
“As curvas de nível ou isolinhas são linhas curvas fechadas formadas a partir da interseção de vários planos horizontais com a superfície do terreno” (Brandalize, 2003), onde cada linha pertencente ao mesmo plano horizontal situam-se na mesma cota altimétrica (fig. B.19).



**FIGURA B.19 – Representação tridimensional de curvas de nível (Fonte: Brandalize, 2003).**

A partir dos pontos notáveis, obtidos no levantamento altimétrico, é que pode-se realizar o processo de interpolação para a definição da localização das curvas de nível (Brandalize, 2003).

A interpolação para a obtenção de uma curva de nível com cota inteira é ilustrada na figura B.20 e deve ser realizada com a utilização da equação B.12.



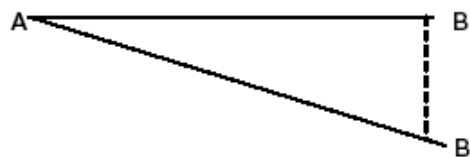
**FIGURA B.20 – Interpolação de curvas de nível (Fonte: Brandalize, 2003).**

$$AE = \frac{AC \cdot AB}{(AC + BD)} \quad (\text{Eq.B.12})$$

### B.5. Erros nas Medições

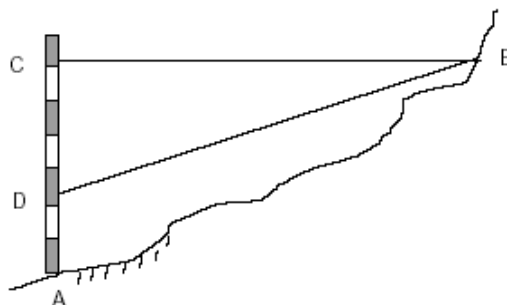
Embora os serviços topográficos sejam bastante precisos alguns erros podem ser observados quando na sua execução, como (Brandalize, 2003, e FUNASA, 2003):

- dilatação – devido a ação do calor nos equipamentos de medição direta;
- desvio lateral – quando mede-se um valor  $AB'$  no lugar do valor certo  $AB$  (fig. B.21);



**FIGURA B.21 – Desvio Lateral (Fonte: FUNASA, 2003).**

- desvio vertical – devido a não horizontalidade da trena nas medições, medindo-se um valor  $BD$  no lugar do valor certo  $BC$  (fig. B.22);



**FIGURA B.22 – Desvio Vertical (Fonte: FUNASA, 2003).**

- catenária – curva formada por qualquer fio flexível suspenso por 2 pontos (Fig. B.23);

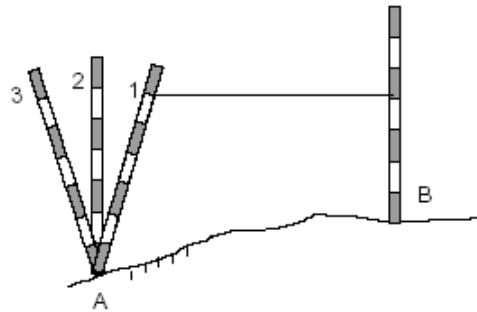


**FIGURA B.23 – Catenária (Fonte: FUNASA, 2003).**

- inclinação da baliza – quando a baliza não se encontra na posição vertical (Fig. B.24);
- instrumento errado – quando o próprio instrumento (trena, corda, corrente) não estiver calibrado;
- falhas na leitura da régua;
- falhas na leitura de ângulos;



- não verticalidade da mira; e
- erro linear de centragem ou nivelamento do teodolito.



**FIGURA B.24 – Inclinação da Baliza (Fonte: FUNASA, 2003).**

Segundo Brandalize (2003), “a precisão, tolerância ou erro médio de um nivelamento é função do perímetro percorrido com o nível”, classificando-se da seguinte forma:

- alta ordem – o erro médio admitido é de  $\pm 1,5mm/km$  percorrido;
- primeira ordem – o erro médio admitido é de  $\pm 2,5mm/km$  percorrido;
- segunda ordem – o erro médio admitido é de  $\pm 1,0cm/km$  percorrido;
- terceira ordem – o erro médio admitido é de  $\pm 3,0cm/km$  percorrido; e
- quarta ordem – o erro médio admitido é de  $\pm 10,0cm/km$  percorrido.

O erro médio em poligonais abertas é a soma algébrica das diferenças de nível parciais (entre todos os pontos) no nivelamento (ida) e no contranivelamento (volta) (Brandalize, 2003).

A IPR 707/20 (1999) admite as seguintes tolerâncias máximas para erros angulares ( $e$ ) em estudos topográficos para anteprojeto e projeto de rodovias:

- linha de exploração do anteprojeto ( $e$  em minutos):

$$e \leq 10\sqrt{N} \quad (\text{Eq.B.13})$$

Onde :

$N \rightarrow$  número de vértices.

- o nivelamento de anteprojeto e projeto deverá ter erro máximo de  $2 cm/km$  e diferença acumulada máxima ( $e$  em milímetros):

$$e \leq 12,5\sqrt{n} \quad (\text{Eq.B.14})$$

Onde :

$n \rightarrow$  distância percorrida em quilômetros.

### **B.6. Cuidados com Equipamentos Topográficos**

Sem dúvidas, o teodolito um dos equipamentos mais utilizados em topografia. Sabendo-se disto é interessante, primeiramente, observar as características deste aparelho quanto a sua capacidade (Brandalize, 2003):

- permite ler ângulos com precisão desde 1' (teodolito topográfico) até 0,5" (teodolito com precisão ou geodésico);
- os topográficos, por serem mecânicos, são indicados para lances inferiores a 250m; e
- os de precisão, que podem ser prismáticos ou eletrônicos, são indicados para lances superiores a 250m.

“Os instrumentos topográficos não podem cumprir por completo suas funções se não forem tratados e conservados com cuidado e se os métodos empregados não forem os indicados às propriedades do instrumento. Cada instrumento é entregue da fábrica com o manual de instruções para o uso, que de nada adiantará se ficar guardado sem que seja consultado por seus usuários” (Núcleo de Topografia da Escola Técnica de Santa Catarina, 2003).

O Núcleo de Topografia da Escola Técnica de Santa Catarina ainda faz algumas recomendações com relação a utilização, conservação e inspeção de equipamentos topográficos, as quais podem ser observadas a seguir:

- conservação – Deve-se conservar o instrumento, se possível, em lugar seco e ventilado, sem pó e sem grandes variações de temperatura. Um instrumento que permanece muito tempo sem ser usado, está exposto ao perigo do fungo. Se por algum motivo, o instrumento ficar exposto à umidade, provida de sereno, neblina, garoa, chuvisco etc., deve-se sacá-lo de seu estojo para permitir que o ar circule em sua volta, colocando-o em um armário arejado e com uma pequena calefação ao fundo, direcionada à ele. Poderá ser uma estufa de resistência ou uma lâmpada incandescente. Deste modo evita-se o depósito de vapor d'água sobre a ótica e que haja condensação no interior do instrumento;
- inspeção – Antes de começar cada período de trabalho de campo, deve-se examinar o instrumento segundo as instruções para emprego, contidas no manual e ajustá-lo se for

necessário e possível. Isto também se aconselha após terminadas as tarefas de campo em prolongadas pausas de trabalhos e depois de transportes longos, para evitar horas de trabalho perdidas por deficiência do instrumento;

- cuidados ao sacar o instrumento do estojo – Antes de sacar o instrumento, se põe na estação o tripé e se observa como se encontra o instrumento dentro do estojo, de maneira que se possa, ao guardá-lo novamente, encaixá-lo exatamente, coincidindo com a estrutura do estojo. Ao sacar o instrumento, levanta-se ele segurando firmemente com uma das mãos em seu lado ou na alça de transportes (se tiver) e colocando a outra por baixo da base nivelante. Tem que se ter muito cuidado para nunca tocar os níveis tubular e esférico dos instrumentos;
- cuidados ao colocar o instrumento sobre o tripé – Coloca-se o instrumento sobre a plataforma do tripé e, sustentando-o com uma das mãos, fixa-se imediatamente a base nivelante na plataforma. Nunca deve-se deixar um instrumento solto sobre o tripé;
- cuidados ao retirar o instrumento do tripé para conduzi-lo ao laboratório – Estando o instrumento fixo sobre o tripé, deixa-se o estojo aberto, no chão, pronto para guardá-lo. Afrouxa-se todos os parafusos de fixação do instrumento e volta-se os parafusos calantes para a posição intermediária, dando recursos para eles. Com uma das mãos segura-se o aparelho pelo seu lado ou na alça de transporte, e com a outra solta-se o instrumento do tripé. Levanta-se o instrumento colocando a mão livre imediatamente por baixo da base nivelante. Gira-se ele até haver coincidência das marcas para posição de estojo (se houver). Deve-se conduzir o instrumento até o estojo, acomodando-o corretamente e procede-se o fechamento do estojo; e
- transporte manual de estação para estação – Estando o instrumento instalado sobre a estação e terminadas as leituras de ângulos, afrouxa-se todos os parafusos de fixação do instrumento. Agindo sobre o parafuso que fixa o instrumento à base nivelante, solta-se o instrumento de sua base. Guarda-se o instrumento no estojo seguindo as instruções do item anterior, porém, ficando a base nivelante montada sobre o tripé. O transporte manual, para outra estação, deverá ser feito com o instrumento no estojo e a base nivelante montada sobre o tripé, em posição no ombro. Com isto, evita-se de gastar a rosca do parafuso de fixação do instrumento ao tripé, e a rosca do próprio instrumento toda a vez que se mudar de estação e sacar todo o aparelho do tripé. Também, evita-se que o parafuso do tripé fique batendo solto no tripé durante o transporte sem a base

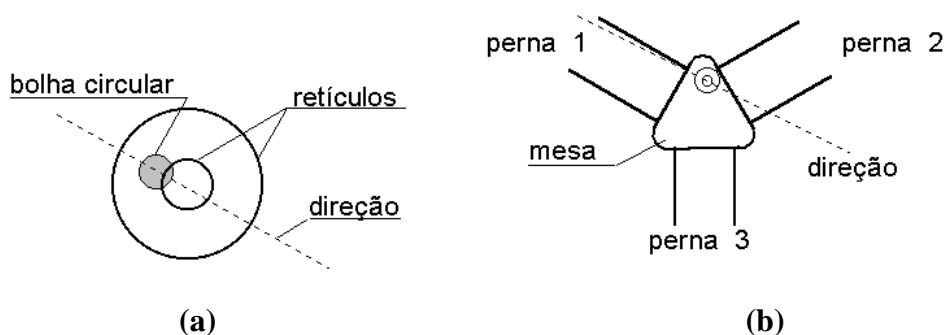
nivelante. Quando o instrumento não permitir a sua separação da base nivelante (não existe parafuso de fixação ou está danificado) o instrumento com sua base nivelante deverá ser desenroscado do tripé e acondicionado em seu estojo. Vale lembrar que isto deve ser feito para qualquer distância superior a 5 metros. Em casos de extrema necessidade (por algum motivo o estojo estar longe e começar a chover) o instrumento deverá ser carregado montado sobre o tripé, em posição no ombro estando o mais próximo possível da vertical e não superior a 45° de inclinação com o zênite. Nos terrenos matosos, é aconselhável transportá-lo à frente do corpo, com o tripé sob um dos braços e apoiando numa das mãos a base nivelante.

### **B.7. Estacionando Equipamentos Topográficos com Prumo Ótico**

A seguir está descrito, conforme procedimento do núcleo de topografia da Escola Técnica de Santa Catarina, como o operador deve proceder no processo de estacionar equipamentos topográficos com prumo ótico:

- deve-se posicionar o tripé do instrumento aproximadamente na vertical do ponto topográfico. Se a superfície topográfica for irregular, posicionar apenas uma perna na parte mais alta e utilizar o fio de prumo para auxiliar na detecção da vertical. Procurar adaptar a altura do tripé para a altura do operador, não deixando de considerar a irregularidade da superfície e nem a altura do instrumento. Pode-se aproveitar este momento para deixar a mesa do tripé aproximadamente nivelada e cravar uma das pernas no solo (de preferência a que estiver na parte mais alta do terreno);
- retira-se o instrumento de seu estojo conforme na seção B.6 “Cuidados com Equipamentos Topográficos” e coloca-o sobre o tripé conforme descrito na mesma seção. Posicionam-se os três calantes numa mesma altura (de preferência num ponto intermediário do recurso total do calante). Normalmente os instrumentos possuem marcas fiduciais como anéis pintados ou parafusos de fixação de seu eixo que podem servir de referência;
- posiciona-se a marca central do prumo ótico sobre o ponto topográfico utilizando as duas pernas do tripé que ainda não estão cravadas. Quando a marca estiver perfeitamente sobre o ponto topográfico, cravam-se as pernas soltas e inicia-se o nivelamento da bolha circular utilizando as três pernas. Deve-se prestar muita atenção na direção formada pela bolha e o círculo. Esta direção irá definir com qual perna

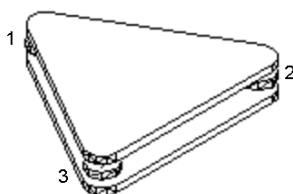
deverá subir ou abaixar a mesa. Conforme a figura B.25, a perna que deverá baixar a mesa é a perna 1, pois a bolha circular está na sua direção e para o seu lado;



**FIGURA B.25 – Nivelamento da bolha do tripé: (a) vista superior da bolha circular; (b) vista superior do tripé (Fonte: Escola Técnica Federal de Santa Catarina).**

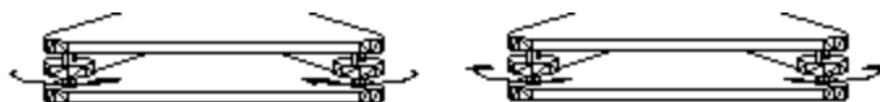
- com a bolha perfeitamente dentro do círculo (automaticamente a mesa estará nivelada, pois os calantes estão numa mesma altura), deve-se verificar se a marca central do prumo ótico saiu da vertical do ponto. Caso tenha saído deve-se afrouxar o instrumento do tripé e posicionar novamente a marca sobre o ponto topográfico; e
- iniciar então o nivelamento da bolha tubular utilizando o “Método dos Três Calantes” ou o “Método do Calante Perpendicular” (ambos descrito a seguir). Independente de qual método for optado, deverá ser feito duas vezes. Após feito, deve-se verificar se a marca central do prumo ótico saiu do ponto. Caso tenha saído retorna-se ao passo anterior.

Método dos Três Calantes (fig. B.26): Deixa-se a bolha tubular paralela aos calantes 1-2 e nivela-a utilizando somente estes dois calantes. O movimento dos calantes deverão ser sempre em sentidos opostos (quando um for girado no sentido horário o outro deverá ser girado no anti-horário). Em seguida posiciona-se a bolha tubular paralela aos calantes 2-3 e usa-se estes calantes para nivelar a bolha. Não deve-se esquecer que os calantes devem girar em sentidos opostos. Finalmente deixa-se a bolha paralela aos calantes 3-1 e nivela-a também.



**FIGURA B.26 – Método dos três calantes (Fonte: Escola Técnica Federal de Santa Catarina).**

Método do Calante Perpendicular (fig. B.27): Deixa-se a bolha paralela aos calantes 1-2 e nivela-a utilizando somente estes dois calantes. O movimento dos calantes deverão ser sempre em sentidos opostos (quando um for girado no sentido horário o outro deverá ser girado no anti-horário). Em seguida posiciona-se a bolha tubular perpendicular aos calantes 1-2 e usa-se somente o calante 3 para nivelar a bolha.



Movimento do calantes

**FIGURA B.27 – Método do calante perpendicular (Fonte: Escola Técnica Federal de Santa Catarina).**

### B.8. Dispositivos de Segurança

Em um levantamento topográfico é necessária a utilização de mecanismos de sinalização que permitam a visualização de equipamentos e de pessoas a distância, diminuindo a possibilidade de acidentes no trabalho.

Alguns destes dispositivos podem ser observados na figura B.28.



**FIGURA B.28 – Dispositivos de segurança no levantamento topográfico (Fonte: Brandalize, 2003).**

## APÊNDICE C

### C. ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Qualquer projeto de engenharia, por mais modesto que seja, requer o conhecimento adequado das características e propriedades dos solos onde a obra irá ser implantada. As investigações de campo e laboratório requeridas para obter os dados necessários para essas propostas são chamadas de “exploração do subsolo” ou “investigação do subsolo”. O quadro C.01 apresenta o conjunto de normas que regem os procedimentos para coleta de amostras de solos.

#### QUADRO C.01 – Normas relacionadas a coleta de amostras.

Tipo de Amostras	SPT	Amostras indeformadas	Amostras deformadas
Normas	NBR6484 e MB1211	DNER-PRO002	DNER-PRO003

Os principais objetivos de uma exploração do subsolo são:

- determinação da profundidade e espessura de cada camada do solo e sua extensão na direção horizontal;
- determinação da natureza dos solo: compacidade dos solos grossos e consistência dos solos finos;
- profundidade da rocha e suas características (litologia, mergulho e direção das camadas, espaçamento das juntas, planos de acamamento, estado de decomposição);
- localização do nível d’água (NA);
- obtenção de amostras (deformadas e/ou indeformadas) de solo e rocha para determinação das propriedades de engenharia; e
- determinação das propriedades “in situ” do solo por meio de ensaios de campo.

Isto servirá de subsídio para determinação de parâmetros geotécnicos dos solos em estudo, complementando, assim, os dados necessários para futura decisão do projeto mais adequado para a rodovia em estudo.

Os estudos geotécnicos nos projetos de engenharia rodoviária são desenvolvidos em duas fases distintas: anteprojeto e projeto.

## C.1. Anteprojeto

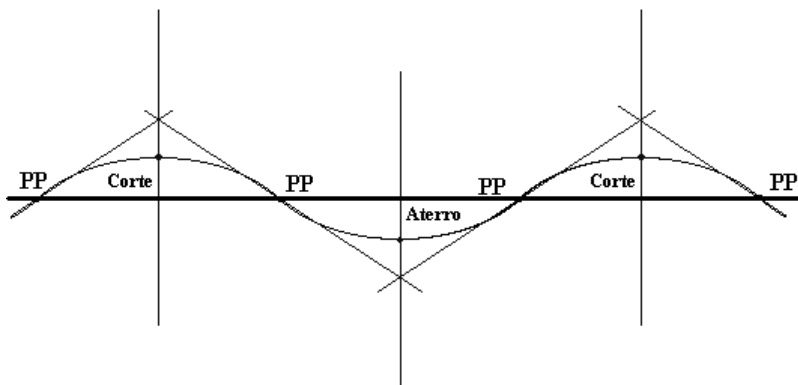
De acordo com as alternativas selecionada nos estudos geológicos, deve-se fazer: estudo de subleito e estudo de empréstimos e ocorrência de materiais.

### C.1.1. Estudo de Subleito

Conforme a IPR 707/20 (1999), após a conclusão do anteprojeto geométrico, deve-se realizar sondagens a cada 1.000m ao longo do corpo estradal e nos pontos mais altos dos cortes até a cota do greide no local. As amostras coletadas serão submetidas a ensaios de:

- caracterização
- compactação; e
- ISC, para projetos de pavimentação realizados pelo método do DNER, ou ensaios triaxiais de cargas repetidas, para projetos de pavimentação realizados pelo método mecanístico.

Quando não é possível coletar amostras nos pontos mais altos dos cortes, deve-se executá-las próximo aos PP's (ponto de passagem) (fig. C.01).



**FIGURA C.01 – Esquemas dos postos de passagem.**

Deve-se, também, realizar, no mínimo, uma sondagem nas seções centrais das gargantas das linhas selecionadas, para determinar a profundidade da rocha, espessura da camada de solo, classificação dos materiais, realizando o mesmo em encostas íngremes, zonas colúviais e de tábuas.

Em áreas de solos compressíveis e em locais de implantação dos aterros, determinam-se as espessuras médias das camadas moles e os valores preliminares das coesões e coeficientes de adensamento.



Deve-se realizar furos de sondagem em cada PP e no ponto central do corte, até 1,50m abaixo da cota do subleito para verificação do N.A.

### **C.1.2. Estudo de Ocorrências de Materiais para Pavimentação**

De acordo com os estudos geológicos e inspeção de campo, deve-se fazer IPR 707/20 (1999):

- 5 a 10 furos de sondagem na periferia e na parte central da área delimitada até a profundidade necessária ou compatível com os métodos utilizados, coletando amostras para ensaio de caracterização, compactação e ISC, para projetos de pavimentação realizados pelo método do DNER, ou ensaios triaxiais de cargas repetidas, para projetos de pavimentação realizados pelo método mecanístico;
- anotar as cotas de mudança de camadas, sendo que o material superficial deve ser identificado com o nome genérico de capa e os demais, próprios para uso, como: saibro, cascalho, seixos etc.; e
- croqui da amarração dos furos de sondagem, com a distância dos mesmos e a posição da ocorrência, em relação à rodovia em estudo. O mesmo deve ser feito para as ocorrências de exploração comercial.

A ocorrência será satisfatória quando atende as especificações vigentes ou quando apresentam possibilidade de correção por mistura e quando seu volume for superior a 10.000m<sup>3</sup>.

Quando na ocorrência de rocha deve-se realizar inspeção preliminar e a sua amostragem, seguindo a norma DNER-PRO257, e quando materiais lateríticos, deve-se realizar ensaios para a determinação da relação sílica-sesquióxidos.

## **C.2. Fase de Projeto**

### **C.2.1. Estudo de Subleito**

Ao longo da locação do projeto geométrico serão executadas IPR 707/20 (1999):

- sondagem com coleta de amostras, até 1m abaixo do greide do projeto geométrico, com espaçamento de 100m a 100m e nos intervalos, alternadamente nos bordos direito e esquerdo da nova pista projetada, quando variar o material, para a caracterização do material e definição do perfil geotécnico do terreno; e

- realiza-se então ensaios de caracterização, compactação, densidade *in situ* e ISC, para projetos de pavimentação realizados pelo método do DNER, ou ensaios triaxiais de cargas repetidas, para projetos de pavimentação realizados pelo método mecanístico, sendo os de caracterização realizados para todos os furos e os demais em furos alternados.

As sondagens do subleito deverão constar no perfil do eixo locado.

### **C.2.2. Estudo de Empréstimo para o Corpo do Aterro**

A área de empréstimo será a indicada no projeto de terraplanagem.

Onde previstos empréstimos laterais realiza-se furos de ensaio no eixo do empréstimo e em distâncias longitudinais de 100m e na profundidade prevista para o empréstimo.

Onde previstos empréstimos centrados realiza-se, pelo menos, 5 furos distribuídos pela área. Quando as caixas de empréstimo forem maiores que 10.000m<sup>2</sup> faz-se um reticulado com malha de 50m de lado e espaçamento máximo de 70m entre os furos.

As amostras coletadas serão submetidas a ensaios de caracterização, índices físicos, compactação e ISC, para projetos de pavimentação realizados pelo método do DNER, ou ensaios triaxiais de cargas repetidas, para projetos de pavimentação realizados pelo método mecanístico.

Nos empréstimos laterais os ensaios de compactação e ISC, ou triaxiais de cargas repetidas, serão feitos em 200m a 200m e em toda a extensão fazer ensaios de densidade *in situ*, de modo a obter elementos para definir o fator de contração aterro/corte.

### **C.2.3. Estudo de Ocorrência de Materiais para Pavimentação**

Nas ocorrências de cascalheira, saibreiras, areias e outros materiais granulares, deve-se realizar: sondagens e retirada de amostras, ensaios de laboratório e cubação do volume aproveitável.

Realiza-se sondagens em um reticulado de malha de 30m de lado.

Em ocorrências de materiais terrosos, a cada furo da malha de 30m, realiza-se ensaios de granulometria por peneiramento simples, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e equivalente de areia, e em furos alternados, de compactação, ISC, para projetos de

pavimentação realizados pelo método do DNER, ou ensaios triaxiais de cargas repetidas, para projetos de pavimentação realizados pelo método mecanístico, e densidade *in situ*.

Deve-se fazer plantas com área e perfil dos materiais aproveitáveis.

Deve-se também, realizar ensaios a cada 1m de profundidade ou a cada camada, quando esta for menor que 1m, e o número mínimo de amostras aproveitáveis deve ser de nove.

Na ocorrência de pedreiras devem ser realizados ensaios de Abrasão Los Angeles, Adesividade, Durabilidade, Ensaio de Lâmina (para rochas basálticas) e Difração de Raio X (para rochas basálticas). O reconhecimento e amostragem para fins de caracterização das ocorrências deve obedecer a norma ABNT – NBR06490.

Em depósitos de areia deve-se fazer ensaios de Análise Granulométrica e teor de matéria orgânica.

Quando materiais lateríticos deve-se realizar ensaios para determinação da relação sílica-sesquióxidos.

#### **C.2.4. Estudo de Fundação dos Aterros**

Na incerteza sobre a capacidade de suporte dos terrenos de fundação dos aterros, deve-se fazer um estudo geotécnico do mesmo realizando ensaios de: determinação da espessura da camada, umidade natural, de massa específica aparente, da massa específica real dos grãos, granulometria, LL, LP, resistência a compressão simples, adensamento e triaxial rápido.

Ensaios de resistência à compressão simples e triaxial rápido podem ser substituídos por ensaios de cizometria (vane shear), em casos especiais.

#### **C.2.5. Estudo dos Locais das Fundações das Obras-de-Arte Especiais**

As sondagens seguem a seguinte metodologia:

- escolha do local da obra;
- sondagens preliminares para definir o tipo de estrutura; e
- sondagens definitivas.

Essas sondagens devem ser feitas de acordo com IPR 696/100, do DNER.

### C.2.6. Estudo de Estabilidade de Taludes

Deve-se fazer o estudo do comportamento dos taludes dos cortes com altura maior que 5m em cada subtrecho homogêneo do projeto. O mesmo deve ser feito para estudos dos locais de empréstimo e bota-foras.

### C.3. Relação de Normas dos Ensaios

O quadro C.02 apresenta a lista de normas do DNER e da ABNT que regem os procedimentos para execução de cada ensaio mencionado nos estudos geotécnicos e, ainda, são recomendados para consulta pelas bibliografias do DNIT.

#### QUADRO C.02 – Lista de normas para ensaios.

Ensaio	DNER	ABNT
Abrasão Los Angeles	DNER-ME035	NBR6465
Adesividade	DNER-ME078	-
Análise Granulométrica	DNER-ME051	NBR7181
Cizometria (vane shear)	-	-
Coefficientes de adensamento	DNER-IE005	MB3336
Coesão	DNER-IE004	NBR12770
Compactação	DNER-ME129 e DNER-ME162	NBR7182
Compressão diametral de cargas repetidas	DNER-ME 138	-
Densidade <i>in situ</i> – Balão de Borracha	DNER-ME036	-
Densidade <i>in situ</i> – Emprego de Óleo	DNER-ME037	-
Densidade <i>in situ</i> – Frasco de Areia	DNER-ME092	NBR7185
Difração de Raio X – para rochas basálticas	DNER-IE006	-
Durabilidade	DNER-ME089	-
Equivalente de areia	DNER-ME054	NBR712052
Flexão de cargas repetidas	-	-
ISC	DNER-ME049	NBR9895 e MB2545
Lâmina – para rochas basálticas	DNER-IE006	-
Limite de Liquidez	DNER-ME122	NBR6459
Limite de Plasticidade	DNER-ME082	NBR7180

Ensaio	DNER	ABNT
Massa Específica dos Grãos que Passam na Peneira de 4,8 mm	DNER-ME194	NBR6508
Massa específica real dos grãos	DNER-ME093	NBR6508
Massa Específica, Massa Específica Aparente e da Absorção de Água dos Grãos Retidos na Peneira de 4,8 mm	DNER-ME195	NBR6458
Relação sílica-sesquióxidos	DNER-ME030	-
Resistência a compressão simples	DNER-IE004	NBR12770
Teor de matéria orgânica	-	-
Teor de Umidade	DNER-ME213	NBR6457
Teor de umidade natural	DNER-ME213	NBR6457
Triaxial de cargas repetidas	-	-
Triaxial rápido	-	-

## APÊNDICE D

### D. PROJETO GEOMÉTRICO

#### D.1. Característica de Rodovias

Segundo Lee (2000), o projeto de uma rodovia é composto por 3 fases diferentes, isto para demonstrar todas as suas dimensões, servindo para dirimir as dúvidas na fase de construção, como exposto a seguir:

- numa das fases, trata-se do projeto em planta, dimensionando-se os elementos geométricos da rodovia projetados em um plano horizontal. No projeto em planta, o objetivo principal é definir a geometria da linha que representa a rodovia, denominada de eixo da rodovia;
- noutra fase, define-se o projeto em perfil, com o dimensionamento dos elementos geométricos da rodovia segundo um plano vertical; atente-se para o fato de que não se trata de uma projeção vertical propriamente dita, pois o plano vertical de referência para fins de projeto é obtido pelo rebatimento da superfície cilíndrica gerada por uma reta que se desloca ao longo do eixo da rodovia, perpendicularmente ao plano horizontal. No projeto em perfil, o objetivo principal é definir a geometria da linha que corresponde ao eixo da rodovia representado no plano vertical, linha esta que é denominada *greide* da rodovia; e
- finalmente, na terceira fase, pode-se definir os denominados elementos de seção transversal, com a caracterização da geometria dos componentes da rodovia segundo planos verticais perpendiculares ao eixo da rodovia.

Quando na configuração da seção transversal de um projeto de rodovia, pode-se observar, de acordo com as figuras D.01, D.02 e D.03, os seguintes elementos básicos:

- eixo da rodovia – é a linha que representa geometricamente a rodovia, projetada no plano horizontal; em uma seção transversal, o eixo se resume a um ponto, tal como indicado nas figuras;
- faixa de rolamento (ou faixa de trânsito) – é o espaço dimensionado e destinado à passagem de um veículo por vez; na figura D.01 está representado o caso mais simples, de rodovia com 2 faixas de trânsito, uma para cada sentido de percurso, e na figura D.02 representa-se o caso de rodovia com pista dupla, com 2 faixas de trânsito por sentido;

- pista de rolamento – é o espaço correspondente ao conjunto das faixas contíguas; na figura D.01 representa-se o caso de pista simples, e na figura D.02 o caso de pista dupla, com separação física entre as pistas;
- acostamento – é o espaço adjacente à faixa de trânsito que é destinado à parada emergencial de veículos, não sendo em geral dimensionado para suportar o trânsito de veículos (que pode ocorrer em caráter esporádico); nas seções em aterro, os acostamentos externos poderão incluir uma largura adicional (não utilizável pelos veículos) destinada à instalação de dispositivos de sinalização (placas) ou de segurança (*guard-rails*); nos casos de pistas duplas, o acostamento adjacente à faixa de trânsito mais à direita de uma pista, em cada sentido de percurso (faixa externa), é denominado acostamento externo, e o adjacente à faixa mais à esquerda, em cada sentido de percurso (faixa interna) é denominado acostamento interno (observe-se que os acostamentos são também dotados de inclinações transversais, com o objetivo de permitir o escoamento das águas de superfície para fora da pista);
- sarjeta – dispositivo de drenagem superficial, nas seções de corte, que tem por objetivo coletar as águas de superfície, conduzindo-as longitudinalmente para fora do corte;
- abaulamento – é a inclinação transversal das faixas de trânsito (ou da pista), introduzida com o objetivo de forçar o escoamento das águas de superfície para fora da pista; no caso de pista dupla, não se trata de abaulamento propriamente dito, mas de inclinações transversais das pistas (que podem ser independentes);
- plataforma – a porção da rodovia compreendida entre os bordos dos acostamentos externos, mais as larguras das sarjetas e/ou as larguras adicionais, conforme se trate de seções de corte, de aterro ou mistas;
- saia do aterro – a superfície lateral (geralmente inclinada) que resulta da conformação de uma seção de aterro; a interseção dessa superfície com o terreno natural é denominada de pé do aterro, sendo a interseção com a plataforma denominada crista do aterro;
- rampa do corte – a superfície lateral (geralmente inclinada) que resulta da conformação de uma seção de corte; a interseção dessa superfície com a plataforma é denominada de pé do corte, sendo a interseção com o terreno natural denominado crista do corte;
- talude – a forma de caracterizar a inclinação da saia do aterro ou da rampa do corte, sendo expresso pela relação  $v : h$  (ou  $v/h$ ) entre os catetos vertical ( $v$ ) e horizontal ( $h$ ) de um

triângulo retângulo cuja hipotenusa coincide com a superfície inclinada (matematicamente, o talude expressa a tangente do ângulo que a superfície inclinada forma com o horizonte);

- valeta de proteção de corte – dispositivo de drenagem superficial, disposto a montante das seções de corte, que tem por objetivo interceptar as águas superficiais que correm em direção à rampa do corte, conduzindo-as longitudinalmente para fora das seções de corte; geralmente são pequenas valas simplesmente cavadas no terreno natural, sendo o material resultante da escavação depositado a jusante da valeta, constituindo um pequeno dique, denominado banquetas de proteção do corte, cuja função é a de servir como barreira para prevenção quanto a eventuais extravasamentos da valeta; e
- *off-sets* – dispositivos (geralmente varas ou estacas) que servem para referenciar a posição das marcas físicas correspondentes às cristas dos cortes ou dos pés dos aterros, colocados em pontos afastados por uma distância fixa convencionada (daí a denominação, do original em inglês, que designa tal afastamento), com o objetivo de facilitar a reposição das marcas, se arrancadas durante a construção dos cortes ou dos aterros.

