

DNIT

Publicação IPR - 714

MANUAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

2005

**MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS**

MINISTRO DOS TRANSPORTES
Alfredo Pereira do Nascimento

DIRETOR GERAL DO DNIT
Alexandre Silveira de Oliveira

DIRETOR DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
Luziel Reginaldo de Souza

COORDENADOR-GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA
Wagner de Carvalho Garcia

COORDENADOR DO INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS
Chequer Jabour Chequer

CHEFE DE DIVISÃO - IPR
Gabriel de Lucena Stuckert

MANUAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

REVISÃO

Engesur Consultoria e Estudos Técnicos Ltda

EQUIPE TÉCNICA:

Eng° José Luis Mattos de Britto Pereira
(Coordenador)
Eng° Zomar Antonio Trinta
(Supervisor)
Eng° Wanderley Guimarães Corrêa
(Consultor)

Tec° Marcus Vinícius de Azevedo Lima
(Técnico em Informática)
Tec° Alexandre Martins Ramos
(Técnico em Informática)
Tec° Reginaldo Santos de Souza
(Técnico em Informática)

COMISSÃO DE SUPERVISÃO:

Eng° Gabriel de Lucena Stuckert
(DNIT / DPP / IPR)
Eng° Mirandir Dias da Silva
(DNIT / DPP / IPR)

Eng° José Carlos Martins Barbosa
(DNIT / DPP / IPR)
Eng° Elias Salomão Nigri
(DNIT / DPP / IPR)

COLABORADORES:

Eng° Arjuna Sierra
(DNIT / DPP / IPR)
Eng° Jorge Nicolau Pedro
(DNIT / DPP / IPR)

Brasil. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentos rígidos. 2.ed. - Rio de Janeiro, 2005. 234p. (IPR. Publ., 714).

1. Pavimento de concreto – Manuais. I. Série. II. Título.

**MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS**

Publicação IPR - 714

MANUAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

2ª Edição

Rio de Janeiro
2005

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS

Rodovia Presidente Dutra, Km 163 – Vigário Geral
Cep.: 21240-000 – Rio de Janeiro – RJ
Tel.: (0XX21) 3371-5888
Fax.: (0XX21) 3371-8133
e-mail.: ipr@dnit.gov.br

TÍTULO: MANUAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Primeira Edição: 1989

Revisão: DNIT / Engesur

Contrato: DNIT / Engesur PG – 157/2001-00

Aprovado Pela Diretoria Colegiada do DNIT em 26 / 07 / 2005

APRESENTAÇÃO

O Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, dando prosseguimento ao Programa de Revisão e Atualização de Normas e Manuais Técnicos vem apresentar à comunidade rodoviária o seu Manual de Pavimentos Rígidos, objeto de revisão dos Volumes I, II e III do homônimo Manual do DNER de 1989.

A presente edição erradica as normas de pavimentos rígidos que compunham o antigo Manual, que agora revisadas passam a integrar a Coletânea de Normas do DNIT. Assim sendo este Manual foi integralmente reformulado não só para aperfeiçoar metodologias, como também incluir novas tecnologias que estão sendo adotadas na pavimentação rígida, tais como "Whitetopping e o pavimento estruturalmente armado".

Por outro lado, o IPR apreciaria receber quaisquer comentários, observações, sugestões e críticas que possam contribuir para o aperfeiçoamento da técnica e do estado da arte dos pavimentos rígidos, os quais serão analisados e, se for o caso, aproveitados numa próxima edição.

Eng° Chequer Jabour Chequer
Coordenador do Instituto de Pesquisas Rodoviárias

Endereço para correspondência:

Instituto de Pesquisas Rodoviárias
A/C Divisão de Capacitação Tecnológica
Rodovia Presidente Dutra, Km 163,
Centro Rodoviário, Vigário Geral, Rio de Janeiro
CEP – 21240-330, RJ

Tel.: (21) 2471-5785
Fax.: (21) 2471-6133
e-mail: ipr@dnit.gov.br

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	3
1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAIS PARA CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	15
2.1. Estudo dos Agregados	17
2.1.1. Introdução	17
2.1.2. Estudo Geológico	18
2.1.3. Prospecção de Jazidas e Pedreiras	19
2.1.4. Caracterização Tecnológica	22
2.2. Estudo do Cimento Portland	26
2.2.1. Introdução	26
2.2.2. Seleção das Fontes de Abastecimento	28
2.2.3. Caracterização Tecnológica	29
2.2.4. Exigências Normativas para os Diversos Tipos de Cimento para Uso em Pavimentação	29
2.3. Estudo da Água de Amassamento	31
2.3.1. Introdução	31
2.3.2. Impurezas e suas Influências	31
2.3.3. Água do Mar	35
2.3.4. Águas Residuais de Indústrias	36
2.3.5. O Efeito das Impurezas na Água de Mistura, Segundo Abrams	36
2.3.6. A Prática Corrente para Verificação da Qualidade da Água Empregada no Amassamento dos Concretos para Pavimentos	37
2.3.7. Normas Aplicáveis.....	38
2.4. Estudo dos Aditivos e Adições	39
2.4.1. Definições	39

2.4.2. Uso dos Aditivos	39
2.4.3. Classificação	39
2.4.4. Descrição dos Efeitos dos Aditivos mais Usados sobre o Concreto ..	40
2.4.5. Retardadores	47
2.5. Estudo dos Selantes de Juntas	48
2.5.1. Objetivos da Selagem de Juntas	48
2.5.2. Requisitos Necessários aos Materiais Selantes	49
2.5.3. Dimensionamento do Reservatório do Selante - Fator de Forma ...	53
2.5.4. Conclusão	58
3. ESTUDO DOS CONCRETOS	59
3.1. Introdução	61
3.2. Estudo do Traço do Concreto	62
3.3. Ensaio de Caracterização dos Materiais	62
3.4. Ensaio de Caracterização do Concreto	63
3.5. Controle de Qualidade dos Materiais e do Concreto.....	63
3.6. Normas Aplicáveis.....	63
3.6.1. Para o Estudo do Traço, Caracterização dos Materiais e Ensaio no Concreto.....	63
3.6.2. Para os Ensaio de Controle da Qualidade do Concreto Durante a Execução do Pavimento.....	63
4. PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	65
4.1. Introdução	67
4.2. Características do Subleito.....	69
4.3. Estudo de Traçado	70
4.4. Projeto de Sub-base.....	71
4.4.1. Objetivos	71
4.4.2. Recomendações	72

4.4.3.	Tipos de Sub-Base	73
4.4.4.	Coeficiente de Recalque	77
4.5.	Projeto de Drenagem	82
4.5.1.	Objetivos	82
4.5.2.	Sistemas de Drenagem	82
4.5.3.	Dimensionamento da Drenagem	83
4.6.	Dimensionamento da Espessura dos Pavimentos Rígidos	87
4.6.1.	Objetivo	87
4.6.2.	Pavimentos de Concreto Simples – Método da Portland Cement Association – PCA – 1984.....	87
4.6.3.	Pavimentos de Concreto Simples – Método da Portland Cement Association – PCA – 1966.....	119
4.6.4.	Pavimento Tipo Whitetopping.....	132
4.6.5.	Sobrelaje Sobre Estrutura de Concreto.....	133
4.6.6.	Pavimento Estruturalmente Armado.....	134
4.6.7.	Pavimento com Peças Pré-Moldadas de Concreto	151
4.7.	Projeto Geométrico do Pavimento Rígido	152
4.7.1.	Introdução	152
4.7.2.	Característica das Juntas em Pavimentos Rodoviários de Concreto (Tipos e Funções)	153
4.7.3.	Tipos de Materiais Selantes e de Enchimento de Juntas	164
4.8.	Projeto de Acostamentos	167
4.8.1.	Espessura	167
4.8.2.	Geometria	168
4.8.3.	Subleito	168
4.8.4.	Projeto de Juntas	168
4.8.5.	Continuidade entre a Pista e o Acostamento	170

4.8.6.	Selagem de Juntas	171
4.8.7.	Características da Superfície de Rolamento	172
4.8.8.	Acostamento de Solos Estabilizados	172
5.	EXECUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	175
5.1.	Execução de Sub-Base	177
5.2.	Execução de Pavimentos Rígidos	178
5.2.1.	Concreto Simples	178
5.2.2.	Pavimento Tipo Whitetopping.....	179
5.2.3.	Pavimento Estruturalmente Armado.....	181
5.2.4.	Concreto Rolado	183
5.2.5.	Pavimento com Peças Pré-Moldadas de Concreto	184
6.	CONSERVAÇÃO DOS PAVIMENTOS RÍGIDOS	189
6.1.	Introdução	191
6.2.	Inspeção de Pavimento Rígido.....	192
6.3.	CrITÉrios de Severidade	192
6.4.	Tipologia dos defeitos.....	192
6.5.	Procedimento para o cálculo do ICP - (Índice da Condição do Pavimento)	192
6.6.	Diretrizes para Operação de Pavimentos Rígidos e Práticas de Conservação	193
6.6.1.	Diretrizes para Operação de Pavimentos Rígidos	193
6.6.2.	Práticas de Conservação de Pavimentos Rígidos	198
6.7.	Reabilitação dos Pavimentos Rígidos	215
6.7.1.	Diretrizes Gerais para a Avaliação das Condições Estruturais do Pavimento a ser Reabilitado	215
6.7.2.	Levantamento dos Dados do Pavimento Existente	215
6.7.3.	Avaliação da Condição Global do Pavimento Existente	217

6.7.4. Análise das Soluções Potenciais para a Reabilitação	218
6.7.5. Escolha da Alternativa de Reabilitação Mais Adequada	219
6.7.6. Tipos de Reabilitação	220
APÊNDICE I	223
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	229

1 - INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O Manual de Pavimentos Rígidos foi editado inicialmente em 1989, como sendo o resultado de uma pesquisa sobre o assunto, na qual foi realizada uma ampla consulta bibliográfica para compilação e análise das metodologias adotadas por órgãos rodoviários nacionais e internacionais, além da revisão e elaboração de normas técnicas, que contou com a participação de especialistas nas áreas de pavimentação rígida, tecnologia do concreto, geologia e geotécnica.

Foram desenvolvidos, ainda, estudos experimentais complementares, sobre temas não consensuais na época, tais como: o comportamento dos materiais selantes de juntas, a utilização de correlação entre as resistências mecânicas do concreto e as técnicas de inspeção dos defeitos e avaliação de pavimentos.

Após cerca de 12 anos de utilização deste Manual considerou-se necessária a sua revisão, não apenas para aperfeiçoar metodologias e normas técnicas, bem como torná-lo mais atualizado, incluindo novas tecnologias que estão sendo adotadas na pavimentação rígida, tais como o “Whitetopping” e o pavimento estruturalmente armado, para as quais também foram desenvolvidos estudos experimentais e de acompanhamento de desempenho.

Outra alteração introduzida na revisão deste Manual foi a supressão dos textos das normas técnicas, para as quais são feitas apenas referências.

A revisão deste Manual é composta das seguintes partes:

- a) Materiais para concreto de cimento Portland
- b) Estudo dos concretos
- c) Projeto e dimensionamento
- d) Execução e controle tecnológico de sub-bases e de pavimento
- e) Conservação e Reabilitação

A aplicação criteriosa das recomendações contidas neste Manual, por pessoal técnico especializado, certamente conduzirá à obtenção de pavimentos seguros, duráveis e mais econômicos, tanto em relação a investimentos iniciais, quanto os recursos necessários para a sua manutenção.

**2 – MATERIAIS PARA CONCRETO
DE CIMENTO PORTLAND**

2 MATERIAIS PARA CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Os principais materiais empregados em pavimentos de concreto de cimento Portland, são o cimento portland, agregados graúdos, agregados miúdos, água, aditivos e materiais selantes de junta.

Nesta seção são apresentados os tipos destes materiais mais adequados e o modo de aferir suas qualidades e critérios para a seleção de fornecedores.

O estudo dos materiais foi subdividido nos seguintes itens:

- a) Estudo dos Agregados
- b) Estudo do Cimento Portland
- c) Estudo da Água de Amassamento
- d) Estudo dos Aditivos
- e) Estudos dos Materiais Selantes de Juntas

Em cada um desses itens são descritos os aspectos peculiares que o material deve apresentar quando empregado em obras de pavimentação, os critérios para a seleção de fontes ou de fornecedores, os procedimentos para a sua caracterização tecnológica e a indicação das Normas da ABNT (em suas últimas edições), DNER e DNIT para a qualificação destes materiais.

2.1 ESTUDO DOS AGREGADOS

2.1.1 INTRODUÇÃO

Nas obras rodoviárias são produzidos agregados para diversos fins, cada um deles exigindo características tecnológicas específicas.

Para os agregados destinados à produção de concreto de cimento portland destinado para as obras de pavimentação rígida, são exigidas condições especiais que diferem daquelas adotadas para concreto de edificações, pontes e outros tipos de estruturas. Isto se deve ao fato de ser necessário para o concreto de pavimentação, que ele tenha maior resistência à tração, menores variações volumétricas, menor suscetibilidade à fissuração, resistência à fadiga e elevada durabilidade à ação do meio ambiente e à ação abrasiva do tráfego.

A investigação das ocorrências de areais, cascalheiras e pedreiras, bem como os ensaios de caracterização tecnológica realizados em amostras extraídas destas ocorrências, deverão ser programados visando a obtenção daqueles objetivos.

2.1.2 ESTUDO GEOLÓGICO

Estes estudos deverão ser desenvolvidos em linhas gerais conforme o estabelecido nas instruções IS-02 do DNER – “Instruções de Serviço para Estudo Geológico” - devendo, entretanto, ser considerados na escolha de ocorrências para exploração, os aspectos geológicos e petrográficos peculiares aos materiais rochosos e granulares naturais destinados à produção de agregados para concreto de cimento portland. Tais aspectos estão relacionados com a compatibilidade que os agregados devem apresentar com o cimento Portland e a influência da sua forma e textura na trabalhabilidade do concreto.

No caso de materiais granulares naturais, principalmente aqueles de dimensão maior do que 4,8 mm, devem também ser considerados na escolha das ocorrências, os requisitos granulométricos e de dimensão máxima exigidos na produção do concreto.

A origem e processo de formação de um depósito mineral têm influência fundamental nas características dos agregados dele extraídos e, também, na maior ou menor aptidão que esta ocorrência terá para se transformar em uma jazida produtiva, técnica e economicamente.

No caso de jazidas de areia e pedregulho, a sua origem pode estar ligada a solos residuais provenientes da decomposição de rochas, devida aos processos intempéricos, ou solos transportados pelos diversos agentes naturais, sendo esta segunda hipótese é a mais comum para a maioria das regiões brasileiras.

Quanto às pedreiras, a natureza petrográfica da rocha e o sistema produtivo empregado na obtenção do material britado, assim como a sua origem, condicionarão fortemente suas características e, deste modo, pode-se esperar boa qualidade quando a matéria prima mineral é rocha ígnea intrusiva isotrópica, como por exemplo o granito.

Quanto às rochas extrusivas, tais como o basalto, podem resultar agregados mais lamelares e angulosos, além do mais, sujeitos à ocorrência de minerais deletérios, como as argilas expansivas do tipo da nontronita.

No caso de rochas sedimentares, pode-se esperar uma homogeneidade menor ao longo de uma mesma pedreira, proveniente de sua origem, que envolve produtos de degradação física e química de outras rochas aglutinadas por cimento natural. Dentre as rochas sedimentares, os melhores agregados para concreto são provenientes de calcários que os tornam menos friáveis, menos porosos e, portanto, mais coerentes e resistentes a ações mecânicas.

Quanto às rochas metamórficas, que são o resultado da ação de pressão e temperatura sobre rochas pré-existentes, aquelas que apresentam o melhor desempenho, quando transformadas em material granular, são os gnaisses, desde que sua foliação não seja exagerada.

A presença de sistemas de descontinuidades no maciço rochoso pode, às vezes, inviabilizar o seu aproveitamento como fonte de matéria prima para agregado,

especialmente se houver preenchimento por material secundário inconsistente. Além disso a ocorrência de camada espessa de estéril recobrindo a ocorrência mineral e o excesso de alteração intempérica podem inviabilizar a exploração comercial de jazimentos minerais. Assim, um criterioso levantamento geológico de campo deve ser executado para avaliação das características da jazida.