Segundo Lee (2000), o DNER estabelece a classificação técnica de uma rodovia (ou do projeto de uma rodovia) de acordo com o volume de tráfego a ser atendido por ela e o relevo da região atravessada.

“O volume de tráfego em uma seção ou em um trecho de uma rodovia é, por definição, o número de veículos que passa pela seção ou pelo trecho em um dado intervalo de tempo, sendo a grandeza que expressa a demanda que solicita a rodovia” (LEE, 2000).

“Para cada classe de projeto, as normas estabelecem a velocidade diretriz mínima recomendada para o projeto da rodovia, em função do relevo da região atravessada”, sendo a velocidade diretriz “a maior velocidade com que um trecho de rodovia pode ser percorrido, com segurança, considerando apenas as limitações impostas pelas características geométricas da rodovia; a velocidade diretriz é a velocidade selecionada para fins de projeto” (LEE, 2000).

Segundo Lee (2000), a AASHTO classificação do relevo do terreno de acordo com a influência que o mesmo exerce na conformação das características do traçado resultante do projeto da rodovia, definindo:

- relevo plano – onde as distâncias de visibilidade permitidas pela geometria da rodovia podem resultar bastante longas sem que para isso se incorra em maiores dificuldades construtivas ou custos mais elevados;



- relevo ondulado – onde as declividades do terreno natural passam a exigir constantes cortes e aterros para a conformação do perfil da rodovia, com ocasionais inclinações acentuadas, oferecendo restrição ao desenvolvimento normal dos alinhamentos horizontais e verticais; e
- relevo montanhoso – caracterizado por mudanças abruptas de elevações entre o terreno natural e a plataforma da rodovia, tanto longitudinal quanto transversalmente, demandando freqüentes aterros e cortes nas encostas para se conformar a geometria horizontal e vertical da rodovia.

Segundo Lee (2000) e IPR 696 (1996), as principais características técnicas, cujos valores limites são especificamente fixados pelas Normas do DNER para as diferentes classes de projeto, são as seguintes:

- Distância de Visibilidade de Parada – A distância que um veículo percorre, desde a percepção de um obstáculo, pelo motorista, até a parada total do veículo;
- distância de visibilidade de ultrapassagem – a distância livre necessária entre um veículo, que deseja ultrapassar outro mais lento à sua frente, e um veículo que esteja se deslocando em sentido contrário (em rodovia de pista simples), para que a manobra possa ser completada com segurança;
- raio de curva horizontal – o raio de curva circular utilizada no projeto em planta;
- superelevação – a inclinação transversal da pista (geralmente expressa em %), nos trechos em curva horizontal, que serve para contrabalançar o efeito da força centrífuga;
- rampa (aclive ou declive) – a inclinação longitudinal dos trechos retos do *greide*, no projeto em perfil (geralmente expressa em %);
- parâmetro K – o parâmetro que caracteriza uma parábola do 2º grau (curva utilizada no projeto em perfil), sendo seu valor dado pelo quociente entre o comprimento da parábola e a variação de rampas nos seus extremos, ou seja:  $K = L / \Delta i$  (em m/%);
- largura da faixa de trânsito – a largura com que devem ser projetadas as faixas de trânsito, que devem comportar os veículos com alguma folga lateral, para permitir pequenos desvios de trajetória;

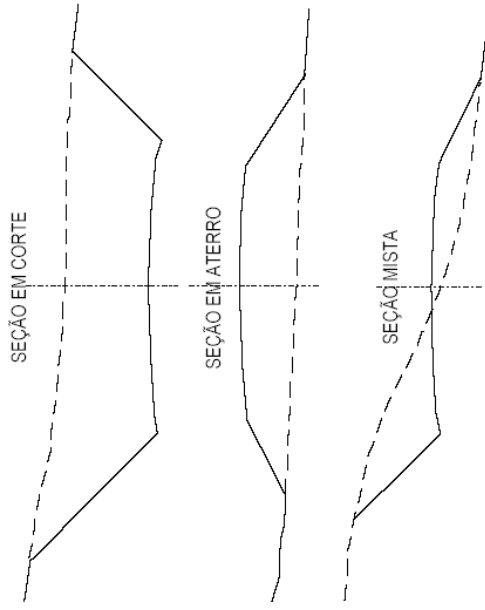
- largura do acostamento – a largura com que devem ser projetados os acostamentos para que estes possam atender às suas finalidades, influenciando nas condições oferecidas ao trânsito na rodovia;
- gabarito vertical – a altura livre, acima da superfície da pista de rolamento, que deve ser observada ao longo de toda a extensão do trecho projetado, para assegurar a passagem dos veículos nela autorizados a transitar;
- afastamento lateral do bordo – a distância livre existente entre o bordo da faixa de trânsito ou da porção transitável do acostamento e um obstáculo físico;
- largura do canteiro central – a largura do espaço (ou do dispositivo de separação física) das pistas, no caso de pista dupla, medido entre os bordos das faixas internas, incluindo, por definição, as larguras dos acostamentos internos.

As quadros D.01 e D.02 apresentam, respectivamente, as normas admissíveis para o melhoramento de estradas existentes e as características técnicas para o projeto de rodovias novas.

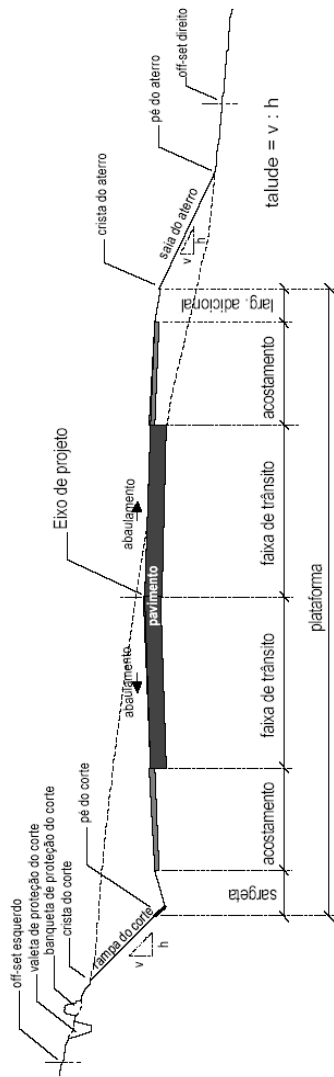
#### QUADRO D.01 – Normas admissíveis para o melhoramento de estradas existentes.

Características Técnicas	Relevo da Região	Classe da Rodovia			
		M-0	M-I	M-II	M-III/IV
Velocidade Diretriz (km/h)	Plano	100	100	80	60
	Ondulado	80	80	60	40
	Montanhoso	60	60	40	30
Raio Mínimo da Curva Horizontal (m)	Plano	430	340	200	110
	Ondulado	280	200	110	50
	Montanhoso	160	110	50	30
Rampa Máxima (%)	Plano	3	3	3	4
	Ondulado	4	4,5	5	6
	Montanhoso	5	6	7	8
Distância Mínima de Visibilidade de Parada (m)	Plano	150	150	100	75
	Ondulado	100	100	75	50
	Montanhoso	75	75	50	-
Distância Mínima de Visibilidade de Ultrapassagem (m)	Plano	650	650	500	350
	Ondulado	500	500	350	175
	Montanhoso	350	350	175	-
Largura da Pista de Rolamento (m)	Plano	7,5	7,0	7,0	7,0
	Ondulado	7,5	7,0	6,0-7,0	6,0-7,0
	Montanhoso	7,5	7,0	6,0	6,0
Largura do Rolamento Externo (m)	Plano	3,00	2,50	2,00	1,50
	Ondulado	2,50	2,00	1,50	1,20
	Montanhoso	2,00	1,50	1,20	1,00
	Muito montanhoso	1,50	1,00	1,00	0,80
Largura da Faixa de Domínio (m)	Plano	-	60	30	30
	Ondulado	-	70	40	30
	Montanhoso	-	80	50	50

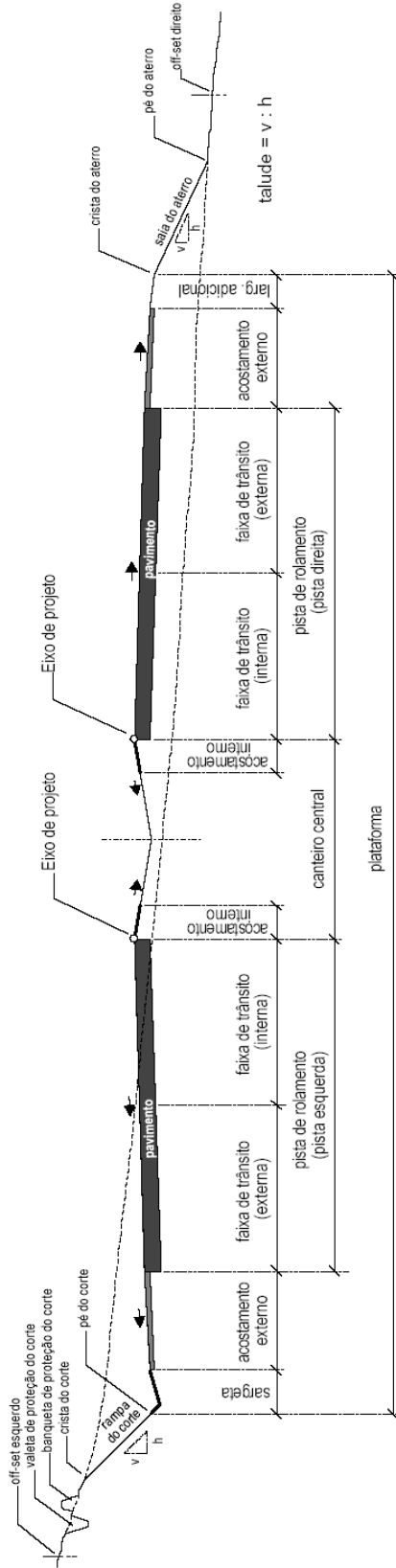
Fonte: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 172), citado por Lee (2000).



**FIGURA D.02 – Configurações típicas de seções transversais (Fonte: Lee, 2000).**



**FIGURA D.01 – Elementos de seção transversal de rodovias em pista simples (Fonte: Lee, 2000).**



**FIGURA D.03 – Elementos de seção transversal de rodovias em pista dupla (Fonte: Lee, 2000).**

**QUADRO D.02 – Características técnicas para o projeto de rodovias**

Descrição das características técnicas	Unidade	CLASSE 0			CLASSE I			CLASSE II			CLASSE III			CLASSE IV A			CLASSE IV B			
		Plano	Ond.	Mont	Plano	Ond.	Mont	Plano	Ond.	Mont	Plano	Ond.	Mont	Plano	Ond.	Mont	Plano	Ond.	Mont	
Velocidade diretriz mínima	km/h	120	100	80	100	80	60	100	70	50	80	60	40	80	60	40	60	40	30	
Dist. de visibilidade de parada:	m	310	210	140	210	140	85	210	110	65	140	85	45	140	85	45	85	45	30	
	m	205	155	110	155	110	75	155	90	60	110	75	45	110	75	45	75	45	30	
Dist. mín. de vis. de ultrapassagem	m	-	-	-	680 <sup>1</sup>	560 <sup>1</sup>	420 <sup>1</sup>	680	490	350	560	420	270	560	420	270	420	270	180	
R. mín curva horiz (superel máx)	m	540	345	210	345	210	115	375	170	80	230	125	50	230	125	50	125	50	25	
Taxa de superelevação máxima	%	10	10	10	10	10	10 <sup>2</sup>	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Rampa máxima:	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	%	3	4	5	3	4,5	6	3	5	7	4	6	8	4	6	8	6	10	10	
K para curvas verticais convexas:	m/%	233	107	48	107	48	18	107	29	10	48	18	5	48	18	5	18	5	2	
	m/%	102	58	29	58	29	14	58	20	9	29	14	5	29	14	5	14	5	2	
K para curvas verticais côncavas:	m/%	80	52	32	52	32	17	52	24	12	32	17	7	32	17	7	17	7	4	
	m/%	50	36	24	36	24	15	36	19	11	24	15	7	24	15	7	15	7	4	
Largura da faixa de trânsito:	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	m	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,50	3,30	3,50	3,30	3,30	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50	
Largura do acostamento externo:	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	m	3,00	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,00	2,50	2,00	1,50	1,30	1,30	0,80	1,00	1,00	0,50	
Largura do acostamento interno:	m	0,6-1,2	0,6-1,0	0,5-0,6	Somente para a Classe IA; aplicam-se os mesmos valores indicados para a Classe 0															
	m	2,5-3,0	2,0-2,5	2,0-2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m	3,0	2,5-3,0	2,5-3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cabarito vertical (altura livre):	m	-	-	-	-	-	-	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	
	m	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	
Afast. mín bordo do acostamento:	m	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
	m	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
Largura do canteiro central:	m	10-18	10-18	10-18	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	
	m	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	≥6	
	m	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	3-7	

<sup>1</sup> Classe IB – <sup>2</sup> Somente para a Classe IA; para a Classe IB, considerar 8%.

Fonte dos dados primários: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 161-168), citado por Lee (2000).

## **D.2. Estudos de Traçado**

A fase preliminar ao projeto geométrico é o estudo do seu traçado, o qual é subdividido nas etapas de Reconhecimento e Exploração (Lee, 2000).

Segundo Lee (2000), o reconhecimento resume-se em escolher a “Diretriz de um traçado ou de uma rodovia” (itinerário no qual pode-se lançar a rodovia), a qual permite o lançamento do melhor “Traçado de uma rodovia” (linha do projeto geométrico de uma rodovia em planta e perfil) do ponto de vista técnico e econômico.

O processo de reconhecimento compreende:

- exame de mapas e cartas da região;
- inspeção *in loco*;
- sobrevôo da região; e
- exame de fotografias aéreas, de cartas imagens de radar e de imagens obtidas por satélite.

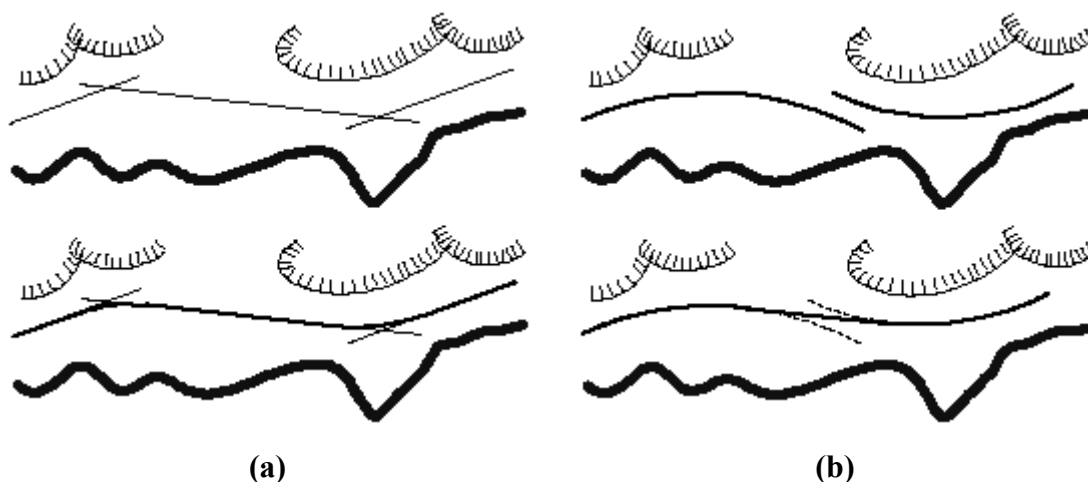
A exploração “tem como objetivo o lançamento detalhado da diretriz, visando à obtenção de uma planta plani-altimétrica da faixa de terreno que constitui esta diretriz” (Lee, 2000), onde a equipe de topografia materializa, através de piquetes cravados no terreno, uma linha poligonal ao longo da faixa do terreno, além de anotar os seus elementos geométricos básicos, tanto plano quanto altimétrico.

### **D.2.1. Definição dos Traçado**

As publicações do DNER, IPR 706/20 (1999) e IPR S/N (1974), citadas por Lee (2000), fazem algumas recomendações quanto ao traçado de rodovias. Essas recomendações podem servir como mecanismo de análise crítica de projetos geométricos, sendo observadas a seguir.

#### **D.2.1.1. Recomendações quanto ao traçado em planta**

- os traçados em planta devem ser constituídos por arcos de circunferência de raios e desenvolvimento tão amplos quanto a topografia permitir, concordados com pequenas tangentes (figura D.04-a). Deve-se evitar tangentes longas e curvas de pequenos raios (figura D.04-b);



**FIGURA D.04 – (a) Tangentes longas e curvas de pequeno raio; e (b) Raios longos com tangentes curtas (Fonte: Lee, 2000).**

- limitações da extensão em tangente:

$$\left\{ \begin{array}{l} L \leq 3km \\ L \leq 2,5 \text{ vezes o comprimento médio das curvas adjacentes.} \\ L \leq \text{distância percorrida por um veículo, durante 1,5 min, na velocidade diretriz.} \end{array} \right.$$

- os ângulos de deflexão ( $I$ ) devem estar entre  $10^\circ$  e  $35^\circ$ . Para deflexões inferiores a  $5^\circ$ , efetuar concordância, com comprimento de curva maior que  $30 \cdot (10 - I^\circ)$  (m). Deflexões menores que  $15'$  dispensam concordância com curva horizontal;
- nas extremidades de tangentes longas não devem ser projetadas curvas de pequeno raio;
- evitar o uso de curvas com raios muito grandes (maiores que 5.000 m, por exemplo);
- raios de curvas consecutivas não devem sofrer grandes variações, devendo respeitar as relações estabelecidas no gráfico da figura D.05;
- duas curvas horizontais de sentidos opostos devem ser concordadas, preferencialmente, com a tangente mínima necessária; e
- as concordâncias entre duas curvas horizontais de mesmo sentido seguem o seguinte:

\* Concordância com curva composta :

$R_1$  → raio maior

$R_2$  → raio menor

$$R_2 < 100m : \frac{R_1}{R_2} < 1,3$$

$$100m < R_2 < 500m : \frac{R_1}{R_2} < 1,5$$

$$500m < R_2 < 1.000m : \frac{R_1}{R_2} < 1,7$$

$$R_2 > 1.000m : \frac{R_1}{R_2} < 2,0$$

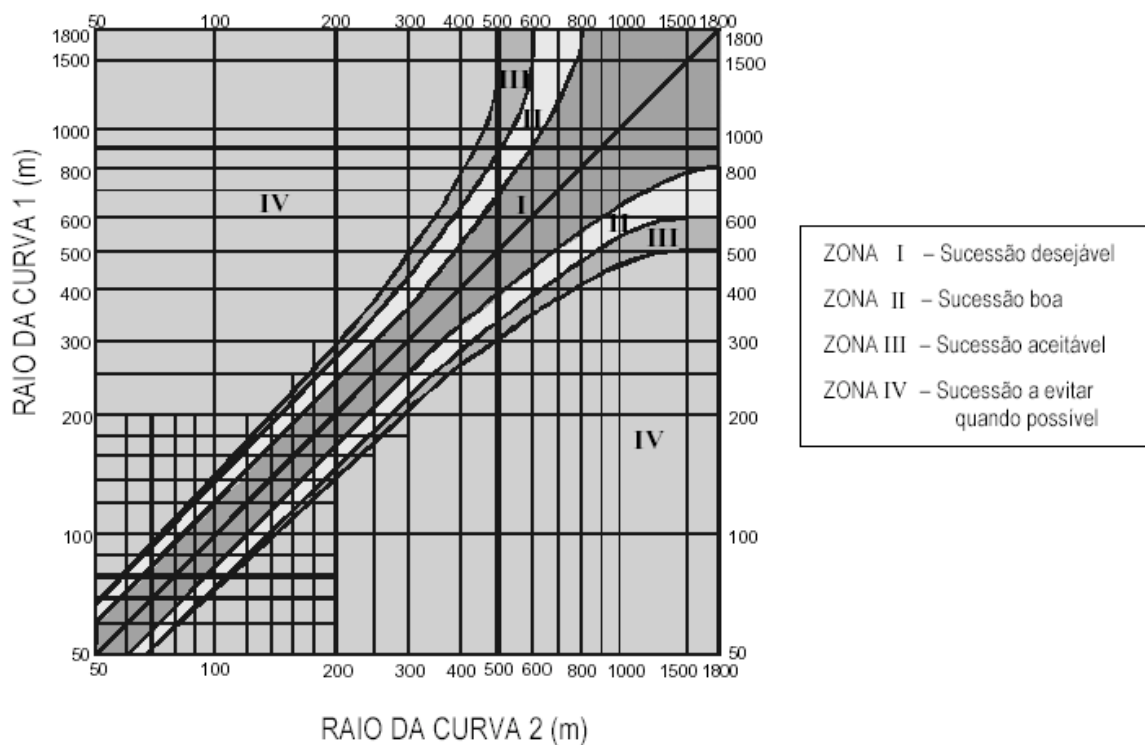
\* Concordância com tangente intermediária :

$L$  → comprimento da tangente intermediária

$V$  → velocidade diretriz

Onde :  $L >$  distância percorrida por um veículo, durante 15s, na velocidade diretriz, então :

$$L(m) > 4 \cdot V(km/h)$$



**FIGURA D.05 – Critérios para escolha de raios de curvas sucessivas (Fonte: IPR 706/20, 1999).**

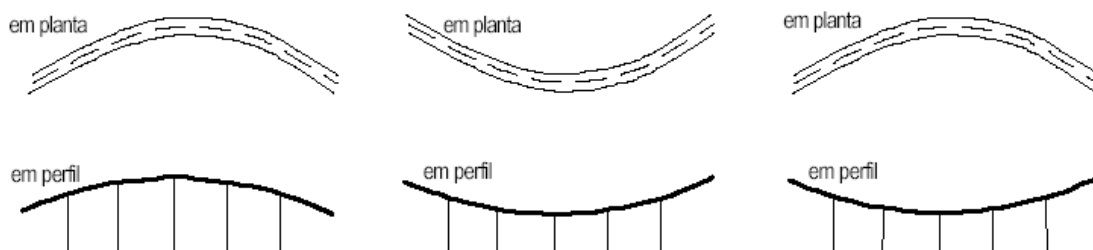
### D.2.1.2. Recomendações quanto ao traçado em perfil

- no traçado em perfil do greide deve-se evitar as constantes quebras de alinhamento vertical e os pequenos comprimentos com rampas diferentes;

- a inclinação do greide em trechos em corte ou em seção mista deve ser maior ou igual a 1,000%, por motivos de drenagem. O mínimo permitido é de 0,350% a uma extensão mínima de 30,00 m;
- nos trechos em corte deve-se evitar concavidades com rampas de sinais contrários, para evitar problemas com drenagem superficial; e
- em regiões planas, o greide deve ser preferencialmente elevado.

### D.2.1.3. Recomendações quanto ao traçado coordenado em planta e em perfil

- tangentes e curvas horizontais de grandes raios não devem estar associadas a rampas elevadas, nem as curvas horizontais de pequenos raios devem estar associadas as rampas pequenas;
- as tangentes longas devem estar associadas à curvas verticais côncavas; e
- o vértice da curva horizontal devem coincidir ou fica próximo ao vértice da curva vertical. A curva horizontal deve iniciar antes da curva vertical. A figura D.06 apresenta 3 combinações desejadas entre curvas horizontais e verticais.



**FIGURA D.06 – Coordenação de curvas horizontais e verticais (Fonte: Lee, 2000).**

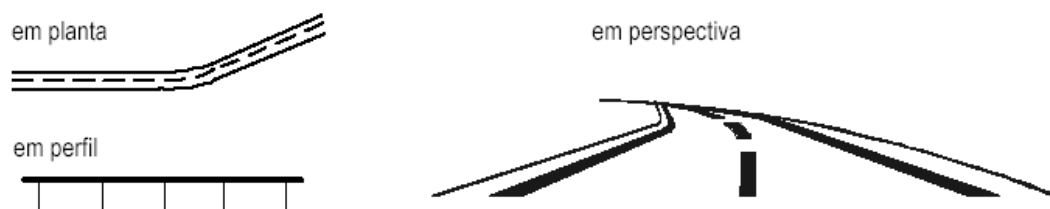
### D.2.2. Defeitos de Traçado

As diretrizes para concepção de estradas do DER/SC, DER/SC DCE-T (1993) e DER/SC DCE-C (1999), citadas por Lee (2000), apresentam alguns defeitos frequentes de traçados, caracterizando-os através de figuras (figura D.07 a figura D.18) em planta, perfil e perspectiva, os quais devem ser evitados durante a elaboração de projetos, servindo, assim, como outra fonte para análise crítica de projetos geométricos.





**FIGURA D.07 – Pista sem dobra ótica (Fonte: DER/SC DCE-T, 1993).**



Curvas de pequeno desenvolvimento entre tangentes devem ser evitadas, pois causam aparência de quebra de continuidade.

**FIGURA D.08– Pista com dobra ótica (Fonte: DER/SC DCE-T, 1993).**



Tangentes intermediárias curtas entre curvas de mesmo sentido devem ser evitadas, pois causam aparência de quebra de continuidade.

**FIGURA D.09 – Dobras e defeitos ótica (Fonte: DER/SC DCE-T, 1993).**



**FIGURA D.10 – Defeitos em traçados: mergulho em tangente (Fonte: DER/SC DCE-C, 1999).**



**FIGURA D.11 – Defeitos em traçados: mergulho em curva (Fonte: DER/SC DCE-C, 1999).**



**FIGURA D.12 – Defeitos em traçados: abaulamento (tobogã) (Fonte: DER/SC DCE-C, 1999).**



**FIGURA D.13 – Defeitos em traçados: ondulações na curva (Fonte: DER/SC DCE-C, 1999).**



**FIGURA D.14 – Defeitos em traçados: mergulho raso (Fonte: DER/SC DCE-C, 1999).**



**FIGURA D.15 – Defeitos em traçados: mergulho profundo (Fonte: DER/SC DCE-C, 1999).**



**FIGURA D.16 – Defeitos em traçados: salto (Fonte: DER/SC DCE-C, 1999).**



**FIGURA D.17 – Defeitos em traçados: salto com deflexão (Fonte: DER/SC DCE-C, 1999).**



**FIGURA D.18 – Defeitos em traçados: início da curva horizontal na área convexa (Fonte: DER/SC DCE-C, 1999).**

### D.2.3. Veículo de Projeto

A resolução nº 12, de 6 de Fevereiro de 1998, do Conselho Nacional de Trânsito determinou os seguintes limites para dimensões e pesos dos veículos em trânsito livre:

- dimensões:

$$L_{máx} = 2,60m;$$

$$H_{máx} = 4,40m;$$

Comprimento total :

veículos simples = 14,00m;

veículos articulados = 18,15m;

veículos com reboque = 19,80m.

- peso bruto:

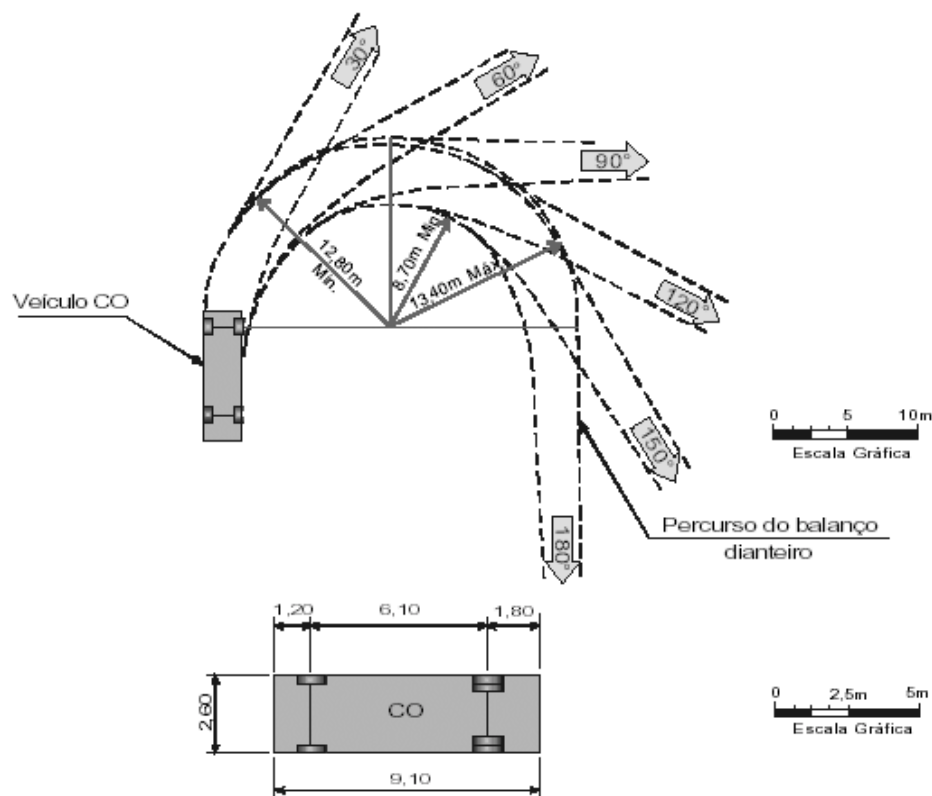
Total, por unidade ou combinação de veículos = 45t;

Por eixo isolado = 10t;

Por conjunto de 2 eixos em “tandem” = 17t;

Por conjunto de 2 eixos não em “tandem” = 15t.

De acordo com a IPR 706/20 (1999), citada por Lee (2000), as dimensões e trajetórias mínimas dos elementos (ou pontos) do veículo CO (padrão), os quais atendem as necessidades de projeto, estão indicadas na figura D.19.



**FIGURA D.19 – Dimensões e gabaritos de giro: veículo tipo CO (Fonte: IPR 706/20, 1999).**

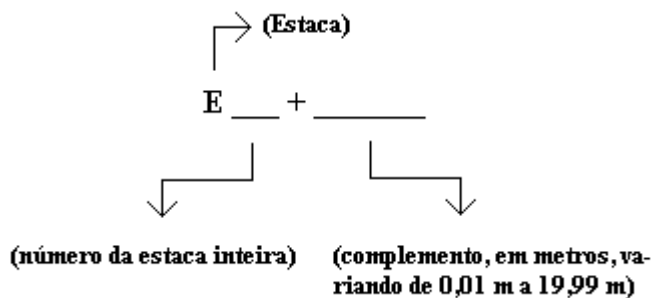
### D.3. Elementos Planimétricos

A planta de uma rodovia é constituída por trechos retos (chamados de tangentes) e por concordâncias em seus vértices (chamadas de curvas horizontais), os quais devem ser locados através de um processo de estaqueamento, a cada 20,00 m, a partir do ponto de partida (PP) que constitui a estaca “0”. A distância de estaqueamento pode variar nas curvas (quadro D.03) e é comum haver casos de estacas fracionárias, que recebe a nomenclatura da estaca inteira seguida por seu complemento em metros, conforme indicado na figura D.20.

#### QUADRO D.03 – Cordas admissíveis para as curvas.

Raios de Curvas (R)	Cordas Máximas (C)
$R < 100,00 \text{ m}$	5,00 m
$100,00 \text{ m} < R < 600,00 \text{ m}$	10,00 m
$R > 600,00 \text{ m}$	20,00 m

Fonte: IPR S/N (1974).

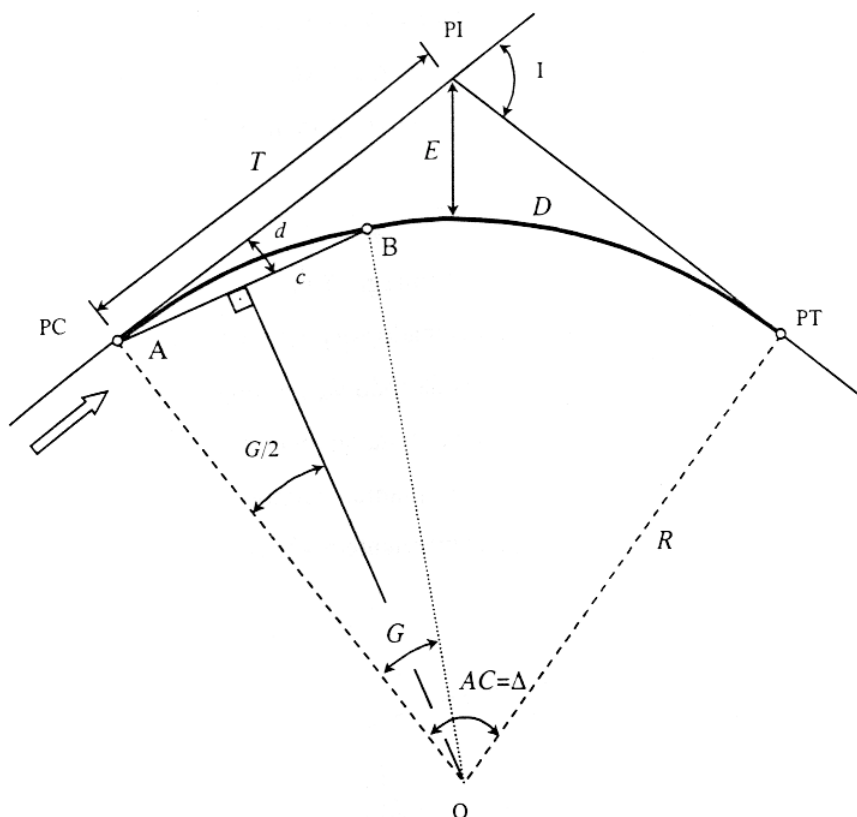


**FIGURA D.20 – Nomenclatura usual de estacas.**

### D.3.1. Concordância em Curva Circular Simples

A concordância de tangentes realizada em curva circular simples é considerada a mais fácil que existe para projeto, porém a mesma, mesmo sendo bastante utilizada, não é indicada para utilização, pois não prevê um comprimento de transição necessário para uma tangente aumentar a largura de sua seção transversal e entrar em uma curva contendo o acréscimo de sua superlargura.

O seu procedimento de cálculo, de acordo com Lee (2000) e Pontes Filho (1998), segue-se de acordo com as equações D.01 a D.09 para os elementos da figura D.21.



**FIGURA D.21 – Esquema da concordância com curva circular simples (Fonte adaptada: Pontes Filho, 1998).**

PI → Ponto de Interseção;

PC → Ponto de Curva (PCE à esquerda e PCD à direita);

PT → Ponto de Tangente;

$I$  → Ângulo de deflexão entre as duas tangentes que passam por PI;

$AC$  → Ângulo Central que tem o mesmo valor de  $I$ ;

$T$  → Tangente Externa ou Exterior (m);

$c$  → Corda do segmento  $\overline{AB}$  (m);

$D$  → Desenvolvimento (ou comprimento) da curva circular (m);

$R$  → Raio da curva circular (m);

$O$  → Centro da curva circular;

$d_c$  → Deflexão da tangente passando por A para o segmento  $\overline{AB}$ ;

$G_c$  → Grau da curva para uma corda  $c$ ; e

$E$  → Afastamento do PI a curva circular (m).

Onde:

$$T = R \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{AC}{2}\right) \quad (\text{Eq. D.01})$$

$$D = AC \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot R \quad (\text{Eq. D.02})$$

$$E = T \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{AC}{4}\right) \quad (\text{Eq. D.03})$$

$$G_c = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{c}{R} = 2 \cdot \operatorname{arc} \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{c}{2R}\right) \quad (\text{Eq. D.04})$$

$$d_c = \frac{G_c}{2} \quad (\text{Eq. D.05})$$

$$d_m = \frac{G_c}{2 \cdot c}, \text{ onde : } d_m \rightarrow \text{deflexão por metro} \quad (\text{Eq. D.06})$$

$$d_l = l \cdot d_m, \text{ onde : } d_l \rightarrow \text{deflexão para um arco de comprimento } l \quad (\text{Eq. D.07})$$

Estacas:

$$E(PC) = E(PI) - [T] \quad (\text{Eq. D.08})$$

$$E(PT) = E(PC) + [D] \quad (\text{Eq. D.09})$$

Quando quer-se obter valores de deflexão não fracionários, para facilitar o processo de locação dos pontos, pode-se utilizar a equação D.10 para a determinação do raio da curva  $R$  (Lee, 2000).

$$R = \frac{c}{2 \cdot \text{sen}(d_c)}, \tag{Eq. D.10}$$

onde o valor de  $d_c$  é um valor inteiro e calculado através do arredondamento do  $d_m$ , convertendo-se para  $d_c$  através da equação 1.07 (Ex.:  $d_m = 0^\circ 08' 36'' \rightarrow d_m = 0^\circ 08' 00'' \therefore d_c$  para  $c = 10m \rightarrow d_c = 10 \times 0^\circ 08' 00'' = 1^\circ 20' 00''$ ).

O processo de locação da curva circular simples segue com a instalação do teodolito no PC e medição das deflexões para cada corda  $c$  até chegar ao PT. Caso seja necessário instalar o teodolito em um ponto  $z$  qualquer, basta determinar-se o “ângulo de ré” para a estação anterior (Lee, 2000).

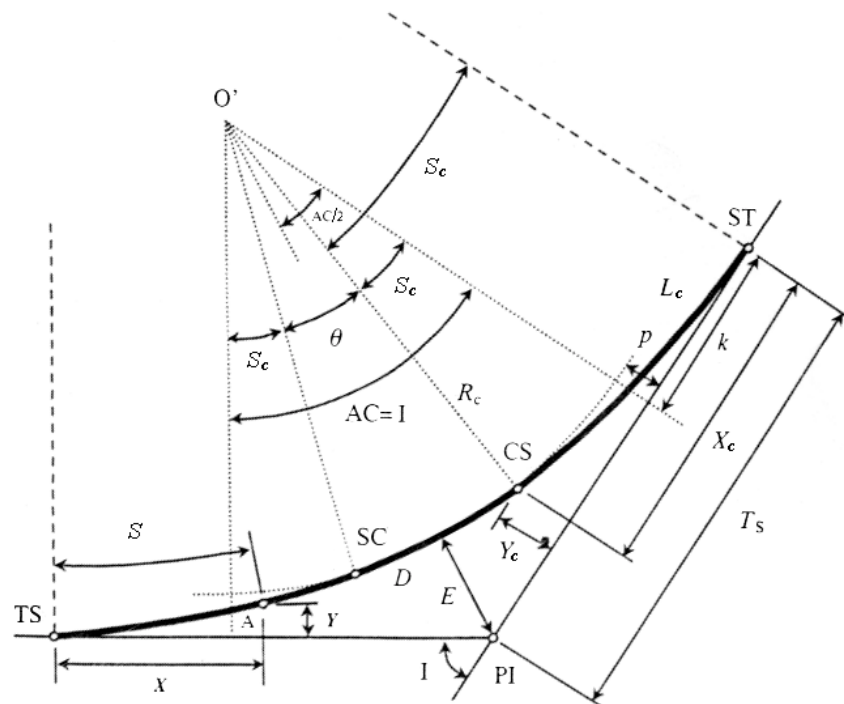
O quadro D.04 apresenta um modelo de “caderneta de campo” para a locação de curva circular simples e os cálculos necessários para a situação exposta na figura D.22.

**QUADRO D.04 – Locação de curva circular simples por estaca fracionária.**

Estacas	Arcos (m)	Deflexões		Azimutes	Observações
		Simples	Acumuladas		
⊗ PC = $E_{N1+x}$	–	–	–	$Az_{(PC)}$	
$E_{N2+(x+2c)}$	$c$	$d_c$	$d_2 = d_c + d_1$		
$E_{N3+(x+3c)}$	$c$	$d_c$	$d_3 = d_c + d_2$		
⊗ Z = $E_{N4+(x+4c)}$	$c$	$d_c$	$d_4 = d_c + d_3$	$Az_{(Z)} = Az_{(PC)} + Ré + Vante = Az_{(PC)} + 2d_4$	$Ré = Vante = d_4$
$E_{N5+(x+5c)}$	$c$	$d_c$	$d_5 = d_c$		
$E_{N6+(x+2c)}$	$c$	$d_c$	$d_6 = d_c + d_5$		
$E_{N7+(x+3c)}$	$c$	$d_c$	$d_7 = d_c + d_6$		
$E_{N8+(x+4c)}$	$c$	$d_c$	$d_8 = d_c + d_7$		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$E_{N(n-1)+(x+(n-2)c)}$	$c$	$d_c$	$d_{(n-1)} = d_c + d_{(n-2)}$		
⊗ PT = $E_{Nn+(x+(n-2)c+c_2)}$	$c_2$	$c_2 \cdot d_m$	$d_n = c_2 \cdot d_m + d_{(n-1)}$	$Az_{(Z)} = Az_{(Z)} + 2d_n$	$Ré = d_n$







**FIGURA D.23 – Esquema da concordância em curva de transição (Fonte adaptada: Pontes Filho, 1998).**

Onde:

$O'$  → Centro do trecho circular afastado;

PI → Ponto de Interseção de tangentes;

A → Ponto genérico da transição;

$x_s$  → Abscissas dos pontos SC e CS;

$y_s$  → Ordenadas dos pontos SC e CS;

$T_s$  → Tangente Externa ou Exterior (m);

$k$  → Abscissa do pontos  $O'$ ;

$p$  → Afastamento da curva circular;

$x$  → Abscissa de um ponto genérico A;

$y$  → Ordenada de um ponto genérico A;

$S_c$  → Ângulo central correspondente à um ramo da espiral (ângulo de transição);

$\theta$  → Ângulo central correspondente à curva circular;

AC → Ângulo central;

I → Deflexão das tangentes;

$D_c$  → Desenvolvimento do trecho circular;

R → Raio da curva circular;

$L_c$  → Comprimento do trecho em transição;

E → Distância do PI à curva circular;

TS → Ponto tangente - espiral;  
 SC → Ponto espiral - circular;  
 CS → Ponto circular - espiral; e  
 ST → Ponto espiral - tangente.

Então:

O comprimento de transição mínimo ( $L_{c_{\min}}$ ) deverá atender aos seguintes aspectos:

- critério de comprimento mínimo absoluto:

$$L_{c_{\min}} = 0,56 \cdot V \geq 30m \quad (\text{Eq. D.11})$$

- critério da fluência ótica ( $R \geq 800m$ ):

$$L_{c_{\min}} = \frac{1}{9} \cdot R \quad (\text{Eq. D.12})$$

- critério do conforto (critério da taxa de variação da aceleração centrífuga):

$$L_{c_{\min}} = \frac{V^3}{46,656 \cdot C \cdot R} - \frac{e_R \cdot V}{0,367 \cdot C} \quad (\text{Eq. D.13})$$

Com,

$$C = 1,5 - 0,009 \cdot V \quad (\text{Eq. D.14})$$

Onde:

$e_R$  → superelevação da curva curricular ( $m/m$ ); e

$C$  → taxa máxima admissível de variação da aceleração transversal ( $m/s^3$ ).

- critério da máxima rampa de superelevação:

$$L_{c_{\min}} = F_m \cdot L_F \cdot \frac{e_R}{r_{\max}} \quad (\text{Eq. D.15})$$

Onde:

$F_m$  → fator multiplicador em função da largura de rotação da pista (quadro D.06); e

$r_{\max}$  → rampa de superelevação máxima admissível (quadro D.07).

**QUADRO D.06 – Fatores multiplicadores para  $L_{mín}$ .**

Largura de rotação da pista	Fator multiplicador ( $F_m$ )
Caso básico: giro de 1 faixa	1,0
Giro conjunto de 2 faixas	1,5
Giro conjunto de 3 faixas	2,0
Giro conjunto de 4 faixas	2,5

Fonte: IPR 706/20 (1999).

**QUADRO D.07 – Rampas de superelevação admissível: caso básico.**

V (km/h)	40	50	60	70	80	90	$\geq 100$
$r_{mín}$	1:137	1:154	1:169	1:185	1:200	1:213	1:233

Fonte: IPR 706/20 (1999).

Já o comprimento de transição máximo ( $L_{c_{máx}}$ ) deverá atender aos seguintes critérios:

- critério do ângulo central do clotoide:

$$L_{c_{máx}} = R \quad (\text{Eq. D.16})$$

- critério do tempo máximo de percurso:

$$L_{c_{máx}} = 2,2 \cdot V \quad (\text{Eq. D.17})$$

Os demais componentes da curva de transição com espiral são calculados da seguinte forma:

$$S = \frac{L^2}{2 \cdot R \cdot L_c} \quad (\text{Eq. D.18})$$

Onde:

$S \rightarrow$  ângulo central (radianos); e

$L \rightarrow$  comprimento de arco ( $m$ ).

$$S_c = \frac{L_c}{2 \cdot R} \quad (\text{Eq. D.19})$$

$$\theta = I - 2 \cdot S_c \quad (\text{Eq. D.20})$$

$$D_c = \theta \cdot R \quad (\text{Eq. D.21})$$

$$x = \frac{L \cdot S}{3} \cdot \left( 1 - \frac{S^2}{14} + \frac{S^4}{440} - \frac{S^6}{25.200} + \dots \right) \quad (\text{Eq. D.22})$$

$$y = L \cdot \left( 1 - \frac{S^2}{10} + \frac{S^4}{216} - \frac{S^6}{9.360} + \dots \right) \quad (\text{Eq. D.23})$$

Onde:

$x$  e  $y \rightarrow$  coordenadas cartesianas de um ponto qualquer.

$$x_c = \frac{L_c \cdot S_c}{3} \cdot \left( 1 - \frac{S_c^2}{14} + \frac{S_c^4}{440} - \dots \right) \quad (\text{Eq. D.24})$$

$$y_c = L_c \cdot \left( 1 - \frac{S_c^2}{10} + \frac{S_c^4}{216} - \dots \right) \quad (\text{Eq. D.25})$$

$$p = x_c - R \cdot [1 - \cos(S_c)] \quad (\text{Eq. D.26})$$

$$k = y_c - R \cdot \text{sen}(S_c) \quad (\text{Eq. D.27})$$

$$T_s = k + (p + R) \cdot \text{tg}\left(\frac{I}{2}\right) \quad (\text{Eq. D.28})$$

$$E = \frac{R + p}{\cos\left(\frac{I}{2}\right)} - R \quad (\text{Eq. D.29})$$

Estacas:

$$E(TS) = E(PI) - [T_s] \quad (\text{Eq. D.30})$$

$$E(SC) = E(TS) - [L_c] \quad (\text{Eq. D.31})$$

$$E(ST) = E(CS) + [D_c] \quad (\text{Eq. D.32})$$

$$E(ST) = E(CS) - [L_c] \quad (\text{Eq. D.33})$$

Para executar a locação de espirais por deflexão, pode-se realizá-la com o teodolito na origem da espiral ou por mudanças do teodolito.

Observando a figura D.24, a locação começa com o teodolito instalado no ponto “O” e depois o mesmo é deslocado para o ponto A. Pode-se então utilizar as seguintes equações para determinar as deflexões e ângulos de “ré”:

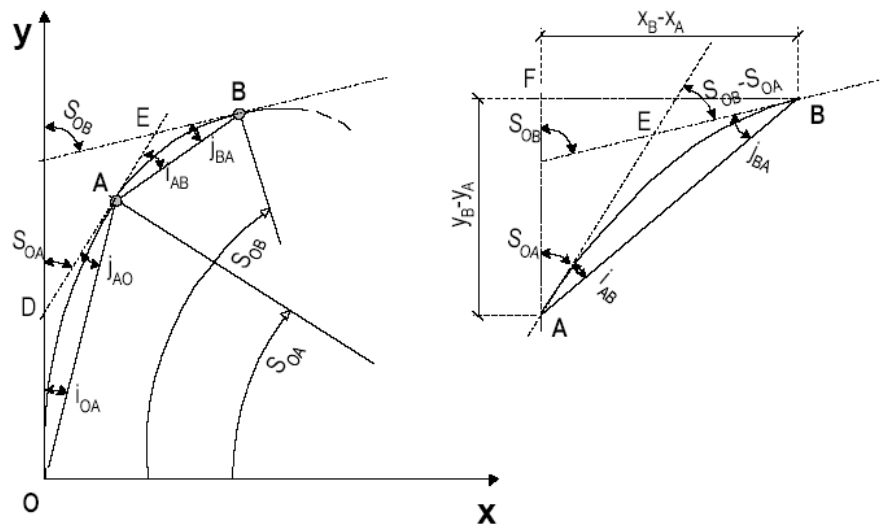


FIGURA D.24 – Deflexões num ponto qualquer da espiral (Fonte: Lee, 2000).

- teodolito instalado em A:

$$i_{OA} = \text{arc.tg} \left( \frac{x_A}{y_A} \right) \quad (\text{Eq. D.34})$$

$$j_{OA} = S_{OA} - i_{OA} \quad (\text{Eq. D.35})$$

Onde:

$i_{OA}$  → deflexão do ponto A com origem em "O";

$x_A$  e  $y_A$  → coordenadas do ponto A;

$j_{OA}$  → ângulo de ré da tangente no ponto A à origem em "O"; e

$S_{OA}$  → ângulo central no ponto A.

- teodolito deslocado para o ponto B:

$$i_{AB} = \text{arc.tg} \left( \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} \right) - S_{OA} \quad (\text{Eq. D.36})$$

$$j_{BA} = (S_{OB} - S_{OA}) - i_{AB} \quad (\text{Eq. D.37})$$

Onde:

$i_{OA}$  → deflexão do ponto A com origem em "O";

$x_A$  e  $y_A$  → coordenadas do ponto A;

$j_{OA}$  → ângulo de ré da tangente no ponto A à origem em "O"; e

$S_{OA}$  → ângulo central no ponto A.

Os quadros D.08 e D.09 apresentam os modelos de “caderneta de campo para a locação de espirais”, com teodolito instalado só na origem da espiral e com teodolito tendo que ser deslocado para outro ponto da espiral, respectivamente.

**QUADRO D.08 – Valores para locação da espiral.**

Pontos	Arco Acumulado (m)	S (radianos)	Coordenadas		Deflexões acumuladas (i)
			x (m)	y (m)	
$P_1$ (TS ou ST)	$L_1 = 0$	-	-	-	-
$P_2$	$L_2 = c + L_1$	$S_2 = \left( \frac{L_2^2}{2 \cdot R \cdot L_c} \right)$	$x_2 = \frac{L_2 \cdot S_2}{3}$ $\left( 1 - \frac{S_2^2}{14} + \frac{S_2^4}{440} - \dots \right)$	$y_2 = L_2 \cdot \left( 1 - \frac{S_2^2}{10} + \frac{S_2^4}{216} - \dots \right)$	$i_2 = \text{arctg} \left( \frac{x_2}{y_2} \right)$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$P_{(n-1)}$	$L_{(n-1)} = c + L_{(n-2)}$	$S_{(n-1)} = \left( \frac{L_{(n-1)}^2}{2 \cdot R \cdot L_c} \right)$	$x_{(n-1)} = \frac{L_{(n-1)} \cdot S_{(n-1)}}{3}$ $\left( 1 - \frac{S_{(n-1)}^2}{14} + \frac{S_{(n-1)}^4}{440} - \dots \right)$	$y_{(n-1)} = L_{(n-1)} \cdot \left( 1 - \frac{S_{(n-1)}^2}{10} + \frac{S_{(n-1)}^4}{216} - \dots \right)$	$i_{(n-1)} = \text{arctg} \left( \frac{x_{(n-1)}}{y_{(n-1)}} \right)$
$P_n$ (SC ou CS)	$L_n = c + L_{(n-1)}$	$S_n = \left( \frac{L_n^2}{2 \cdot R \cdot L_c} \right)$	$x_n = \frac{L_n \cdot S_n}{3}$ $\left( 1 - \frac{S_n^2}{14} + \frac{S_n^4}{440} - \dots \right)$	$y_n = L_n \cdot \left( 1 - \frac{S_n^2}{10} + \frac{S_n^4}{216} - \dots \right)$	$i_n = \text{arctg} \left( \frac{x_n}{y_n} \right)$

**QUADRO D.09 – Deflexões acumuladas para locação da espiral.**

Estacas	Arco Acumulado (m)	S (radianos)	Coordenadas	
			x (m)	y (m)
⊗ Origem – $P_1$ (TS)	$L_1 = 0$	-	-	-
$P_2$	$L_2 = c + L_1$	$S_2 = \left( \frac{L_2^2}{2 \cdot R \cdot L_c} \right)$	$x_2 = \frac{L_2 \cdot S_2}{3}$ $\left( 1 - \frac{S_2^2}{14} + \frac{S_2^4}{440} - \dots \right)$	$y_2 = L_2 \cdot \left( 1 - \frac{S_2^2}{10} + \frac{S_2^4}{216} - \dots \right)$
⊗ $P_3$	$L_3 = c + L_2$	$S_3 = \left( \frac{L_3^2}{2 \cdot R \cdot L_c} \right)$	$x_3 = \frac{L_3 \cdot S_3}{3}$ $\left( 1 - \frac{S_3^2}{14} + \frac{S_3^4}{440} - \dots \right)$	$y_3 = L_3 \cdot \left( 1 - \frac{S_3^2}{10} + \frac{S_3^4}{216} - \dots \right)$
$P_4$	$L_4 = c + L_3$	$S_4 = \left( \frac{L_4^2}{2 \cdot R \cdot L_c} \right)$	$x_4 = \frac{L_4 \cdot S_4}{3}$ $\left( 1 - \frac{S_4^2}{14} + \frac{S_4^4}{440} - \dots \right)$	$y_4 = L_4 \cdot \left( 1 - \frac{S_4^2}{10} + \frac{S_4^4}{216} - \dots \right)$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$P_{(n-1)}$	$L_{(n-1)} = c + L_{(n-2)}$	$S_{(n-1)} = \left( \frac{L_{(n-1)}^2}{2 \cdot R \cdot L_c} \right)$	$x_{(n-1)} = \frac{L_{(n-1)} \cdot S_{(n-1)}}{3}$ $\left( 1 - \frac{S_{(n-1)}^2}{14} + \frac{S_{(n-1)}^4}{440} - \dots \right)$	$y_{(n-1)} = L_{(n-1)} \cdot \left( 1 - \frac{S_{(n-1)}^2}{10} + \frac{S_{(n-1)}^4}{216} - \dots \right)$
⊗ Extremidade – $P_n$ (TS)	$L_n = c + L_{(n-1)}$	$S_n = \left( \frac{L_n^2}{2 \cdot R \cdot L_c} \right)$	$x_n = \frac{L_n \cdot S_n}{3}$ $\left( 1 - \frac{S_n^2}{14} + \frac{S_n^4}{440} - \dots \right)$	$y_n = L_n \cdot \left( 1 - \frac{S_n^2}{10} + \frac{S_n^4}{216} - \dots \right)$

Deflexões		Azimutes	Observações
Simples	Acumuladas		
-	-	$Az_1$	Tangente
-	$i_2 = \text{arc.tg}\left(\frac{x_2}{y_2}\right)$	$Az_3 = Az_1 + i_3 + j_3$	$Ré = j_3 = S_3 - i_3$
-	$i_3 = \text{arc.tg}\left(\frac{x_3}{y_3}\right)$		
-	$i_4 = \text{arc.tg}\left(\frac{x_4 - x_3}{y_4 - y_3}\right) - S_3$	⋮	⋮
⋮	⋮		
⋮	⋮		
-	$i_{(n-1)} = \text{arc.tg}\left(\frac{x_{(n-1)} - x_3}{y_{(n-1)} - y_3}\right) - S_3$	$Az_n = Az_3 + i_n + j_n$	$j_n = (S_n - S_3) - i_n$
-	$i_n = \text{arc.tg}\left(\frac{x_n - x_3}{y_n - y_3}\right) - S_3$		

Quando se vai para campo sem o conhecimento dos obstáculos que irão ser encontrados para a locação, costuma-se conduzir uma tabela que inclua todas as deflexões possíveis de ré e de vante, considerando-se mudanças do teodolito em todos os pontos, como uma forma de não ser preciso que a equipe de topografia realize estes cálculos em campo. O quadro D.10 apresenta o processo de cálculo para a utilização deste tipo de tabela de campo mencionada.

**QUADRO D.10 – Tabela de locação (deflexões).**

$*L_n = c + L_{(n-1)}$ $*S_n = \left(\frac{L_n^2}{2 \cdot R \cdot L_c}\right)$ $*x_n = \frac{L_n \cdot S_n}{3} \left(1 - \frac{S_n^2}{14} + \frac{S_n^4}{440} - \dots\right)$ $*y_n = L_n \cdot \left(1 - \frac{S_n^2}{10} + \frac{S_n^4}{216} - \dots\right)$ Deflexão e ângulo ré com teodolito na origem : $*i_{on} = \text{arc.tg}\left(\frac{x_n}{y_n}\right)$ e $j_{on} = S_n - i_{on}$ Deflexão e ângulo ré com teodolito instalado deslocado para um ponto A : $*i^{An} = \text{arc.tg}\left(\frac{x_n - x^A}{y_n - y^A}\right)$ , $S^{OA}$ e $j^{An} = (S_n - S^A) - i^{An}$						Comprimento do arco (m)							
						TS	$L_2$	$L_3$	⋮	$L_{(n-1)}$	$L_n$		
S (radianos)							-	$S_2$	$S_3$	⋮	$S_{(n-1)}$	$S_n$	
Abscissa (m)							-	$x_2$	$x_3$	⋮	$x_{(n-1)}$	$x_n$	
Ordenada (m)							-	$y_2$	$y_3$	⋮	$y_{(n-1)}$	$y_n$	
Comprimento do arco (m)	$TS$	S (radianos)	-	Abscissa (m)	-	Ordenada (m)	-	⊗	$i_{O2}$	$i_{O3}$	⋮	$i_{O(n-1)}$	$i_{On}$
	$L_2$		$S_2$		$x_2$		$y_2$	$j_{O2}$	⊗	$i_{23}$	⋮	$i_{2(n-1)}$	$i_{2n}$
	$L_3$		$S_3$		$x_3$		$y_3$	$j_{O3}$	$j_{23}$	⊗	⋮	$i_{3(n-1)}$	$i_{3n}$
	⋮		⋮		⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	$L_{(n-1)}$		$S_{(n-1)}$		$x_{(n-1)}$		$y_{(n-1)}$	$j_{O(n-1)}$	$j_{2(n-1)}$	$j_{3(n-1)}$	⋮	⊗	$i_{(n-1)n}$
	$L_n$		$S_n$		$x_n$		$y_n$	$j_{On}$	$j_{2n}$	$j_{3n}$	⋮	$j_{(n-1)n}$	⊗

OBS.:

$L_i$  → arcos acumulados;

$A_i$  → azimute real ou magnético de um ponto;

$Ré = j_{BA}$  → ângulo ré de um ponto B p/ um ponto A;

⊗ → mudança de estação.

### D.3.3. Superlargura e Superelevação

A superlargura e a superelevação têm a função de minimizar os efeitos de desconforto e de insegurança quando o veículo está em um trecho curvo.

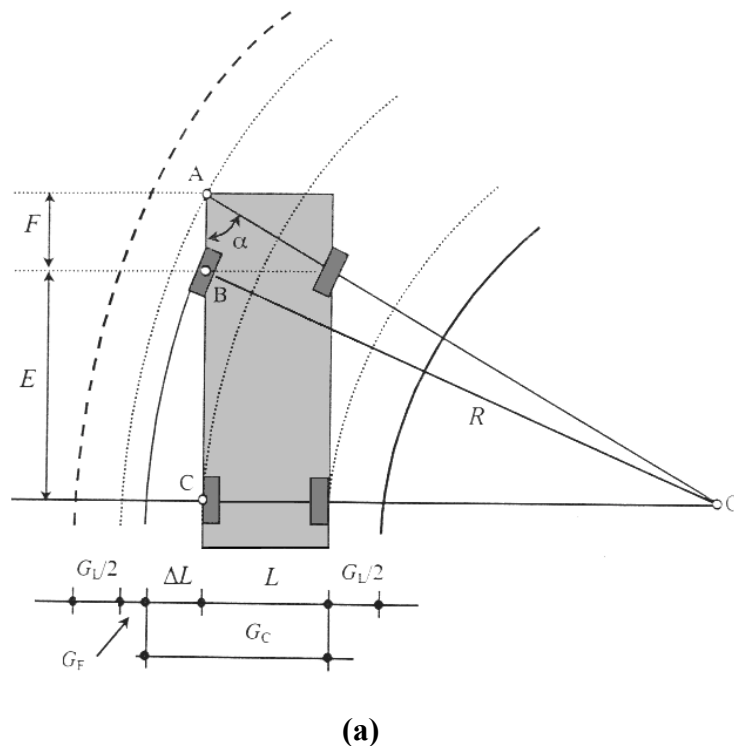
#### D.3.3.1. Superlargura

A superlargura serve para eliminar os efeitos do estreitamento de percurso quando um veículo está em trajetórias curvas, isto causado porque os mesmos nesta situação ocupam fisicamente espaços laterais maiores que sua própria largura (Lee, 2000, e Pontes Filho, 1998).

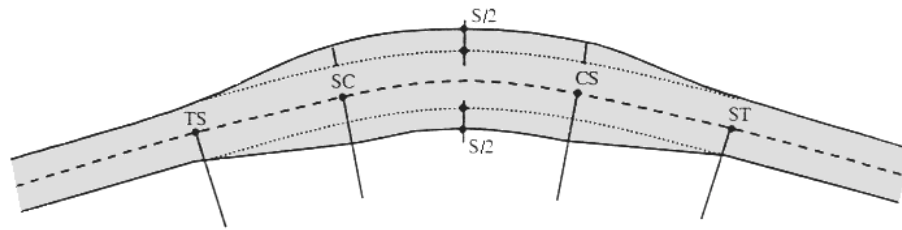
Ela é uma largura adicional das faixas de trânsito em trechos curvos e recebe a notação  $S_R$  (Lee, 2000).

A superlargura deve ser calculada para um veículo tipo CO, o qual se adequa as necessidades dos demais tipos de veículos (Lee, 2000).

O processo de cálculo da superlargura de uma curva de raio  $R$  (figura D.25 a e b) é o seguinte (Lee, 2000, e Pontes Filho, 1998):







(b)

**FIGURA D.25 – Esquema da configuração da superlargura: (a) elementos geométricos do veículo em curva; (b) distribuição da superlargura**

(Fonte: Pontes Filho, 1998).

Onde:

$O$  → centro da curva;

$R$  → raio da curva;

$G_c$  → gabarito estático do veículo em curva;

$G_L$  → folga lateral do veículo em movimento (quadro D.11);

$G_F$  → acréscimo devido ao balanço dianteiro do veículo em curva;

$L$  → largura do veículo, medida entre as faces externas dos pneus;

$E$  → distância entre eixos; e

$F$  → balanço dianteiro.

**QUADRO D.11 – Valores de gabarito lateral.**

Largura da faixa $L_F$ (m)	3,00 – 3,20	3,30 – 3,40	3,50 – 3,60
Gabarito lateral $G_L$ (m)	0,60	0,75	0,90

Fonte: IPR 706/20 (1999).

Então,

$$S_R = 2 \cdot \left( L + \frac{E^2}{2 \cdot R} + G_L \right) + \sqrt{R^2 + F \cdot (F + 2 \cdot E)} - R + \frac{V}{10\sqrt{R}} - L_B \quad (\text{Eq. D.38})$$

Onde:

$S_R$  → superelevação para uma curva de raio  $R$ ;

$V$  → velocidade diretriz ( $km/h$ ); e

$L_B$  → largura básica da pista em tangente ( $m$ ).

Quanto a distribuição da superlargura em uma curva, dá-se preferência a simétrica, ou seja, metade para cada lado, onde a linha central da pista coincidirá com o eixo do projeto da mesma, conforme indicado na figura D.25 (b).

Segundo Da Costa e Figueiredo (2001), a superlargura deve ser acrescida a largura da plataforma ao longo do comprimento de transição ( $L_c$ ) da curva de transição (eq. D.39).

$$S'_R = \frac{S_R}{L_c} \cdot L_{V_2} \quad (\text{Eq. D.39})$$

Onde:

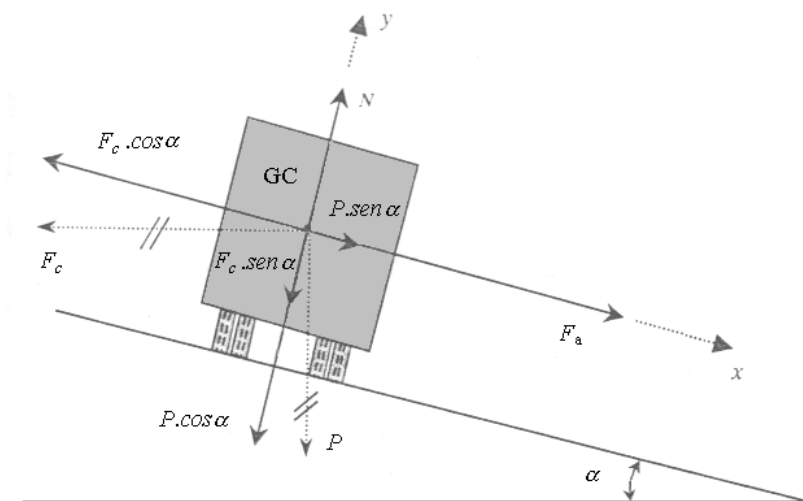
$S'_R$  → acréscimo a largura da plataforma em um ponto qualquer da transição; e

$L_{V_2}$  → distância do início da transição ao ponto analisado.

### D.3.3.2. Superelevação

Para combater as forças laterais causadas durante o percurso desses trechos curvos, surge o conceito de superelevação, que é uma elevação maior na parte externa que na parte interna da pista em curva.

Para o processo de cálculo propriamente dito da superelevação, Pontes Filho (1998) e Lee (2000) sugerem, baseado na figura D.26, a seguinte seqüência de cálculo:



**FIGURA D.26 – Esquema das forças atuantes em um veículo em uma curva com a pista superelevada (Fonte: Pontes Filho, 1998).**

Onde:

$F_c$  → força centrípeta (N);

$F_a$  → força de atrito (N);

$P$  → peso do veículo (N);

$\alpha$  → ângulo de inclinação da pista; e

$N$  → força normal.