2.1.3 PROSPECÇÃO DE JAZIDAS E PEDREIRAS

Na investigação das ocorrências de areais, cascalheiras e pedreiras deverão ser procuradas ocorrências que apresentem menores custos de escavação, transporte e beneficiamento e que os materiais delas provenientes, além de serem adequados como agregados para concreto de pavimentação, possam originar concretos econômicos e mais duráveis.

Na escolha dessas fontes, portanto, o importante é avaliar o custo do concreto obtido com os diversos tipos de agregados disponíveis e não apenas o custo direto da produção desses agregados.

Os principais aspectos tecnológicos a serem observados nos agregados para concreto de pavimentação são:

- a) Influência do agregado na resistência mecânica do concreto, principalmente na resistência à tração na flexão;
- b) Presença de materiais deletérios nos agregados que possam ao longo do tempo provocar variações volumétricas ou então causar-lhes degradação, conferindo-lhes a condição de “não-inerte”.

2.1.3.1 NA FASE DE ANTEPROJETO

Os procedimentos recomendáveis para prospecção de jazidas e pedreiras, na fase de anteprojeto, podem ser divididos em duas etapas:

a) 1ª Etapa

A primeira etapa envolve a localização, inspeção geológica e geotécnica e cadastramento de ocorrências. Ela deverá ser iniciada com a coleta de informações regionais, inspeção visual e registro de ocorrências que tenham se efetivado anteriormente no sentido da exploração de materiais rochosos na região de interesse.

Os materiais rochosos destinados à produção de agregados devem apresentar como condição limite de resistência, aquela que permita sua britagem, isto é, que seja produzido no mínimo cerca de 70% de material com grãos de tamanho superior a 4,8 mm para cada m³ de rocha britada. Caso contrário, o material rochoso é anti-econômico para a produção de agregado, devendo essa ocorrência ser descartada.

Para se avaliar simplesmente a resistência da rocha, existe o ensaio de compressão puntiforme, que pode ser realizado no campo. Entretanto, para se ter idéia da

possibilidade de obtenção econômica de britas do material pétreo em estudo, podem ser realizados os ensaios de esmagamento ou impacto, que informam de maneira expedita se a rocha apresenta resistência suficiente para ser britada. Estes ensaios apresentam, contudo, a dificuldade de não poderem ser feitos no campo e, portanto, exigirem transporte de amostras para Laboratórios Centrais.

As cartas topográficas, levantamentos aerofotogramétricos e bibliografia técnica devem ser procurados para o acervo de dados que irá complementar as informações colhidas no campo. No caso de areia e pedregulho, devem ser obtidas informações preliminares sobre composição granulométrica, constituição mineralógica que possa ser reconhecida à vista desarmada ou lupa portátil, e estimativa grosseira de espessura das camadas etc.

A friabilidade dos pedregulhos e o tipo de matriz que os envolve, são características que devem ser verificadas nesta fase, devido à influência delas no rendimento de produção de agregados com os materiais dessas ocorrências.

Para pedreiras, devem ser colhidas informações preliminares sobre o tipo de rocha, descontinuidades presentes, grau de intemperismo e, quando possível, espessura de estéril.

b) 2ª Etapa

A segunda etapa constará da pré-seleção das ocorrências mais promissoras, que serão alvo de detalhamento; baseia-se, geralmente, no resultado de programas de prospecção por sondagem, orientados pelos dados iniciais da primeira etapa, objetivando uma avaliação do volume e da qualidade do material disponível. É importante uma racionalização do número de sondagens a ser efetuado, evitando-se os excessos que oneram sensivelmente os custos da prospecção e, neste caso, a primeira etapa adequadamente conduzida contribuirá com resultados extraordinários neste sentido.

Quando a pesquisa se destina a areia ou pedregulho, as técnicas de prospecção são condicionadas principalmente pelo tipo de depósito, características geométricas da ocorrência, topografia, vias de acesso e, quando for o caso, pela espessura da lâmina d'água. Nesta etapa pode-se lançar mão, nos depósitos submersos, da "sondagem a varejão", na qual uma barra metálica ou de madeira com ponteira de aço é introduzida no fundo do rio, a partir de uma pequena embarcação que se movimenta de forma sistemática. Essa técnica permite o reconhecimento da distribuição do depósito e uma noção da granulometria de seu material constituinte.

Para investigação em depósitos não submersos, as técnicas mais comumente empregadas são os trados manuais, trincheiras e poços de inspeção. Com o trado manual é possível alcançar até 10 metros de profundidade; entretanto, há limitações devidas ao nível d'água, compacidade e granulometria do depósito. As trincheiras, em geral, alcançam profundidades bem menores, mas permitem melhor visualização da distribuição espacial da ocorrência. Os poços de inspeção também possuem, em escala menos ampla, essa característica, porém vão além das profundidades

atingidas pelas trincheiras e podem ter seu alcance ampliado, efetuando-se sondagens a trado a partir do seu fundo.

Quando se tratar de pesquisa de pedreiras, esta etapa deverá envolver técnicas prospectivas, tais como as sondagens manuais para avaliação de estéril, sondagens rotativas e métodos geofísicos (que podem ser elétricos ou sísmicos). As amostras podem ser colhidas, portanto, por percussão com ponteira e marreta, pela coleta de blocos e fragmentos que estejam visualmente inalterados ou serem constituídas de testemunhos de sondagem.

Uma verificação importante a ser feita nessa fase é a presença de materiais deletérios não-inertes, tanto no material pétreo como nos materiais granulares naturais, que poderão se constituir no futuro, em elementos destruidores do pavimento, reduzindo a sua durabilidade e conseqüentemente a sua vida útil. Alguns desses elementos poderão ter seus efeitos neutralizados por meio de providências corretivas não sendo, portanto, fatores de restrição ao uso do material no concreto, mas tais providências poderão trazer ônus desnecessários para a obra. Para outros elementos deletérios, tais como a pirita e argilo-minerais expansivos, não se dispõe de providências corretivas e as ocorrências, onde for detectada a presença deles, não devem ser consideradas como fontes de obtenção de agregados.

2.1.3.2 NA FASE DE PROJETO

Na fase de projeto deverá ser complementada a caracterização dos depósitos que foram levantados na fase de anteprojeto, envolvendo a determinação dos volumes disponíveis e possibilidade de produção.

Nessa fase deve-se visar o conhecimento mais acurado das ocorrências mais promissoras que foram selecionadas na etapa de anteprojeto. Assim, quando se tratar de jazida de areia ou pedregulho, promover-se-á a intensificação das sondagens a trado ou poços, ou então a investigação de profundidades maiores, utilizando-se sondagens mecânicas, em geral com diâmetro de até 20 cm.

A malha de sondagens, com distância entre os pontos que pode variar de 20 metros a 60 metros, deve ser criteriosamente estudada em função dos dados geológicos levantados na fase de anteprojeto. Nesta fase devem ser executados ensaios completos de caracterização, sendo recomendável para cascalho com dimensão máxima até 5,0 cm, a coleta de 50 a 100 kg de material por camada.

Para pedreiras, nesta fase, deverão ser completadas as informações sobre o volume do material lavrável da jazida e do estéril, com sondagens rotativas de diâmetro de 20 a 30 cm.

Blocos de rocha, também, quando possível, deverão ser retirados com marreta e ponteira, ou por pequenas cargas explosivas. Para testes de britagem podem ser coletados blocos de 30 cm a 60 cm de aresta; estes testes podem ser efetuados por esmagamento, ou mais raramente por impacto, dependendo dos equipamentos que se pretenda utilizar

durante a exploração da pedreira. Tais testes são de grande importância, pois permitem estimar as quantidades e a forma das britas de cada graduação que poderão ser obtidas, as perdas e os finos resultantes, incluindo a areia artificial, também denominada de pó-de-pedra.

Para reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de pedregulho e areia deverá ser adotada a norma NBR 6491.

2.1.4 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

2.1.4.1 NA FASE DE ANTEPROJETO

Na fase de anteprojeto, por ocasião da pré-seleção das fontes de suprimento dos agregados para concreto, a caracterização tecnológica deles terá por objetivo a seleção definitiva destas fontes, mediante ensaios nos próprios agregados ou em argamassas e concretos obtidos com eles, segundo estabelecido nas normas da ABNT (em suas últimas edições), DNER e DNIT.

Nas amostras provenientes dessas fontes, deverá ser feita inicialmente a apreciação petrográfica dos materiais rochosos e dos pedregulhos e a análise mineralógica do agregado miúdo, conforme a Norma NBR 7389, para verificar a existência de minerais deletérios neles ocorrentes, que podem prejudicar o desempenho deles como agregado para concreto.

Para completar esta seleção de fontes deverão ser pelo menos analisadas as características discriminadas a seguir:

a) Material Rochoso

- absorção e massa específica (NBR 9937);
- abrasão Los Angeles (NBR 6465);
- esmagamento (NBR 9938).

b) Pedregulhos

- granulometria, dimensão máxima característica e módulo de finura (NBR 7217);
- teor de argila em torrões e materiais friáveis (NBR 7218);
- absorção e massa específica (NBR 9937);
- teor de material pulverulento (NBR 7219);
- índice de forma (NBR 7809);
- abrasão Los Angeles (NBR 6465);
- esmagamento (NBR 9938);

- teor de partículas leves (NBR 9936);
- 10% de finos (DNER-ME 96/98).

c) Agregados Miúdos

- granulometria, dimensão máxima característica e módulo de finura (NBR 7217);
- teor de argila em torrões e materiais friáveis (NBR 7218);
- massa específica e absorção (NBR 9776);
- teor de material pulverulento (NBR 7219);
- teor de impurezas orgânicas húmicas (NBR 7220);
- teor de partículas leves (NBR 9936).

Dependendo das informações fornecidas pela apreciação petrográfica, outros ensaios deverão ser realizados. Entre eles:

- a) resistência à compressão axial da rocha (NBR 5739);
- b) ciclagem artificial e acelerada, para rochas e pedregulhos (NBR 12696 / NBR 12697);
- c) reatividade potencial aos álcalis, para agregados miúdos, pedregulhos e rochas (Método Acelerado ASTM-C-1260).
 - quando houver dúvidas sobre a reatividade do material, utilizar a Norma NBR 9733;
 - para as rochas carbonáticas, utilizar a Norma NBR 10340;
- d) teor de cloretos e sulfatos solúveis em água para o agregado miúdo natural, quando houver suspeita de contaminação por essas substâncias (NBR 9917).

A frequência de cada ensaio deverá ser fixada em função das características da jazida, da obra, do clima e da confiança nos fornecedores, podendo estar ela relacionada a amostras simples ou compostas, de acordo com o programa de controle definido.

No caso de haver disposições específicas para amostragem, os procedimentos para este fim deverão seguir os princípios gerais da norma NBR NM-27.

2.1.4.2 NA FASE DE PROJETO

Na fase de projeto deverão ser realizados, nas amostras coletadas por ocasião do detalhamento das jazidas, além dos ensaios especificados na fase de anteprojeto, os seguintes ensaios:

- a) ensaio de consistência, comparando a quantidade necessária de água para manter a mesma plasticidade em argamassa de mesmo traço, variando apenas os tipos de areia em estudo.

- b) qualidade do agregado graúdo, comparando-se as resistências obtidas em concretos de traços de iguais características, nos quais varia-se apenas o tipo do agregado graúdo.
- c) qualidade do agregado miúdo, comparando-se as resistências obtidas em argamassas de traços iguais, variando-se apenas o tipo de agregado conforme a Norma ABNT-NBR 7221.

De posse dos resultados obtidos nas amostras das fontes selecionadas, tanto na fase de anteprojeto como na fase de projeto, deverão ser estabelecidos os índices de qualidade dos agregados na especificação da obra.

Esses índices de qualidade deverão ser, em princípio, aqueles de uso corrente e padronizado, que constam na Norma NBR 7211. É possível, entretanto, dependendo do tipo de material encontrado ou do processo executivo de pavimentação, que haja necessidade de se estabelecer outros índices ou a modificação dos valores exigidos nos índices normalmente utilizados.

O controle de qualidade do agregado, a ser exercido durante a obra, visa detectar alterações na sua qualidade, que podem ocorrer, entre outras causas, por:

- a) Mudança nos pontos de extração, que poderá provocar até mesmo o fornecimento de agregados de rochas de diferentes estruturas e falta de homogeneidade granulométrica;
- b) Intempéries, que alteram sensivelmente os teores de impurezas orgânicas, materiais argilosos e pulverulentos;
- c) Problemas relacionados com a britagem do material rochoso, tais como alteração na calibração dos britadores, britagem em dias chuvosos, britadores trabalhando afogados ou mais vazios;
- d) Excesso de abertura da malha nas peneiras classificatórias, devido ao seu uso prolongado, ou utilização de malhas com abertura sem conformidade com a especificação;
- e) Misturas nas pilhas de estocagem, etc.

Todas as características dos agregados que afetam a qualidade do concreto, deverão ser consideradas no programa de controle de qualidade elaborado para a obra.

2.1.4.3 DURANTE AS CONCRETAGENS

As características dos agregados miúdos e graúdos que deverão ser verificadas no transcorrer da obra são:

- a) granulometria, dimensão máxima característica e módulo de finura (NBR 7217);
- b) teor de argila em torrões e materiais friáveis (NBR 7218);

- c) massa específica e absorção (NBR 9937);
- d) teor de material pulverulento (NBR 7219);
- e) teor de impurezas orgânicas húmicas (NBR 7220);
- f) teor de umidade (NBR 9775).

Em relação aos ensaios indicados, deve ser observado que as análises do próprio concreto, nos estados frescos e endurecido, poderão indicar a necessidade de introdução de outros ensaios no programa de controle.

2.1.4.4 ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NAS NORMAS DE ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

- a) No ensaio de resistência ao esmagamento (NBR 9938), deverá ser adotada a média de pelo menos duas determinações, induzindo maior confiabilidade aos resultados obtidos.
- b) Na determinação da resistência mecânica pelo método de 10% de finos (DNER-ME 96/98), a utilização de amostras provenientes da cominuição de grãos maiores deve ser evitada e somente empregada, quando o exame visual sob a lupa não revelar danos nos grãos a serem ensaiados, que possam interferir no resultado do ensaio. Recomenda-se que o resultado deva ser a média de duas determinações, o que aumentará a confiabilidade no resultado do ensaio, pela possibilidade de que eventuais enganos possam ser detectados.
- c) O ensaio de equivalente de areia, originalmente desenvolvido como um procedimento de determinação quantitativa expedita de partículas finas em solos, não tem aplicação consagrada na tecnologia de agregados para concreto, mas é muito utilizado no controle de pavimentação, principalmente quando se utilizam britas graduadas. Na tecnologia de concreto, são utilizados tradicionalmente os ensaios de determinação do teor de argila em torrões e de materiais pulverulentos, que são bastante simples e utilizam utensílios amplamente disponíveis em todo o território nacional. Assim, deve ser adotada neste ensaio a norma DNER-ME 054/63.
- d) A determinação da sanidade do agregado com a utilização de ciclagem em solução saturada de sulfato de sódio ou magnésio foi criada com a finalidade de simular as condições de congelamento e degelo a que se submetem os concretos em regiões frias. Esse tipo de clima, envolvendo queda de neve e formação de gelo por temporadas mais ou menos prolongadas não ocorre em nosso país, o que torna desnecessário esse ensaio na prática habitual da tecnologia de concreto. A realização desse ensaio somente se justifica como uma informação acessória sobre o estado de degradação intempérica do agregado, quando não for disponível a apreciação petrográfica ou ensaios específicos de ciclagem. Nesse caso, deve ser adotada a norma DNER-ME 89/97.
- e) Em relação à Foto-interpretação Geológica, deve-se dar continuidade à aplicação da Norma DNER-PRO 12/95 - Foto-interpretação Geológica Aplicada à Engenharia Civil.

Esta norma deverá ser reavaliada pelo DNIT, por se tratar de um texto bastante completo, envolvendo desde definições básicas até indicações de entidades que dispõem de documentação foto-geológica, a escolha de escalas compatibilizadas com a fase de trabalho da engenharia a que se destina o levantamento, incluindo critérios de interpretação e simbologias empregadas.

- f) A massa específica dos agregados adotada e utilizada em tecnologia de concreto, especialmente na dosagem dos materiais, é a massa específica no estado saturado superfície seca, definida como sendo a relação entre a massa do agregado na condição saturada superfície seca e o seu volume, excluídos os vazios permeáveis. Os vazios permeáveis são definidos como sendo as descontinuidades ligadas diretamente à superfície que, na condição saturada superfície seca, são passíveis de reter água.
- g) A determinação do teor de partículas leves, baseia-se na separação por imersão em líquidos densos (solução de cloreto de zinco e tetrabromoetano), das partículas leves com densidade, em geral, inferior a $2,00 \text{ g/cm}^3$, tais como carvão, lignito, fragmentos vegetais etc.
- h) Os cloretos e os sulfatos podem interferir negativam
- i) ente nas características do concreto fresco e endurecido e na sua durabilidade. Assim, a contribuição que o agregado pode dar para incrementar suas concentrações no concreto pode ser avaliada por esse método.
- j) A reatividade de certos tipos de agregados com o álcalis do cimento ou proveniente de outras fontes, é atualmente determinada pelo método acelerado ASTM-C-1260, que em 16 dias informa sobre a probabilidade de ocorrer esta reação expansiva. Se a expansão observada naquela idade for inferior a 0,10%, considera-se o agregado inócuo. Se esta expansão for maior que 0,20%, o agregado é considerado reativo. Se a expansão estiver entre 0,10% e 0,20% há dúvidas quanto à ocorrência da reação, dúvida esta que deverá ser esclarecida com o ensaio de longa duração (6 meses) da Norma NBR 9733. Para avaliar a reatividade de agregados de natureza calcárea, deve ser adotada a Norma NBR 10340.

2.2 ESTUDO DO CIMENTO PORTLAND

2.2.1 INTRODUÇÃO

O cimento Portland é composto de clínquer e de adições, que são misturadas ao clínquer na fase de moagem e que podem variar de um tipo de cimento para outro, sendo elas um dos fatores que definem os diferentes tipos de cimentos.

Estas adições, que devem ser finamente moídas, são:

- A escória de alto forno, obtida durante a produção de ferro gusa nas indústrias siderúrgicas e que tem forma e granulometria de areia, média para grossa, para as

quais se exige que tenham o índice de basicidade, definido na Norma NBR 5735, igual ou maior que 1.

- Os materiais pozolânicos podem ser provenientes de rochas vulcânicas, de certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas e as cinzas provenientes da queima de carvão mineral. Estes materiais devem apresentar uma atividade pozolânica com o cimento, determinada conforme a Norma NBR 5752, maior que 75% aos 28 dias.
- Materiais carbonáticos, com pelo menos 85% de CaCO_3 .

Em função do tipo e teor de adições, são normalizados pela ABNT os seguintes tipos de cimento:

- a) Cimento Portland comum - tipo CPI (NBR 5732)
 - Sem adição : tipo CPI
 - Com adição de materiais carbonáticos: tipo CPI-S
- b) Cimento Portland composto - tipo CPII (NBR 11578)
 - Com adição de escória: tipo CPII-E
 - Com adição de materiais pozolânicos: tipo CPII-Z
 - Com adição de materiais carbonáticos: tipo CPII-F
- c) Cimento Portland de alto forno - tipo CPIII (NBR 5735)
- d) Cimento Portland Pozolânico - tipo CPIV (NBR 5736)
- e) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI) - tipo CPV (NBR 5733)
- f) Outros tipos:
 - Cimento Portland Branco Estrutural - tipo CPB (NBR 12989)
 - Cimento Portland resistente aos sulfatos (NBR 5737)
 - Cimento Portland de baixo calor de hidratação (NBR 13116)

Quanto à resistência à compressão, os cimentos CPI, CPII e CPIII, são classificados em CP-25, CP-32 e CP-40, que apresentam resistência mínima a compressão pelo ensaio padrão ABNT, na idade de 28 dias de respectivamente 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa. Para o cimento CPIV são produzidos apenas os tipos CP25 e CP32, enquanto para o cimento CPV, é normalizado apenas um tipo quanto à resistência.

Para a execução dos pavimentos de concreto não são feitas exigências especiais quanto ao tipo de cimento e quanto aos índices físicos e químicos que estes tipos devem apresentar. Entretanto, os cimentos que apresentam maior eficiência no concreto (com maiores resistências para menores consumos) são aqueles cujo processo de endurecimento com o tempo seja mais lento (desde que não haja necessidade de abertura rápida ao tráfego), têm-se mostrados mais adequados para este tipo de obra. A

escolha do tipo ou marca do cimento mais conveniente, quando esta escolha for possível, poderá trazer maior economia para a obra, além de maior qualidade e durabilidade, pela redução da probabilidade de fissuração.

Para a execução de pavimentos de concreto, os tipos de cimento recomendados são:

- a) Cimento Portland Comum (NBR 5732);
- b) Cimento Portland Composto (NBR11578);
- c) Cimento Portland de Alto Forno (NBR 5735);
- d) Cimento Portland Pozolânico (NBR 5736).

Eventualmente, no caso de reparos em pequenas áreas, onde deve ser mínima a interrupção do tráfego, pode-se utilizar o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (NBR 5733). O cimento branco estrutural, desde que se disponha deste tipo de cimento, pode ser uma boa opção, principalmente quanto à segurança no tráfego, devido à sua cor mais clara.

2.2.2 SELEÇÃO DAS FONTES DE ABASTECIMENTO

O cimento, diferentemente das rochas, cujas características são determinadas por processos naturais, tem suas propriedades dentro de limites bastante variáveis, originadas por formulações do produtor.

Certas propriedades específicas dos cimentos, conferem às argamassas e concretos variações de desempenho, que podem vir a ser técnica e economicamente significativas.

Os fabricantes de cimento produzem os tipos que mais lhes convém, de acordo com a localização de cada fábrica e a facilidade de obter insumos.

Portanto, o primeiro critério para a seleção dos fornecedores de cimento diz respeito à disponibilidade do tipo adequado a uma determinada obra.

Esse tipo adequado será relacionado às características do meio ambiente, dos outros constituintes do concreto e do sistema construtivo previsto.

A escolha será feita levando-se em consideração ensaios conjuntos com os demais constituintes do concreto, visando obter concreto mais econômico e com menor suscetibilidade à fissuração e à exsudação.

Quando o agregado disponível for reativo com os álcalis do cimento, deverá ser escolhido para uso na obra, um cimento que seja eficaz na inibição desta reação. De uma maneira geral, um cimento com adição de no mínimo 50% de escória e 30% de material pozolânico, costuma ser eficaz na neutralização daquela reação. Esta condição deve entretanto ser confirmada em ensaios.

Objetivando assegurar a continuidade do suprimento à obra, sempre que o volume da obra permitir e houver disponibilidade de fornecedores a distâncias de transporte economicamente viáveis, deverão ser selecionadas, no mínimo, duas fontes de fornecimento.

2.2.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Na fase de anteprojeto, as características da qualidade dos cimentos devem ser obtidas por coleta de informações junto aos próprios fabricantes.

A caracterização tecnológica na fase de projeto deverá ser feita segundo prescrições da especificação correspondente ao tipo de cimento escolhido.

Os contratos de fornecimento, portanto, deverão contemplar tais prescrições.

Deve-se ressaltar, entretanto, que em contratos objetivando o fornecimento contínuo por vários meses, a introdução de cláusulas especiais de controle de uniformidade tem se mostrado conveniente.

Estas cláusulas são imprescindíveis para a obtenção de informações necessárias à correta interpretação dos ensaios e à constatação da manutenção das características do produto ao longo do tempo.

Durante a obra, é aconselhável que os lotes, antes de liberados pelo produtor, sejam submetidos a inspeção na própria fábrica, procedimento que não dispensaria o controle de recepção a ser executado no laboratório da obra ou de terceiros.

Não sendo estabelecido nenhum critério especial, a amostragem deverá seguir os princípios da norma NBR 5741 – “Extração e Preparação de Amostras - Cimento Portland”.

Para compatibilizar as características diferentes dos cimentos produzidos por mais de uma fonte, com as necessidades da obra, a utilização de mistura de cimentos de marcas diferentes deverá, quando for o caso, ser prevista na especificação da obra, onde serão estabelecidas as condições para realização dessa mistura.

2.2.4 EXIGÊNCIAS NORMATIVAS PARA OS DIVERSOS TIPOS DE CIMENTO PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO

As exigências estabelecidas para o cimento Portland destinado a obras de pavimentação rígida constam da Norma DNIT 050/2004-EM.

Tais exigências, em resumo, constam nas Tabelas 1, 2 e 3, apresentadas a seguir:

TABELA 1 – Teores dos componentes (% em massa)

TIPO	SIGLA	CLASSE DE RESISTÊNCIA	CLÍNQUER + SULFATO DE CÁLCIO (GESSO)	ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO-FORNO	MATERIAL POZOLÂNICO	MATERIAL CARBONÁTICO
CIMENTO PORTLAND COMUM	CPI CP-IS	25-32-40	100	-	-	-
		25-32-40	99 - 95	-	-	1 - 5
CIMENTO PORTLAND COMPOSTO	CPII E	25-32-40	94 - 56	6 - 34	-	0 - 10
	CPII Z	25-32-40	94 - 76	-	6 - 14	0 - 10
	CPII F	25-32-40	94 - 90	-	-	6 - 10
CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL	CPV ARI	-	100 - 95	-	-	0 - 5
CIMENTO PORTLAND DE ALTO FORNO	CPIII	25-32-40	65 - 25	35 - 70	-	0 - 5
CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO	CPIV	25-32	85 - 45	-	15 - 50	0 - 5

TABELA 2 – Exigências químicas (% em massa)

TIPO DE CIMENTO PORTLAND	RESÍDUO INSOLÚVEL	PERDA AO FOGO	MgO	SO ₃	CO ₂	S
CPI CPI-S	≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 1,0	-
	≤ 5,0	≤ 4,5				-
CPII-E CPII-Z CPII-F	≤ 2,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 5,0	-
	≤ 16,0					-
	≤ 2,5					-
CPIII	≤ 1,5	≤ 4,5	-	≤ 4,0	≤ 3,0	≤ 1,0
CPIV	(1)	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 3,0	-
CPV-ARI	≤ 1,0	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 3,5 (2) ≤ 4,5 (2)	≤ 3,0	-

(1) O teor de material pozolânico no cimento pode ser avaliado pelo ensaio de resíduo insolúvel.

(2) O teor de SO₃ igual a 3,5 aplica-se quando C₃A ≤ 8,0%. O teor de 4,5% quando C₃A > 8,0%.

Nota: As exigências químicas do cimento Portland resistentes aos sulfatos e do cimento Portland de baixo calor de hidratação constam das normas NBR 5737 e NBR 13116, respectivamente.

TABELA 3 – Exigências físicas e mecânicas

Tipo de Cimento Portland	Classe de Resistência	Finura		Tempos de pega (h)		Expansibilidade (mm)		Resistência à compressão (MPa)				
		Resíduo na peneira 75 μ (%)	Área específica (m ² /kg)	Início	Fim	A frio	A quente	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
CPI CPI-S	25	≤12,0	≥240	≥1	≤10 (1)	≤5(1)	≤5	-	≥8,0	≥15,0	≥25,0	-
	32	≤12,0	≥260						≥10,0	≥20,0	≥32,0	
	40	≤10,0	≥280						≥15,0	≥25,0	≥40,0	
CPII-E CPII-Z CPII-F	25	≤12,0	≥240	≥1	≤10 (1)	≤5(1)	≤5	-	≥8,0	≥15,0	≥25,0	-
	32	≤12,0	≥260						≥10,0	≥20,0	≥32,0	
	40	≤10,0	≥280						≥15,0	≥25,0	≥40,0	
CPIII	25	≤8,0	-	≥1	≤12 (1)	≤5(1)	≤5	-	≥8,0	≥15,0	≥25,0	≥32,0
	32								≥10,0	≥20,0	≥32,0	≥40,0
	40								≥12,0	≥23,0	≥40,0	≥48,0
CPIV	25	≤8,0	-	≥1	≤12 (1)	≤5(1)	≤5	-	≥8,0	≥15,0	≥25,0	≥32,0
	32								≥10,0	≥20,0	≥32,0	≥40,0
CPV-ARI		≤6,0	≥300	≥1	≤10 (1)	≤5(1)	≤5	≥14,0	≥24,0	≥34,0	-	-

(1) Ensaio facultativo.

Outras características podem ser exigidas, como a inibição da expansão devida à reação álcali-agregado, tempo máximo de início de pega.

2.3 ESTUDO DA ÁGUA DE AMASSAMENTO

2.3.1 INTRODUÇÃO

A água destinada ao amassamento e cura deve ser isenta de substâncias prejudiciais ao processo de pega e endurecimento do concreto, presumindo como satisfatórias as águas tratadas e utilizadas para o abastecimento das populações das cidades.

Entretanto, a idéia geral que parte da premissa de que “se a água é boa para beber, também será boa para o uso na fabricação do concreto”, nem sempre traduz a verdade. A presença de pequenas quantidades de açúcar, por exemplo, não torna a água imprópria para beber, mas pode torná-la insatisfatória como água de amassamento.

Em caso de dúvidas ou então quando a água disponível para uso no concreto for não tratada, isto é, quando for proveniente de poços, córregos, rios ou reservatórios naturais, deverão ser realizados ensaios de caracterização tecnológica em amostras desta água.

2.3.2 IMPUREZAS E SUAS INFLUÊNCIAS

A respeito da adequação da água à fabricação do concreto, algumas especificações requerem apenas que ela seja limpa e livre de substâncias deletérias. Outras especificações estabelecem que, se a água não provém de fonte de qualidade comprovada, devem ser feitos ensaios comparativos de tempo de pega e de resistência à

compressão. No entanto, a possibilidade de uma água ser ou não empregada como água de amassamento, fica condicionada a duas questões fundamentais:

- a) Como e quais as impurezas que, carregadas pela água, afetam negativamente o concreto?
- b) Qual o teor máximo permissível de impureza?

2.3.2.1 SUBSTÂNCIAS EM SUSPENSÃO

Normalmente, as substâncias que se encontram em suspensão na água são o silte e a argila, caracterizando-se sua existência pela turbidez do líquido. O Bureau of Reclamation estabelece o índice máximo de turbidez em 2000 partes por milhão, para águas de amassamento. A prática corrente brasileira limita a ocorrência máxima de resíduo sólido em 5000 mg/l.

Quanto à influência dessas partículas, observa-se que uma pequena quantidade de argila bem dispersa, de dimensões coloidais (iguais ou inferiores a 2 μm), poderá fechar os poros capilares do cimento endurecido, ou os que existem entre o cimento e o agregado, contribuindo para o aumento de compacidade da massa. Apesar disso, a presença de maior quantidade desse material impede a cristalização perfeita dos produtos da hidratação, interpondo-se entre os cristais em crescimento e em vias de colagem e comprometendo a coesão interna do meio resultante.

Quantidades de substâncias em suspensão superiores à mencionada podem não afetar as resistências mecânicas do concreto, mas, sim, outras propriedades da mistura.

2.3.2.2 SUBSTÂNCIAS EM SOLUÇÃO

As substâncias em solução encontradas nas águas naturais são compostas principalmente de sais, cuja influência se manifesta pela ação dos seus íons, que pode ser classificada em três tipos:

- a) íons que alteram as reações de hidratação do cimento;
- b) íons que podem levar à expansão a longo prazo (como, por exemplo, os sulfatos e os álcalis);
- c) íons capazes de provocar a corrosão das armaduras.

No primeiro caso, a pega e o endurecimento podem ser prejudicados pela combinação com o cálcio, que elimina ou reduz o teor de hidróxido de cálcio livre, alterando a hidratação dos componentes, em especial dos aluminatos.

As águas mais enquadráveis nessa situação são as magnesianas e as que contêm matéria orgânica sob a forma de ácidos húmicos.

No segundo caso, dentre os íons capazes de agir prejudicialmente a longo prazo, encontram-se os cátions Na^+ e K^+ , e o ânion SO_4^- , podendo atuar diretamente sobre o cimento (íon SO_4^-) ou sobre o agregado (íons SO_4^- , Na^+ , K^+), uma vez que o cimento, meio altamente alcalino, favorece as reações expansivas; daí, resulta a necessidade de limitar a concentração destes íons.

Normalmente, os álcalis (expressos em Na_2O), se superiores a 0,6 % da massa de cimento, são perigosos quando o agregado contém sílica criptocristalina, devendo limitar-se o teor de álcalis da água nessa proporção. Também o teor permissível de sulfatos (expresso em íons SO_4^-) é limitado, tolerando-se uma ocorrência máxima de 600 mg/l.