De acordo com o quadro D.02 de características técnicas para projeto de rodovias novas do DNER, pode-se obter a superelevação máxima ( $e_{máx}$ ) e o raio mínimo de curva horizontal para superelevação mínima ( $R_{mín}$ ).

A superelevação ( $e_r$ ) a adotar para a concordância com raio da curva  $R$ , é:

$$e_R = e_{máx} \cdot \left( \frac{2 \cdot R_{mín}}{R} - \frac{R_{mín}^2}{R^2} \right) \quad (\text{Eq. D.40})$$

Existem alguns valores de raio da curva ( $R$ ) que dispensam a superelevação (quadro D.12), bastando apenas utilizar a superelevação mínima admissível, que é o próprio abaulamento da pista (Lee, 2000).

**QUADRO D.12 – Valores de  $R$  que dispensam superelevação.**

$V$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	$\geq 100$
$R$ (m)	450	800	1.250	1.800	2.450	3.200	4.050	5.000

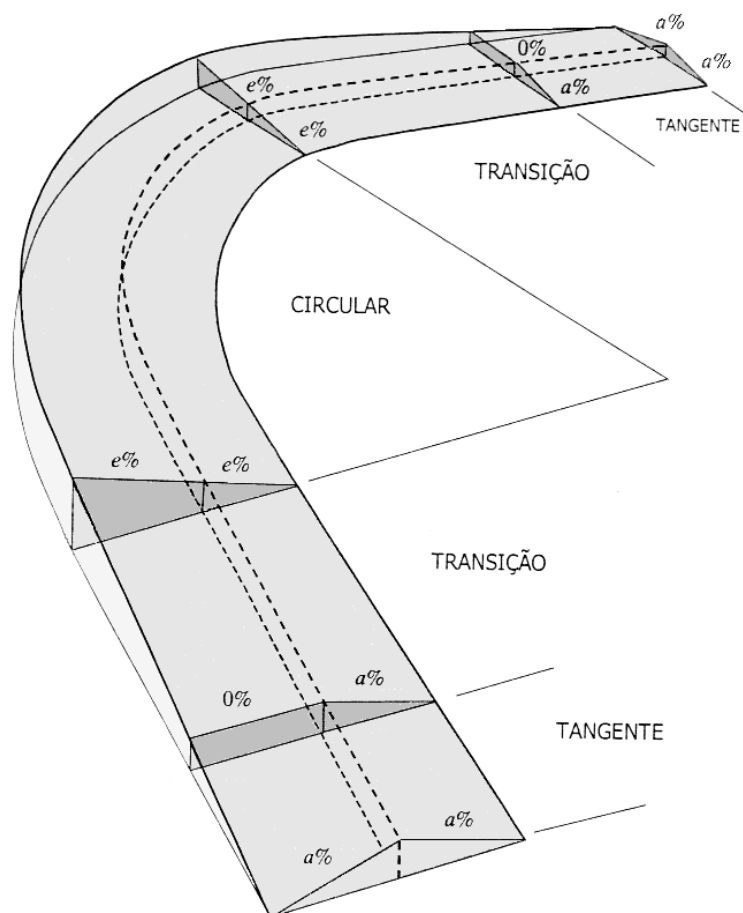
Fonte: IPR 706/20 (1999).

Segundo Lee (2000), as normas do DNER estabelecem os seguintes abaulamentos:

- revestimentos betuminosos com granulometria aberta = 2,500% a 3,000%;
- revestimentos betuminosos de alta qualidade (CBUQ) = 2,000%; e
- pavimento de concreto de cimento = 1,500%.

Ainda, sabendo-se que em trechos de tangente o pavimento tem a mesma inclinação no sentido descendente do centro para os bordos, nas duas faixas de trânsito, como uma forma de ajudar no processo de drenagem, então torna-se necessário que, em um trecho específico da tangente, ocorra um alteamento progressivo do bordo externo até nivelar sua cota com a cota do eixo da pista no início da concordância. Isto é conhecido como trecho de variação da superelevação e pode ser observado no esquema da figura D.27.

O quadro D.13 apresenta os comprimentos mínimos dos trechos de variação da superelevação para uma pista com duas faixas de tráfego de 3,60 m.



**FIGURA D.27 – Esquema da variação da superelevação (Fonte: Pontes Filho, 1998).**

**QUADRO D.13 – Comprimentos mínimos de trechos de variação da superelevação.**

Superelevação $e$ (%)	Velocidade (km/h)							
	50	60	70	80	90	100	110	120
	$\alpha$ (%)							
	0,66	0,60	0,54	0,50	0,47	0,43	0,40	0,37
Valores de $L_e$ (m)								
2	11	12	13	14	15	17	18	19
4	22	24	27	29	31	33	36	39
6	33	36	40	43	46	50	54	58
8	44	48	53	58	61	67	72	78
10	55	60	67	72	77	84	90	97
12	65	72	80	86	92	100	108	117
$L_{e_{min}} = 0,56 \cdot V$	28	33	39	44	50	56	61	67

Fonte: AASHTO, 1984.

Segundo Pontes Filho (1998), para pistas com número de faixas de tráfego maior que 2, a AASHTO recomenda os seguintes valores:

$$3 \text{ faixas} : L_e' = 1,2 \cdot L_e$$

$$4 \text{ faixas} : L_e' = 1,5 \cdot L_e$$

$$5 \text{ faixas} : L_e' = 2,0 \cdot L_e$$

Alternativamente, Da Costa e Figueiredo (2001) indicam a equação D.41 para o cálculo do comprimento do trecho de variação da superelevação.

$$L_e = \frac{a \cdot l_c}{e_R} \quad (\text{Eq. D.41})$$

Onde:

$a$  → abaulamento da tangente ou declividade transversal;

$l_c$  → comprimento de transição.

Já para definir-se as ordenadas dos bordos da faixa externa no trecho de variação da superelevação e entre o início do comprimento de transição e o início da curva circular, Da Costa e Figueiredo (2001) indicam a utilização do processo de cálculo indicado a seguir.

- trecho de variação da superelevação:

$$h_1' = -\frac{h_1 \times L_{V_1}}{L_e} \quad (\text{Eq. D.42})$$

Onde:

$h_1'$  → ordenada do bordo externo no trecho de variação da superelevação;

$h_1$  → ordenadas dos limites da plataforma (início e fim de tangentes);

$L_{V_1}$  → distância do ponto analisado ao início da concordância.

No qual:

$$h_1 = \frac{a \times l}{2} \quad (\text{Eq. D.43})$$

Onde:

$l$  → largura da plataforma.

- entre o início da transição e o início da curva circular:

Na transição propriamente dita, as ordenadas do bordo externo variam de  $h = 0,000$ , no início da concordância, até o valor calculado pela equação D.44 no início da curva circular:

$$h_2 = \pm \left( \frac{e_R \cdot l}{2} + \frac{e_R \cdot S_R \cdot t}{100} \right) \quad (\text{Eq. D.44})$$

Onde:

$h_2$  → ordenadas dos limites da plataforma (início da curva circular);

$S_R$  → superlargura; e

$t$  → proporção de distribuição da superlargura entre as faixas de transição (%) (normalmente 50% para cada faixa).

Então, na transição:

$$h_2' = \pm \left( \frac{e_R \cdot l \cdot L_{V_2}}{2 \cdot l_c} + \frac{e_R \cdot S_R \cdot L_{V_2} \cdot t}{l_c \cdot 100} \right) \quad (\text{Eq. D.45})$$

Onde:

$h_2'$  → ordenada do bordo externo(+)/interno(-) entre o início da transição e o início da curva circular;

$L_{V_2}$  → distância do início da transição ao ponto analisado.

OBS.: Caso o valor  $h_2'$  calculado para o bordo interno seja menor, em valor absoluto, que  $h_1$ , então o valor da ordenada neste ponto será o próprio  $h_1$ .

## D.4. Elementos Altimétricos

### D.4.1. Curvas Verticais

O perfil de uma rodovia é formado por um conjunto de greides retos, onde a interseção entre os mesmos se dá em pontos conhecidos por PVI (ponto de inteseção vertical).

Para realizar a concordância entre esses trechos retos deve-se dispor de curvas verticais que se iniciam no PCV (ponto de curva vertical) e PTV (ponto de tangência vertical).

#### D.4.1.1. Comprimento mínimo de curvas verticais

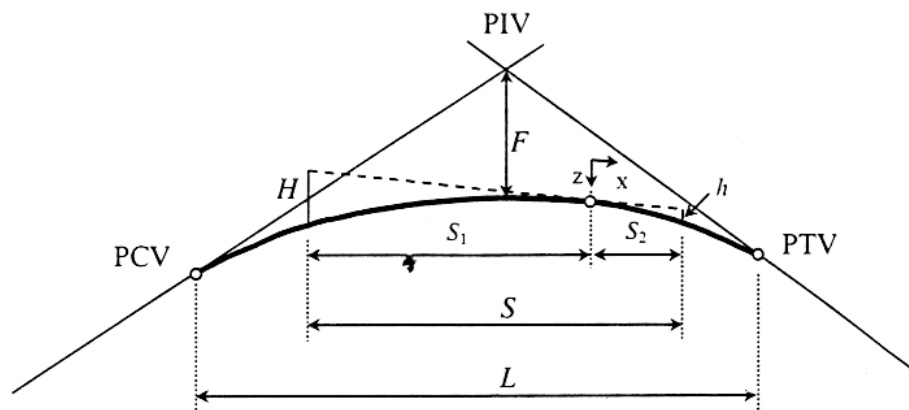
Uma das etapas iniciais do projeto de uma concordância vertical é a determinação do comprimento mínimo das curvas verticais para os casos do comprimento de visibilidade ( $S$ )

menor ou igual ao comprimento da curva ( $L$ ), isto é,  $S \leq L$  e para o comprimento de visibilidade maior que o comprimento da curva,  $S > L$ .

a) Curvas verticais convexas

Segundo Pontes Filho (1998), para os dois casos diferentes temos, de acordo com os esquemas das figuras D.28 e D.29, as seguintes equações ( $H = 1,10m$  e  $h = 0,15m$ ):

- CASO I:  $S \leq L$ :



**FIGURA D.28 – Curva vertical convexa com  $S \leq L$  (Fonte: Pontes Filho, 1998).**

$$L_{\min} = \frac{D_p^2}{412} \cdot A = k_{\min} \cdot A \quad (\text{Eq. D.46})$$

Onde:

$L_{\min}$  → comprimento mínimo da curva vertical ( $m$ );

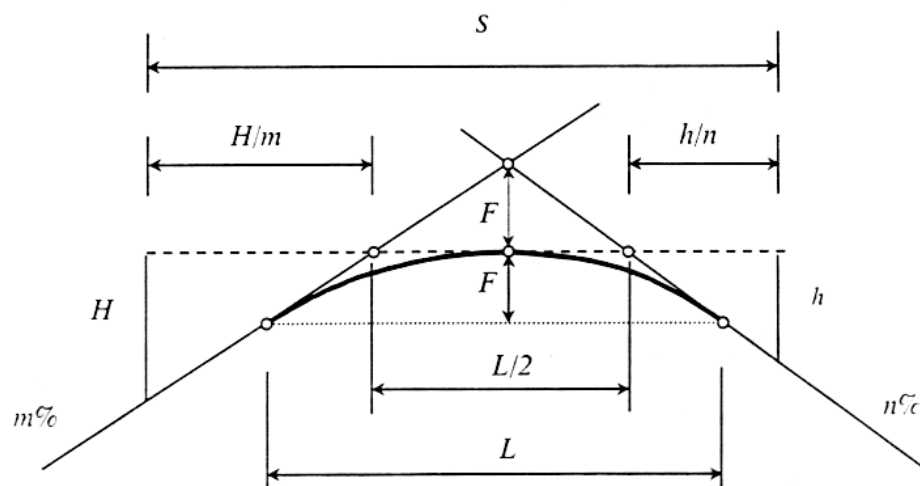
$D_p$  → distância de visibilidade de parada ( $m$ ) - (quadro D.02);

$A$  → diferença algébrica das rampas (%); e

$K$  → parâmetro da parábola ( $m$ ) - (quadro D.02).

- CASO I:  $S > L$ :

$$L_{\min} = 2 \cdot D_p - \frac{412}{A} \quad (\text{Eq. D.47})$$

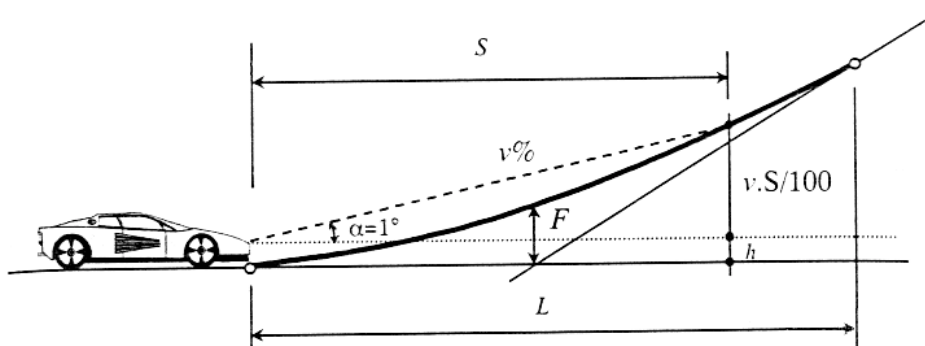


**FIGURA D.29 – Curva vertical convexa com  $S > L$  (Fonte: Pontes Filho, 1998).**

b) Curvas verticais côncavas

Segundo Pontes Filho (1998), para os dois casos diferentes temos, de acordo com os esquemas das figuras D.30 e D.31, as seguintes equações (altura do farol de 0,61m e  $\alpha = 1^\circ$ ):

- CASO I:  $S \leq L$ :



**FIGURA D.30 – Curva vertical côncava com  $S \leq L$  (Fonte: Pontes Filho, 1998).**

$$L_{\min} = \frac{D_p^2}{112 + 3,5 \cdot D_p} \cdot A = k_{\min} \cdot A \quad (\text{Eq. D.48})$$

- CASO I:  $S > L$ :

$$L_{\min} = 2 \cdot D_p - \frac{112 + 3,5 \cdot D_p}{A} \quad (\text{Eq. D.49})$$



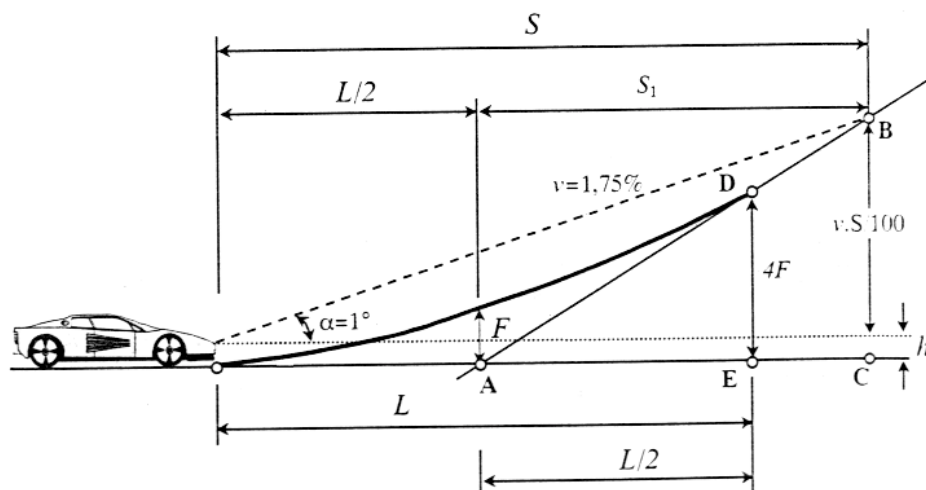


FIGURA D.31 – Curva vertical côncava com  $S > L$  (Fonte: Pontes Filho, 1998).

#### D.4.1.2. Curvas verticais simples

Segundo Pontes Filho (1998), os elementos constituintes de uma curva vertical simples, os quais podem ser observados na figura D.32, podem ser obtidos através das equações a seguir.

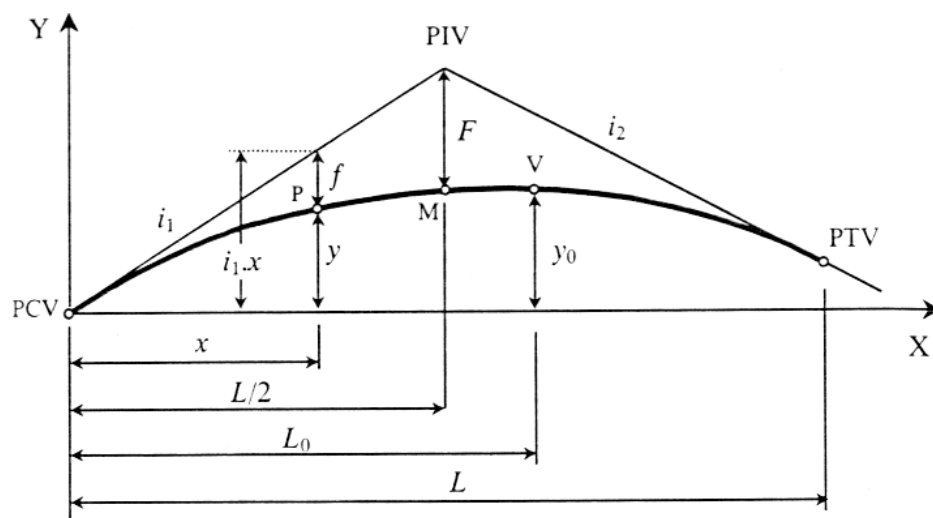


FIGURA D.32 – Curvas verticais simples (Fonte: Pontes Filho, 1998).

Onde:

- $i_1$  → inclinação da rampa ascendente;
- $i_2$  → inclinação da rampa descendente;
- $L$  → comprimento da curva vertical;
- $y$  → ordenada de um ponto  $P$  qualquer;

$x$  → abscissa de um ponto  $P$  qualquer;  
 $f$  → flecha da parábola;  
 $F$  → flecha máxima (ponto  $M$ );  
 $L_0$  → abscissa do vértice  $V$  em relação ao  $PCV$ ;  
 $y_0$  → ordenada do vértice  $V$  em relação ao  $PCV$ ;  
 $PCV$  → ponto de curva vertical;  
 $PIV$  → ponto de interseção vertical; e  
 $PTV$  → ponto de tangência vertical.

Então:

- valor da declividade do greide ( $g$ ):

$$g = i_1 - i_2 \quad (\text{Eq. D.50})$$

- comprimento da curva vertical:

$$L = R_v \cdot |g| = R_v \cdot |i_1 - i_2| \quad (\text{Eq. D.51})$$

Onde:

$R_v$  → raio da curva vertical (menor raio instantâneo da parábola), obtido através do gabarito que melhor atende as condições de projeto.

- equação geral da parábola:

$$y = -\frac{g}{2 \cdot L} \cdot x^2 + i_1 \cdot x \quad (\text{Eq. D.52})$$

- cota de um ponto  $P$  em relação a um plano de referência:

$$Cota(P) = -\frac{g}{2 \cdot L} \cdot x^2 + i_1 \cdot x + Cota(PCV) \quad (\text{Eq. D.53})$$

- flecha da parábola em um ponto  $P$ :

$$f = \frac{g}{2 \cdot L} \cdot x^2 \quad (\text{Eq. D.54})$$

- flecha máxima da parábola (em  $PIV$ ):

$$F = \frac{g \cdot L}{8} \quad (\text{Eq. D.55})$$

- abscissa do vértice  $V$  em relação ao  $PCV$ :

$$L_0 = \frac{i_1 \cdot L}{g} \quad (\text{Eq. D.56})$$

- ordenada do vértice  $V$  em relação ao  $PCV$ :

$$y_0 = \frac{i_1^2 \cdot L}{2 \cdot g} \quad (\text{Eq. D.57})$$

- cotas e estacas do  $PCV$  e  $PTV$ :

$$E(PCV) = E(PIV) - \left[ \frac{L}{2} \right] \quad (\text{Eq. D.58})$$

$$E(PTV) = E(PIV) + \left[ \frac{L}{2} \right] \quad (\text{Eq. D.59})$$

$$\text{Cota}(PCV) = \text{Cota}(PIV) - i_1 \cdot \frac{L}{2} \quad (\text{Eq. D.60})$$

$$\text{Cota}(PTV) = \text{Cota}(PIV) - i_2 \cdot \frac{L}{2} \quad (\text{Eq. D.61})$$

#### D.4.1.3. Curvas verticais compostas

Segundo Pontes Filho (1998), os elementos constituintes de uma curva vertical simples, os quais podem ser observados na figura D.33, podem ser obtidos através das equações a seguir.

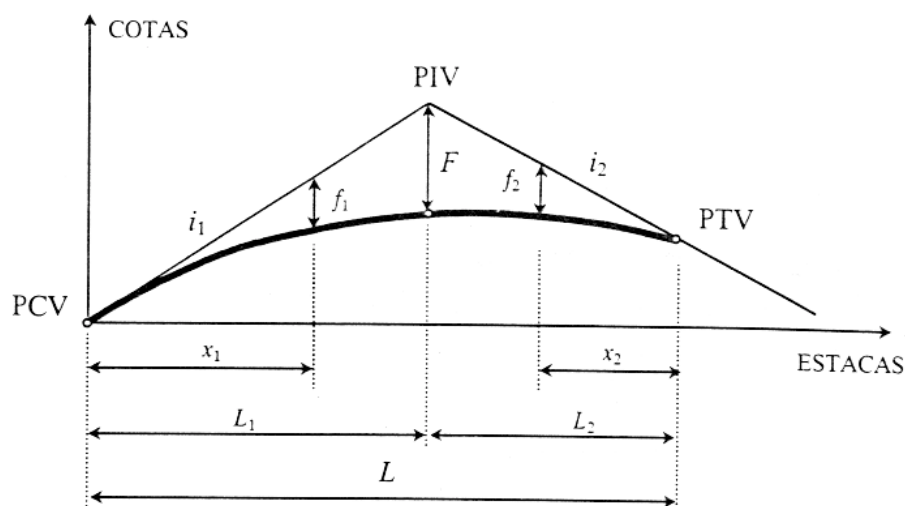


FIGURA D.33 – Curvas verticais compostas (Fonte: Pontes Filho, 1998).

Onde:

$i_1$  → inclinação da rampa ascendente;

$i_2$  → inclinação da rampa descendente;

$L$  → comprimento da curva vertical;

$L_1$  → comprimento do primeiro ramo da curva vertical;

$L_2$  → comprimento do segundo ramo da curva vertical;

$x_1$  → abscissa de um ponto qualquer situado no primeiro ramo da curva vertical a partir de *PCV*;

$x_2$  → abscissa de um ponto qualquer situado no segundo ramo da curva vertical a partir de *PTV*;

$f_1$  → flecha da parábola no primeiro ramo da curva vertical;

$f_2$  → flecha da parábola no segundo ramo da curva vertical;

$F$  → flecha máxima;

$L_0$  → abscissa do vértice *V* em relação ao *PCV*;

$y_0$  → ordenada do vértice *V* em relação ao *PCV*;

*PCV* → ponto de curva vertical;

*PIV* → ponto de interseção vertical; e

*PTV* → ponto de tangência vertical.

Então:

- a variação total da declividade do greide ( $g$ ) é obtida da mesma forma que na curva vertical simples.
- comprimento da curva vertical:

$$L = L_1 + L_2, (L_1 \neq L_2) \quad (\text{Eq. D.62})$$

- flecha máxima da parábola (em *PIV*):

$$F = \frac{L_1 \cdot L_2}{2 \cdot L} \cdot g \quad (\text{Eq. D.63})$$

- flecha da parábola em um ponto *P*:

$$f_1 = \frac{F}{L_1^2} \cdot x_1^2 \quad (\text{Eq. D.64})$$

$$f_2 = \frac{F}{L_2^2} \cdot x_2^2 \quad (\text{Eq. D.65})$$

- cotas e estacas do *PCV* e *PTV*:

$$E(PCV) = E(PIV) - [L_1] \quad (\text{Eq. D.66})$$

$$E(PTV) = E(PIV) + [L_2] \quad (\text{Eq. D.67})$$

$$Cota(PCV) = Cota(PIV) - i_1 \cdot L_1 \quad (\text{Eq. D.68})$$

$$Cota(PTV) = Cota(PIV) - i_2 \cdot L_2 \quad (\text{Eq. D.69})$$

## APÊNDICE E

### E. TERRAPLANAGEM

Segundo IPR 707/20 (1999), o projeto de terraplanagem constitui-se da realização de um estudo prévio de possíveis locais de caixa de empréstimo, do cálculo de cubação do movimento de terra, da constituição dos aterros, indicando a origem dos materiais a serem empregados nas diversas camadas e grau de compactação a ser observado, do cálculo das distâncias de transporte, detalhamento das seções transversais-tipo e soluções particulares de inclinação de taludes, alargamento de cortes, esplanadas, fundações de aterro e de um projeto de proteção da natureza, na execução de terraplanagem.

Segundo a IPR 696/100 (1996), a determinação dos volumes de cortes e aterros é realizada através de um serviço associado entre a equipe de topografia e de projeto, ou seja, a equipe de projeto determina a seção transversal, de acordo com os dados disponíveis obtidos no decorrer do projeto geométrico, e a equipe de topografia procede em campo à marcação, através de piquetes e testemunhas, do *off-set* da esquerda e da direita de cada estaca, devendo ser nivelados e contranivelados admitindo-se erro máximo de fechamento de 0,02 *m* por quilômetro de extensão nivelada. Os dados obtidos e já refinados devem ser apresentados em uma nota de serviço de terraplanagem.

#### E.1. Nota de Serviço de Terraplanagem

A nota de serviço de terraplanagem é uma “caderneta de campo” que serve para que se materialize em campo a seção transversal das diversas estacas e pontos notáveis da rodovia.

Esta materialização, realizada por equipe de topografia, pode ser feita para a caracterização de serviços de terraplanagem (até a camada de reforço do subleito) e para os demais serviços de pavimentação, indicando as cotas das diversas camadas do pavimento.

O quadro E.01 foi estruturado a partir de consulta a Pontes Filho (1999), Da Costa e Figueiredo (2001), IPR 696/100 (1996) e IPR 697/100 (1996), levando-se em consideração os cálculos realizados para os elemento planimétricos e altimétricos, servindo para futura determinação de volumes de corte e aterro da pista e para a construção do diagrama de *Brückner* (quadro E.02). O seu uso, para serviços de terraplanagem, deve ser feito da seguinte forma:

- nas colunas 14 e 15 anotam-se as estacas inteiras e suas frações;
- nas colunas 16 e 17 anotam-se a localização e os elementos que compõem as concordâncias horizontal e vertical (TS, SC, CS, ST,  $i$ ,  $L_c$  etc.), respectivamente;
- na coluna 10 anota-se a cota do terreno, obtida pela topografia, por onde se projeta o eixo da rodovia e na coluna 11 a cota do eixo reto, determinada no perfil que liga os PVI's;
- a coluna 12 serve para apontar quais são as flechas entre o eixo reto e as concordâncias verticais (conforme os conceitos determinados no Apêndice D – Projeto Geométrico);

\* Para curva vertical simples :

$$f = \frac{g}{2 \cdot L} \cdot x^2$$

\* Para curva vertical composta :

$$f_1 = \frac{F}{L_1^2} \cdot x_1^2 \text{ e } f_2 = \frac{F}{L_2^2} \cdot x_2^2$$

- o greide de projeto (coluna 13) é determinado através da soma (curvas verticais côncavas) ou subtração (curvas verticais convexas) entre a coluna 11 e 12;
- anotam-se as cotas vermelhas do eixo, obtidas pela subtração entre a coluna 10 e 13, sendo corte (coluna 18), quando for positiva e aterro (coluna 19) quando for negativa;
- nas colunas 9 e 20 anotam-se as larguras da pista esquerda e direita, respectivamente, em trechos retos, de transição e curvos, ainda levando-se em consideração a distribuição da superlargura (conforme os conceitos determinados no capítulo \_\_ – Projeto Geométrico);

\* Trecho reto :

$$d = \frac{l}{2}$$

\* Trecho de transição :

$$d = \frac{l}{2} + \frac{S'_R}{2} \text{ onde : } S'_R = \frac{S_R}{L_c} \cdot L_{V_2}$$

\* Trecho curvo :

$$d = \frac{l}{2} + \frac{S_R \cdot t}{2 \cdot 100}, \text{ onde :}$$

$l$  → largura da plataforma; e

$t$  → distribuição da superlargura entre as faixas em %.

- nas colunas 8 e 21 anotam-se as ordenadas devido às inclinações para os bordos esquerdo e direito, respectivamente, em trechos retos, de variação da superelevação, de transição e curvos, ainda levando-se em consideração se o bordo é externo ou interno (conforme os conceitos determinados no Apêndice D – Projeto Geométrico);

\* Trecho reto :

$$h_1 = \frac{a \times l}{2}$$

\* Trecho de variação da superelevação :

$$h_1' = -\frac{h_1 \times L_{V_1}}{L_e}$$

\* Trecho de transição :

$$h_2' = \pm \left( \frac{e_R \cdot l \cdot L_{V_2}}{2 \cdot l_c} + \frac{e_R \cdot S_R \cdot L_{V_2} \cdot t}{l_c \cdot 100} \right)$$

\* Trecho curvo :

$$h_2 = \pm \left( \frac{e_R \cdot l}{2} + \frac{e_R \cdot S_R \cdot t}{100} \right)$$

- nas colunas 7 e 22 anotam-se as cotas do terreno (obtidas pela topografia) por onde passa as linhas de projeção do bordo esquerdo e direito da plataforma, respectivamente, e nas colunas 6 e 23 anotam-se as cotas de projeto dos bordos esquerdo e direito, respectivamente, obtidos pela soma algébrica entre a soma algébrica entre as colunas 13 e 21 para o bordo direito e 13 e 8 para o bordo esquerdo;
- anotam-se as cotas vermelhas dos bordos, obtidas pela subtração entre as colunas 23 e 22 para o bordo direito e 6 e 7 para o bordo externo, sendo corte (coluna 24 – bordo direito; coluna 5 – bordo esquerdo) quando for positiva e de aterro (coluna 25 – bordo direito; coluna 4 – bordo esquerdo) quando for negativa;
- nas colunas 2 e 27 anotam-se as abscissas dos *off-set's* esquerdo e direito, obtidos a partir do desenho geométrico da seção transversal (2 metros das cristas dos cortes e dos pés dos aterros) ou o valor determinado pela topografia caso seja necessário refinamento do projeto;



- nas colunas 1 e 28 anotam-se as alturas dos *off-set's*, obtidas após a marcação das mesmas pela topografia, para o lado esquerdo e direito, respectivamente. Essa altura é a diferença de nível entre a cota do ponto marcado e o pé do corte (+) ou a crista do aterro (-); e
- nas colunas 3 e 26 anotam-se as somas algébricas entre as colunas 6 e 1 (*off-set* esquerdo) e 23 e 28 (*off-set* direito), respectivamente.

Quando se quer montar notas de serviço para camadas subsequentes de pavimento, não será mais necessária a preocupação com corte e aterro, sendo anotadas nas cotas do terreno as cotas da plataforma regularizada. As novas cotas de projeto serão as referentes as novas camadas. As ordenadas devido à inclinação para os bordos e da parábola para o eixo devem ser substituídas pela espessura da camada. Portanto, as colunas 1, 2, 3, 4, 5, 11, 18, 19, 24, 25, 26, 27 e 28 devem ser desprezadas.

## E.2. Cálculo de Volumes de Corte e Aterro

De acordo com o projeto geométrico da seção transversal, feito para cada estaca e em pontos de interesse da poligonal, pode-se determinar a área de corte e aterro da mesma e, conseqüentemente, determinar os volumes acumulados de ambos.

Isto será útil na determinação de volumes de empréstimo.