Quanto aos íons que agem na corrosão das armaduras, os mais importantes são os cloretos, os sulfetos, os nitratos e o amônio, com danos, principalmente quando se trata de concretos protendidos, nos quais, por estar a armadura submetida a tensões muito elevadas, a energia interna é grande, facilitando o desenvolvimento das reações químicas.

No caso do concreto para pavimentos a única restrição feita é quanto à concentração de cloretos, expressa em íons Cl^- , permitindo-se uma taxa máxima de 1000 mg/l.

Há ainda outros sais comumente encontrados nas águas naturais, como o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e o bicarbonato de sódio (NaHCO_3) que, segundo resultados de ensaios, exercem influência que depende do tipo de cimento empregado.

Grandes quantidades de carbonato de sódio aceleram a pega, ao passo que o bicarbonato de sódio pode funcionar como acelerador ou retardador de pega, conforme o tipo de cimento; assim, torna-se aconselhável a execução de ensaios para a determinação do tempo de pega e da resistência à compressão aos 28 dias, sempre que a soma das concentrações de carbonato e bicarbonato de sódio ultrapasse a 1000 ppm.

2.3.2.3 A INFLUÊNCIA DO PH

Embora o pH das águas naturais praticamente não tenha influência nas propriedades dos concretos, algumas considerações merecem destaque.

Raramente tais águas apresentam valores de pH inferiores a 4, sendo o ácido contido rapidamente neutralizado pelo contato com o cimento. A acidez das águas naturais é comumente atribuída à concentração de dióxido de carbono (CO_2) em solução, que raramente excede a 10 ppm de CO_2 . O ácido clorídrico (HCl) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4) são outros indicadores de acidez do meio, funcionando como retardadores de pega do cimento, cuidando-se, no entanto, que os teores de íons SO_4^- e Cl^- não se elevem acima dos limites permitidos.

A alcalinidade das águas é conferida pelos carbonatos e bicarbonatos alcalinos. Os bicarbonatos, conforme já mencionado, retardam ligeiramente a pega; em proporções superiores a 0,2 % - conforme a composição química do cimento - aceleram-na, diminuindo, no entanto, as resistências em idades elevadas.

2.3.2.4 A INFLUÊNCIA DAS SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS

Dentre as substâncias orgânicas que, presentes na água, podem alterar as características dos concretos, os óleos minerais, hidratos de carbono e os açúcares merecem especial atenção.

Os óleos minerais, numa concentração de até 2 % da massa do cimento, não afetam a resistência mecânica do concreto; o aumento dessa concentração - por exemplo, de 10% provocam reduções que podem exceder 30%.

A natureza da matéria orgânica determina a influência mais provável: se composta de ácidos húmicos ou hidratados de carbono, normalmente retarda a pega, mas não tem qualquer outro efeito prejudicial a longo prazo, o que não se verifica quando a matéria orgânica provém de certas algas, podendo nesse caso ocasionar sensíveis variações, para menos, na resistência à compressão.

Quanto aos açúcares, tidos como agentes retardadores de pega e redutores da resistência do concreto, requerem um estudo mais aprofundado, pois nem sempre eles se comportam da maneira mencionada.

Os estudos de laboratório têm mostrado que pequenas quantidades de açúcar retardam a pega mas melhoram as resistências desenvolvidas ao longo do tempo. Aumentando a quantidade de açúcar, observa-se um retardamento muito grande da pega e uma redução acentuada das resistências nas primeiras idades (entre 2 e 7 dias), sendo que nas idades posteriores às resistências, se não melhoram, também não são prejudicadas. Concentrações ainda maiores tornam ultra-rápidas a pega, reduzindo efetivamente as resistências finais do concreto.

A quantidade de açúcar que causa esses diferentes efeitos, depende, entre outros fatores, do tipo de cimento.

Tuthill, Adams & Hemme verificaram que a sacarose, em concentrações entre 0,03 % e 0,06 % da massa de cimento, provoca atraso na pega do concreto e aumenta as resistências mecânicas nas idades de 2 e 3 dias.

Bloem verificou que concentrações de 0,1 % em relação à massa de cimento retardam consideravelmente a pega, mas aumentam a resistência aos 3 dias de idade da argamassa, e concluiu que parece ocorrer aceleração da pega quando a concentração de açúcar está em torno de 0,15 %.

A mesma referência mostra que essa concentração e a de 0,2 % afetam prejudicialmente as resistências aos 3 dias; a taxa de 0,2 % reduz a resistência aos 7 dias, mas melhora a de 28 dias.

Os trabalhos desenvolvidos por Burchartz & Wrochem, Dautreband, Brocard, Vaicum mostram resultados de ensaios de laboratório que analisam detalhadamente o comportamento dos concretos em função da concentração de açúcar, fornecendo bons subsídios para estudos posteriores.

2.3.2.5 SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS

Dentre as substâncias inorgânicas carregadas pelas águas, algumas merecem especial atenção: os iodatos, os fosfatos, os arseniados e os boratos de sódio, os cloretos e sulfatos de zinco e cobre, os óxidos de zinco, os sulfetos de sódio e potássio, que, dependendo da concentração em que se encontram na água de amassamento, podem causar sérios distúrbios tanto na pega, como nas resistências do concreto.

Existem vários trabalhos que discorrem sobre o assunto, apresentando dados quantitativos e as conclusões dos pesquisadores, entre os quais o de Brocard.

2.3.2.6 GASES DISSOLVIDOS

As quantidades de gases dissolvidos na água de amassamento são, em geral, bem pequenas, e de influência quase nula no concreto fresco ou endurecido. O Manual on Industrial Water, da ASTM, indica que os gases mais comuns e as suas concentrações mais prováveis nas águas naturais são:

- a) dióxido de carbono livre (CO_2), que raramente excede a 10 ppm;
- b) oxigênio, cujo teor varia de 2 ppm a 8 ppm;
- c) ácido sulfídrico (H_2S), com teores de até 15 ppm;
- d) amônia, cujo teor pode atingir até 4 ppm.

2.3.3 ÁGUA DO MAR

As águas marítimas, que contêm por volta de 3,5 % de sais dissolvidos, não apresentam inconvenientes quando usadas como água de amassamento dos concretos simples. Os sais dissolvidos são compostos principalmente pelo cloreto de sódio (cerca de 78 %) e os cloretos e sulfatos de magnésio (cerca de 15 %); os teores de carbonatos são variáveis, mas seguramente baixos (cerca de 75 ppm de CO_3).

Quanto às resistências do concreto com água do mar, Narver verificou um decréscimo de apenas 6 % na resistência à compressão aos 90 dias, em relação às obtidas com a água doce; Mather obteve reduções de resistências variando de 10 % a 20 % e McCoy constatou decréscimos de 8 % a 15 %, na mesma idade.

De um modo geral, a experiência tem mostrado que, no concreto simples, a água do mar apresenta resultados praticamente iguais àqueles obtidos com água doce padrão, verificando-se, às vezes, ligeira aceleração de pega, aumento das resistências iniciais e leve diminuição das resistências finais, dependendo do tipo de cimento empregado.

No concreto armado, a opinião geral é a favor de não utilização da água do mar, uma vez que, provavelmente, ocorrerá a corrosão do aço.

Alguns autores atentam para o inconveniente das eflorescências, ocorridas nas superfícies dos concretos, em função do emprego da água do mar como água de amassamento, e de condições propícias para a sua formação: existência de uma certa umidade no interior do concreto e uma taxa lenta de evaporação.

Coutinho assim resume as recomendações sobre o emprego das águas marítimas no concreto: podem ser utilizadas sem qualquer precaução no concreto simples; só deverão ser usadas no concreto armado quando a relação água/cimento for menor ou igual a 0,70; não deverão ser empregadas quando se tratar de concreto protendido.

2.3.4 ÁGUAS RESIDUAIS DE INDÚSTRIAS

Em se tratando de águas residuais, cada caso deve ser tratado separadamente, pois é impossível generalizar os tipos de impurezas carregadas, uma vez que é função do próprio processo industrial e do tipo de serventia da água.

Abrams analisou o comportamento de concretos executados com águas contendo diversos tipos de resíduos industriais, obtendo bons resultados na maioria dos casos.

O assunto será tratado no item a seguir, quando da apresentação das conclusões de Abrams sobre o comportamento de diversos tipos de águas utilizadas na mistura do concreto.

2.3.5 O EFEITO DAS IMPUREZAS NA ÁGUA DE MISTURA, SEGUNDO ABRAMS

Uma grande série de experimentos sobre esse tema foi realizada por Abrams. Aproximadamente 6000 corpos-de-prova de argamassa e concreto e 68 tipos diferentes de água foram ensaiados durante a pesquisa. Dentre os tipos de águas testadas – marítimas, alcalinas, minerais, residuais e de pântano – foram incluídos ensaios com água potável de qualidade comprovada, para fins de comparação dos resultados. Determinaram-se os valores dos tempos de pega do cimento e das resistências à compressão do concreto, nas idades compreendidas entre 3 dias e cerca de dois anos e meio, para cada tipo de água empregada.

Algumas das principais conclusões baseadas nos resultados finais dos ensaios:

- a) O tempo de pega do cimento portland praticamente não sofre grandes alterações, exceto em poucos casos; as amostras com baixos valores de resistência à compressão tiveram, na maioria das vezes, pega bem lenta. Verificou-se, ainda, que o tempo de pega não é indicativo satisfatório da conveniência ou não da água para fins de uso no concreto.
- b) Apesar da grande variação quanto ao tipo e à origem das águas, a maioria das amostras proporcionaram concretos de boa qualidade, porque a quantidade de substâncias prejudiciais constatadas foi relativamente pequena.

- c) A qualidade da água é melhor avaliada pela comparação das resistências à compressão de corpos-de-prova feitos com a água suspeita e com a de qualidade comprovada. São consideradas não satisfatórias as que mostrarem uma relação entre as resistências inferior a 90 %.
- d) Nem o cheiro nem a cor representam a qualidade da água para fins de uso nos concretos. Observou-se que águas de aparência desagradável originaram concretos de qualidade aceitável. Águas destiladas e potáveis compuseram concretos com praticamente os mesmos valores de resistência
- e) Tomando como base um valor mínimo de 90 % para a relação entre as resistências, foram consideradas não satisfatórias as seguintes águas:
- águas ácidas;
 - águas residuais de curtumes;
 - águas minerais carbonatadas;
 - águas contendo mais de 3,0% de cloreto de sódio, ou mais de 3,5 % de sulfatos;
 - águas contendo açúcares ou compostos similares.

Foram dadas como satisfatórias, para emprego como água de amassamento do concreto:

- águas de pântanos e brejos;
- águas mostrando concentração máxima de 1,0 % do íon SO_4^{--} ;
- águas alcalinas, contendo até 0,15 % de sulfato de sódio (Na_2SO_4) e até 0,15 % de cloreto de sódio (NaCl);
- águas provenientes de minas de carvão e gesso;
- alguns tipos de águas servidas, como as provenientes de matadouros, cervejarias, fábricas de tintas e sabão.

2.3.6 A PRÁTICA CORRENTE PARA A VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EMPREGADA NO AMASSAMENTO DOS CONCRETOS PARA PAVIMENTOS

Antes de ser iniciada uma obra de pavimentação de concreto, ou quando houver dúvidas a respeito da água a ser empregada na mistura do concreto, deve-se proceder à análise química e aos ensaios comparativos de comportamento executados em pastas e argamassas padrão.

Os resultados obtidos nestes ensaios devem atender às exigências feitas para a água de amassamento e cura dos concretos nas normas DNIT 047/2004-ES, DNIT 048/2004-ES e DNIT 049/2004-ES.

Nos ensaios químicos executados conforme a Norma DNIT 036/2004-ME, a água deverá apresentar:

- a) pH entre 5,0 e 8,0;
- b) matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido) até 3 mg/l;
- c) resíduo sólido até 5000 mg/l;
- d) sulfatos (expresso em íons SO_4^{--}) até 600 mg/l;
- e) cloretos (expresso em íons Cl^-) até 1000 mg/l;
- f) açúcar até 5 mg/l.

Nos ensaios comparativos de pega e de resistência à compressão, executados de acordo com a Norma DNIT 037/2004-ME, adotando como comparação uma água de boa qualidade, ou de preferência, uma água destilada, os resultados obtidos com a pasta e argamassa executadas com a água suspeita deverão apresentar:

- a) o tempo de início de pega deverá ser igual, no mínimo, ao tempo de início de pega da pasta confeccionada com água de boa qualidade menos 30 minutos;
- b) o tempo de fim de pega deverá ser igual, no máximo, ao tempo de fim de pega da pasta confeccionada com água de boa qualidade mais 30 minutos;
- c) a redução da resistência da argamassa executada com a água suspeita, em relação à argamassa executada com a água considerada satisfatória, não poderá ser maior que 10 %, em qualquer das idades de ensaio.

2.3.7 NORMAS APLICÁVEIS

As normas a serem adotadas na qualificação de águas destinadas ao amassamento e cura do concreto são as normas brasileiras da ABNT e DNIT, a saber:

- a) NBR 12654 - Água de Amassamento - Coleta de Amostra para Ensaio;
- b) DNIT 036/2004-ME - Água de Amassamento - Ensaio Químicos - Método de Ensaio;
- c) DNIT 037/2004 - ME - Água de Amassamento - Ensaio Comparativos - Método de Ensaio.
- d) DNIT 047/2004 – ES – Concreto de Cimento Portland em equipamento de pequeno porte-Especificação de Serviço.
- e) DNIT 048/2004 - ES - Concreto de Cimento Portland em equipamento de fôrma-trilho-Especificação de Serviço.
- f) DNIT 049/2004 – ES - Concreto de Cimento Portland em equipamento de fôrma-deslizante-Especificação de Serviço.

2.4 ESTUDO DOS ADITIVOS E ADIÇÕES

2.4.1 DEFINIÇÕES

Aditivo pode ser definido como toda substância não plenamente indispensável à composição ou à finalidade do concreto em si, mas que, quando nele colocada em pequenas quantidades, antes ou durante a mistura, gera ou reforça certas características do concreto, quer no estado plástico, como no endurecido.

Segundo o Comitê 212 do American Concrete Institute (ACI), aditivo é “uma substância distinta da água, dos agregados e do cimento, que se usa como ingrediente em concretos e argamassas, adicionado durante a mistura”.

2.4.2 USO DOS ADITIVOS

Os aditivos são incorporados ao concreto para que se obtenham efeitos diversos, tais como:

- a) melhorar a trabalhabilidade;
- b) acelerar ou retardar o tempo de pega;
- c) reduzir a permeabilidade;
- d) acelerar o desenvolvimento da resistência nas idades iniciais;
- e) torná-lo mais resistente aos agentes agressivos;
- f) retardar ou diminuir o calor de hidratação;
- g) desenvolver propriedades fungicidas, germicidas ou inseticidas etc.

Para cada finalidade há um ou mais aditivos adequados. Seu uso deve ser cuidadosamente estudado e as prescrições dos fabricantes seguidas à risca, pois, sendo o aditivo uma espécie de vitamina para o concreto, como tal seu emprego indiscriminado pode trazer efeitos colaterais indesejáveis.

2.4.3 CLASSIFICAÇÃO

É possível classificar os aditivos com base em seus efeitos, o que, apesar do menor rigor científico se comparado com a classificação fundada nas ações químicas ou físico-químicas, é de maior interesse prático.

Seguindo a classificação proposta por Coutinho, os aditivos distribuem-se em oito grupos, a saber (sempre baseado nos efeitos):

- a) redutores de água (plastificantes e superplastificantes);
- b) incorporadores de ar;

- c) aceleradores de pega;
- d) retardadores de pega;
- e) aceleradores de endurecimento;
- f) impermeabilizantes;
- g) expansores;
- h) anticorrosivos, fungicidas, germicidas e inseticidas.

Aqui serão objetivo de consideração apenas os aditivos de maior interesse, em pavimentos de concreto.

2.4.4 DESCRIÇÃO DOS EFEITOS DOS ADITIVOS MAIS USADOS SOBRE O CONCRETO

2.4.4.1 AGENTES REDUTORES DE ÁGUA (PLASTIFICANTES)

Os redutores de água são compostos orgânicos cujas moléculas têm estrutura extremamente complexa e que conferem ao concreto uma determinada trabalhabilidade, medida pelos meios usuais (como o ensaio de abatimento e ensaio Vebe), possibilitando a redução da relação água/cimento.