Já o diagrama de massa ou de *Brückner* fornece subsídios para análise de distribuição de materiais escavados e, segundo Pontes Filho (1998), ele é constituído pela representação gráfica dos volumes acumulados nas ordenadas e pelas estacas de projeto nas abscissas (figura E.01)

O quadro E.02, retirado de Pontes Filho (1998), serve para o cálculo de volumes e ordenadas de *Brückner* e deve ser construído da seguinte forma:

- na coluna 1 indica-se o número da estaca;
- nas colunas 2 e 3 anotam-se as áreas de corte e aterro, respectivamente, medidas para cada seção transversal;
- a coluna 4 é o produto da coluna 3 por um fator de homogeneização ( $F_h$ ) obtido pela equação E.01;

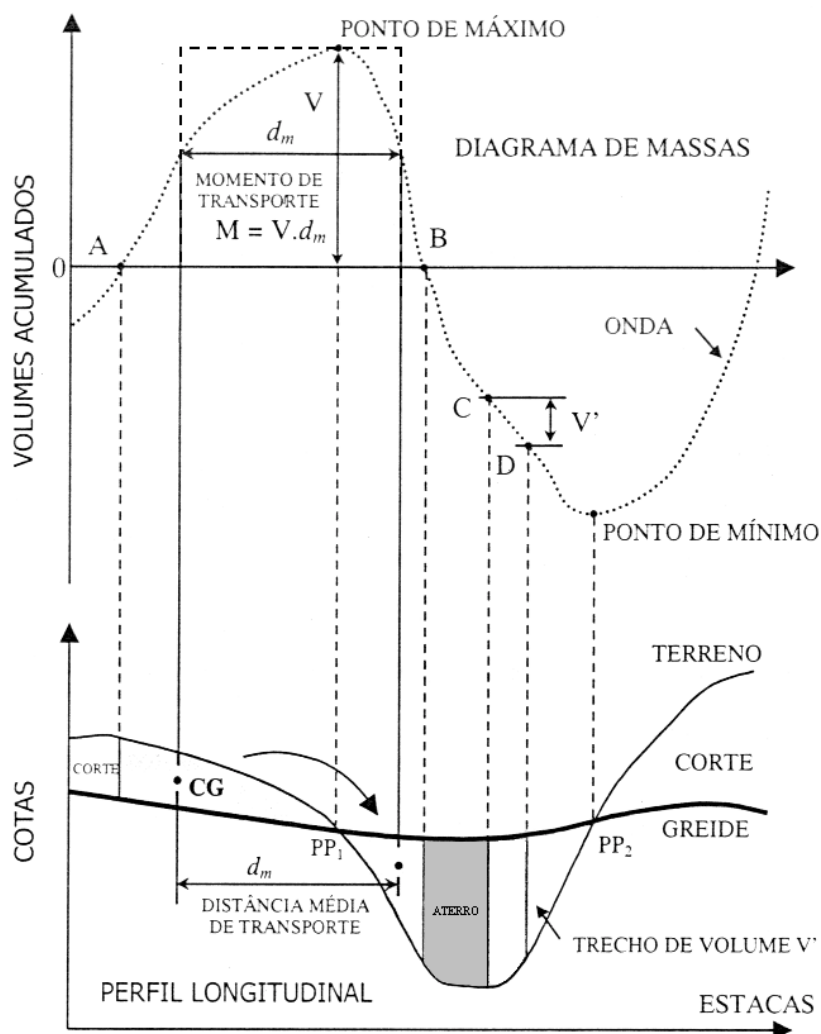
$$F_h = \frac{\gamma_{S_{comp}}}{\gamma_{S_{corte}}} \quad (\text{Eq. E.01})$$

Onde:

$\gamma_{S_{comp}}$  → massa específica aparente seca após compactação no aterro; e

$\gamma_{S_{corte}}$  → massa específica aparente seca do material no corte de origem.

- nas colunas 5 e 6 devem-se anotar a soma de duas áreas consecutivas de corte e de aterro, respectivamente;
- na coluna 7 anota-se a semi-distância entre seções consecutivas;
- na coluna 8 anota-se o produto das colunas 5 e 7;
- na coluna 9 anota-se o produto das colunas 6 e 7;
- na coluna 10 anotam-se os volumes compensados lateralmente em seções consecutivas, os quais não são sujeitos a transporte longitudinal; e
- na coluna 11 colocam-se os volumes acumulados obtidos pela soma algébrica acumulada dos volumes calculados nas colunas 8 e 9, os quais serão, no diagrama de massa, as ordenadas.



**FIGURA E.01 – Perfil longitudinal e diagrama de massa (Fonte: Pontes Filho, 1998).**

Segundo Pontes Filho (1998), no diagrama de massas, os trechos ascendentes indicam corte ou predominância de corte e os trechos descendentes indicam aterros ou predominância de aterro. A diferença entre ordenadas de dois pontos mede o volume de terra entre os dois. Os pontos extremos do diagrama correspondem aos pontos de passagem (*PP*), bem como os pontos de máximo e de mínimo correspondem, respectivamente, à passagem de corte para aterro e de aterro para corte.

**QUADRO E.02 – Nota de serviços de terraplanagem e pavimentação.**

Off-set's Direito	Altura ( <i>m</i> )			28
	Abscissa ( <i>m</i> )			27
	Cota ( <i>m</i> )			26
Bordo Direito	Cotas Vermelhas ( <i>m</i> )	Aterro		25
		Corte		24
	Cotas ( <i>m</i> )	Projeto		23
		Terreno		22
	Ordenada devido à inclinação p/ o lado direito			21
	Largura da pista direito ( <i>m</i> )			20
Elementos do Eixo	Cotas Vermelhas ( <i>m</i> )	Aterro		19
		Corte		18
	Alinhamentos	Vertical		17
		Horizontal		16
	Estacas	Intermediárias		15
		Inteiras		14
	Greide da pista ( <i>m</i> )			13
	Ordenadas da parábola ( <i>m</i> )			12
	Cotas ( <i>m</i> )	Greide reto		11
		Terreno		10
Bordo Esquerdo	Largura da pista esquerdo ( <i>m</i> )			9
	Ordenada devido à inclinação p/ o lado esquerdo			8
	Cotas ( <i>m</i> )	Terreno		7
		Projeto		6
	Cotas Vermelhas ( <i>m</i> )	Corte		5
Aterro			4	
Off-set's Esquerdo	Cota ( <i>m</i> )			3
	Abscissa ( <i>m</i> )			2
	Altura ( <i>m</i> )			1

Como indicado neste mesmo diagrama, pode-se definir a distância média ( $d_m$ ) de transporte de cada distribuição de material, a qual é a base de um retângulo de área equivalente à do segmento compensado e de altura igual à máxima ordenada deste segmento.

Tendo-se o conhecimento da distância média de transporte, pode-se, então, encontrar o momento de transporte ( $M$ ), o qual é o produto dos volumes ( $V$ ) transportados pelas distâncias médias de transporte (eq. E.02).

$$M = V \cdot d_m \quad (\text{Eq. E.02})$$

#### QUADRO E.02 – Cálculo de volumes e ordenadas de *Brückner*.

Estaca	Áreas ( $m^2$ )			Soma das Áreas ( $m^2$ )		Semi- distância ( $m$ )	Volume ( $m^3$ )		Comp. Lateral ( $m^3$ )	Vol. Acum. ( $m^3$ )
	Corte	Aterro	At. Cor.	Corte	Aterro		Corte	Aterro		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

Fonte: Pontes Filho (1998).

### E.3. Marcação em Campo

A marcação das notas de serviço em campo deve ser conduzida pela equipe de topografia e para cada seção transversal de projeto.

Este trabalho trata-se de transferir as cotas da nota de serviço para o campo, sendo materializadas com a ajuda de cravação de piquetes nos bordos da plataforma e marcação nestes das cotas necessárias, conforme figura E.02 (trechos em tangente) e E.03 (trechos em curva).

### E.4. Proteção ao Meio Ambiente

A IPR 707/20 (1999) faz algumas recomendações com relação as medidas de proteção ao meio ambiente, para evitar possíveis danos causados pela atuação em serviços de terraplanagem:

- as seções transversais das ocorrências de material das escavações para empréstimos e bota-foras serão projetadas de modo que o terreno escavado restitua a conformação natural. Detalhar suficientemente a localização e dimensões, com cotas de afastamento

do eixo, comprimento, largura, profundidade, rampas e taludes, bem como os acabamentos destinados a facilitar a drenagem e evitar erosões;

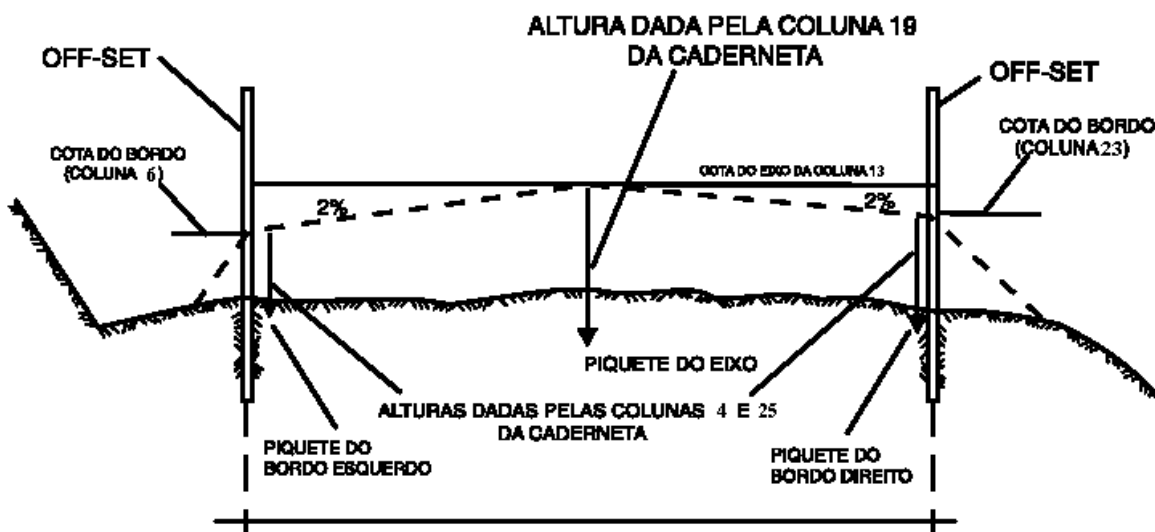


FIGURA E.02 – Marcação de trecho em tangente (Fonte: Pontes Filho, 1998).

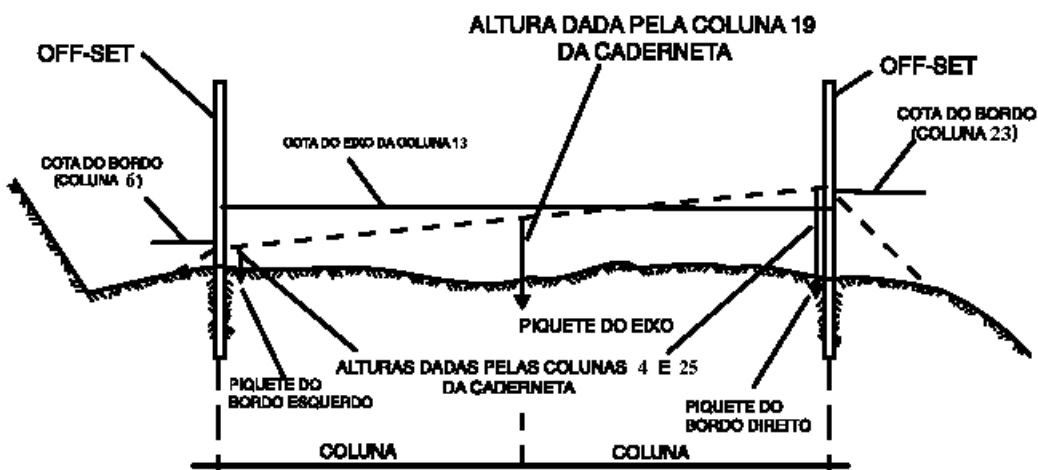


FIGURA E.03 – Marcação de trecho em curva (Fonte: Pontes Filho, 1998).

- quando houver excesso de material de cortes e for impossível incorporá-los ao corpo dos aterros, mediante compensação de cortes e aterros, serão indicadas áreas para bota-foras, recomendando-se a devida compactação. Deverão estar localizadas, preferencialmente, em áreas situadas a jusante da rodovia. Para evitar que o escoamento das águas pluviais carregem o material depositado, causando assoreamentos, os taludes dos bota-foras deverão ser projetados com inclinação suficiente para evitar escorregamentos e com proteção de revestimento vegetal, inclusive nos bota-foras com material de 3ª categoria, após conformação final, a fim de incorporá-los à paisagem local;

- o material para aterros deve ser obtido, sempre que possível, por meio de alargamento dos cortes; caso não seja possível, procurar empréstimos fora da faixa de domínio. Em qualquer circunstância, ter em mente as conseqüências da localização destas caixas em futuros melhoramentos da rodovia;
- nas situações em que forem utilizados empréstimos laterais (bota-dentro) indicar os cuidados especiais de drenagem das caixas de empréstimos, evitando o acúmulo de águas das chuvas que poderão originar o aparecimento de vetores nocivos; e
- nas especificações complementares a serem elaboradas pelos consultores, deverão constar os procedimentos para a execução da terraplenagem, para aproveitar ao máximo a flora nativa e a camada de terra vegetal que servirá de capeamento das áreas cortadas e aterradas.

## APÊNDICE F

### F. PROJETO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Segundo IPR 707 (1999), o projeto de pavimentação deve ser composto pelas fases de anteprojeto e projeto, onde deve-se realizar a concepção da estrutura, selecionar as ocorrências de materiais, dimensionamento e concepção do projeto por subtrecho homogêneo e cálculo dos volumes e distâncias de transporte dos materiais empregados.

Na fase de anteprojeto deve-se fazer uma análise técnico-econômica e orçamento para o pavimento pré-dimensionado (IPR 707, 1999).

Na fase de projeto o IPR 707 (1999) determina que se realize: estudo estatístico e definição do ISC do subleito ao longo de diversos subtrechos homogêneos; definição dos materiais do pavimento; dimensionamento do pavimento; e desenhos apresentando a seção transversal e variação longitudinal do pavimento.

Para o dimensionamento, propriamente dito, do pavimento pode-se utilizar métodos empíricos (método do DNER) e métodos teóricos (mecanísticos).

“Os métodos empíricos são os que se utilizam de correlações entre um parâmetro mensurável (ISC) e a espessura, de modo a permitir que o desempenho do pavimento tenha sucesso ao suportar o volume de tráfego previsto” (Pinto, 2002).

“Os métodos teóricos (...) correlacionam valores teóricos calculados de tensões e de deformações em alguns pontos da estrutura, com a vida útil prevista ou com o número de repetições do eixo padrão até o final da vida útil do pavimento” (Pinto, 2002).

#### F.1. Dimensionamento Pelo Método do DNER

Para que o dimensionamento pelo método do DNER seja aplicável, é necessário uma adequada compactação de camadas, com grau de compactação maior ou igual a 100%. Além disso, deve-se fixar uma expansão máxima de 2% e  $ISC \geq 2\%$  para materiais de subleito (Pinto, 2002).

Ainda deve-se seguir a seguinte classificação dos materiais empregados no pavimento (Pinto, 2002):

a) Materiais para reforço de subleito:

- ISC maior que o do subleito; e



- expansão  $\leq 1\%$ .

b) Materiais para sub-base:

- $ISC \geq 20\%$ ;
- $IG = 0$ ; e
- expansão  $\leq 1\%$ .

c) Materiais para base:

- $ISC \geq 20\%$ ;
- expansão  $\leq 0,5\%$ ;
- $LL \leq 25\%$ ; e
- $IP \leq 6\%$ .

Segundo Pinto (2002), os materiais para a base granular devem se enquadrar em uma das faixas granulométricas do quadro F.01.

**QUADRO F.01 – Faixas granulométricas dos materiais de base.**

Peneiras	Porcentagem, em peso, passando			
	A	B	C	D
2''	100	100	-	-
1''	-	75-90	100	100
3/8''	30-65	40-75	50-85	60-100
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45
Nº 200	2-8	5-15	5-15	5-20

Fonte: Pinto (2002), pág. 162.

Na fase seguinte, deve-se calcular o número equivalente de repetições do eixo padrão ( $N$ ) da rodovia, conforme Apêndice A – Estudo de Tráfego.

Quanto aos efeitos do clima, deve-se levar em consideração o Fator Climático Regional ( $FR$ ). Este fator é normalmente adotado como  $FR = 1,0$ , pois a variação da umidade dos pavimentos brasileiros são desprezíveis, onde os mesmos permanecem com umidade próximo a ótima de compactação.

Para determinar-se a espessura mínima do revestimento betuminoso, deve-se respeitar faixas de valores em que o  $N$  calculado se encontra (quadro F.02).

Segundo Pinto (2002), a função principal do revestimento é de suportar esforços de tração impostos pela ação do tráfego, como forma de proteger a camada de base granular.

Quando no dimensionamento de camadas sucessivas, deve-se levar em consideração os coeficientes os coeficientes de equivalência estrutural ( $K$ ), o qual “é a razão de espessura granular para uma unidade de espessura do material considerado” (Pinto, 2002), onde o  $K_R$  é do revestimento,  $K_B$  da base,  $K_{SB}$  da sub-base e  $K_{Ref}$  do reforço (quadro F.03).

**QUADRO F.02 – Os tipos e espessuras mínimas do revestimento betuminoso fixados em função do número  $N$ .**

$N$	Espessuras Mínimas do Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos Superficiais Betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Concreto Betuminoso com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto Betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto Betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto Betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Pinto (2002), pág. 171.

**QUADRO F.03 – Coeficiente de equivalência estrutural.**

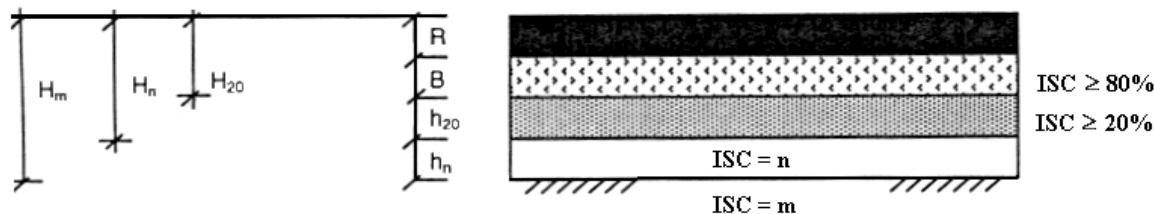
Componentes do pavimento		$K$
Revestimentos e Bases betuminosas	Concreto betuminoso usinado a quente	2,0
	Pré-misturado a quente	1,7
	Pré-misturado a frio	1,4
	Macadame betuminoso de penetração	1,2
Camadas Granulares (não cimentadas, não betuminosas)	Base de macadame hidráulico	1,0
	Base estabilizada granulometricamente (solo, mistura de solos, solo-brita, brita graduada)	
	Base de solo melhorado com cimento	
	Sub-base estabilizada	
	Sub-base de solo melhorado com cimento	
Solo-Cimento	$R_{CS}$ , 7 dias, superior a 45 kgf/cm <sup>2</sup>	1,7
	$R_{CS}$ , 7 dias, superior a 45 e 28 kgf/cm <sup>2</sup>	1,4
	$R_{CS}$ , 7 dias, superior a 28 e 21 kgf/cm <sup>2</sup>	1,2

Fonte: Pinto (2002), pág. 170.

No cálculo da espessura total ( $H_t$ ) do revestimento, considera-se  $K = 1$ , ou seja, para uma camada de material granular, sendo obtida pela equação F.01 (Pinto, 2002).

$$H_t = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot ISC^{-0,598} \quad (\text{Eq. F.01})$$

Essas camadas granulares serão as representadas pela simbologia  $H_{20}$  (altura necessária até o topo do sub-base do pavimento para um ISC = 20%),  $H_n$  (altura necessária até o topo do reforço) e  $H_m$  (altura necessária até o topo do subleito) (figura F.01).



**FIGURA F.01 – Esquema da estrutura do pavimento em projeto (Fonte: Pinto, 2002).**

onde :

$R$  → espessura de revestimento betuminoso;

$B$  → espessura da base;

$h_{20}$  → espessura da sub - base; e

$h_n$  → espessura do reforço do subleito.

Então, as equações necessárias ao dimensionamento são (Pinto, 2002):

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{20} \quad (\text{Eq. F.02})$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_{SB} \geq H_n \quad (\text{Eq. F.03})$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_{SB} + h_n \cdot K_{Ref} \geq H_m \quad (\text{Eq. F.04})$$

Os acostamento devem seguir ao mesmo método de dimensionamento da pista de rolamento, podendo haver redução, apenas, na espessura da camada de revestimento (Pinto, 2002).

## F.2. Dimensionamento Pelo Método Mecânico

Segundo Pinto (2002) e Nóbrega (2003), este método de dimensionamento leva em consideração o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos, para avaliar o comportamento do pavimento em uso e sabendo-se quais são as características dinâmicas dos materiais utilizados.

Para estes cálculos, deve-se dispor das características elásticas dos materiais obtidas a partir do ensaio triaxial dinâmico, para o caso de camadas constituídas de solo e brita, e ensaios de compressão diametral de cargas repetidas e flexão de cargas repetidas, para materiais betuminosos, formando-se, assim, as equações constitutivas para os materiais.

Motta (1991), citado por Pinto (2002), determinou o fluxograma da figura F.02 para o dimensionamento de pavimentos flexíveis pelo método mecanístico, no qual adotam-se espessuras iniciais para as camadas do pavimento e, através da utilização de programas computacionais (tipo FEPAVE), realiza-se iterações e afina-se o sistema, obtendo-se, assim, espessuras que melhor se adequam aos seus deslocamentos, deformações e tensões admissíveis para um certo número  $N$  de repetições do eixo padrão calculado.

Segundo Nóbrega (2003), as equações F.05, F.06 e F.07 apresentam a forma de cálculo para a deflexão máxima admissível no topo do revestimento ( $\delta_{adm}$ ), a deformação específica de tração admissível na base da camada de revestimento ( $\varepsilon_{Tadm}$ ) e a tensão vertical de compressão admissível no topo do subleito ( $\sigma_{v_{SLadm}}$ ), respectivamente, os quais devem ser sempre maiores ou iguais as variáveis correspondentes calculadas no processo iterativo, mencionado anteriormente, para que o pavimento suporte as condições planejadas para o seu horizonte de projeto:

- deflexão máxima admissível no topo do revestimento (DNER PRO-269/94):

$$\log(\delta_{adm}) = 3,148 - 0,188 \cdot \log(N) \quad (\text{Eq. F.05})$$

- deformação específica de tração admissível na base da camada de revestimento pelo método da *Shell Oil*:

$$N = 6,85 \cdot 10^{-2} \left( \frac{1}{\varepsilon_{Tadm}} \right)^{5,671} \cdot \left( \frac{1}{E_{REV}} \right)^{-2,363} \quad (\text{Eq. F.06})$$

onde  $E_{VER}$  é o módulo de resiliência do revestimento (psi).

- tensão vertical de compressão admissível no topo do subleito (Heukelom e Klomp, 1962):

$$\sigma_{v_{SLadm}} = \frac{0,006 \cdot M_{SL}}{(1 + 0,7 \cdot \log N)} \quad (\text{Eq. F.07})$$

onde  $M_{SL}$  é o módulo de resiliência do subleito (kgf/cm<sup>2</sup>).

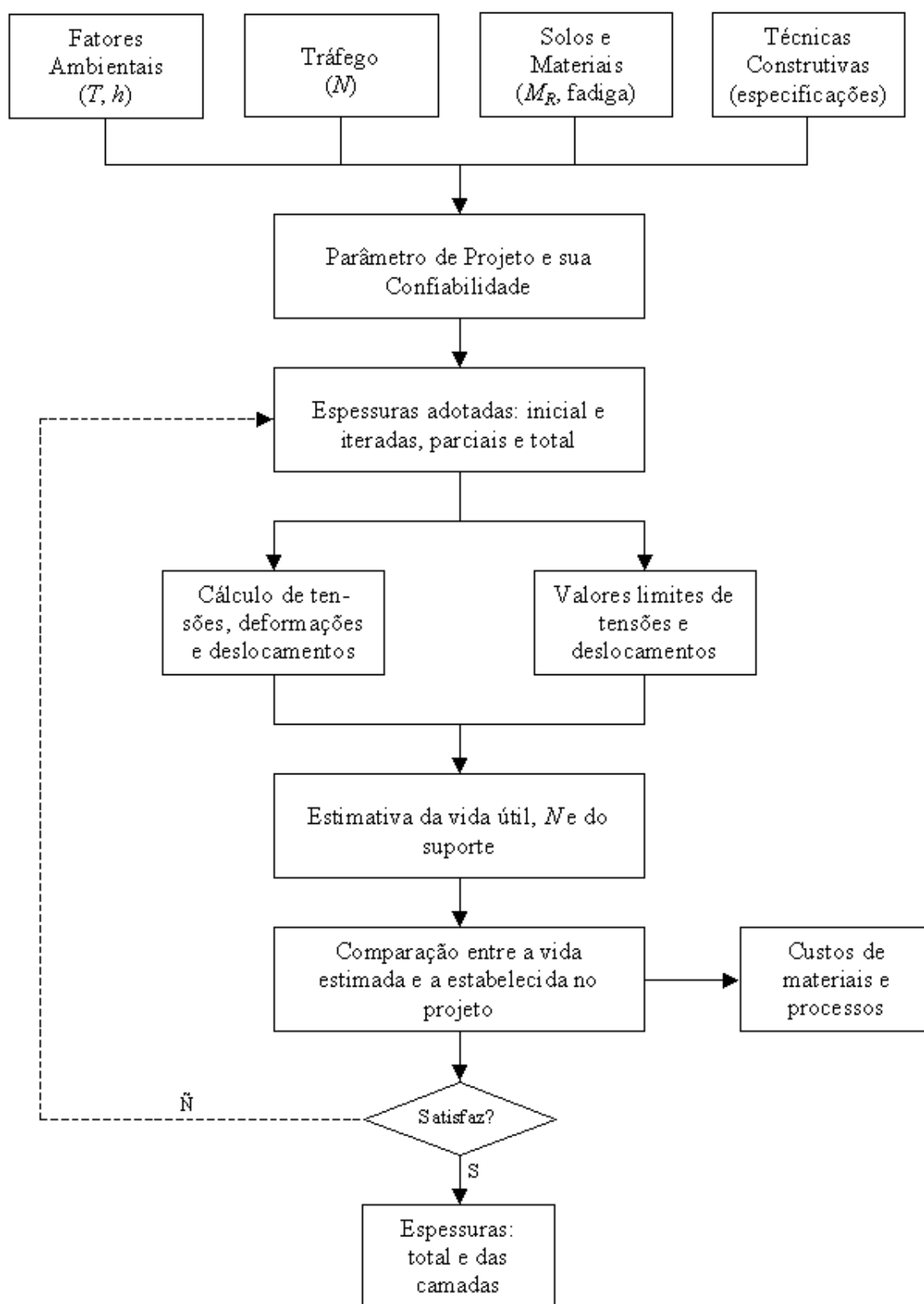


FIGURA F.02 – Fluxograma de projeto pelo método mecânico (Pinto, 2002).

onde :

$p$  → pressão aplicada pela roda (eixo padrão -  $p = 5,6 \text{kgf/cm}^2$ );

$R$  → raio da carga da roda (eixo padrão -  $R = 10,8 \text{cm}$ );

$\delta$  → deflexão total no topo do revestimento;

$\varepsilon_T$  → deformação específica de tração na base da camada de revestimento; e

$\sigma_v$  → tensão vertical no subleito.

## APÊNDICE G

### G. ORÇAMENTO E PLANEJAMENTO DA OBRA

Segundo a IPR 707/20 (1999), o orçamento de uma obra rodoviária deve ser executado em três fases diferentes, sendo a primeira a fase preliminar, a segunda a de anteprojeto e a última a de projeto, dependendo do estágio de projeto

O orçamento deve compreender, ainda, as seguintes atividades:

- pesquisa de mercado;
- cálculo dos custos unitários dos serviços;
- estudo dos custos de transporte; e
- orçamento.

Segundo Nepomuceno (1999), a etapa de orçamento deve atenção especial a definição dos custos, através de: análise dos custos; as técnicas; e composição do custo unitário.

Na construção rodoviária, depara-se com a necessidade de separar os custos do empreendimento em duas partes: os custos do projeto propriamente dito e os custos da execução dos serviços de construção. Ambos são determinados por quem executa o projeto, juntamente a determinação dos prazos de execução da obra e a elaboração do cronograma de desembolso para todos serviços a serem executados.

Segundo Nepomuceno (1999), no processo da construção rodoviária observa-se que o orçamento poderá apresentar grandes margens de erro, ao checar o orçado com o efetivamente executado, erro esse devido aos seguintes fatores:

- alterações e ou deficiências do projeto;
- falhas de execução, ocasionando: desperdícios, retrabalho, dilatação do prazo de conclusão, etc.;
- falhas de orçamento;
- falta de controle do andamento dos serviços durante sua execução;
- instabilidade política e econômica do país;
- problemas climáticos; e
- falta de dados prévios sobre obras semelhantes.

Na elaboração de um orçamento de custos, o projeto é a fonte de informações a que o orçamentista recorrerá para quantificar todos os custos da obra. Então, a identificação, qualificação e quantificação dos materiais alocados para a determinação dos custos pode ser obtidas através dos desenhos, do memorial descritivo e das especificações técnicas que compõe o projeto.

“Na estimativa de consumo dos materiais, há necessidade de se acrescentar à quantidade teórica, uma parcela percentual para cobrir as perdas. Perdas essas, quase sempre inevitáveis, as quais, ocorrem durante todo o processo construtivo.” (...) “As perdas diretas ocorrem com materiais que são danificados, não podendo ser reparados e utilizados ou, então, com materiais que são perdidos durante o processo construtivo, como por exemplo: transporte e entrega, armazenamento e transporte dentro do canteiro, natureza dos materiais, materiais especificados erradamente, má administração, supervisão e controle deficientes, etc.” (Nepomuceno, 1999).

Segundo Nepomuceno (1999), a determinação das técnicas de execução para orçar o projeto tem bastante influência no preço final obtido para a obra. Junto a determinação dessas técnicas, deve-se determinar como será feito o controle de itens como prazo, custos, qualidade e andamento da obra.

“Tal controle não deve servir apenas como sistema de gestão de custos, e sim detectar os desvios significativos, comparando-os aos planos e programa, e assim, quando necessário, fazer os ajustes para o cumprimento dos objetivos propostos”, sendo, “o controle dos custos, uma atividade intimamente ligada ao controle do processo executivo como um todo” (Nepomuceno, 1999).

Então, após o orçamento da obra, uma etapa que merece bastante atenção é o plano de execução da obra, que deverá ser elaborado integralmente na fase de projeto da rodovia e constará de IPR 707/20 (1999):

- plano de ataque dos serviços;
- cronogramas; e
- dimensionamento e *layout* das instalações necessárias à execução dos serviços.



## G.1. Atividades do Orçamento

### G.1.1. Pesquisa de Mercado

Nesta fase os equipamentos devem sofrer uma pesquisa de preço em nível nacional (registro em uma planilha tipo a do quadro G.01), os materiais em nível regional/local (registro em uma planilha tipo a do quadro G.02) e mão-de-obra deve sofrer uma classificação por escala salarial determinada no quadro G.03 (IPR 696/100, 1996, e IPR 697/100, 1996).

#### QUADRO G.01 – Planilha de pesquisa de mercado para equipamentos.

Local de Pesquisa:										
Item	Equipamento	Vida útil (h)	Modelo	Procedência	Firma fornecedora	Endereço da firma	Local da pesquisa	Preços sem taxas	Valor das taxas	Preços com taxas
Lote: Rodovia: Trecho:						Pesquisa de Mercado – Equipamentos				
						Data				

Fonte: IPR 696/100 (1996) e IPR 697/100 (1996).

#### QUADRO G.02 – Planilha de pesquisa de mercado para materiais.

Local de Pesquisa:									
Item	Material	Unidade	Firma fornecedora	Endereço da firma	Local da pesquisa	Preços sem taxas	Valor das taxas	Preços com taxas	
Lote: Rodovia: Trecho:					Pesquisa de Mercado – Materiais				
					Data				

Fonte: IPR 696/100 (1996) e IPR 697/100 (1996).

**QUADRO G.03 – Escala salarial de mão-de-obra.**

Função	<i>K</i>
1 – Engenheiros	40,0
2 – Encarregados	12,0
3 – Técnico de Nível Médio	6,0
4 – Auxiliares	2,5
5 – Operador de Máquina	3,0
6 – Profissionais em Geral	2,5
7 – Ajudantes de Operação em Geral	2,0
8 – Operários não Qualificados	1,5

Fonte: IPR 696/100 (1996) e IPR 697/100 (1996).

*K* → Coeficiente multiplicador do salário mínimo vigente no país, acrescido dos encargos sociais sobre a mão de obra.

**G.1.2. Cálculo dos Custos Unitários dos Serviços**

Os custos podem ser classificados em (Nepomuceno, 1999):

- custo direto de materiais – é a soma dos produtos das quantidades dos materiais e componentes pelos respectivos preços, posto no local de sua utilização;
- custo direto de mão-de-obra – é o produto da carga total de trabalho, em homem/hora, pelo salário médio ponderado (normalmente dividido por fator de  $200h$ ) da mão-de-obra, acrescido dos encargos sociais e trabalhistas;
- custos dos equipamentos – é o produto da carga de utilização de cada equipamento pelo respectivo custo, referido ao prazo de efetiva utilização e/ou posto a disposição da obra;
- custo indireto de administração – é estimado, geralmente, pela aplicação de um percentual sobre os custos diretos de produção, aplicado sobre o efetivo diretamente envolvido e necessário a administração e execução do empreendimento;
- custo de transporte interno – é aplicado sempre que não haja um sistema de apropriação que permita alocar esses custos a cada elemento consumidor de transporte; e
- custo de administração empresarial e lucro – tais custos são geralmente grupados com o custo de administração do projeto. O mais correto seria calculá-los como um percentual dos custos totais, ou seja, custos diretos e indiretos de produção, e fazê-lo incidir sobre esses custo.

Em posse dos custos mencionados anteriormente, pode-se obter os custos unitários dos serviços através da contabilização do produto daqueles pelos índices de participação ou consumo de cada item.

Para tanto, é necessária a atenção especial as unidades com que cada item deve ser medido.

A planilha básica para a realização da composição de custo unitário de serviços segue o formato do quadro G.04.