Podem ser de cinco tipos, dependendo das adições que contenham, a saber:

- a) Agentes redutores de água normais, que permitem a redução da quantidade de água sem alterar, de maneira significativa, a pega do cimento; são designados pela ASTM C 494 por TIPO A.
- b) Redutores de água e retardadores, do TIPO D, sendo utilizados quando há necessidade de se manter a consistência por um período maior, como por exemplo no caso de concretagem de grandes peças, longo percurso de transporte etc
- c) Redutores de água e aceleradores, denominados TIPO E, que, além de fluidificantes, são aceleradores de pega.
- d) Redutores de água e incorporadores de ar, os quais introduzem na pasta de cimento, minúsculas bolhas de ar, além de manter a trabalhabilidade, com redução da relação água/cimento; é encontrado no mercado sob as formas de normal e retardador, ambas possuindo dois níveis de incorporador de ar:
 - o normal introduz aproximadamente de 1% a 2% de ar, sendo usado normalmente para suprir a ausência de finos,
 - o retardador introduz aproximadamente de 3% a 6% de ar, sendo usado para aumentar a resistência do concreto aos agentes agressivos (a vantagem do emprego do aditivo redutor de água em relação ao incorporador de ar é a minimização dos efeitos nocivos causados pelas bolhas, que reduzem a resistência à compressão do concreto, como mostra a Figura 1).

- e) Aditivos superplastificantes, produtos que permitem uma redução bastante significativa de água – bem acima da obtida com o uso de plastificantes comuns ou, mantida a quantidade de água, conferem ao concreto consistência fluida (a Figura 2 mostra o acréscimo de resistência alcançado pela redução da relação água/cimento, comparado com o concreto normal de mesma consistência).

2.4.4.1.1 EFEITOS DOS ADITIVOS REDUTORES DE ÁGUA NO CONCRETO FRESCO

- a) Redução no consumo de água para uma mesma consistência - pode atingir valores importantes, para aditivos comuns, dependendo do tipo e quantidade do aditivo, da dosagem do concreto e do tipo de cimento. No caso de superplastificantes, a redução de água pode chegar a valores ainda mais significativos.
- b) Aumentam a trabalhabilidade do concreto para a mesma relação água/cimento
- c) Para um mesmo abatimento, o concreto normalmente apresenta melhor trabalhabilidade, menor segregação e maior resposta à vibração.
- d) Podem reduzir, em pequena escala, o calor de hidratação, devido ao possível menor consumo de cimento.
- e) No caso de redutores-retardadores, seu uso permite concretagem em dias muito quentes, evitando, no caso de grandes peças, a formação de juntas frias de concretagem.

Figura 1 - Influência da presença de aditivos redutores de água e incorporadores de ar na resistência do concreto

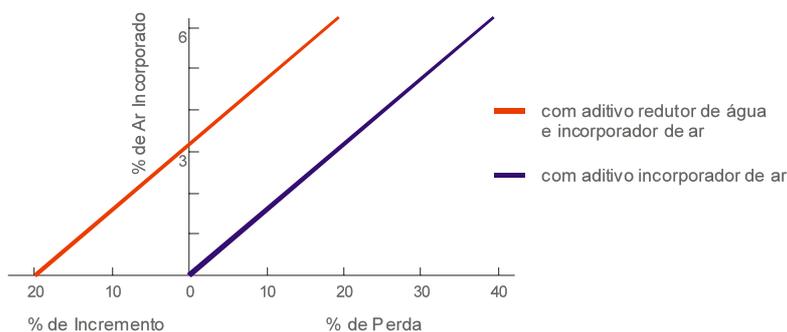
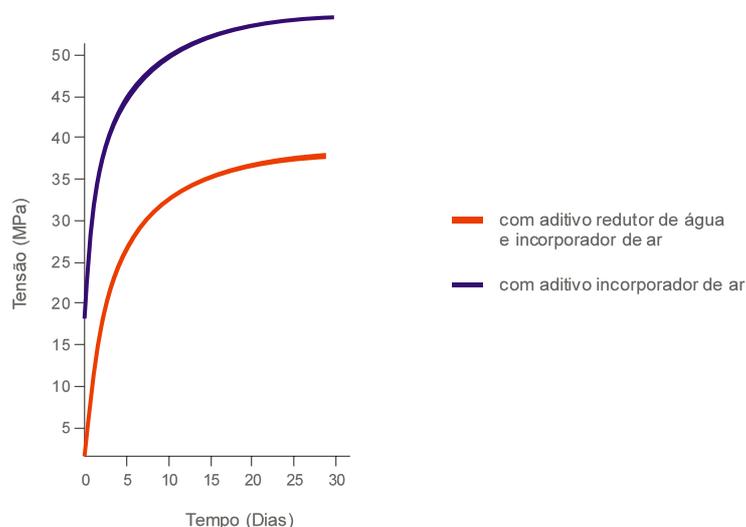


Figura 2 - Relação entre a resistência à compressão e o tempo de cura, para concreto com superplastificante



2.4.4.1.2 EFEITOS DOS ADITIVOS REDUTORES DE ÁGUA NO CONCRETO ENDURECIDO

- a) Os aditivos redutores e redutores-aceleradores produzem no concreto um aumento na resistência à compressão, aos 28 dias, de 10% a 20%, sendo menor este acréscimo, nas primeiras idades – 24 horas a 3 dias.
- b) O concreto preparado com aditivos redutores-retardadores terá uma resistência, para as idades de 16 horas a 48 horas, no mínimo iguais as do concreto sem aditivos; aos 28 dias, sua resistência poderá ser de 15% a 25% maior.
- c) O aumento de resistência do concreto que contenha redutor de água é maior do que se poderia esperar pela simples redução da relação água/cimento. Com a mesma relação água/cimento e o mesmo consumo de cimento, o concreto com esse aditivo é quase sempre mais resistente do que o concreto simples.
- d) A resistência à flexão aumenta menos do que à compressão.
- e) O concreto preparado com aditivos redutores-incorporadores de ar é mais resistente a agentes agressivos.
- f) Os aditivos fluidificantes permitem uma melhor compactação; portanto, o concreto será mais impermeável.
- g) Apesar da redução da relação água/cimento, alguns destes aditivos, devido a sua composição provocam um significativo aumento da retração hidráulica.

2.4.4.2 AGENTES INCORPORADORES DE AR

Os agentes incorporadores de ar são materiais orgânicos, normalmente em solução aquosa, ou inorgânicos, como o alumínio em pó, que introduzem no concreto uma

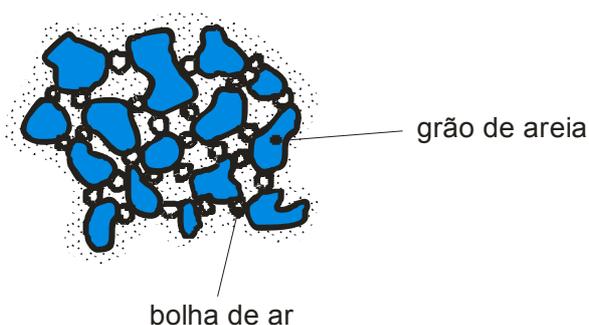
quantidade limitada de ar, sob a forma de minúsculas bolhas, desempenhando simultaneamente o papel de lubrificante e de agregado fino.

A utilização desses produtos deve ser feita de maneira bem mais cuidadosa do que os agentes redutores de água, pois aqui o volume de ar introduzido depende de fatores como a temperatura do concreto e a granulometria (principalmente quanto aos finos), trazendo variações imprevisíveis nas propriedades da mistura.

2.4.4.2.1 EFEITOS SOBRE O CONCRETO FRESCO

- a) Melhoria da trabalhabilidade: as minúsculas bolhas incorporadas ao concreto (Figura 3) funcionam como rolamentos, diminuindo o atrito entre as partículas dos agregados, melhorando a trabalhabilidade da massa; conseqüentemente, a quantidade de água de amassamento pode ser reduzida. Conforme Coutinho, essa redução pode ser avaliada em torno de $V\%/2$, onde $V\%$ é o volume de ar incorporado em relação ao concreto.

Figura 3 - Aspecto esquemático do conjunto areia - bolhas de ar - pasta



- b) Redução da segregação, devido ao aumento da coesão.
- c) Diminuição da exsudação.
- d) Em concreto pobre de finos, supre-lhes a falta.
- e) No preparo de concretos leves, nos quais o agregado pode ser argila expandida, vermiculita ou outro, o incorporador de ar impede a segregação causada pela tendência do agregado flutuar na pasta ou argamassa.
- f) Reduz a retração plástica ou inicial.

2.4.4.2.2 EFEITOS SOBRE O CONCRETO ENDURECIDO

- a) Aumento da resistência ao ataque de águas agressivas, pois os vazios permitem a formação de sais expansivos sem induzir tensões prejudiciais ao concreto; ao mesmo tempo, os sais selam os espaços deixados pelas bolhas de ar, não permitindo que o ataque das águas ao cimento se propague para o interior do concreto.
- b) Diminuição da absorção capilar, uma vez que as bolhas interrompem os canalículos, reduzindo assim a capilaridade.

- c) Redução da massa específica aparente.
- d) Eliminação de zonas fracas no concreto, posto conferir-lhe melhor homogeneidade.
- e) Diminuição da ordem de 15% na resistência à compressão.

2.4.4.2.3 RECOMENDAÇÕES

É obrigatória a medição periódica da porcentagem de ar incorporado na massa de concreto recém-misturada, que pode ser feita pelos métodos gravimétricos (NBR 9833), de pressão (NBR 11686) ou volumétrico (ASTM C 173). Bauer & Noronha recomendam, para pistas de rolamento, uma quantidade entre 4,0% e 7,0%. Segundo a Portland Cement Association (PCA), a porcentagem recomendada de ar incorporado é função da dimensão máxima característica do agregado, conforme o Quadro 1.

QUADRO 1

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Conteúdo de ar (% em volume) (PCA)
38,0 a 64,0	2,5 a 4,0
19,0 a 25,0	3,5 a 5,5
9,5 a 12,5	4,5 a 6,0

2.4.4.3 ACELERADORES E RETARDADORES

São aditivos que alteram o tempo de pega e a velocidade de endurecimento do concreto. Podem ser divididos em dois grupos:

- a) aceleradores, que em geral aumentam a velocidade de endurecimento, e eventualmente podem reduzir o tempo de início de pega,
- b) retardadores, que aumentam o tempo de início da pega.

A ação dos aceleradores e retardadores é gerada por reações químicas, sendo necessário, antes de usá-los, realizar ensaios que determinem a quantidade necessária para cada tipo de cimento.

2.4.4.3.1 ACELERADORES DE PEGA E DE RESISTÊNCIA

a) Aceleradores de resistência

Os aceleradores de resistência podem ser subdivididos em dois grupos: os quimicamente ativos e os catalizadores. No primeiro grupo há os cloretos de cálcio e de sódio, os carbonatos, os silicatos, os fluossilicatos e os hidróxidos, enquanto os catalizadores podem ser, entre outros, a trietanolamina composta com outras substâncias.

Dentre os aceleradores de resistência, o mais utilizado é o cloreto de cálcio, do qual sabe-se, comprovadamente, que vem sendo usado no concreto desde 1885. É um

aditivo de ação química que acelera a velocidade de endurecimento da mistura, alterando pouco, conforme se verá mais adiante, o tempo de pega da argamassa ou do concreto.

Para que seu efeito seja o desejado, o cloreto de cálcio deve obedecer a certas especificações - químicas e físicas - de acordo com a ASTM D 98:

- propriedades físicas:
 - fração menor que 9,5 mm: 100 %;
 - fração maior que 6,4 mm: não mais que 20%;
 - fração maior que 0,8 mm: não mais que 10 %.
- propriedades químicas:
 - cloreto de magnésio ($MgCl_2$): não mais que 0,5%;
 - cloreto alcalino: não mais que 8%;
 - outras impurezas: não mais que 1%.

Os efeitos do cloreto de cálcio no concreto são:

- Resistência à compressão: o aumento da resistência à compressão do concreto, para uma mesma quantidade de cloreto de cálcio, é função da temperatura ambiente e da idade do concreto. O Quadro 2 apresenta o acréscimo da resistência ao concreto de mesmo traço e sem aditivos.

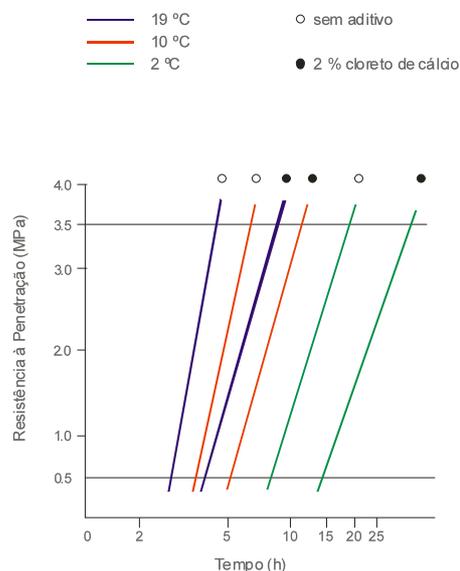
QUADRO 2

Temperatura de cura (°C)	% do aumento de resistência aos 28 dias
-10	90
0	25
10	16
20	12
40	7

- Resistência à tração na flexão: segundo Rixom, a presença de cloreto de cálcio poderá acarretar um decréscimo tanto nas resistências finais à tração, como na tração por flexão.
- Efeito sobre o tempo de pega: a adição de 2% (em massa do cimento) de cloreto de cálcio no concreto causa uma redução média de uma hora no início de pega, e de aproximadamente duas horas no fim de pega, quando a temperatura de cura é de 20°C; se a adição ultrapassar os 3%, poderá dar-se a pega instantânea do cimento; a Figura 4 mostra a variação da velocidade de endurecimento do concreto, para uma adição de 2% de $CaCl_2$ e temperaturas de 2°C, 10°C e 19°C.

- Variações volumétricas: a retração hidráulica do concreto é incrementada, quando é adicionado o cloreto de cálcio ao concreto; o aumento ocorre tanto na cura úmida como ao ar.

Figura 4 - Tempo de endurecimento do concreto com e sem acelerador



A resistência do concreto ao ataque de águas contendo sulfatos é diminuída.

- Em concretos nos quais os agregados reajam com os álcalis do cimento, a reação se intensifica na presença do cloreto de cálcio.
- Acelera-se o desenvolvimento do calor de hidratação, sem efeito sobre a quantidade total do calor desenvolvido.
- A presença do cloreto de cálcio poderá acelerar ou provocar a corrosão da armadura; o perigo pode ser minimizado usando-se um concreto de alta qualidade e baixa permeabilidade, garantindo-se, ainda, que a quantidade total de cloreto não exceda de 1,5% em relação à massa de cimento. A norma NBR 11768 (ABNT) proíbe o uso desse aditivo em pavimentos protendidos, já que as barras ou cordoalhas de aço estarão solicitadas por altas tensões, daí sendo mais susceptíveis à corrosão sob tensão, que, nesse caso, seria grandemente danosa à integridade da estrutura.
- O cloreto de cálcio, ao ser dissolvido em água, aumenta-lhe a temperatura, por uma reação exotérmica, o que poderá acarretar significativa redução do tempo de pega do cimento; portanto; quando essa diminuição é indesejável, recomenda-se preparar a solução com alguma antecedência.

2.4.4.3.2 ACCELERADORES DE PEGA

São aditivos cuja função básica é acelerar a pega do cimento, o que os torna de menor utilidade no concreto destinado à pavimentação, empregável apenas em alguns casos particulares, como reparações limitadas a pequenas áreas.

Tem a forma líquida e, se forem adicionados diretamente à argamassa seca, provocam a pega ultra-rápida do cimento - aproximadamente, 30 segundos - podendo, no entanto, serem dissolvidos em água para diminuir esse efeito.

2.4.5 RETARDADORES

Os retardadores são substâncias que conferem ao concreto um maior período de trabalhabilidade, retardando a pega do cimento e permitindo maior tempo de transporte entre a usina e a obra ou, mesmo, concretagem em dias de elevada temperatura. Sua eficácia é função da quantidade utilizada e da temperatura da água de amassamento.

Os retardadores são compostos orgânicos e podem ser separados em 5 classes (segundo a Cement and Concrete Association - CCA), a saber:

- a) Classe 1: ácidos lignossulfônicos e seus sais;
- b) Classe 2: derivados de ácidos lignossulfônicos ou modificados deste e seus sais;
- c) Classe 3: ácidos hidroxicarboxílicos e seus sais;
- d) Classe 4: derivados de ácidos hidroxicarboxílicos ou derivados destes e seus sais;
- e) Classe 5: carboidratos (inclusive açúcares) que não atuam, porém, como redutores de água.

Os aditivos das Classes 2 e 4 podem ser utilizados concomitantemente com outros tipos, como os incorporadores de ar ou aceleradores de endurecimento. Excetuando-se os carboidratos, os retardadores são substâncias tensoativas, que introduzem no concreto, durante a mistura, uma certa quantidade de ar, melhorando-lhe a trabalhabilidade e permitindo redução da quantidade de água - o que dependerá da classe do aditivo - para uma mesma trabalhabilidade.

Os efeitos dos retardadores no concreto são:

- a) redução da água de mistura: em média, varia de 5% a 13%, para as Classes 1 e 2; de 3% a 8%, para as Classes 3 e 4; em torno de 1% para a Classe 5;
- b) exsudação: dada a ação dispersante dos agentes (exceto os de Classe 5), a exsudação é diminuída, fator importante no caso de pavimentos; a diminuição é função da quantidade de ar introduzido;
- c) ar incorporado: a quantidade de ar incorporado depende da classe do aditivo; os de Classe 1 introduzem uma quantidade variando de 3% a 10%; Classe 3, de 2% a 5%; os carboidratos reduzem a quantidade de ar normalmente encontrada no concreto (cerca de 2%) de 1%, enquanto que os de Classes 2 e 4 introduzem uma quantidade variável de ar;
- d) tempo de pega: em cimentos com teores normais de álcalis e aluminato tricálcico (C_3A), o retardamento da pega será de 2 horas a 4 horas, sendo o efeito mais pronunciado para teores mais baixos de aditivo;

- e) resistência: a resistência obtida será função da composição do cimento; normalmente, a resistência à compressão de concretos com retardadores é maior nas primeiras idades do que as obtidas nos concretos sem aditivos (na tração por flexão o aumento é menor, pois o ar incorporado tem maior influência).

2.5 ESTUDO DOS SELANTES DE JUNTAS

2.5.1 OBJETIVOS DA SELAGEM DE JUNTAS

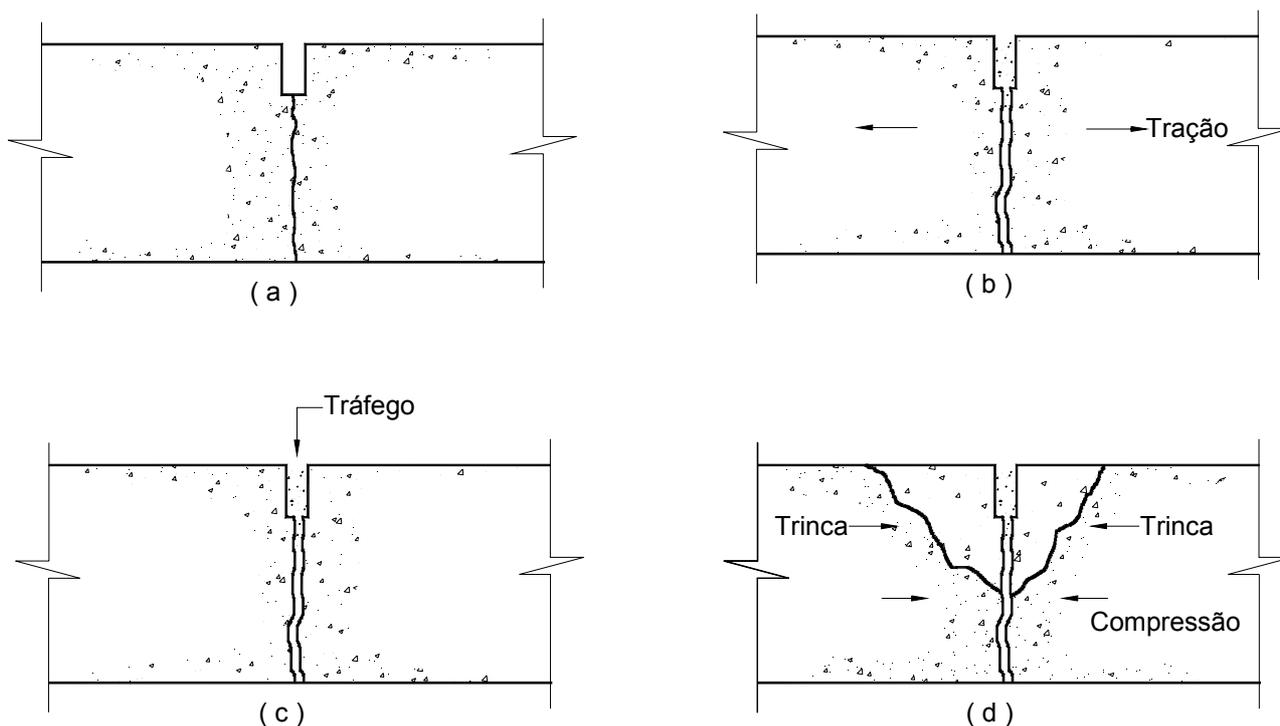
A selagem das juntas de um pavimento de concreto – transversais ou longitudinais, serradas ou moldadas – é uma prática que pretende impedir a infiltração de água e de materiais sólidos (como areia, pequenos pedregulhos e outros corpos estranhos) através delas.

A infiltração de água, mesmo quando no projeto consta a execução de uma sub-base adequada, não-bombeável, traz conseqüências danosas à durabilidade do pavimento como um todo, pois a água, ao mover-se entre a sub-base e a placa de concreto pode produzir a erosão da primeira e prejudicar a continuidade de suporte requerida para o bom desempenho do pavimento; atingindo os acostamentos, pode passar ao subleito e provocar o seu afundamento, seja por bombeamento, como por amolecimento da camada.

Já a presença de materiais sólidos impede que a junta se movimente livremente, fato que, em tempo quente, quando a abertura da junta se estreita, desenvolverá tensões de compressão imprevistas; estas, dependendo da magnitude da temperatura, da abertura da junta, da distância entre as juntas, do volume de tráfego e do tipo de sub-base, podem atingir valores seriamente prejudiciais à integridade estrutural da junta e, conseqüentemente, da placa de concreto. A Figura 5 ilustra o fato.

Resta pouca ou nenhuma dúvida, na época atual, quanto à necessidade de prover essa vedação, posto que apenas em casos muito raros os fenômenos de infiltração – seja de água ou de sólidos incompressíveis – deixam de ter os efeitos descritos. Pavimentos que dispõem de sub-base estabilizada com cimento, por exemplo, mostram maior resistência às infiltrações na ranhura. Por seu turno, em pavimentos de concreto construídos em regiões muito secas, a penetração de água é tão reduzida que, somada à natureza normalmente arenosa dos solos dessas áreas, é insuficiente para provocar o bombeamento. Na maior parte dos casos que o nosso meio técnico rodoviário terá de enfrentar, a selagem das juntas parece imprescindível, restando determinar, para cada situação específica, o tipo de material selante que seja técnica e economicamente mais viável.

Figura 5 - Aspectos de junta transversal



- (a) Aspecto de uma junta transversal de retração, não selada, imediatamente após o aparecimento da trinca de retração
- (b) Vê-se a trinca de retração aberta (em tempo frio) e a ranhura preenchida com partículas sólidas
- (c) A ação do tráfego empurra as partículas sólidas para o interior da trinca de retração
- (d) Em temperaturas mais elevadas, a trinca tende a “fechar” dando origem a tensões de compressão que, a depender dos fatores citados no texto, podem provocar o aparecimento de trincas na região da junta e o seu progressivo esborcinamento

2.5.2 REQUISITOS NECESSÁRIOS AOS MATERIAIS SELANTES

A definição de quais sejam os requisitos que um material selante de junta deve apresentar, para garantia de um comportamento apropriado ao longo do tempo, depende do conhecimento do estado de tensão a que ficarão submetidos quando em serviço e dos principais tipos de falhas que podem ocorrer devido a essas solicitações.

Um material selante de juntas de pavimentos de concreto pode estar sujeito a uma das três seguintes situações:

- alternação das tensões de tração e de compressão, caracterizando um ciclo de solicitações opostas;
- sempre sob compressão;
- sempre sob tração.

O último caso é, presentemente, apenas teórico, pois é flagrante a impraticabilidade de tracionar o selante previamente à sua colocação dentro da junta e mantê-lo nessa

condição. A segunda hipótese corresponde a uma condição em que o selante é colocado na junta quando comprimido e, qualquer que seja a abertura da junta ante a variação ambiental, ele permanece sob compressão, o que traz a vantagem de garantir a ligação entre a parede da junta e a lateral do selante.

Este, por seu lado, deve ser de natureza elástica, sem sofrer deformações irreversíveis. Na verdade, o mais comum em pavimentos de concreto simples é o primeiro estado de tensões mencionado, em que o selante, vazado na junta sob a forma líquida ou pastosa, adquire consistência sólida e, por sua aderência às paredes da junta, acompanha as suas movimentações, permanecendo ora tracionado – quando a junta abre, pela retração da placa – ora comprimido, quando ela fecha, pela dilatação da placa – de acordo com a temperatura predominante no momento.

Sujeitos aos tipos de solicitações descritos, principalmente aos ciclos alternados de tração e compressão, os materiais selantes – que compõem com as paredes verticais da junta um conjunto, mantido unido pela aderência entre o selante e a parede – podem apresentar defeitos causados por fenômenos ocorridos no próprio selante, ou nas paredes da junta, ou na superfície de ligação entre os dois componentes. As falhas devidas ao comportamento do selante ocorrem:

- a) por falta de coesão, que permite o dilaceramento do material quando tracionado (Figura 6a);
- b) por intrusão, quando o selante não impede que o tráfego empurre para o seu interior corpos sólidos que eventualmente estejam sobre a junta (Figura 6b);
- c) por extrusão, quando o estado de compressão leva o selante a derramar-se na superfície da placa contígua à junta (Figura 6c).

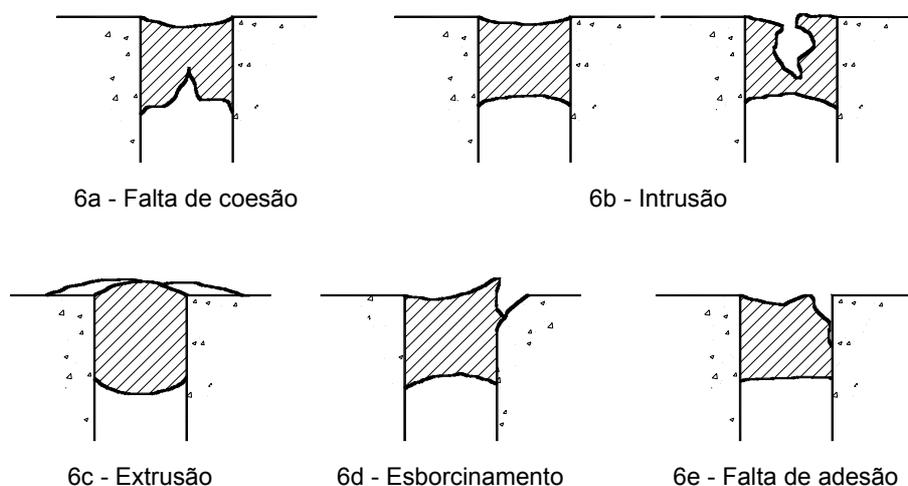
As paredes da junta podem sofrer quebra ou esborcinamento, cuja razão principal é o mau acabamento do local, que não resiste aos esforços de tração gerados no selante pela retração do concreto das placas em tempo frio (Figura 6d). O conjunto parede-selante falha, geralmente, pela perda de adesão entre os dois componentes da junta, quando esta se encontra muito aberta (Figura 6e), e pode configurar um segundo estágio da ruptura por esborcinamento.

Um material selante de funcionamento apropriado deverá, portanto, possuir propriedades físico-químicas e mecânicas que lhe propiciem longa vida de serviço e resistência às solicitações e situações causadoras dos defeitos e falhas mencionadas. Essas características são:

- a) fluidez;
- b) período de cura;
- c) adesividade,
- d) elasticidade,
- e) resistência à fissuração

f) coesão.

Figura 6 - Defeitos e falhas no material selante



Os selantes de juntas em pavimentos de concreto podem ser divididos em dois grupos, a saber:

a) selantes vazados no local;

- selantes vazados a quente
- selantes vazados a frio.

b) selantes pré-moldados.

Os selantes a quente são alcatrões, asfaltos e compostos de asfalto e borracha, conhecidos também como termoplásticos, e os mástiques, associação entre um líquido viscoso (por exemplo, emulsões, óleos não secativos, asfaltos de baixa penetração) e um filler (como fibras de amianto, cimento portland, cal apagada, areia fina), em proporções variáveis.

Os mástiques a quente têm sido largamente utilizados em nosso País, sob a forma de produtos industrializados ou não.

Em geral, os termoplásticos não são recomendáveis em selagem de juntas de pavimentos modernos de concreto, pelas dificuldades de aplicação e sua pequena durabilidade.

Em favor dos selantes a quente, está o seu baixo custo inicial; a desvantagem maior é sua baixa resistência ao calor, a óleos e combustíveis, que os amolecem e, quase sempre, fazem com que extravasem da junta. As altas temperaturas de aplicação exigem, sobretudo, muito cuidado quanto à segurança do operador. É comum, quando da aplicação, o esfriamento do material e seu posterior reaquecimento, o que perturba a estrutura química do selante. Além disso, exigem manutenção pesada cada 2 – 4 anos, cujo montante pesa no custo final do pavimento.

Os selantes vazados a frio incluem como bases resinas epóxicas, polissulfetos orgânicos, uretanos, silicones e polimercaptanos. Compõem-se, em regra, da mistura de uma dessas bases e de um agente de cura, os quais reagem de modo a formar o selante propriamente dito, um elastômero, ou polímero. São todos produtos industrializados, aplicáveis à temperatura ambiente e necessitam quase sempre de um produto acessório de imprimação da junta, que deverá estar limpa e seca antes da vedação. Em nossas condições atuais, levam a desvantagem aparente do custo inicial, se bem que tenham baixíssima necessidade de manutenção e, conseqüentemente, mínimo custo de conservação ao longo da vida de serviço do pavimento. As bases de polissulfetos são as utilizadas há maior tempo, no exterior, enquanto que os uretanos são de um tempo de uso menor. Os silicones e os polimercaptanos encontram-se sob pesquisa intensa, já existindo no mercado brasileiro alguns tipos de selantes com essas bases.

Além da associação base-agente de cura, certos produtos contêm, ainda, fíleres e plastificantes, e podem ser de natureza asfáltica.

Os polissulfetos – usados desde os anos 50 – são de grande capacidade de relaxação de tensões, ou seja, atingem rapidamente a condição de equilíbrio de forma após submetidos a períodos longos de compressão. Os uretanos são elásticos, e somente chegam à estabilidade de forma quando retornam à posição original de colocação.

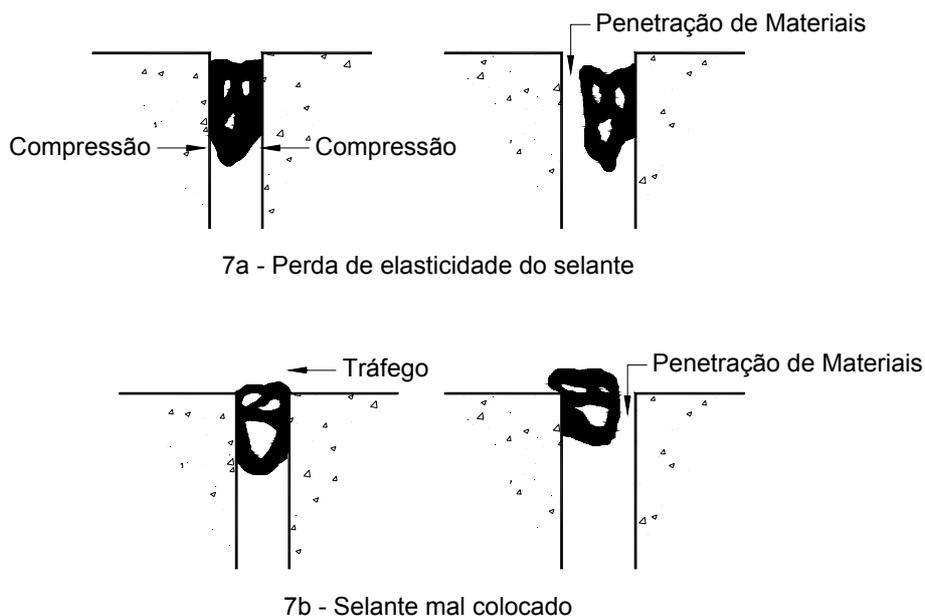
De custo muito mais elevado, bem como vida de serviço maior do que a dos outros materiais, os selantes pré-moldados são, positivamente, o tipo mais requintado de material de selagem de juntas. Existem diversas espécies de pré-fabricados, como o poliuretano, o polietileno e as cortiças, por exemplo.