#### QUADRO G.04 – Planilha de composição de custo unitário de serviço.

Mês:		Produção da equipe:				Unidade:
CÓDIGO – Descrição do serviço.						
A – Equipamentos	Quantidade	Utilização		Custo operacional		Custo unitário
		Operativa	Improdutiva	Operativa	Improdutiva	
Custo horário de equipamentos						<b>0,00</b>
B – Mão-de-obra	Quantidade	Salário-hora				Custo unitário
		Custo horário de mão-de-obra				
		Adc. M.O. – Ferramentas: (taxa em %)				<b>0,00</b>
		Custo horário de execução				<b>0,00</b>
Custo unitário de execução				<b>0,00</b>		
C – Materiais	Quantidade	Unidade	Custo operacional		Custo unitário	
			Custo total de materiais			<b>0,00</b>
D – Atividades auxiliares	Quantidade	Unidade	Custo operacional		Custo unitário	
			Custo total das atividades			<b>0,00</b>
E – Transporte de materiais	Toneladas / Unidade de serviço				Custo unitário	
F – Transporte de materiais produzidos	Toneladas / Unidade de serviço				Custo unitário	
Custo unitário direto total						<b>0,00</b>
Lucro e despesas indiretas (taxa em %)						<b>0,00</b>
Custo unitário total						<b>0,00</b>
<b>OBS.:</b>	Especificação de serviço: DNER-ES xxx O transporte será pago a parte, conforme método adotado pelo SICRO. As quantidades indicadas nos itens de transporte de materiais referem-se ao consumo de materiais a serem transportados, por unidade de serviço.					

#### G.1.3. Estudo dos Custos de Transporte

Este estudo compreende a contabilização das modalidades de transporte, as quais são o transporte comercial (do ponto de aquisição até o canteiro de obra) e o transporte local (materiais transportados já dentro da obra) (IPR 696/100, 1996, e IPR 697/100, 1996).

O custo de transporte deve ser expresso pela razão entre o custo horário do caminhão pela produção horária do mesmo, determinada para cada caminho analisado (eq. G.01) (IPR 696/100, 1996, e IPR 697/100, 1996).

$$y = \frac{C}{P} = \frac{\text{Custo horário de operação do caminhão}}{\text{Produção horária do caminhão}} \quad (\text{Eq. G.01})$$

Com:

$$P = \frac{B \cdot i}{\frac{2 \cdot x}{V} + T_f} \quad (\text{Eq. G.02})$$

Onde:

$B$  → capacidade nominal do caminhão :

$i$  → fator de eficiência :

$V$  → velocidade do caminhão :

$T_f$  → tempo fixo (manobra/carga/descarga); e

$x$  → distância de transporte a ser vencida.

A figura G.01 mostra os valores normalmente adotados para os parâmetros anteriores.

B-	Para transporte comercial: 10 m <sup>3</sup> ou 15t Para transporte local : 6 m <sup>3</sup> ou 9t				
i -	Para todos os casos: 0,833 (50/60)				
T <sub>f</sub> -	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;">           Para caminhão basculante (9t ou 15t)            Para caminhão carroceria fixa - 43 min.         </td> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px; vertical-align: middle;">           Carregadeira - 2,5 min.            Carregadeira - 14,0 min.            Carregadeira - 4,0 min.         </td> </tr> </table>	Para caminhão basculante (9t ou 15t) Para caminhão carroceria fixa - 43 min.	Carregadeira - 2,5 min. Carregadeira - 14,0 min. Carregadeira - 4,0 min.		
Para caminhão basculante (9t ou 15t) Para caminhão carroceria fixa - 43 min.	Carregadeira - 2,5 min. Carregadeira - 14,0 min. Carregadeira - 4,0 min.				
V-	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px; vertical-align: middle;">           Transporte comercial         </td> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px; vertical-align: middle;">           Rodovia pavimentada : 50 km/h            Revestimento primário: 40 km/h         </td> </tr> <tr> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px; vertical-align: middle;">           Transporte local         </td> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px; vertical-align: middle;">           Rodovia pavimentada : 40 km/h            Revestimento primário: 35 km/h            Terra : 15km/h         </td> </tr> </table>	Transporte comercial	Rodovia pavimentada : 50 km/h Revestimento primário: 40 km/h	Transporte local	Rodovia pavimentada : 40 km/h Revestimento primário: 35 km/h Terra : 15km/h
Transporte comercial	Rodovia pavimentada : 50 km/h Revestimento primário: 40 km/h				
Transporte local	Rodovia pavimentada : 40 km/h Revestimento primário: 35 km/h Terra : 15km/h				

$x$  - Distância de transporte, em km, relativa a cada material/componente, a ser incorporado à obra.

**FIGURA G.01 – Valores adotados para os parâmetros (IPR 696/100, 1996, e IPR 697/100, 1996).**

### G.1.4. Orçamento

O processo de orçamento, propriamente dito, deve realizar a quantificação de todos os custos relacionados a obra, obedecendo a fase de abrangência do projeto.

Estes custos são contabilizados pelo somatório do produto dos total de medidas relacionadas aos serviço pelo seu preço unitário. Devem ser apresentados em planilhas de cálculo adequadas, como a apresentada no quadro G.05.

Como já visto, o orçamento deve ser realizado em três fases diferentes da realização do projeto da rodovia. Essas fases estão descritas adiante.

#### QUADRO G.05 – Planilha para orçamento no modelo do DNER.

Nome da empresa					Pág. ___/___
Obra:					Data: ___/___/___
Cliente:					
Local da obra:					
Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Preço total
<b>Custo total da obra</b>					<b>0,00</b>

#### G.1.4.1. Fases preliminar e de anteprojeto

O orçamento das alternativas nas fases preliminar e de anteprojeto fornecerá elementos para análise econômica e constará de determinações dos custos dos principais itens de serviço. Os custos compreenderão, basicamente, aqueles de terraplenagem e de pavimentação (IPR 707/20, 1999).

Ainda, de acordo com os estudos de traçado, deve-se definir e calcular os custos de investimento, os quais são compostos pela definição da relação de benefício/custo para as alternativas e definição dos custos financeiros necessários aos cronogramas de desembolso financeiro ambos relativos as fase de implantação, conservação, manutenção, infra-estrutura operacional da via e operacionais de veículos (IPR 707/20, 1999).

A fase de anteprojeto constará de (IPR 707/20, 1999):

- listagem preliminar dos serviços a executar;
- levantamento estimativo de custos unitários;
- elaboração de orçamentos preliminares; e

- elaboração dos estudos iniciais para divisão em lotes de construção.

#### **G.1.4.2. Fase de projeto**

Previamente a elaboração do orçamento na fase de projeto, serão realizadas as seguintes atividades (IPR 707/20, 1999):

- listagem definitiva dos serviços a executar; e
- listagem dos materiais e distâncias de transporte.

“Será realizada, em épocas pré-fixadas pelo DNER, obrigatoriamente Pesquisa de Mercado, que abrangerá equipamentos, materiais e mão-de-obra necessários à execução dos serviços. Em determinados casos, quando o mercado não tiver informações disponíveis, ou por determinação do DNER, poderão ser determinados custos unitários dos serviços, com base no Sistema de Custos Rodoviários SICRO, do DNER” (IPR 707/20, 1999).

### **G.2. Atividades do Planejamento**

Segundo a IPR 707/20 (1999), o plano de execução da obra constará dos documentos listados a seguir.

#### **G.2.1. Plano de Ataque da Obra**

Apresentação da seqüência racional do conjunto de atividades que deverá ter a execução do projeto, indicando os problemas de natureza climática, administrativa, técnica e segurança; época do início dos trabalhos; período de execução; consequência da localização, tipo da obra e outros fatores condicionantes para construção, incluindo implicações com o tráfego, no caso de rodovias existentes.

O plano de execução da obra, a ser elaborado para cada lote de construção, levará em consideração os aspectos relativos ao clima e pluviometria, notadamente no concernente ao período de chuvas e número de dias de chuva por mês, apoio logístico, prazo para a execução das obras, equipamento mínimo e plano de ataque aos serviços.

#### **G.2.2. Cronograma de Utilização do Equipamento**

Determinação de quantidade, tipo e período de ocupação dos diversos equipamentos necessários à execução da obra, assim como relação do equipamento mínimo.



## APÊNDICE H

### H. EXECUÇÃO DE CORTE

#### H.1. Definição

Cortes são segmentos de rodovia, em que a implantação requer a escavação do terreno natural, ao longo do eixo e no interior dos limites das seções do projeto (*off-sets*) que definem o corpo estradal (DNER-ES 280/97 e IPR 696/100, 1996).

#### H.2. Objetivo

Este procedimento tem como objetivo determinar as condições para as operações de escavação, carga, transporte e classificação dos materiais escavados para a implantação da plataforma da rodovia, em conformidade com o projeto.

#### H.3. Documentos de Referência

- projeto executivo da rodovia;
- notas de serviço de terraplanagem; e
- DNER-ES 280/97 – Terraplanagem – Cortes.

#### H.4. Materiais e Equipamentos

a) Cortes em solo:

- esquadro com nível (com a inclinação de projeto);
- tratores com lâminas;
- escavotransportadores ou escavadores conjugados com transportadores diversos;
- tratores e motoniveladoras;
- tratores empurradores (*pushers*); e
- solo.

b) Cortes em rocha:

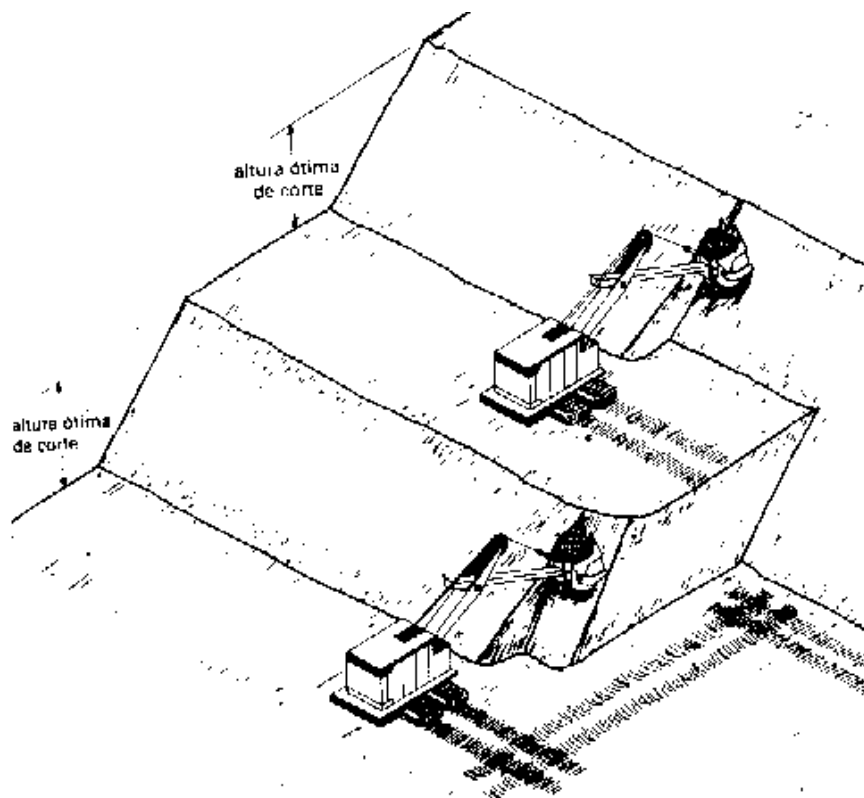
- perfuratrizes pneumáticas ou elétricas;
- carregadores conjugados com transportadores;
- explosivos;



- detonadores; e
- solo, alteração de rocha, rocha ou associação destes.

### H.5. Método Executivo

- retiram-se as camadas de má qualidade visando o preparo dos cortes;
- em locais alagadiços, deverão ser feitas escavações com a finalidade de desvio e esgotamento da água empoçada;
- removem-se quaisquer blocos de rocha nos taludes que possam colocar em risco a segurança do trânsito;
- efetua-se a marcação da inclinação dos taludes, através de linhas mestras, com auxílio de esquadro com nível de bolha, servindo como gabarito físico;
- procede-se a escavação dos taludes mecanicamente (figura H.01);

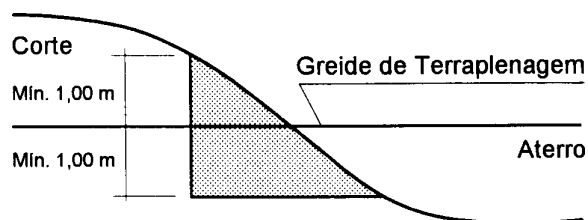


**FIGURA H.01 – Escavação mecanizada de taludes.**

- promove-se o rebaixamento da ordem de 40cm (60cm para solos orgânicos), nos casos em que a plataforma não atender a verificação;
- as cristas dos taludes e as entradas dos cortes deverão ser arredondadas, enquanto a altura do corte for compatível com a utilização de equipamento convencional, não se permitindo

continuar a execução do corte antes de se completar o arredondamento, em conformidade com esquemas constantes do projeto;

- procede-se o desempenho da superfície dos taludes;
- nos pontos de transição de cortes para aterros, deve-se escavar em toda a largura da plataforma, conforme a seção triangular indicada na figura H.02;



**Figura H.02 – Transição de corte para aterro.**

- as valetas de proteção dos cortes devem ser obrigatoriamente executadas e revestidas, independentes das demais obras de proteção projetadas; e
- nos cortes de altura elevada deve ser prevista a implantação de patamares, com banquetas de largura mínima de 3m, valetas revestidas e proteção vegetal.

## APÊNDICE I

### I. EXECUÇÃO DE ATERRO

#### I.1. Definição

Aterros são segmentos de rodovia cuja implantação requer depósito de materiais provenientes de cortes, e/ou de empréstimos no interior dos limites das seções de projeto (*off-sets*) que definem o corpo estradal (DNER-ES 282/97 e IPR 696/100, 1996).

#### I.2. Objetivo

Este procedimento tem como objetivo determinar a sistemática adotada para a execução dos segmentos da plataforma em aterro mediante o depósito de materiais sobre o terreno natural.

#### I.3. Documentos de Referência

- projeto executivo da rodovia;
- notas de serviço de terraplanagem; e
- DNER-ES 282/97 – Terraplanagem – Aterros.

#### I.4. Materiais e Equipamentos

- caminhão basculante;
- carregadeira frontal de pneus;
- trator de esteiras com lâmina;
- grade de disco;
- moto-niveladora;
- moto-escavo-transportador;
- rolo pé de carneiro autopropelido;
- soquetes manuais;
- soquetes vibratórios;
- caminhão tanque;
- equipamento Topográfico;

- vara de madeira para *off set*; e
- solo.

### **I.5. Método Executivo**

- descarregar o solo próximo do local do aterro;
- espalhar o solo de maneira uniforme em camadas que não ultrapassem em 30cm (20cm para as três últimas camadas do aterro), utilizando-se da motoniveladora ou trator de lâmina;
- caso a umidade esteja inferior, proceder o umedecimento do solo através de caminhões tanque irrigador;
- caso a umidade esteja superior, escarificar o solo utilizando-se de trator e grade;
- a camada não pode ser liberada antes de a umidade atingir o valor estabelecido;
- compactar a camada com o rolo pé-de-carneiro;
- onde não for possível a utilização do rolo, deve-se utilizar soquetes manuais ou sapos mecânicos;
- a camada não deve ser liberada antes do *GC* atingir os valores estabelecidos; e
- repetir o processo para as demais camadas.

## APÊNDICE J

### J. EXECUÇÃO DE EMPRÉSTIMO

#### J.1. Definição

Empréstimos são áreas indicadas no projeto, ou, selecionadas, onde serão escavados materiais a utilizar na execução da plataforma da rodovia, nos segmentos em aterro (DNER-ES 281/97 e IPR 696/100, 1996).

#### J.2. Objetivo

Este procedimento tem como objetivo determinar a sistemática adotada para a execução dos segmentos da plataforma em aterro mediante o depósito de materiais sobre o terreno natural.

#### J.3. Documentos de Referência

- projeto executivo da rodovia;
- notas de serviço de terraplanagem; e
- DNER-ES 281/97 – Terraplanagem – Empréstimos.

#### J.4. Materiais e Equipamentos

- esquadro com nível (com a inclinação de projeto);
- tratores com lâminas;
- escavotransportadores ou escavadores conjugados com transportadores diversos;
- tratores e motoniveladoras;
- tratores empurradores (*pushers*); e
- solo.

#### J.5. Método Executivo

- remove-se a camada vegetal e deposita-as nas bordas da jazida de modo a proteger a mesma contra infiltração de águas de chuva;
- deve-se remover o material com a frequência necessária para atender as frentes de serviço, tomando os devidos cuidados para não ocorrer a mistura de tipos diferentes de materiais;

- os empréstimos em alargamento de cortes deverão atingir a cota do greide e nos trechos em curva, sempre que possível, os empréstimos serão feitos no lado interno, para melhorar a visibilidade;
- quando escavados em trechos contíguos à plataforma em greide mais elevado, os bordos internos das caixas de empréstimos deverão localizar-se à uma distância mínima de 5,00m do pé do talude;
- o acabamento dos bordos da caixa de empréstimo deverá ser executado com taludes determinados pelo projeto; e
- após a exploração do material da jazida deve ser feita a conformação da área de empréstimo e recolocar o material removido das camadas vegetais sobre a superfície.

## APÊNDICE K

### K. REGULARIZAÇÃO DO SUBLEITO

#### K.1. Definição

Regularização é uma operação destinada a conformar o leito estradal, quando necessário, transversal e longitudinalmente, compreendendo cortes ou aterros até 20cm de espessura e de acordo com os perfis transversais e longitudinais indicados no projeto (DNER-ES 299/97).

#### K.2. Objetivo

Este procedimento tem como objetivo determinar a sistemática a ser empregada na execução da regularização do subleito de rodovias a pavimentar, com a terraplanagem já concluída.

#### K.3. Documentos de Referência

- projeto executivo da rodovia;
- notas de serviço de terraplanagem; e
- DNER-ES 299/97 – Pavimentação – Regularização do subleito.

#### K.4. Materiais e Equipamentos

- motoniveladora pesada, com escarificador;
- rolos compactadores tipo pé-de-carneiro, liso-vibratório e pneumático;
- trator agrícola;
- pá-carregadeira;
- caminhões-basculantes;
- grade de discos;
- pulvimisturador;
- carro tanque distribuidor de água; e
- material do próprio subleito ou proveniente de empréstimos.

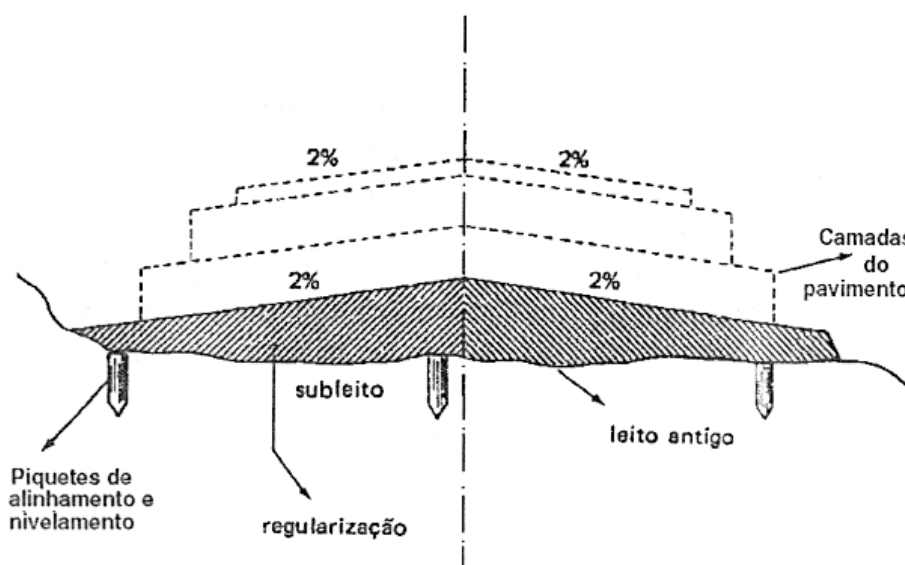
### **K.5. Método Executivo**

- deve-se remover eventuais fragmentos de pedra com diâmetro superior a *76mm*, raízes ou outros materiais estranhos;
- proceder-se a escarificação geral na profundidade de *20cm* em relação a plataforma de projeto;
- caso seja necessária a importação de materiais, estes serão lançados preferencialmente após a escarificação, complementando-se em seguida a conformação da plataforma;
- procede-se o espalhamento, pulverização e homogeneização o material selecionado, mediante a ação combinada da grade de discos e/ou pulvimisturador e da motoniveladora. Estas operações deverão prosseguir até que o material apresente-se visualmente homogêneo e isento de grumos ou torrões;
- o teor de umidade dos materiais utilizados na regularização do subleito, para efeito da compactação, deverá estar situado no intervalo que garanta um *ISC* no mínimo igual ao *ISC* do projeto, adotado para o subleito. Caso contrário (se abaixo), proceder-se-á ao umedecimento da camada, através de caminhão-tanque irrigador. Quando acima do intervalo, o material será aerado, mediante ação conjunta da grade de discos e/ou pulvimisturador e da motoniveladora para conformação;
- concluída a correção da umidade, a camada será conformada pela ação da motoniveladora, e em seguida liberada para a compactação;
- a motoniveladora atuará exclusivamente em operação de corte, sendo vetada a correção de depressões por adição de material;
- a compactação deverá evoluir longitudinalmente, iniciando no bordo mais baixo e progredindo no sentido do bordo mais alto da seção transversal, exigindo-se que em cada passada do equipamento seja recoberta, no mínimo, a metade da largura da faixa anteriormente comprimida;
- a camada não deve ser liberada antes do *GC* atingir os valores estabelecidos;
- o acabamento será executado pela ação conjunta da motoniveladora e do rolo de pneus;
- em complementação às operações de acabamento, deverá ser procedida a remoção das “leiras” que se formam lateralmente à pista acabada, como resultado da conformação da superfície da regularização do subleito. Esta remoção poderá ser feita pela ação da

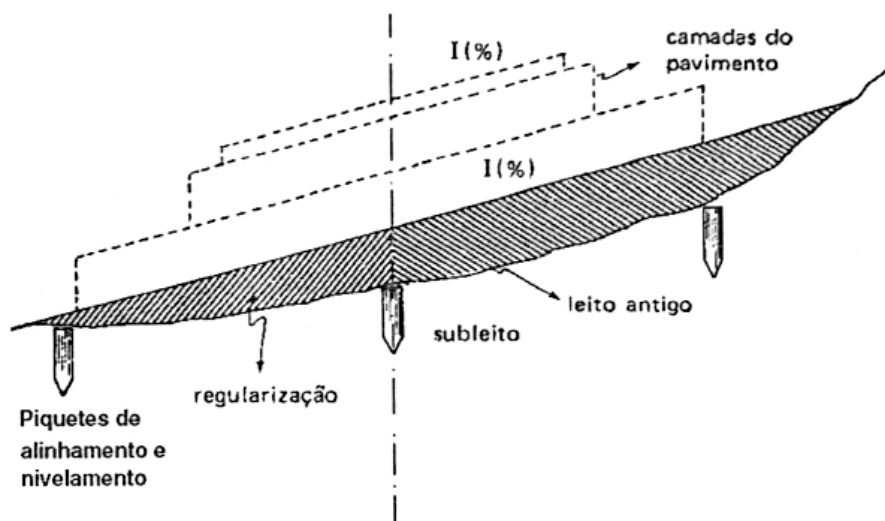


motoniveladora (nos casos de seção em aterro) ou de pá-carregadeira e caminhões basculantes (nos casos de seção em corte);

- o aspecto final da camada regularizada deve apresentar uma superfície desempenada, sem depressões ou saliências, tanto em trechos em tangente (figura K.01-a), como em curvos (figura K.01-b);



(a)



(b)

**FIGURA K.01 – Aspecto final da camada regularizada: (a) trecho em tangente; e (b) trecho curvo (Fonte: Senço, 2001).**

- no caso de cortes em rochas a regularização deverá ser executada de acordo com o projeto específico de cada caso; e

- deverá ser evitada a liberação da regularização do subleito ao tráfego usuário, face à possibilidade do mesmo causar danos ao serviço executado, em especial sob condições climáticas adversas.

## APÊNDICE L

### L. REFORÇO DO SUBLEITO

#### L.1. Definição

Reforço do subleito é uma camada granular de pavimentação executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado (DNER-ES 299/97).

#### L.2. Objetivo

Este procedimento tem como objetivo determinar a sistemática a ser empregada na execução da camada de reforço do subleito.

#### L.3. Documentos de Referência

- projeto executivo da rodovia;
- notas de serviço de terraplanagem; e
- DNER-ES 300/97 – Pavimentação – Reforço do subleito.

#### L.4. Materiais e Equipamentos

- solos ou mistura de solos;
- motoniveladora;
- escarificador;
- rolos compactadores tipo pé-de-carneiro, liso-vibratório e pneumático;
- compactador vibratório portátil ou sapos mecânicos;
- grade de discos;
- pulvimisturador;
- irrigadeira com motobomba e regulador de pressão;
- caminhões com caçamba basculante;
- pá-carregadeira;
- régua com arestas vivas de 3m de comprimento; e
- pás, enxadas, garfos e rastelos.

### L.5. Método Executivo

- espalha-se, pulveriza-se e homogeneiza-se o material selecionado, mediante a ação combinada da grade de discos e/ou pulvimisturador e da motoniveladora. Estas operações deverão prosseguir até que o material apresente-se visualmente homogêneo e isento de grumos ou torrões;
- o teor de umidade dos materiais utilizados no reforço do subleito, para efeito da compactação, deverá estar situado no intervalo que garanta um *ISC* no mínimo igual ao *ISC* do projeto, adotado para o subleito. Caso contrário (se abaixo), proceder-se-á ao umedecimento da camada, através de caminhão-tanque irrigador. Quando acima do intervalo, o material será aerado, mediante ação conjunta da grade de discos e/ou pulvimisturador e da motoniveladora para conformação;
- concluída a correção da umidade, a camada será conformada pela ação da motoniveladora, e em seguida liberada para a compactação;
- quando houver necessidade de executar camada de reforço com espessura final superior a *20cm*, estas serão subdivididas em camadas parciais. A espessura mínima de qualquer camada de reforço será de *10cm*, após a compactação;
- a motoniveladora atuará exclusivamente em operação de corte, sendo vetada a correção de depressões por adição de material;
- a compactação deverá evoluir longitudinalmente, iniciando no bordo mais baixo e progredindo no sentido do bordo mais alto da seção transversal, exigindo-se que em cada passada do equipamento seja recoberta, no mínimo, a metade da largura da faixa anteriormente comprimida;
- a camada não deve ser liberada antes do *GC* atingir os valores estabelecidos;
- o acabamento será executado pela ação conjunta da motoniveladora e do rolo de pneus até que se apresente lisa e isenta de partes soltas e sulcadas.

## APÊNDICE M

### M. SUB-BASE E BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE

#### M.1. Definição

Sub-base estabilizada granulometricamente é uma camada granular de pavimentação executada sobre o subleito ou reforço do subleito devidamente compactado e regularizado (DNER-ES 301/97).

Base estabilizada granulometricamente é uma camada granular de pavimentação executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regularizado e compactado (DNER-ES 303/97).

#### M.2. Objetivo

Este procedimento tem como objetivo determinar a sistemática a ser empregada na execução da camada da sub-base e base estabilizada granulometricamente.

#### M.3. Documentos de Referência

- projeto executivo da rodovia;
- notas de serviço de pavimentação;
- DNER-ES 301/97 – Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente; e
- DNER-ES 303/97 – Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente.

#### M.4. Materiais e Equipamentos

- solos, mistura de solos e materiais britados, escória ou produtos totais de britagem;
- motoniveladora pesada, com escarificador;
- carro tanque distribuidor de água;
- rolos compactadores tipo pé-de-carneiro, liso-vibratório e pneumático;
- grade de discos; e
- pulvimisturador.

### **M.5. Método Executivo**

- deve-se espalhar o material selecionado em camada de aproximadamente 25 a 30cm, mediante a ação combinada da grade de discos e da motoniveladora;
- quando houver necessidade de executar a camada de sub-base ou base com espessura final superior a 20cm, estas serão subdivididas em camadas parciais. A espessura mínima de qualquer camada de sub-base será de 10cm, após a compactação;
- caso o teor de umidade esteja abaixo do definido, proceder o umedecimento da camada, através de caminhão-tanque irrigador. Quando acima, o material será aerado, mediante ação conjunta da grade de discos e/ou pulvimisturador e da motoniveladora para conformação;
- concluída a correção da umidade, a camada será conformada pela ação da motoniveladora, e em seguida liberada para a compactação;
- a compactação deverá evoluir longitudinalmente, iniciando no bordo mais baixo e progredindo no sentido do bordo mais alto da seção transversal, exigindo-se que em cada passada do equipamento seja recoberta, no mínimo, a metade da largura da faixa anteriormente comprimida; e
- a camada não deve ser liberada antes do *GC* atingir os valores estabelecidos.

## APÊNDICE N

### N. BASE DE MACADAME HIDRÁULICO

#### N.1. Definição

Base de macadame hidráulico é uma camada de pavimento constituída por uma ou mais camadas de agregados graúdos (pedra, seixo rolado, cascalho, britado) com diâmetro variável de 4” a ½” (101,6mm a 12,7mm) compactadas e com suas partículas firmemente entrosadas uma as outras e com os vazios preenchidos por material de enchimento aglutinados com água (DNER-ES 316/97).

#### N.2. Objetivo

Este procedimento tem como objetivo determinar a sistemática a ser empregada na execução de base de macadame hidráulico empregando uma ou mais camadas de agregados britados, de partículas entrosadas umas às outras, e material de enchimento, aglutinados pela água. As camadas são submetidas à compressão e construídas sobre o subleito preparado ou sub-base, de acordo com os alinhamentos greide e seção transversal do projeto.

#### N.3. Documentos de Referência

- projeto executivo da rodovia;
- notas de serviço de pavimentação; e
- DNER-ES 316/97 – Pavimentação – Base de Macadame Hidráulico.

#### N.4. Materiais e Equipamentos

- distribuidores de agregados rebocáveis ou automáticos, possuindo dispositivos que permitam um espalhamento homogêneo da quantidade de material desejada;
- motoniveladora pesada, com escarificador ou garfos para a distribuição do material;
- rolos compactadores tipo liso de três rodas *Müller* ou tandem (10 a 12t), ou liso-vibratórios, e rolos de pneus pesados de pressão variável;
- pá-carregadeira;
- caminhões basculantes ou caçambas;
- vassouras mecânicas ou vassouras comuns para distribuição de material de enchimento;

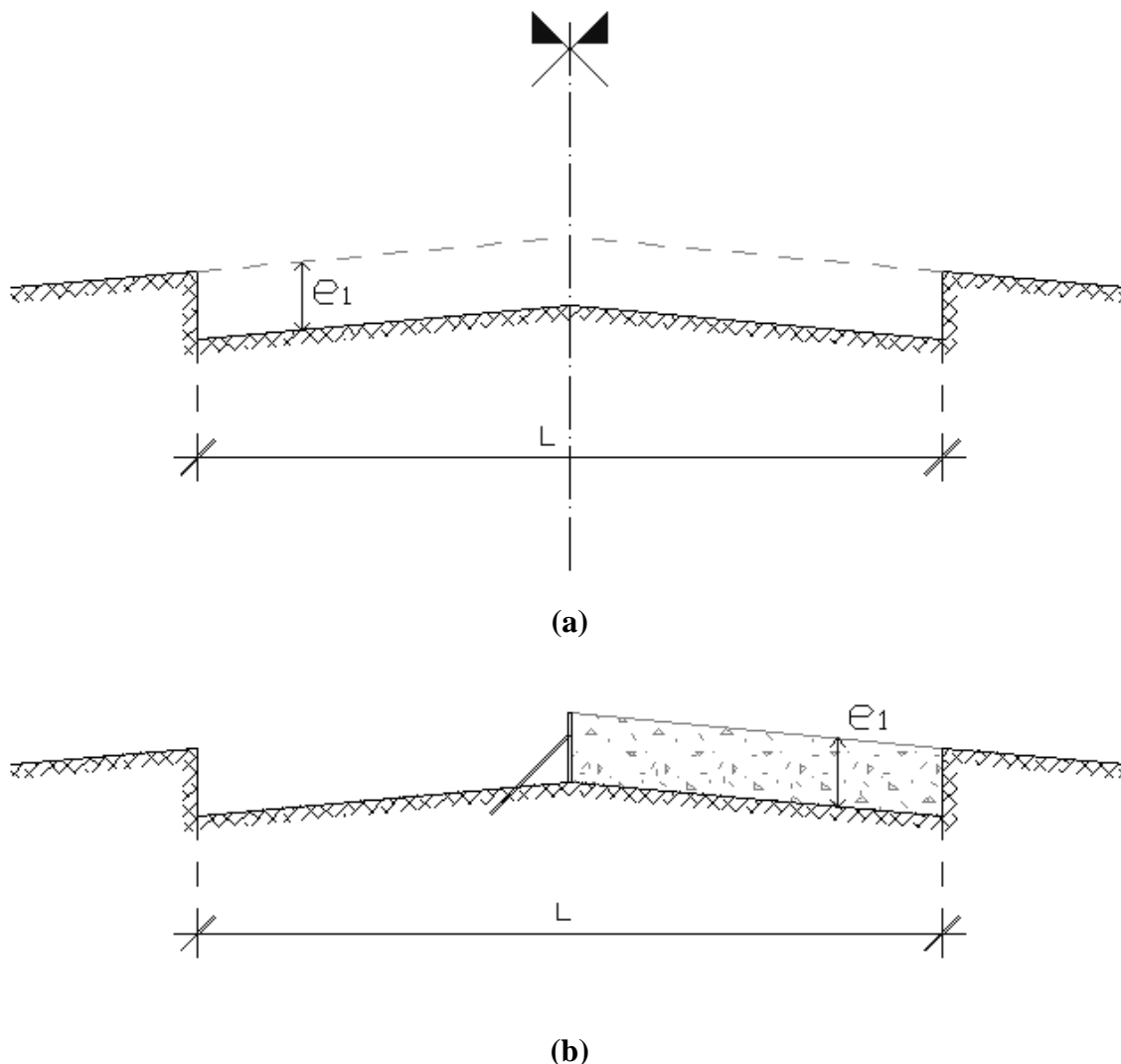
- pulvimisturador para aplicação de água;
- carro tanque distribuidor de água (mínimo de 5.000 litros);
- material graduado para servir como agregado (pedra britada) e enchimento (saibro, areia ou pó-de-pedra);
- material a ser utilizado na camada de bloqueio, caso necessário;
- materiais adicionais (caso necessário executar fôrmas):
  - pás e enxadas;
  - sarrafos e pontaletes de madeira para fixar fôrmas;
  - martelo e serrote;
  - pregos;
  - fôrmas de madeira ou aço;
  - esquadro metálico; e
  - nível de mangueira ou laser.