São excelentes para evitar a penetração de sólidos e, por serem altamente compressíveis e elásticos, têm uma atuação excepcional em juntas de expansão. Quanto à sua estanqueidade, depende fortemente da rugosidade das paredes da junta e da aderência entre o selante e as paredes verticais, exigindo que estas sejam as mais lisas e uniformes possíveis. Outro fato – este, curioso – que tem sido observado em nosso País, é o arrancamento desse tipo de material, quando não aderente, por vandalismo ou furto.

Os pré-moldados podem apresentar dois tipos peculiares de falhas:

- a) por compressão, na qual o selante pós-comprimido não consegue voltar à forma original e deixa um espaço vazio entre um de seus lados e a junta (Figura 7a);
- b) por extrusão mecânica, caracterizada pela expulsão do material por efeito da passagem dos veículos (Figura 7b).

Figura 7 - Falhas em selantes pré-moldados



Quanto às especificações dos materiais selantes, existe a norma DNIT 046/2004-EM e os respectivos métodos de ensaios, relacionados no item 2.5.5.

Em geral, os ensaios exigidos referem-se à determinação das características físico-químicas e mecânicas já mencionadas aqui, com predominância dos valores de resistência à penetração, de aderência e de recuperação da forma original. São executados, ainda, dependendo do tipo de selante, ensaios de distorção ou deformação, de fragilidade, de compressão, de absorção de água, de fluidez, de fusão, de extrusão e de solubilidade em óleo. Em todas as especificações, a importância do intemperismo é ressaltada, quanto à influência que exercerá sobre o comportamento do selante quanto em uso.

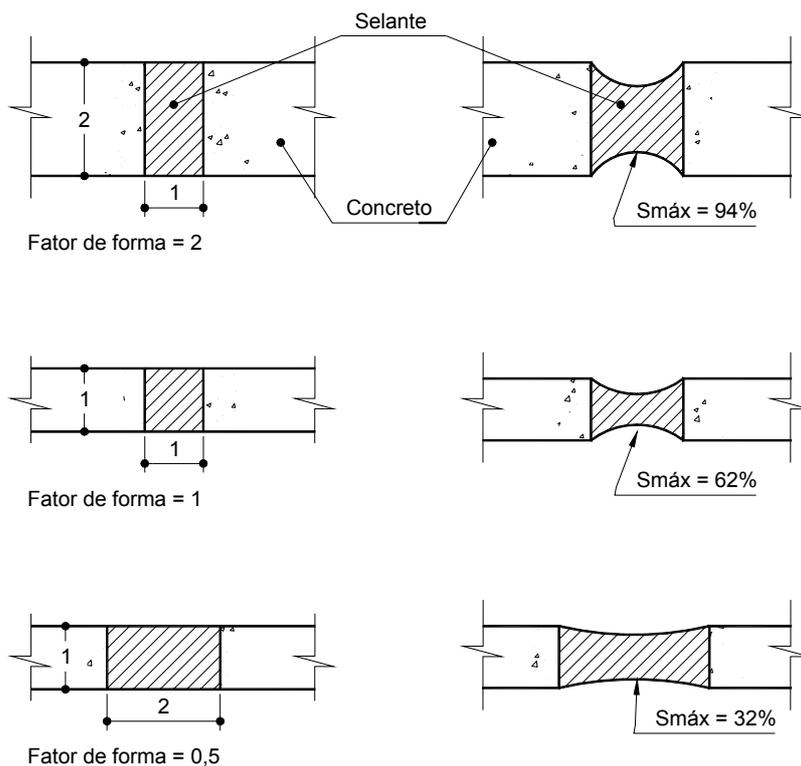
2.5.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DO SELANTE - FATOR DE FORMA

O principal dado geométrico que governa o comportamento global de um sistema junta-selante é a relação entre a profundidade do selante e a largura da junta, o fator de forma. Há uma sensível influência dessa relação numérica no grau de deformação do selante, o que está mostrado nas Figuras 8a, 8b e 9.

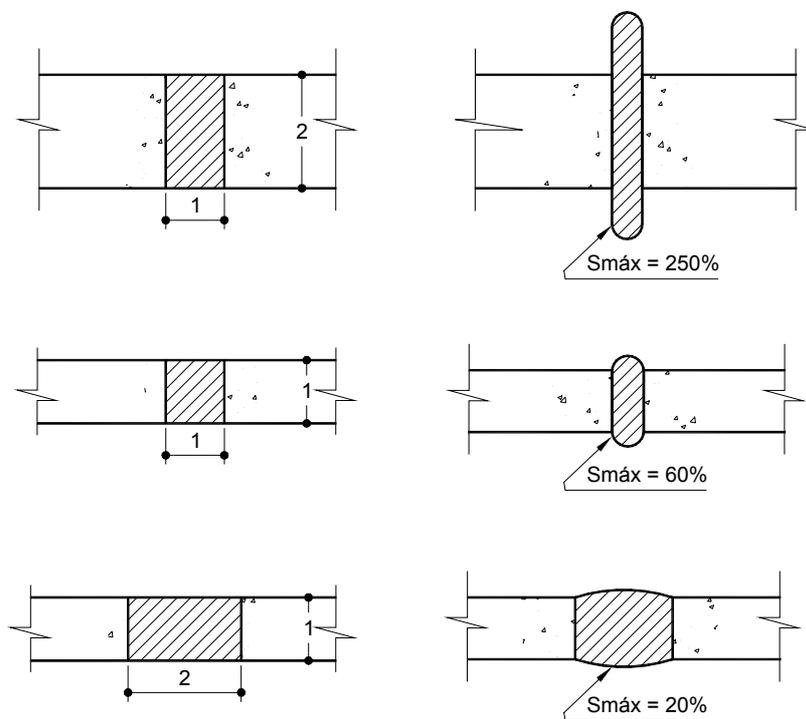
A deformação é diretamente proporcional ao fator de forma, o que torna claro ser conveniente projetar juntas com a menor relação possível entre a profundidade do selante e a abertura da junta, o que garante o comportamento ótimo do selante quando sob tensão. A experiência ensina que é fundamental, ainda, para o bom funcionamento do material selante e por motivos práticos, limitar o valor mínimo da profundidade de sua aplicação, o que implica a necessidade de se construir um reservatório capaz de manter o fator de forma numa faixa de valores pequenos, no máximo igual a 2.

Recomenda-se adotar o reservatório do selante em todas as juntas transversais (no caso de placas muito pequenas, com 4,5 m de comprimento ou menos, pode-se, a critério do projetista, dispensar o reservatório) e em todas as juntas longitudinais sem barras de ligação. A Portland Cement Association (PCA) aconselha a manutenção da forma quadrada para o selante (ou seja, fator de forma igual a 1), sempre que possível. A Figura 10 define duas maneiras de se construir o reservatório. Tanto na primeira como na segunda, o reservatório é formado por alargamento da ranhura primitiva, de modo a propiciar a relação profundidade/abertura preconizada, dentro dos valores mínimos práticos; diferem os materiais que irão evitar a aderência do selante ao fundo do reservatório. Na Figura 10a, a quebra de aderência é favorecida pela introdução de uma tira ou fita plástica, ou mesmo de madeira impermeabilizada, delgada; já no segundo tipo, mostrado na Figura 10b, o reservatório deverá ser um pouco mais profundo, posto que o material usado é um cordão de seção circular, de sisal ou similar, de isopor ou, ainda melhor, de plástico.

Figura 8 - Influência do fator de forma no grau de deformação

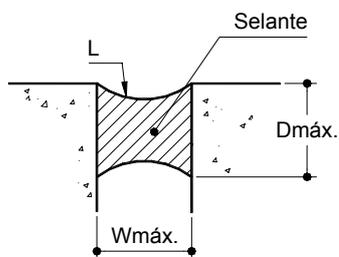
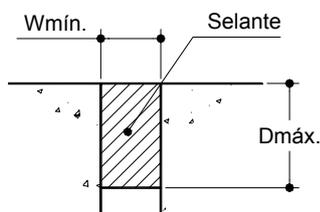
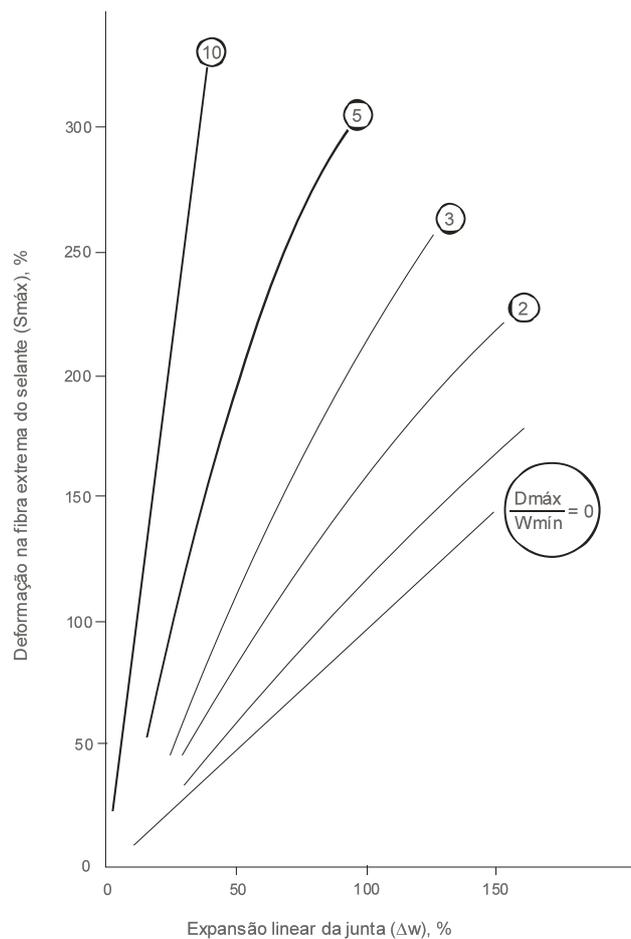


8a - Para tração de 1,27 mm



8b - Para compressão de 1,27 mm

Figura 9 - Relação entre fator de forma e deformação máxima do selante



$$S_{máx} = \frac{L - W_{mín}}{W_{mín}} \times 100$$

$$D_w = \frac{W_{máx} - W_{mín}}{W_{mín}} \times 100$$

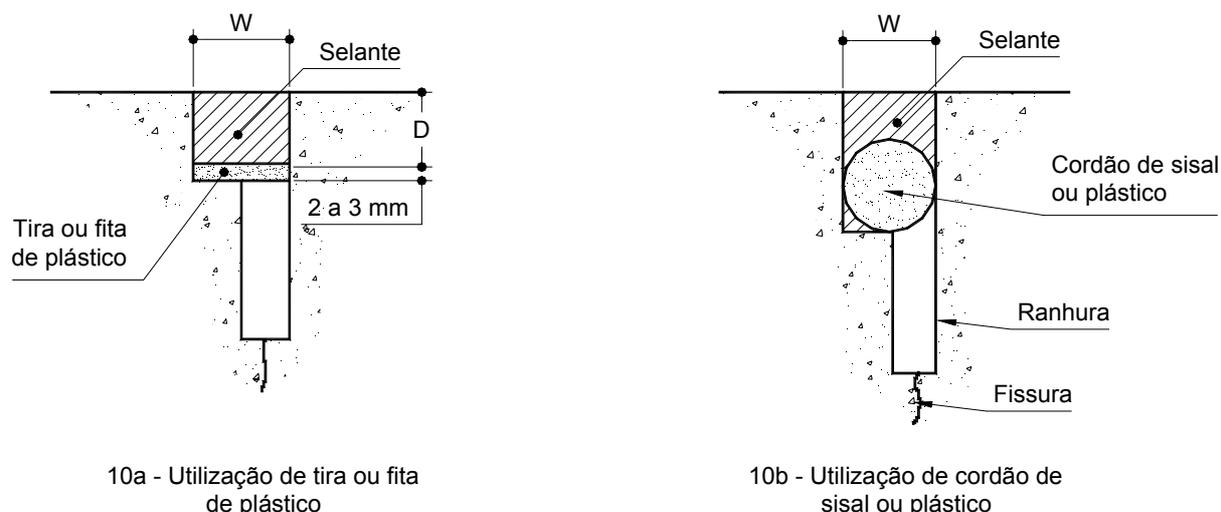
Wmín = Abertura mínima da junta

Dmáx = Profundidade máxima admissível do selante

L = Comprimento da parábola

Wmáx - Abertura máxima da junta

Figura 10 - Tipos de reservatório do selante



Na Tabela 4 relacionam-se os valores recomendados para a profundidade dos selantes, a frio ou a quente, e a abertura ou largura do reservatório, em função do espaçamento entre as juntas. No entanto, existem no mercado selantes cujos fatores de forma ideais diferem dos apresentados nesta Tabela.

Tabela 4 - Profundidade do selante e abertura do reservatório, para selantes vazados a frio ou a quente (adaptação da tabela apresentada no trabalho “Design of concrete airport pavement” ver referência bibliográfica)

Espaçamento entre juntas (m)	Dimensões do reservatório do selante		
	Largura (W) (mm)	Profundidade (D) (mm)	D/W
6,0 ou menor	6,0	12,0 (mínimo)	2,0
7,5	9,0	12,0 (mínimo)	1,3
9,0	9,0	12,0 (mínimo)	1,3
12,0	12,5	12,5	1,0
15,0	16,0	16,0	1,0
18,0	19,0	19,0	1,0

NOTA 1: Os espaçamentos entre juntas superiores a 7,5 m referem-se a pavimentos de concreto dotados de armadura distribuída descontínua.

NOTA 2: No caso de profundidades superiores às indicadas, a largura do reservatório deverá ser também aumentada, de modo a diminuir ou manter o fator de forma recomendado.

Para os selantes pré-moldados, o importante é garantir que, para qualquer abertura de trinca - e, conseqüentemente, qualquer abertura de junta - o selante esteja sempre sob esforço de compressão, e nunca sob tração; então, é preciso determinar as larguras

originais do selante e da junta, face o espaçamento entre as juntas do pavimento, o que é facilitado pela Tabela 5.

Tabela 5 - Larguras originais da ranhura e do selante pré-moldado, em função do espaçamento entre juntas (adaptação da tabela apresentada no trabalho “Design of concrete airport pavement” ver referência bibliográfica)

Espaçamento entre juntas (m)	Largura da ranhura (mm)	Largura do selante pré-moldado (mm)
7,5 ou menor	6,0	14,5
9,0	9,0	20,5
15,0	12,5	25,5
21,0	19,0	38,0

NOTA: Ver Nota 1 da Tabela 4.

2.5.4 CONCLUSÃO

É de vital importância impedir a infiltração de água e a penetração de sólidos através das juntas de um pavimento de concreto. A maneira mais adequada de fazê-lo é a vedação da ranhura artificial de forma a tornar a seção estanque, devendo o material de vedação ser, além do mais, capaz de repelir as partículas sólidas que o tráfego, porventura, forçar contra ele. Os selantes, divididos em dois grupos e dois subgrupos, têm de ser escolhidos de modo a proporcionar um equilíbrio razoável entre o comportamento que deles se deseja e o seu custo inicial. A obediência ao fator de forma é prática que incrementa sensivelmente a qualidade da resposta do material às solicitações ao longo do tempo de utilização.

3 – ESTUDO DOS CONCRETOS

3 ESTUDO DOS CONCRETOS

3.1 INTRODUÇÃO

O concreto empregado na execução de pavimentos rígidos deve apresentar a resistência característica à tração na flexão definida no projeto, que geralmente é da ordem de 4,5 MPa ou, como no caso dos pavimentos estruturalmente armados, uma resistência característica à compressão axial, que geralmente é de 30 MPa.

O concreto do pavimento deverá também apresentar uma baixa variação volumétrica, uma trabalhabilidade compatível com o equipamento a ser empregado no espalhamento, adensamento e acabamento do concreto e para garantir uma maior durabilidade, um consumo de cimento igual ou acima de 320 kg/m³ de concreto.