#### **N.5. Método Executivo**

- as camadas de preparo do subleito, de reforço do subleito, sub-base e de bloqueio devem estar executadas e inspecionadas ou conforme projeto (camada de bloqueio – quando o material de subleito ou da sub-base for composto por solo siltoso ou argiloso, com mais de 35% passando na peneira Nº 200, para a base não correr o risco de sofrer penetração, de baixo para cima, desse material fino, comprometendo as funções do material de enchimento e que a brita da base não penetre nas camadas subjacentes pela ação de rolos compressores);
- Remover fragmentos de pedra com diâmetro maior que 4” ou superior ao maior diâmetro determinado para a granulometria do agregado graúdo, ou, ainda, material com diâmetro igual ou superior a 2/3 da espessura da camada;
- remover raízes e outros materiais estranhos;
- não iniciar a execução em dias de chuva.
- deve-se preparar a caixa que comportará a base de macadame hidráulico de maneira que sirva como uma fôrma, onde as paredes laterais são cortadas verticalmente, de acordo com

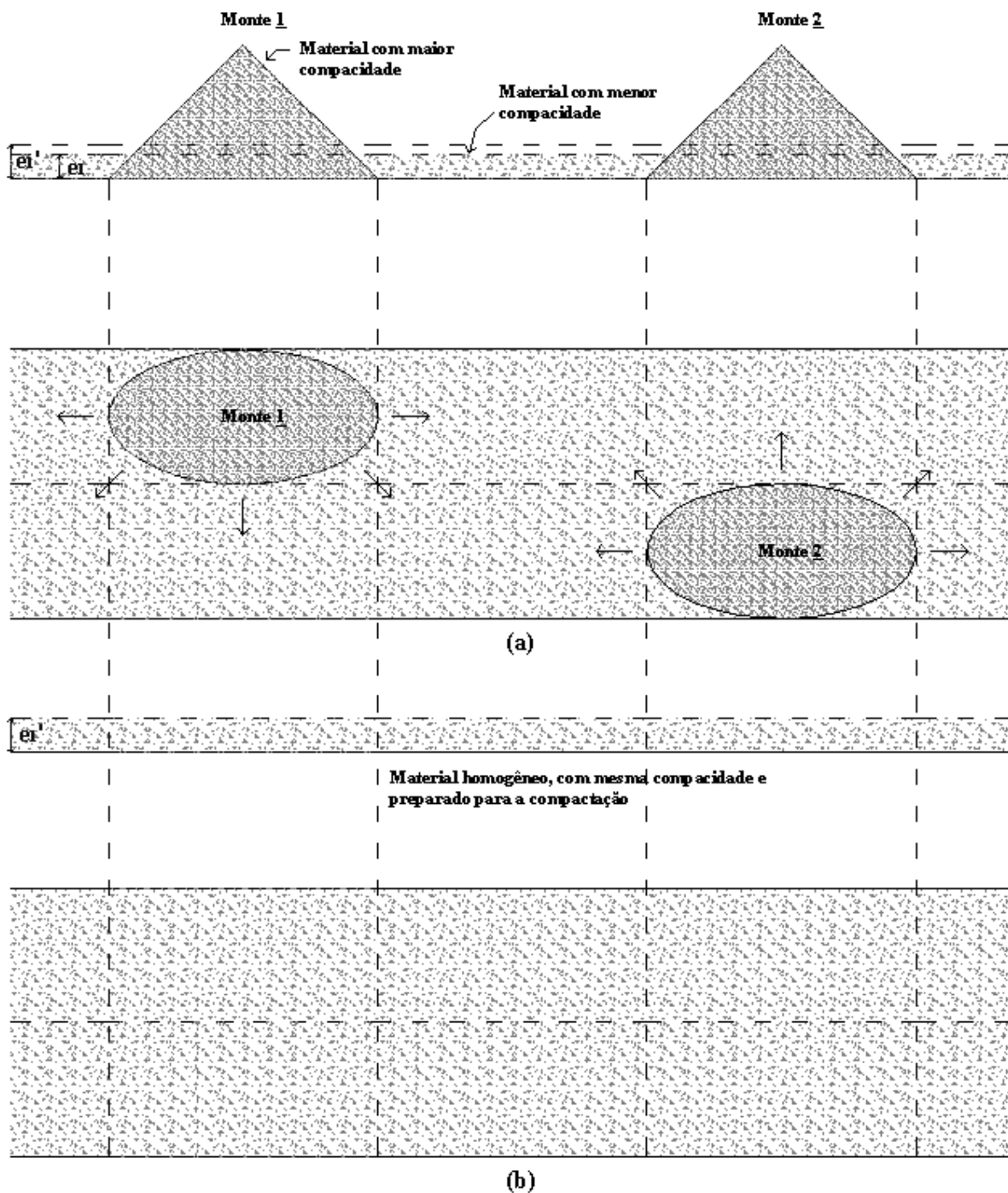


a altura prevista em projeto (figura 1.01-a). Caso seja necessário executar fôrmas laterais, essas devem estar bem travadas para suportar os esforços gerados pelo processo executivo (figura 1.01-b);



**FIGURA 1.01 – Caixa da Base Macadame Hidráulico: (a) comportada entre paredes laterais; e (b) com fôrma lateral (Fonte: Senço, 2001).**

- despeja-se o agregado graúdo através de caminhão-basculante, ou caçamba, em montes que sejam suficientes para, após compactado, atingir a espessura desejada para a camada. Este material deve ser distribuído, através de motoniveladora, por toda a largura e extensão desejada para a caixa, de modo que fique totalmente homogêneo e com mesma compacidade (mesmo estado de compactação ou mesma massa específica), conforme apresentado na figura 1.02 (a) e (b). O greide longitudinal e a seção transversal devem ser verificados com cordéis, gabarito etc., e corrigidos os excessos ou deficiências de material;

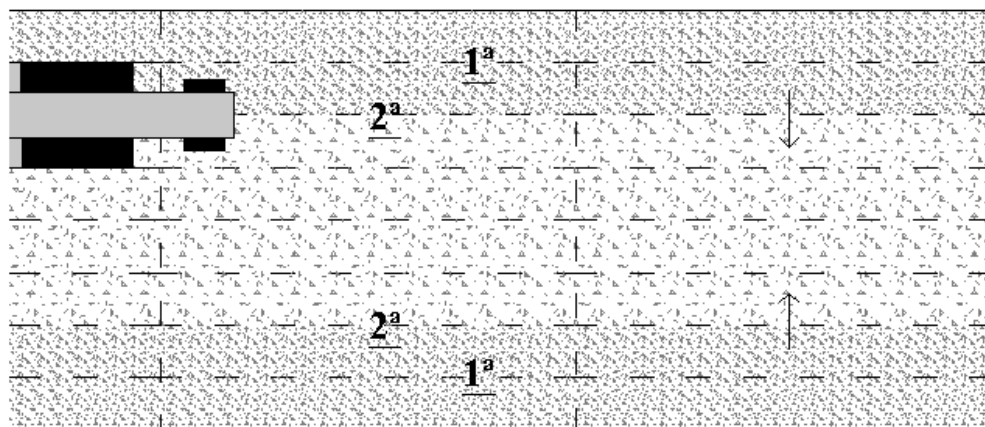


**FIGURA 1.02 – Movimentação do agregado graúdo: (a) despejado no caixa; e (b) distribuído de forma homogênea e com mesma compactidade (Fonte: Senço, 2001).**

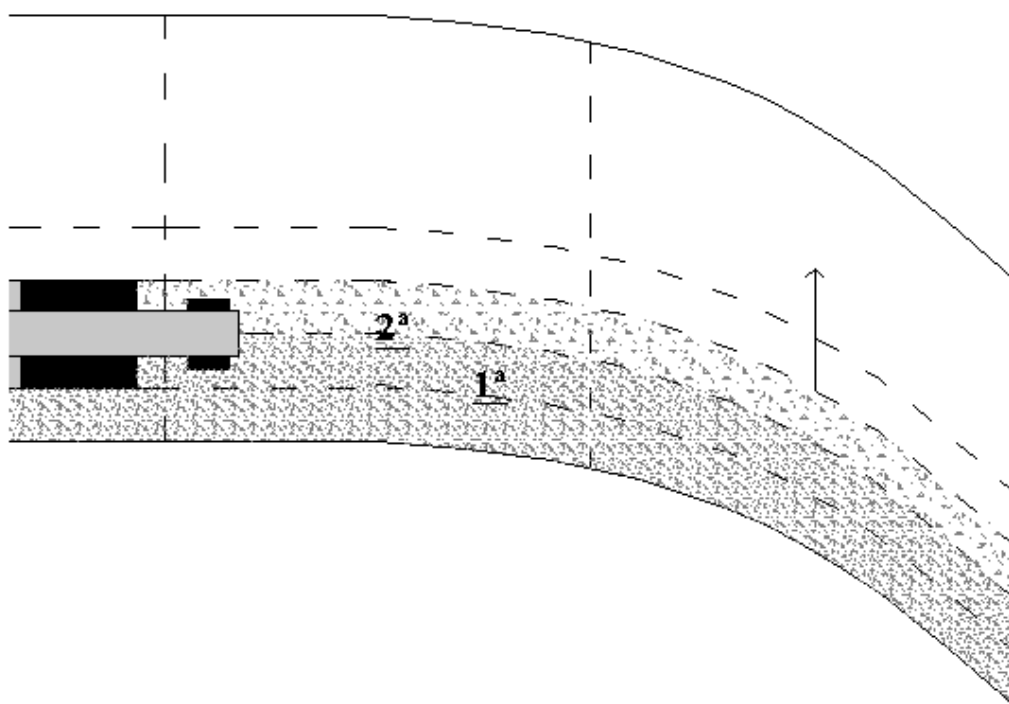
- no caso de utilização de distribuidores mecânicos, estes já fornecem o material distribuído de forma homogênea e com mesma compactidade;
- a distribuição ainda pode ser realizada por garfos operados por colaboradores;
- com o compressor de três rodas inicia-se a compactação da camada, em toda a sua extensão, sendo que em trechos retos, deve-se executar a compactação dos bordos para o

centro (figura 1.03-a). Já em curvas, deve-se executar a compactação do bordo interno da curva para o externo (figura 1.03-b);

- o rolo, quando compactando uma camada subsequente, deve passar suas rodas traseiras sobre, pelo menos, metade da passada anteriormente executada;



(a)



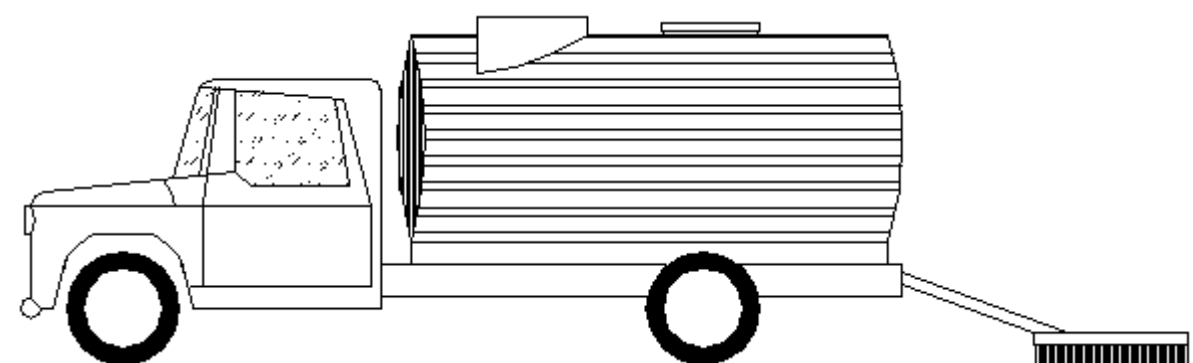
(b)

**FIGURA 1.03 – Compactação do agregado graúdo: (a) em trechos retos; e (b) em trechos curvos.**

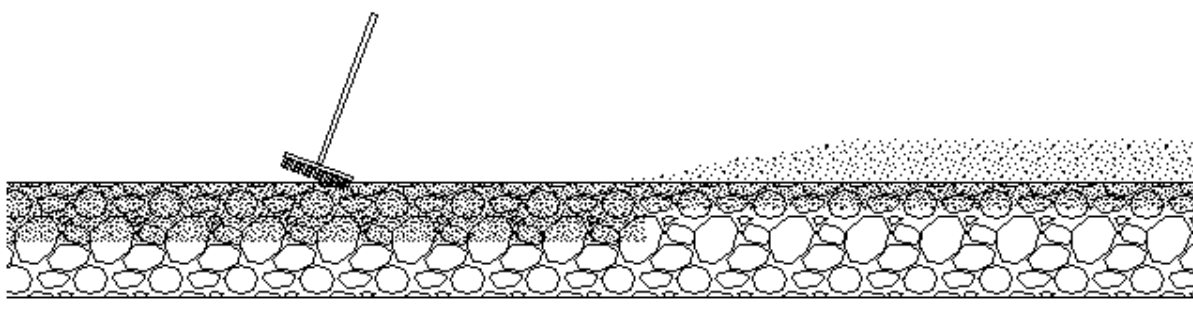
- a parada da compactação deve respeitar o momento que os agregados fragmentados estejam entrosados uns aos outros e deixem de apresentar ondas diante do rolo longitudinalmente e transversalmente a pista. O greide longitudinal e a seção transversal

devem ser verificadas com cordéis, gabarito etc., e corrigidos os excessos ou deficiências de material;

- para os locais de difícil acesso, ou quando recomendável, deve-se utilizar soquetes que forneçam a mesma energia que o rolo, para realizar a compactação;
- após o final da compactação da primeira camada do agregado graúdo, o material de enchimento deve ser depositado sobre esta, a uma espessura de aproximadamente 2cm, e conduzido para as frestas existentes na camada compactada através de vassouras mecânicas ou vassouras comuns operadas manualmente (figura 1.04-a e b);



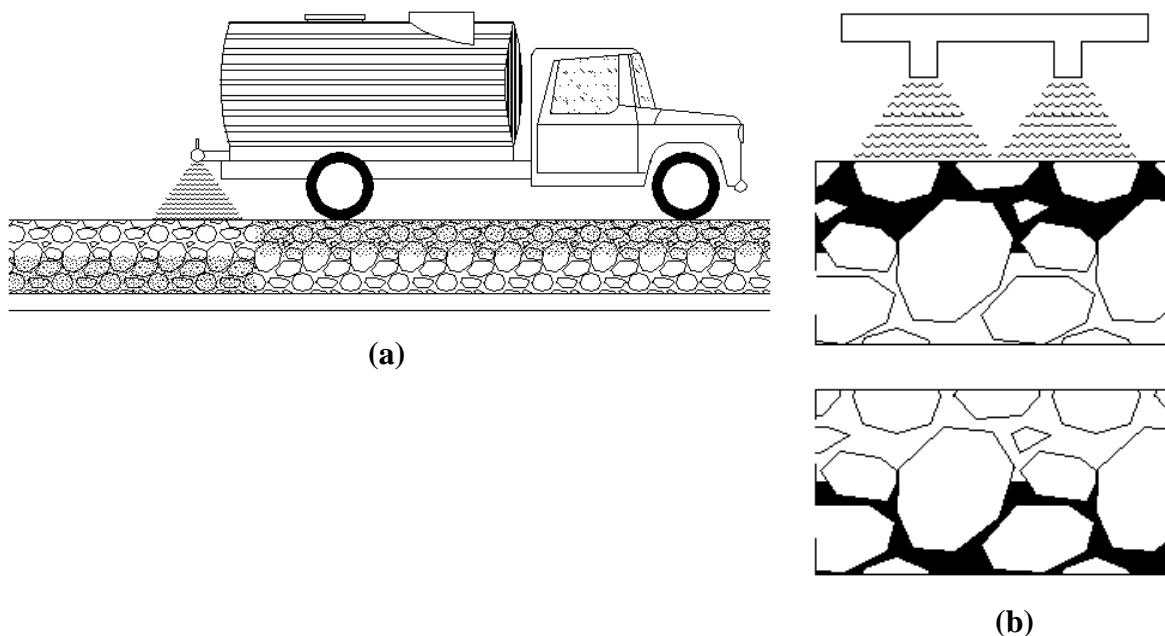
(a)



(b)

**FIGURA 1.04 – Varredura do material de enchimento: (a) vassoura mecânica; e (b) vassoura manual (Fonte: Senço, 2001).**

- o passo seguinte é a irrigação de toda a superfície, até que o material seja conduzido para a parte inferior da camada de agregado graúdo (figura 1.05-a e b). Após a evaporação da água na parte superior realiza-se nova compactação;



**FIGURA 1.05 – Irrigação do material de enchimento: (a) visão geral; e (b) detalhe**  
**(Fonte: Senço, 2001).**

- deve-se repetir a deposição do material de enchimento, varredura, irrigação e recompressão da camada até que o material de enchimento ocupe os espaços entre os agregados graúdos e a compressão não cause mais deslocamento a estes;
- os procedimentos anteriores devem ser repetidos para as camadas compactadas seqüencialmente, respeitando a condição de que a camada anterior deve estar completamente seca antes de iniciar a próxima; e
- após o término da base, deve-se proceder a sua cura recobrimdo-a com um pouco de material de enchimento durante 7 a 15 dias, para que se execute a imprimação impermeabilizante e ligante sobre essa. Durante este tempo não deve ser permitido tráfego sobre a base. O recobrimento deve ser mantido, caso seja previsto tráfego na base antes da imprimação e revestimento.

## APÊNDICE O

### O. IMPRIMAÇÃO E PINTURA DE LIGAÇÃO

#### O.1. Definição

Imprimação consiste na aplicação de camada de material betuminoso sobre a superfície de base granular concluída, antes da execução de um revestimento betuminoso qualquer, objetivando conferir coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência entre esta e o revestimento a ser executado (DNER-ES 306/97).

Pintura de ligação consiste na aplicação de ligante betuminoso sobre a superfície de base coesiva ou pavimento betuminoso anterior à execução de uma camada betuminosa qualquer, objetivando promover condições de aderência entre as camadas (DNER-ES 307/97).

#### O.2. Objetivo

Este procedimento tem como objetivo determinar a sistemática empregada na aplicação uniforme de material betuminoso sobre base granular concluída, a fim de conferir coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência entre esta e o revestimento a ser executado, bem como da aplicação de película do ligante betuminoso sobre uma superfície subjacente, base ou pavimento, antes da execução de um novo revestimento betuminoso.

#### O.3. Documentos de Referência

- projeto executivo da rodovia;
- notas de serviço de pavimentação;
- DNER-ES 306/97 – Pavimentação – Imprimação; e
- DNER-ES 307/97 – Pavimentação – Pintura de Ligação.

#### O.4. Materiais e Equipamentos

- ligante betuminoso;
- vassouras rotativas mecânicas;
- faixas de papel;
- carros distribuidores de ligante betuminoso, providos de dispositivos de aquecimento, tacômetro, calibradores, termômetros e aspergidor manual; e

- carros com bomba reguladora de pressão e sistema completo de aquecimento.

### **O.5. Método Executivo**

- após a perfeita conformação geométrica da base, proceder a varredura da superfície com vassouras rotativas mecânicas, de modo a eliminar todo e qualquer material solto;
- antes da aplicação do ligante betuminoso a pista deverá ser levemente umedecida;
- aplica-se a seguir, o ligante betuminoso, na temperatura compatível com o seu tipo e de maneira uniforme;
- a temperatura de aplicação do ligante betuminoso deve ser fixada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura  $\times$  viscosidade, escolhendo-se a temperatura que proporcione a melhor viscosidade para espalhamento. as faixas de viscosidade recomendadas para espalhamento são:
  - para asfaltos diluídos de 20 a 60 segundos “Saybolt-Furol” (DNER-ME 004); e
  - para emulsões de 20 a 100 segundos “Saybolt-Furol” (DNER-ME 004).
- deve-se aplicar o ligante betuminoso na pista inteira em um mesmo turno de trabalho e deixá-la, sempre que possível, fechada ao tráfego. Quando isto não for possível, trabalhe-se em meia pista, executando a aplicação da adjacente, assim que a primeira for permitida ao tráfego. Quando em serviços de imprimação, o tempo de exposição da base imprimada ao tráfego é condicionado ao comportamento da mesma, não devendo ultrapassar 30 dias;
- a fim de evitar a superposição ou excesso, nos pontos inicial e final das aplicações, colocar as faixas de papel transversalmente na pista, de modo que o início e o término da aplicação do ligante betuminoso situem-se sobre essas faixas, as quais serão, em seguida, retiradas; e
- qualquer falha na aplicação do ligante betuminoso deve ser, imediatamente, corrigida.

## APÊNDICE P

### P. REVESTIMENTO EM CONCRETO BETUMINOSO

#### P.1. Definição

Concreto betuminoso é uma mistura executada em usina apropriada, com características específicas composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (*filer*) e ligante betuminoso espalhada e comprimida à quente (DNER-ES 313/97).

#### P.2. Objetivo

Este procedimento tem como objetivo determinar a sistemática empregada na aplicação uniforme de misturas betuminosas para a construção de camadas do pavimento de acordo com os alinhamentos, greide e seção transversal de projeto.

#### P.3. Documentos de Referência

- projeto executivo da rodovia;
- notas de serviço de pavimentação; e
- DNER-ES 313/97 – Pavimentação – Concreto Betuminoso.

#### P.4. Materiais e Equipamentos

- concreto Betuminoso;
- caminhões basculantes com caçambas lubrificadas;
- ancinhos e rolos metálicos;
- pavimentadoras automotrizes, providas de alisadores e dispositivos de aquecimento; e
- rolo pneumático e metálico liso, tipo tandem ou rolo vibratório.

#### P.5. Método Executivo

- sendo decorridos mais de sete dias entre a execução da imprimação e a do revestimento, ou no caso de ter havido trânsito sobre a superfície imprimada, ou, ainda ter sido a imprimação recoberta com areia, pó-de-pedra etc., deverá ser feita uma pintura de ligação;
- lubrificar as caçambas dos caminhões com água e sabão e não permitir a lubrificação com óleo diesel, gasolina ou outros que venham a dissolver o ligante betuminoso;



- o concreto betuminoso produzido deverá ser transportado, da usina ao ponto de aplicação, nos veículos basculantes com suas caçambas lubrificadas;
- quando em grandes distâncias, para que a mistura seja colocada na pista à temperatura especificada, cada carregamento deverá ser coberto com lona ou outro material aceitável, com tamanho suficiente para proteger a mistura;
- distribuir o concreto betuminoso utilizando-se da pavimentadora acabadora automotriz;
- caso ocorram irregularidades na superfície da camada, estas deverão ser sanadas pela adição manual de concreto betuminoso, sendo esse espalhamento efetuado por meio de ancinhos e rodos metálicos;
- após a distribuição do concreto betuminoso, tem início a rolagem. Como norma geral, a temperatura de rolagem é a mais elevada que a mistura betuminosa possa suportar, temperatura essa fixada, experimentalmente, para cada caso;
- caso sejam empregados rolos de pneus, de pressão variável, inicia-se a rolagem com baixa pressão, a qual será aumentada à medida que a mistura vai sendo compactada, e, conseqüentemente, suportando pressões mais elevadas;
- a compressão será iniciada pelos bordos, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista. Nas curvas, de acordo com a superelevação, a compressão deve começar sempre do ponto mais baixo para o mais alto. Cada passada do rolo deve ser recoberta na seguinte de, pelo menos, metade da largura rolada. Em qualquer caso, a operação de rolagem perdurará até o momento em que seja atingida a compactação especificada;
- durante a rolagem não serão permitidas mudanças de direção e inversões bruscas de marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém-rolado. As rodas do rolo deverão ser umedecidas adequadamente, de modo a evitar a aderência da mistura; e
- os revestimentos recém-acabados deverão ser mantidos sem tráfego, até o seu completo resfriamento.

## APÊNDICE Q

### Q. INFRA-ESTRUTURA PARA SERVIÇO

A infra-estrutura relacionada aos serviços executados na fase de projeto e supervisão de obras são relativamente diferentes.

Isto é devido a, na fase de projeto, a estrutura de laboratório necessária a realização de ensaios normalmente é terceirizada, pois a quantidade destes não justifica a montagem de uma estrutura de laboratório.

Além disso, a estrutura de escritórios é totalmente centralizada na sede da empresa.

Durante a supervisão de uma obra rodoviária, torna-se necessária a instalação de uma infra-estrutura necessária a realização de serviços contendo laboratórios de controle tecnológico, escritório de processamento de dados, escritório para projetistas, salas de reunião etc.

Sabendo-se disso, as seções seguintes apresentarão a estrutura necessária a supervisão da obra, além dos principais instrumentos para ensaios de laboratório.

#### Q.1. O Canteiro de Obras

O canteiro de obras normalmente é constituído escritórios, ambulatório, alojamentos, cozinha e refeitório, recreação, depósitos, almoxarifados, oficina mecânica, abastecimento, transporte, laboratórios e usinas (IPR 697/100, 1996, e Senço, 2001).

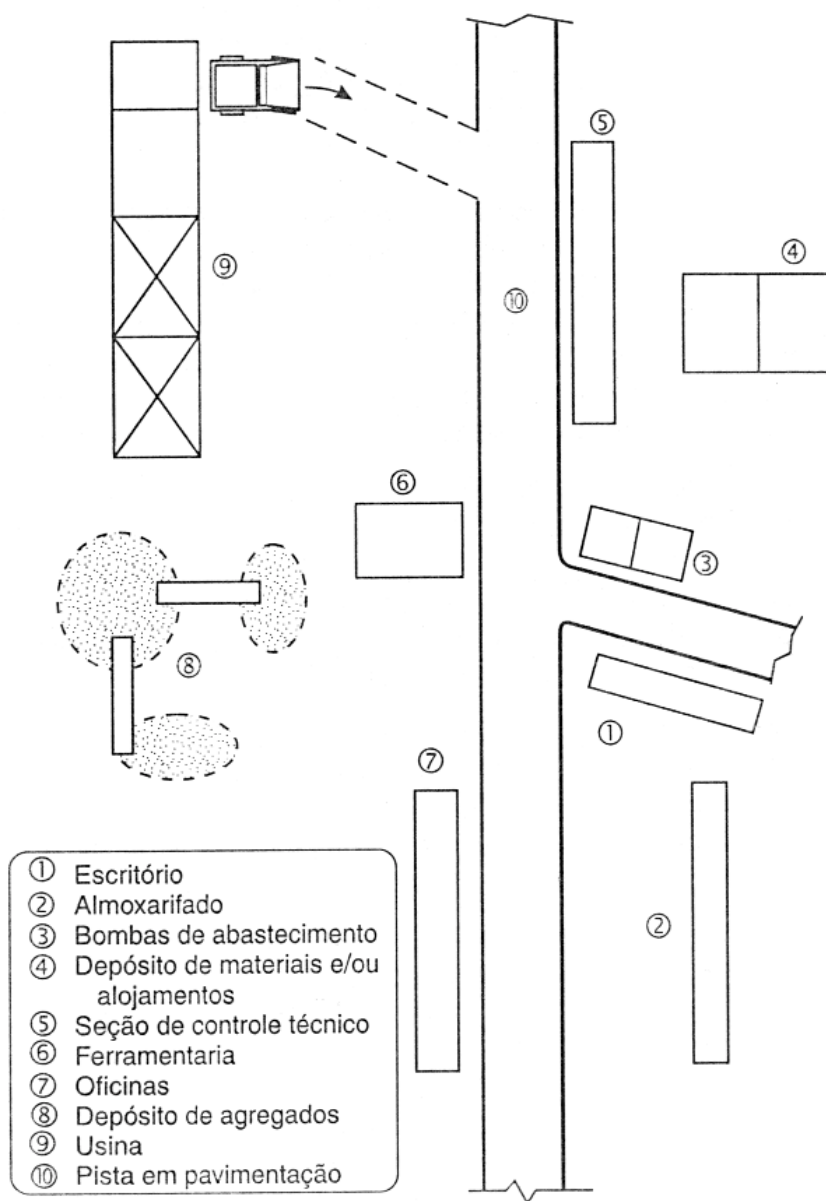
No que concerne as atividades de supervisão da obra, a estrutura necessária resume-se escritório, almoxarifado e laboratório.

Segundo a IPR 697/100 (1996), o laboratório deve ser instalado em uma construção independente das demais, e de preferência afastado da via de passagem de máquinas e veículos. Ele deve ter acesso independente e uma meia água com varanda, onde pode-se construir um tanque para imersão de corpos-de-prova.

Os escritórios devem conter salas de reunião para com o órgão contratante, um escritório da contratante, sala de engenharia da supervisora, sala de processamento de dados e uma sala para os projetistas.

O almoxarifado da supervisão deve estar voltado ao controle dos instrumentais utilizados no laboratório, pista e usina, não devendo, portanto, ser utilizado como depósito de materiais.

Na fase de plena execução da obra pode-se observar a estrutura básica, necessária ao canteiro de obra, apresentada na figura Q.01.



**FIGURA Q.01 – Estrutura do canteiro de obra (Fonte: Senço, 2001).**

No que tange a organização de um laboratório de solos, pode-se utilizar a sugestão de Bertram (1969), onde ele apresenta um *layout* típico para este (figura Q.02).

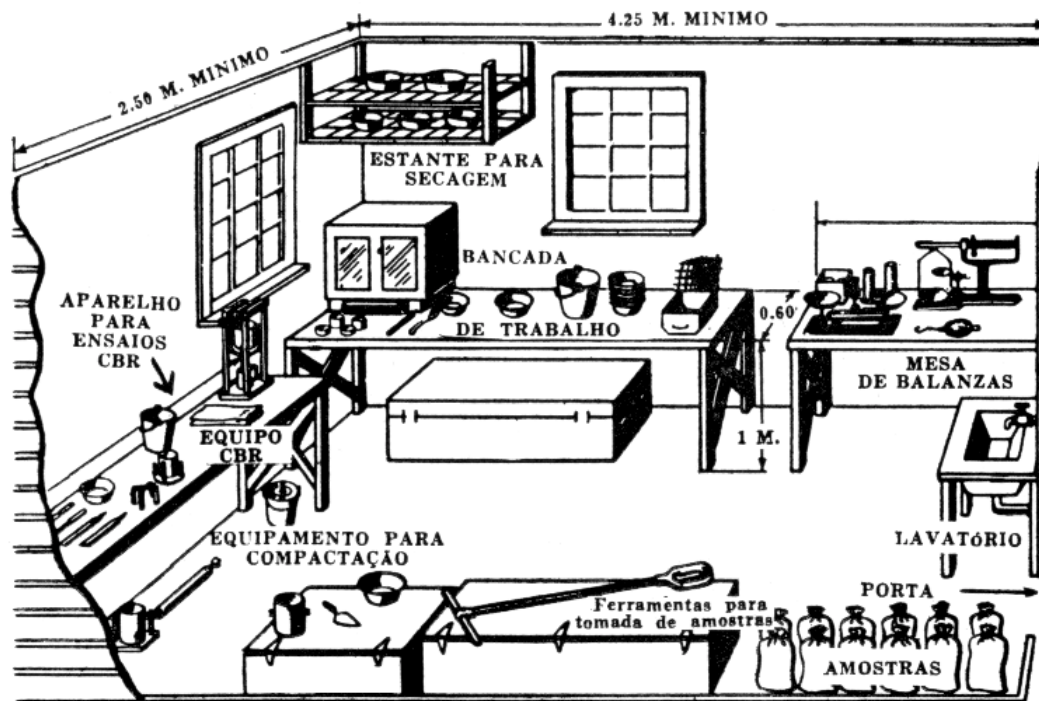


FIGURA Q.02 – Lay-out de um laboratório de solos (Fonte: Bertram, 1969).

## Q.2. Instrumental para Laboratório

Os principais instrumentais constituintes do laboratório e necessários a realização de ensaios de controle tecnológico de solos podem ser observados no quadro Q.01. Este mesmo quadro não serve de regra para a alocação de instrumental de laboratório, porém serve como ponto de partida para a observação dos recursos que serão necessários.

### QUADRO Q.01 – Relação do instrumental necessário em laboratório de solos.

Especificação
01 agitador manual para peneiras
01 par de alicates de 6 polegadas com corte lateral
01 anel amostrador com bordos cortantes, para ISC
01 aparelho para limite de liquidez com concha de bronze e cinzel
01 balança com três escalas para leitura, pesos sobressalentes, capacidade de 0,01g a 200g
01 balança de mola, com 200 libras (cerca de 100kg) de capacidade, com um único gancho, graduada de 2 em 2 libras ou em kg
01 balança de mola, com um único gancho com 60 libras (cerca de 30kg) de capacidade, graduada em 0,1 libra ou então de 50 em 50kg
01 balança de torção com 4,5kg de capacidade com pratos removíveis e 0,25g de sensibilidade
05 baldes galvanizados, pesado, com capacidade de 14 litros
02 trados do tipo <i>Iwan</i>
01 agitador para peneiras, com peneiras permutáveis, tampa, fundo e suporte
01 dúzia e ½ de sacos de pano cru sem alvejar, para colher materiais para ensaio, 43 x 81cm, com cordel para fechar

Especificação
05 dúzias de sacos de pano cru sem alvejar, para colher materiais para ensaio, 25 x 46cm, com cordel para fechar
02 trinchas de tamanho médio com 2,5cm de largura
05 trinchas de tamanho médio com 5cm de largura
01 caixa de guia para corte em meia esquadria
01 dúzia de caixinhas redondas de metal, sem costura, baixas e com fundo flano, com 04 onças de capacidade (cerca de 200g)
01 fundo para jogo de peneiras, com 8 polegadas (cerca de 20cm) de diâmetro, permutável, com peneiras normais americanas
01 molde cilíndrico para compactação, com 15,24cm de diâmetro interno e 17,78cm de altura com anel ajustável para extensão
01 cilindro de compactação para ensaio de ISC, de 6 polegadas, com anel de extensão
02 “metros” de aço flexível com 2m de comprimento
01 formão com $\frac{3}{4}$ de polegada
01 peneira quadrada com furos de $\frac{1}{4}$ de polegada, para jogo portátil de campo
01 maleta com conjunto de equipamento <i>Speedy</i>
01 peneira quadrada com furos de $\frac{3}{4}$ de polegada, para jogo portátil de campo
01 peneira quadrada com furos de 1 $\frac{1}{2}$ polegada, para jogo portátil de campo
01 peneira quadrada com furos de 2 polegadas, para jogo portátil de campo
01 cronômetro
02 colheres de aço inoxidável com 35cm de comprimento
01 faca de açougueiro
01 rolo de corda ou barbante
02 chaves de fenda, 8 polegadas de comprimento (28 a 32cm de comprimento total) e $\frac{3}{8}$ de largura de folha
01 espátula com cabo de madeira e folha de aço com 10cm de comprimento e 1,5cm de largura
01 estufa com isolamento térmico para secagem de materiais, tendo uma janela térmica
100 etiquetas de pano branco para remessa
05 etiquetas retangulares de papel branco gomado
06 hastes de extensão para trado
01 macaco hidráulico para ensaio de ISC com 8 toneladas de capacidade de carga
12 folhas de serra de mão, flexíveis, com 10 polegadas (25cm) e 18 dentes
01 fogareiro portátil a gasolina, com 2 queimadores, completo, com proteção contra vento e com caixa para transporte
03 extensômetros com mostrador de tipo ajustável e amplitude de uma polegada
12 lápis de madeira e grafite (n° 3), com borracha
06 papeis cortados em espiral na cor preta
02 cadernetas de notas
01 lima plana, macia, de 12 polegadas (30cm)
01 litro de líquido para macaco hidráulico
01 lona de algodão com 60 x 60 polegadas (1,50 x 1,50m) com bainhas nas extremidades
04 chaves de alta resistência para tubos de $\frac{1}{4}$ até 2 polegadas
01 chave inglesa ajustável com 1 $\frac{1}{8}$ polegada de abertura e 10 polegadas de comprimento
01 seringa de borracha para encher baterias
01 almofariz e gral de borracha
01 macete de ebonite

Especificação
02 moldes cilíndricos para ensaios de materiais de estradas, com 2 polegadas (5,08cm) de diâmetro e quatro polegadas (16,16cm) de altura
02 colheres de pedreiro
01 caixa de papel de filtro, circular, com 15cm de diâmetro para ensaio de ISC, com 100 unidades por caixa
12 resmas de papel branco para escrever
100 folhas de papel milimetrado com linhas mais grossas de 10 em 10 milímetros
50 folhas de papel semi-logarítmico para desenho com e ciclos
10kg de parafina ou cera
25 pesos de aço em forma de anel, de 5 libras, 2 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> polegadas de diâmetro interno e 5 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> polegadas de diâmetro externo, para ensaio de ISC
01 jogo de pesos para balança de 5 a 2.000 gramas
01 picnômetro com tampa e frasco
01 soquete de compactação com guia
01 soquete de aço para ensaio de ISC
03 pratos perfurados com haste ajustável de bronze para ensaio de ISC
01 prensa de carga completa para ensaio de ISC
02 provetas graduadas de vidro com divisões de 10cm <sup>3</sup> desde 0 até 110cm <sup>3</sup>
24 recipientes esmaltados com 23cm de diâmetro no fundo e 10cm de altura
01 régua de aço biselada com 30cm
01 régua de aço temperado, com 30cm, graduada em meios milímetros
01 serra de arame para cortar amostras
Peneiras de malha metálica com armação de 8 polegadas de diâmetro, modelo alto, série menor: 01 n° 4, 01 n° 10, 02 n° 40, 02 n° 60, 02 n° 100 e 02 n° 200
01 tampa para jogo de peneiras permutáveis com 8 polegadas de diâmetro
01 termômetro de laboratório com mostrador circular graduado desde 10°C até 149°C com haste de aço de 20cm
12 toalhas de algodão ordinário ou panos de cozinha, 40 x 90cm
01 tripé porta-extensômetro e acessórios para ensaio de ISC
01 balança de campo de 35 libras (15,88kg), sensibilidade de 0,01 libra
06 latas de serviço de campo com um galão de capacidade de 3,78 litros
01 medidor de volumes com placa de base
01 cilindro sobressalente
02 sacos de areia calibrada com 100 libras (45,36kg)
01 funil e frasco de areia
01 placa de base para o método de cone de areia
02 frascos sobressalentes
01 aparelho de compressão não confinada, manual com anel dinamométrico calibrado para medir cargas, com capacidade de 500 libras (226,8kg), com extensômetro para medir deformação
01 copo de 600cm <sup>3</sup>
01 copo graduado de 1.000ml
01 bandeja metálica
01 gral de porcelana de 400cm <sup>3</sup> e mão-de-pilão
02 pratos de porcelana para evaporação (75mm de diâmetro e 70ml de volume e 115mm de diâmetro e 250ml de volume)
01 canivete

Especificação
01 picareta
01 pá
03 fitas para impermeabilizar (para amostras indeformáveis)
01 tábua de madeira plana dura para esmagar material
01 rolo de madeira para esmagar torrões de material grosso
01 barra de carga para empurrar molde de ISC na tomada de amostras indeformáveis
01 aparelho portátil para compressão não-confinada

Fonte: Bertram (1969).

## APÊNDICE R

### R. TÉCNICAS ESTATÍSTICAS

#### R.1. Conceitos

A utilização de técnicas estatísticas para o controle da qualidade em obras de pavimentação é de fundamental importância devido a impossibilidade exercê-lo na cobertura de toda a obra.

Contudo deve-se enfatizar a variabilidade de condições e a dispersão dos dados obtidos em obras, devido às suas características próprias.

Segundo Fabricio et alii (1993), o devido conhecimento e a utilização adequada desses métodos estatísticos garantem a identificação de falhas construtivas em tempo hábil, as quais seriam despercebidas durante inspeções inadequadas ou mesmo por sua não realização, evitando-se acarretar altos custos por retrabalho e problemas na imagem comercial das empresas envolvidas na construção e fiscalização.

Para melhor familiarização com os conceitos de estatística e definições mais utilizados no controle de obras rodoviárias, pode-se observar as seguintes definições (DNER-PRO 277/97 e NBR 5426/85):

- produto finalizado – cada serviço finalizado ou obra concluída;
- componentes e matérias-primas – materiais e equipamentos recebidos no canteiro de obras, ou na origem dos mesmos (fábricas);
- operações – o decorrer da execução de um serviço de engenharia;
- materiais em processamento – materiais inspecionados em qualquer fase ao longo da execução dos serviços ou ao final desses, para avaliar a qualidade dos mesmos após sofrer alguma transformação;
- materiais estocados – determinação da qualidade de materiais estocados no canteiro de obras;
- operações de manutenção – para inspeção de avaliação da qualidade de assistência técnica ou após manutenção de equipamentos;
- procedimentos administrativos – qualquer procedimento administrativo que puder ser medido na base de atributos;



- dados ou relatórios – no caso da verificação da efetividade dos dados gerados por inspeções de qualquer outro gênero, de medições realizadas, de projetos de engenharia etc.;
- amostra – número finito de observações selecionadas de um universo ou população de dados;
- plano de amostragem – critérios utilizados para a formação de amostras de um item;
- risco – probabilidade de ocorrer falha ou ação externa, que determine perda;
- defeito – falta de conformidade com qualquer dos requisitos especificados, ou condições preestabelecidas em normas técnicas;
- nível de qualidade aceitável – NQA representa o máximo número de defeitos, em porcentagem, em uma amostra, a qual considera uma quantidade satisfatória para a sua aceitação; e
- lote – conjunto formado pela reunião de materiais, equipamentos, serviços ou partes da obra de um único tipo, grau, classe, forma e composição, produzidos sob as mesmas condições e no mesmo período. O seu tamanho consistirá o número de unidades de materiais, equipamentos, serviços ou partes da obra que respeitem as condições apresentadas anteriormente.

Contudo é necessário que se entenda que “o principal objetivo da estatística em engenharia é inferir através de Unidades de Amostragem obtidas aleatoriamente a (s) característica (s) de toda uma População de um Universo” (Fabricio et alii, 1993).

Nas subseções seguintes pode-se observar breves comentários com relação as ferramentas estatísticas utilizadas em planos de amostragem.

## **R.2. Planos de Amostragem**

Com as medidas aleatórias ( $x_i$ ) de cada população em uma determinada série pode-se calcular a média aritmética, conforme equação R.01.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \text{ onde :}$$

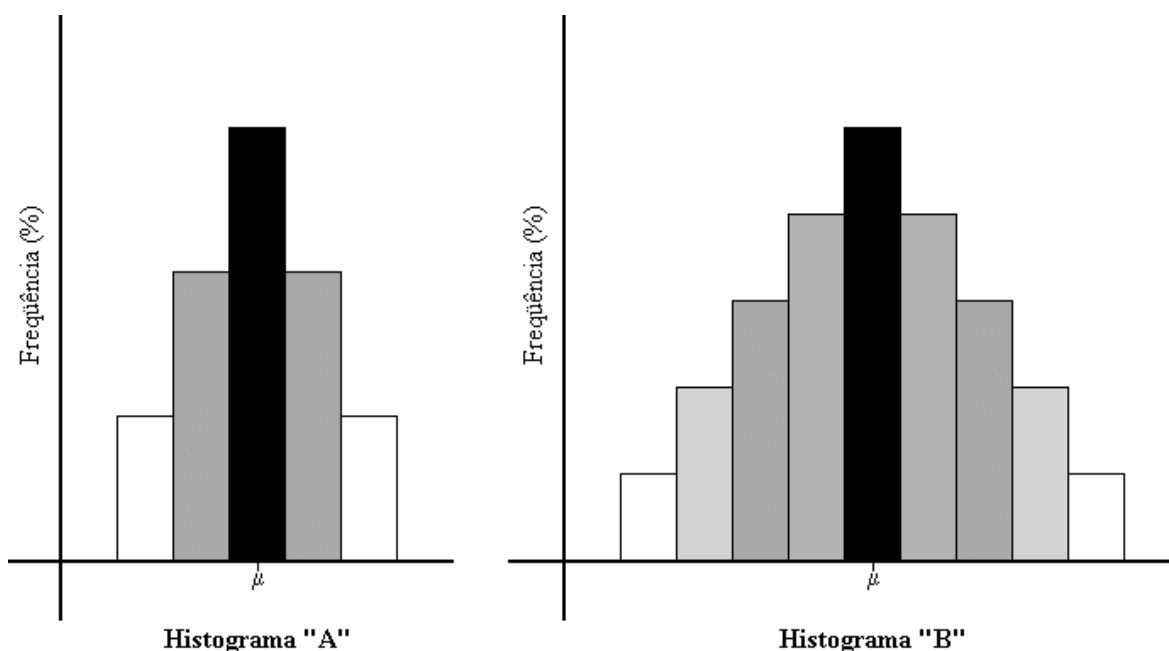
$n$  = número de medidas da série; e

$x_i$  = valor individual de cada medida.

Eq. R.01

Com o histograma pode-se verificar a frequência de valores que se encontram em torno do valor central (média), e é representado no eixo das abscissas por intervalos de médias aritméticas e nas ordenadas pela frequência (em percentil) dos valores ocorrentes em cada intervalo.

Na análise de histogramas (figura R.01) pode-se ter uma idéia da dispersão dos resultados das amostras da população em torno do intervalo central, sendo quanto mais aberto maior será a dispersão de seus resultados.



**FIGURA R.01 – Tipos de histograma: Histograma “A” (mais fechado – menor dispersão) e Histograma “B” (mais aberto – maior dispersão).**

Esta dispersão pode ser analisada pelo desvio padrão da amostra ( $s$ ) (eq. R.02), desvio padrão do universo ( $\sigma$ ) (eq. R.03) e pelo coeficiente de variação ( $CV$ ) (eq. R.04) apresentados a seguir.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{Eq. R.02}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}} \quad \text{Eq. R.03}$$

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 (\%) \quad \text{Eq. R.04}$$

onde :

$n$  = número de medidas da série;

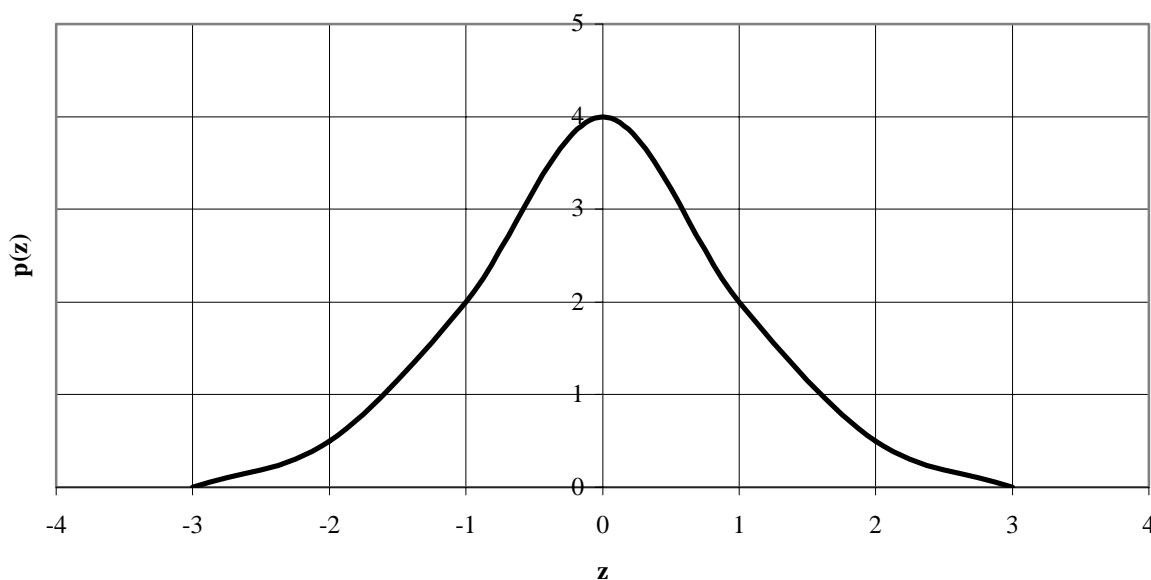
$x_i$  = valor individual de cada medida;

$\bar{X}$  = média da amostra; e

$\mu$  = média do universo.

A distribuição normal, representada pela “Curva de *Gauss*” ou “Curva Normal”, tem uma grande importância no controle de projetos e obras de engenharia, devido ao histograma das médias dos resultados desses controles (projetos, materiais, serviços ou qualquer outro processo) apresentarem uma tendência central da mesma forma que a Curva Normal (figura R.02).

### A CURVA NORMAL



**FIGURA R.02 – Curva Normal ou de *Gauss*.**

Com isso, formulo-se o Teorema do Limite Central, com grande aplicação a engenharia rodoviária, o qual determina que “a medida que o tamanho  $n$  de unidades das amostras aleatórias de uma população de um universo aumenta, a distribuição das médias aritméticas  $\bar{x}$  destas amostras se aproxima da Curva de *Gauss*” (Fabricio et alii, 1993).

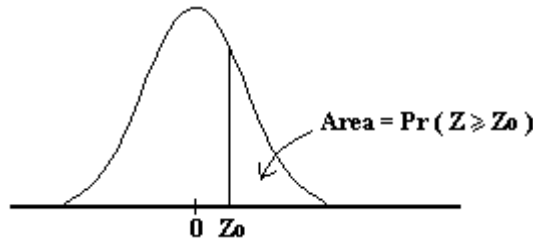
Segundo Fabricio et alii (1993), na curva de *Gauss* a média de  $z$  é  $\mu_z = 0$ , o desvio padrão é  $\sigma_z = 1$  e a variável  $z$ , chamada de variável normal, tem sua distribuição definida pela equação R.05.

$$P_{(z)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2}, \text{ onde } z = \frac{x - \mu}{\sigma} \tag{Eq. R.05}$$

Com a Curva Normal Padrão, cuja a sua área abrangida está representada no quadro R.01, pode-se realizar diversos cálculos probabilísticos, principalmente de intervalo de confiança.

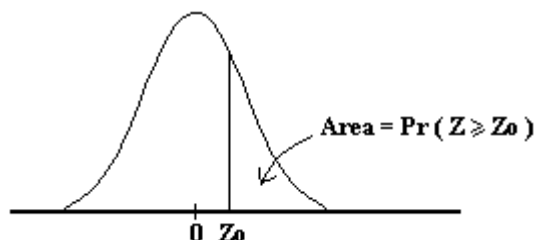
**QUADRO R.01 – Tabela da Curva Normal Padrão.**

Standard Normal, Cumulative Probability in Right-Hand Tail  
(For Negative Values of z, Areas are Found by Symmetry)



First $z_0$	Second Decimal Place of $z_0$									
	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
1,4	0,0808	,00793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0722	0,0708	0,0694	0,0681
1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367

## Standard Normal, Cumulative Probability in Right-Hand Tail

(For Negative Values of  $z$ , Areas are Found by Symmetry)

	Second Decimal Place of $z_0$									
First $z_0$	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
1,8	0,0359	0,0352	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
2,7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
2,9	0,0019	0,0018	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
3,0	0,00135 ...									
3,5	0,000233 ...									
4,0	0,0000317 ...									
4,5	0,00000340 ...									
5,0	0,000000287 ...									

Fonte: Wonnacott, T. H. &amp; Wonnacott, R. J.

Existem duas formas normalizadas para se realizar um plano de amostragem para o controle da qualidade dos serviços em obra, sendo a prescrita pela NBR 5426/85 (Planos de Amostragem) e pela DNER-PRO 277/97 (Metodologia de Controle Estatístico de Obras e Serviços). Ambas as normas baseiam-se na aleatoriedade da amostra, o que é um dos princípios para a distribuição normal de um conjunto de dados.

A seguir serão demonstrados os procedimentos para a utilização das duas normas.

### R.2.1. DNER-PRO 277/97

A norma DNER-PRO 277/97 estabelece conceitos e riscos que se está disposto a assumir, tais como:

- $\alpha$  = risco do Executante de ter rejeitado um serviço de boa qualidade;
- $\beta$  = risco do DNER de aceitar um serviço de má qualidade;
- $p_1$  = nível de qualidade aceitável ou porcentagem máxima de defeitos que caracterizam um serviço de boa qualidade; e
- $p_2$  = nível de qualidade inaceitável ou porcentagem mínima de defeitos que caracterizam um serviço de má qualidade.

A norma DNER-PRO 277/97 determina que tamanho da amostra é o número mínimo de unidades a serem inspecionadas para se tomar uma decisão quanto à aceitação ou rejeição de serviço, sob condições de risco e os conceitos previamente estabelecidos no plano de amostragem, sendo dados por:

$$n = \left[ 1 + \frac{k^2}{2} \right] \left[ \frac{z_\alpha + z_\beta}{z_1 - z_2} \right]^2 \quad \text{Eq. R.06}$$

onde:

$$k = \frac{z_\alpha \cdot z_2 + z_\beta \cdot z_1}{z_\alpha + z_\beta} \quad \text{Eq. R.07}$$

Deve-se entender que as expressões  $n$  e  $k$  são estabelecidas sob a hipótese de que a variável aleatória  $\bar{x} \pm k \cdot s$  é aproximadamente normal, onde  $\bar{x}$  é a média da amostra e  $s$  o desvio-padrão, e os valores de  $z$  obtidos na tabela de distribuição normal.

A inspeção dos serviços deve ser feita extraíndo uma amostra de tamanho  $n$ , e a partir desta calculam-se os seguintes valores:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{xi} \quad \text{Eq. R.08}$$

e

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_{xi}^2}{n-1} - \frac{\left(\sum_{j=1}^n x_{xi}\right)^2}{n(n-1)}} \text{ ou } s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Eq. R.09}$$

De acordo com os valores obtidos para “ $\bar{x}$  e  $s$ ” e “ $n$  e  $k$ ”, para os riscos admitidos para o caso do valor mínimo especificado, têm-se as seguintes alternativas de decisão:

- $\bar{x} - k \cdot s < \text{valor mínimo especificado}$  – rejeita-se o serviço; e
- $\bar{x} - k \cdot s \geq \text{valor mínimo especificado}$  – aceita-se o serviço.

Para o caso do valor máximo especificado, têm-se as seguintes alternativas de decisão:

- $\bar{x} + k \cdot s > \text{valor máximo especificado}$  – rejeita-se o serviço; e
- $\bar{x} + k \cdot s \leq \text{valor máximo especificado}$  – aceita-se o serviço.

Para o caso do valor especificado entre mínimo e máximo, têm-se a seguinte decisão:

- $\bar{x} - k \cdot s < \text{valor mínimo especificado}$  ou  $\bar{x} + k \cdot s > \text{valor máximo especificado}$  – rejeita-se o serviço; e
- no contrário aceita-se.

Segundo a norma DNER-PRO 277/97, pode-se fornecer a probabilidade de aceitar um serviço com  $p\%$  de defeitos através da Curva Característica de Operação (CCO), a qual é obtida através da Função Característica do Plano,  $L(p)$ , apresentada a seguir:

$$L_{(p)} = p \left\{ t \geq \frac{k - z_p}{\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2n}}} \right\} \quad \text{Eq. R.10}$$

“Assim, através da Curva (CCO), pode-se obter as diversas probabilidades de aceitação de um serviço, que um determinado plano de amostragem oferece, quando se varia a porcentagem de defeitos” (DNER-PRO 277/97).

Pela definição de  $L(p)$  têm-se:

$$L(0) = 1; L(1) = 0; L(p_1) = 1 - \alpha; \text{ e } L(p_2) = \beta \quad \text{Eq. R.11}$$

### R.2.1.1. Condições Específicas

A norma DNER-PRO 277/97 aplica o seguinte plano de amostragem, usualmente executada pelo DNER, como metodologia:

$$\alpha = 0,10 \quad \rightarrow \quad z_{\alpha} = 1,28$$

$$\beta = 0,10 \quad \rightarrow \quad z_{\beta} = 1,28$$

$$p_1 = 0,05 \quad \rightarrow \quad z_1 = 1,64$$

$$p_2 = 0,25 \quad \rightarrow \quad z_2 = 0,67$$

Então,

$$k = 1,155$$

$$n = 11,6 \cong 12$$

Para o caso do valor mínimo especificado, têm-se as seguintes alternativas de decisão:

- $\bar{x} - 1,155 \cdot s < \text{valor mínimo especificado}$  – rejeita-se o serviço; e
- $\bar{x} - 1,155 \cdot s \geq \text{valor mínimo especificado}$  – aceita-se o serviço.

Para o caso do valor máximo especificado, têm-se as seguintes alternativas de decisão:

- $\bar{x} + 1,155 \cdot s > \text{valor máximo especificado}$  – rejeita-se o serviço; e
- $\bar{x} + 1,155 \cdot s \leq \text{valor máximo especificado}$  – aceita-se o serviço.

Para o caso do valor especificado entre mínimo e máximo, têm-se a seguinte decisão:

- $\bar{x} - 1,155 \cdot s < \text{valor mínimo especificado}$  ou  $\bar{x} + 1,155 \cdot s > \text{valor máximo especificado}$  – rejeita-se o serviço; e
- no contrário aceita-se.

A curva característica para o plano de amostragem recomendado encontra-se na figura R.03.

$$\alpha = 0,10$$

$$\beta = 0,10$$

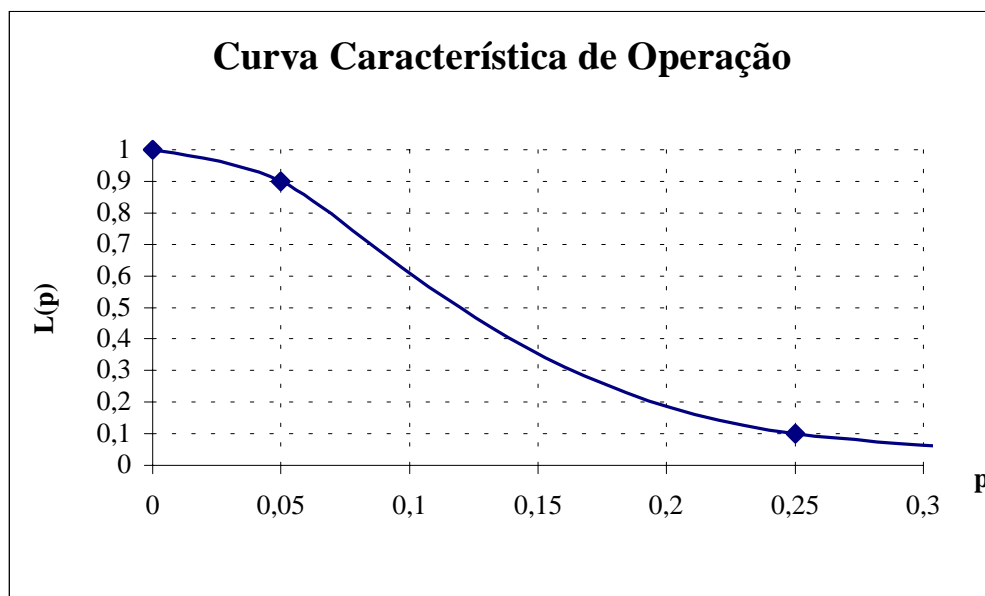
$$p_1 = 0,05 \quad \rightarrow \quad L(0,05) = 1 - 0,10 = 0,90$$

$$p_2 = 0,25 \quad \rightarrow \quad L(0,25) = 0,10$$



$$n = 12$$

$$k = 1,155$$



**FIGURA R.03 – Curva característica de operação (Fonte: DNER-PRO 277/97).**

### R.2.1.2. Inspeção

Quando fixa-se os valores de  $\beta$  (risco do DNER),  $p_1$  e  $p_2$  em 10%, 5% e 25%, respectivamente, então apenas variando os valores de  $\alpha$ , e conseqüentemente os de  $n$  e  $k$ , obtêm-se os dados do quadro R.02 para planos de amostragem.

- $\alpha$  = probabilidade de rejeição de um serviço de boa qualidade;
- $\beta$  = probabilidade de aceitação de um serviço de má qualidade;
- $p_1$  = % de defeitos máxima admitida em um serviço de boa qualidade; e
- $p_2$  = % de defeitos mínima admitida em um serviço de má qualidade.

**QUADRO R.02 – Valores adotados como referência no controle estatístico constante das especificação de serviço pertinentes.**

AMOSTRAGEM VARIÁVEL														
$N$	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	21
$K$	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
$\alpha$	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
$n = n^\circ$ de amostras;					$k =$ coeficiente multiplicador					$\alpha =$ risco do Executante				

Fonte: DNER-PRO 277/97.

No caso de obras de drenagem, são admitidos os valores de  $\beta$  (risco do DNER),  $p_1$  e  $p_2$  em 10%, 5% e 30%, respectivamente, constantes no quadro R.03.

**QUADRO R.03 – Valores de referência no controle estatístico de obras de drenagem.**

AMOSTRAGEM VARIÁVEL										
$N$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
$K$	1,32	1,26	1,15	1,14	1,05	1,03	0,99	0,97	0,95	0,92
$\alpha$	0,30	0,25	0,16	0,15	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01
$n = n^\circ$ de amostras;			$k =$ coeficiente multiplicador				$\alpha =$ risco do Executante			

Fonte: DNER-PRO 277/97.

**R.2.2. ABNT NBR 5426/85**

Na realização do plano de amostragem coerente com a norma ABNT NBR 5426/85 deve-se determinar, primeiramente, o nível de inspeção, o qual fixa a relação entre o tamanho do lote e da amostra.

Existem três níveis de inspeção mais utilizados em indústrias de beneficiamento, I, II e III, onde as verificações são mais rígidas. Ainda existem 4 níveis especiais S1, S2, S3 e S4 que deverão ser utilizados quando necessários tamanhos pequenos de amostra, ou onde podem ser tolerados grandes riscos na amostragem.

Para a obtenção do tamanho da amostra (AM), deve-se escolher o nível de inspeção e conhecer o tamanho do lote. Sabendo-se dos dois obtêm-se a letra de código da amostragem.

Com essa letra pode-se determinar o tamanho da amostra, e de acordo com o NQA desejável obtêm-se, também, o número de peças defeituosas (ou falhas) que ainda permite aceitar o lote (Ac) e que implica a rejeição do lote (Re).

A escolha entre os planos de amostragem do tipo simples, duplo ou múltiplo variam com relação ao tamanho do lote, a severidade da inspeção e, também, com relação ao seu custo.

Os quadros R.04 e R.05 apresentam resumos, aplicáveis a obras de engenharia, para a utilização de planos de amostragem para o tipo S4 em amostragens simples e dupla.

**QUADRO R.04 – Amostragem Simples Normal.**

Tamanho do lote	Nível especial de inspeção S4	Plano de Amostragem Simples Normal									
		AM	Ac	Re	AM	Ac	Re	AM	Ac	Re	
De 2 até 15	A	5	0	1	2	0	1	2	0	1	
De 16 até 25	B	5	0	1	2	0	1	3	0	1	
De 26 até 90	C	5	0	1	5	0	1	5	1	2	
De 91 até 150	D	8	0	1	13	1	2	8	1	2	
De 151 até 500	E	13	1	2	13	1	2	13	2	3	
de 501 até 1200	F	20	1	2	20	2	3	20	3	4	
de 1201 até 10000	G	32	2	3	32	3	4	32	5	6	
			NQA 2,5%			NQA 4,0%			NQA 6,5%		

Fonte de dados primários: ABNT NBR 5426/85.

**QUADRO R.05 – Amostragem Dupla Normal.**

Tamanho do lote	Nível especial de inspeção S4	Plano de Amostragem Dupla Normal												
		AM	Tam	Ac	Re	AM	Tam	Ac	Re	AM	Tam	Ac	Re	
Até 150	D	1ª	-	-	-	1ª	-	-	-	1ª	5	0	2	
		2ª	-	-	-	2ª	-	-	-	2ª	+5	-	-	
		final	-	-	-	final	-	-	-	final	10	1	2	
De 151 até 500	E	1ª	-	-	-	1ª	8	0	2	1ª	8	0	3	
		2ª	-	-	-	2ª	+8	-	-	2ª	+8	-	-	
		final	-	-	-	final	16	1	2	final	16	3	4	
De 500 até 1200	F	1ª	13	0	2	1ª	13	0	3	1ª	13	1	4	
		2ª	+13	-	-	2ª	+13	-	-	2ª	+13	-	-	
		final	26	1	2	final	26	3	4	final	26	4	5	
De 1201 até 10000	G	1ª	20	0	3	1ª	20	1	4	1ª	20	2	5	
		2ª	+20	-	-	2ª	+20	-	-	2ª	+20	-	-	
		final	40	3	4	final	40	4	5	final	40	6	7	
			NQA 2,5%				NQA 4,0%				NQA 6,5%			

Fonte de dados primários: ABNT NBR 5426/85.