Para que sejam atendidas estas condições, é necessário que seja realizado um cuidadoso estudo do traço do concreto, que considere o tipo de cimento e a eficiência do cimento, conteúdo de água, temperatura do concreto e dos materiais, tipos de aditivos e métodos de cura, devendo finalmente ser verificadas as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido.

O uso de aditivos nos concretos de pavimentos é recomendável, sendo geralmente empregados aditivos dos tipos redutor de água e incorporador de ar.

Existem diversos tipos de pavimentos rígidos em uso em nosso país, em função dos materiais empregados e da concepção estrutural, sendo eles :

- a) de concreto simples convencional ou rolado;
- b) tipo whitetopping;
- c) com fibras de aço ou de poliprolileno;
- d) sobre-laje em tabuleiros de obras de arte especiais;
- e) com armação simples de retração;
- f) estruturalmente armado, com armação dupla;
- g) com peças premoldadas.

Neste Manual serão descritas as características de cada um destes tipos de pavimentos e os critérios para o seu dimensionamento, execução e controle.

Em certas situações críticas, quando for necessária a liberação rápida do tráfego, deve ser estudado o emprego de concretos especiais, de resistência rápida, tipo *fast-track*, para permitir o trânsito de veículos após poucas horas depois da concretagem.

3.2 ESTUDO DO TRAÇO DO CONCRETO

Existem diversos procedimentos ou metodologias para se obter o traço de um concreto que atenda aos requisitos de resistência, durabilidade, trabalhabilidade e economia.

Nesses procedimentos são levados em consideração as características da estrutura e os meios que normalmente são adotados para o transporte, lançamento e adensamento e cura do concreto.

Devido à variedade dos materiais empregados na produção dos concretos, de região para região, esses procedimentos não podem ser generalizadas, sendo estabelecidos em função dos materiais de cada uma dessas regiões. Desta forma, o traço obtido por meio de um destes procedimentos provavelmente irá necessitar de correções, que serão tanto maiores quanto maior for a diferença existente nas características dos materiais e, para realizá-las, é necessário que o profissional incumbido desta tarefa possua a experiência e sensibilidade para realizá-la.

A experiência mostra que no concreto destinado à execução de um pavimento, os aspectos principais na definição do traço, são :

- a) a relação água-cimento,
- b) o teor de argamassa e
- c) o teor de água, expresso sob a forma de água unitária (consumo de água por m³ de concreto) ou pela relação água-mistura seca que variam entre limites muito próximos, o que reduz de forma significativa o trabalho experimental.

A Norma DNIT-054/2004-PRO apresenta o roteiro para o estudo do traço de concreto.

À título de orientação, um pavimento de concreto simples convencional, executado com formas fixas, considerando a limitação da dimensão máxima característica do agregado no concreto em 50mm e o abatimento em torno de 7 cm, tem-se constatado na maioria dos casos, que o teor de argamassa varia de 44 % a 50 % e o teor de água, expresso pela relação água-mistura seca, varia entre 7,5 % e 8,5 %.

3.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Antes de ser iniciado um estudo de traço, os materiais constituintes do concreto (cimento, agregados, água e aditivos) devem ser previamente caracterizados, realizando-se nestes materiais os ensaios indicados na norma DNIT-054/2004-PRO, devendo ser empregados neste estudo somente os materiais considerados satisfatórios, segundo as normas do DNIT, DNER e da ABNT relacionadas no capítulo 2 deste Manual.

3.4 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

A Norma DNIT-054/2004-PRO indica os ensaios de caracterização que devem ser realizados no concreto, que visam verificar o desempenho dos traços estudados, que é fundamental para a definição do traço mais adequado para uso na obra.

3.5 CONTROLE DE QUALIDADE DOS MATERIAIS E DO CONCRETO

Durante a execução do pavimento devem ser realizados os ensaios de controle de qualidade dos materiais constituintes do concreto e do próprio concreto, que estão relacionados nas normas de execução e controle do tipo de pavimento rígido ou da metodologia executiva do pavimento em execução.

Um aspecto tecnológico de relevância a ser considerado, é o do controle da resistência à tração na flexão estabelecida no projeto, devido às dificuldades observadas no ensaio para a determinação desta resistência, especialmente em laboratório de campo, tais como a moldagem de corpos-de-prova prismáticos, o emprego de dispositivos especiais na prensa de ensaio, além dos maiores cuidados exigidos na realização deste ensaio, especialmente no que diz respeito à cura dos corpos de prova.

Em vista destas dificuldades, costuma-se correlacionar esta resistência com a resistência à compressão axial, que é de mais fácil avaliação. Esta correlação depende, entretanto, de vários fatores, dentre outros, das características petrográficas do agregado graúdo e da aderência deste agregado com a pasta de cimento, que varia em função da textura superficial, porosidade superficial, forma do agregado, além da existência ou não de material pulverulento aderente a esta superfície.

3.6 NORMAS APLICÁVEIS

3.6.1 PARA O ESTUDO DO TRAÇO, CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E ENSAIOS NO CONCRETO

- DNIT 054/2004 – PRO - Pavimento Rígido - Estudos de traços de concreto e ensaios de caracterização de materiais - Procedimento

3.6.2 PARA OS ENSAIOS DE CONTROLE DA QUALIDADE DO CONCRETO DURANTE A EXECUÇÃO DO PAVIMENTO

- a) DNIT 047/2004 – ES - Pavimento Rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte - Especificação de Serviço
- b) DNIT 048/2004 – ES - Pavimento Rígido - Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma-trilho - Especificação de Serviço
- c) DNIT 049/2004 – ES - Pavimento Rígido - Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma-deslizante - Especificação de Serviço

- d) DNIT 059/2004 – ES - Pavimento Rígido - Pavimento de concreto de cimento Portland, compactado com rolo - Especificação de Serviço
- e) DNIT 066/2004 – ES - Pavimento Rígido - Construção com peças pré-moldadas de concreto de cimento Portland - Especificação de Serviço
- f) DNIT 068/2004 – PRO - Pavimento Rígido – Execução de camada superposta de concreto do tipo Whitetopping por meio mecânico – Procedimento
- g) DNER-ES-OA.36/96 - Sobre-laje (pavimento de concreto) em tabuleiro de obras de arte (pontes e viadutos)

**4 - PROJETO E DIMENSIONAMENTO
DE PAVIMENTOS RÍGIDOS**

4 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

4.1 INTRODUÇÃO

O notável volume de conhecimentos adquiridos nas duas últimas décadas, sobre os pavimentos rígidos, possibilitou o aprimoramento e o ajustamento das técnicas de projeto geométrico de juntas e de dimensionamento da espessura das placas de concreto a condições que, até então, eram consideradas imprópriamente, ou em alguns casos, sequer examinadas.

Exemplo disto é o estabelecimento de novos modelos de comportamento dos pavimentos rígidos, distintos do clássico tipo baseado na Fadiga do Concreto sob a ação de cargas repetidas – o de Erosão da Fundação do pavimento e o de Escalonamento das Juntas, cujo emprego na análise estrutural do sistema, conduz a uma avaliação mais realista dos fenômenos que podem levar o pavimento ao colapso.

A própria análise estrutural, antes restrita aos clássicos sistemas de placas apoiadas em fundação contínua (Westergaard) ou de camadas múltiplas (Burmister, por exemplo), dispõem agora da rápida e eficaz ferramenta de cálculo constituída pelo Método dos Elementos Finitos, capaz de simular as mais amplas variações na geometria e nas propriedades dos componentes da estrutura.

Paralelamente ao desenvolvimento desses enfoques, tornou-se possível considerar no projeto os seguintes aspectos:

- a) A influência das sub-bases estáveis, mormente as tratadas com cimento;
- b) O papel do tipo de transferência de carga nas juntas e bordas do pavimento, representado pelas barras de transferência e pelos acostamentos de concreto;
- c) As conseqüências da ocasional ocorrência de contato parcial entre o pavimento e a sua fundação;
- d) A ação de diferentes distribuições de tráfego, com relação à geometria das placas;
- e) Os efeitos do empenamento térmico e higroscópio do concreto no nível de tensões;
- f) No projeto das juntas, a adoção do reservatório do selante, capaz de aumentar a eficiência do sistema de juntas, com os reflexos benéficos correspondentes na durabilidade.

Outro passo à frente, no sentido de assegurar o adequado nível de segurança aos projetos, foi a introdução no dimensionamento, do conceito de confiabilidade estatística, entendida como a probabilidade de que um certo pavimento desempenhará satisfatoriamente as funções previstas no projeto.

Após o estudo aprofundado das diferentes tendências e escolas que se preocupam com o assunto, decidiu-se que comporiam este Manual, dois métodos de dimensionamento de

pavimento de concreto simples e um método de dimensionamento de pavimento de concreto estruturalmente armado, que são:

- a) Portland Cement Association (PCA), dos EUA, na versão de 1966, um método clássico, que tem a seu favor a extensa experiência prática levada a efeito nas mais diferentes regiões do mundo, e que se fundamenta no Modelo de Fadiga de Concreto e no sistema de análise estrutural ligado ao caso das placas elásticas apoiadas em fundação contínua;
- b) Da mesma PCA, o procedimento dado a público em 1984, que incorpora a um modelo modificado de Fadiga, o modelo de Erosão, neste inseridas considerações sobre o Escalonamento e que emprega análise estrutural por Elementos Finitos;
- c) Dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados, baseado na determinação das tensões atuantes e dos momentos fletores, de acordo com o modelo proposto por Westergaard por meio de Cartas de Influência de Pickett e Ray. O cálculo estrutural é conduzido no Estádio III, de acordo com as prescrições da Norma NBR 6118, considerando-se o emprego de telas soldadas produzidas com aço CA-60. Para o concreto do pavimento, considera-se que a sua resistência seja superior a 25 MPa, para que se tenha uma resistência ao desgaste compatível com o grau de solitação imposto aos pavimentos rodoviários.

Os dois métodos de dimensionamento de pavimento de concreto simples, são alternativos, e devem ser usados conforme a experiência regional e os dados de projeto disponíveis.

Adicionalmente são apresentados critérios de dimensionamento de pavimentos de concreto executados sobre estrutura de concreto, tais como os tabuleiros de pontes e viadutos ou outro tipo de estruturas de concreto.

Para pavimento de acostamentos, recuos e pátios, apresenta-se um método de dimensionamento com peças pré-moldadas de concreto, que é uma solução muitas vezes adotada para a pavimentação daqueles locais.

Com relação ao projeto geométrico de juntas, o Manual contém indicações precisas que possibilitarão definir, caso a caso:

- a) As dimensões superficiais das placas de concreto;
- b) Os tipos, a geometria e a locação das juntas;
- c) O tipo de aço, a bitola, o comprimento e o espaçamento de barras de transferência de carga e de ligação entre faixas de placas;
- d) O reservatório do selante das juntas;
- e) Aspectos particulares do projeto.

4.2 CARACTERÍSTICAS DO SUBLEITO

Nos projetos de pavimentos rígidos deve ser dada especial atenção à ocorrência de variações bruscas nas características do subleito, especialmente à presença de solos expansivos e de camadas espessas de argila mole.

Estas informações podem ser obtidas durante a fase dos estudos geológicos a serem melhor detalhadas durante os estudos geotécnicos, integrantes das Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários.

Para o dimensionamento da espessura do pavimento rígido, o parâmetro relativo ao suporte do subleito é o Coeficiente de Recalque (k), também denominado de Módulo de Reação ou Módulo de Westergaard.

Este parâmetro é determinado em uma prova de carga estática, conforme a norma DNIT 055/2004-ME, que se baseia na norma ASTM-D 1196 (1977) e em diretrizes específicas do United States Army Corps of Engineers.

Nesta prova de carga são correlacionadas as pressões verticais transmitidas ao subleito por meio de uma placa rígida (com 76cm de diâmetro, pelo menos) e os deslocamentos verticais correspondentes.

A faixa de variação dos valores do coeficiente de recalque, em relação aos diversos tipos de solo (classificação AASHTO-BPR), está mostrada no Quadro 3, que pode ser usada na avaliação prévia de k para cálculos preliminares de custo, por exemplo,

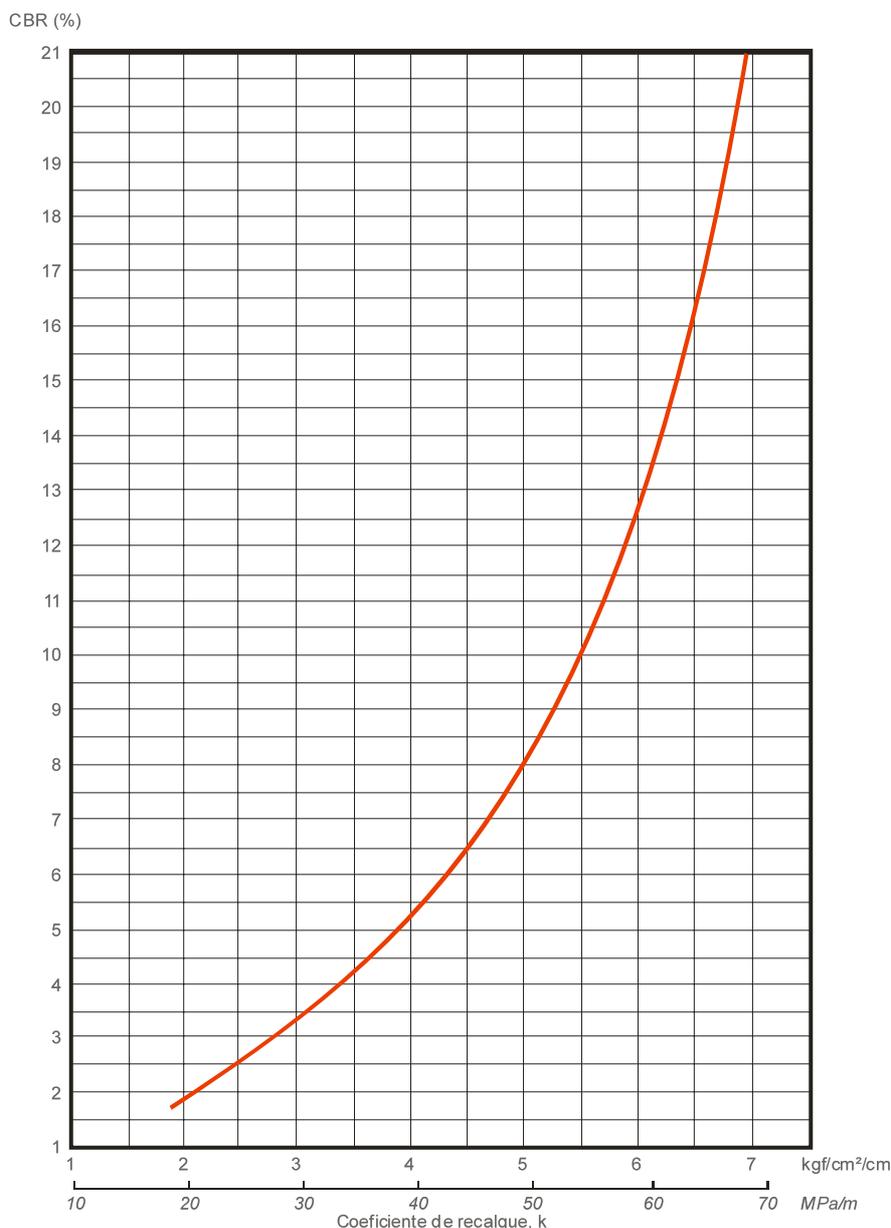
Quadro 3 - Relação aproximada entre o tipo do solo do subleito e o coeficiente de recalque

Tipo de Solo (AASHTO M 145)	Coeficiente de Recalque	
	MPa/m	kgf/cm ² /cm
A1-a	>110	>11,0
A1-b	70 – 165	7,0 – 16,5
A2-4, A2-5	>80	>8,0
A2-6, A2-7	50 – 90	5,0 – 9,0
A3	55 – 90	5,0 – 9,0
A4	25 – 80	2,5 – 8,0
A5	<50	<5,0
A6	<60	<6,0
A7-5, A7-6	<60	<6,0

Para a determinação do coeficiente de recalque admite-se lançar mão de uma correlação entre os valores do coeficiente de recalque do solo do subleito e os valores obtidos para o Índice de Suporte Califórnia (CBR) deste subleito, devendo-se entretanto, tomar as precauções necessárias e especialmente considerar a experiência regional.

Na Figura 11 apresenta-se a relação entre o Índice de Suporte Califórnia (CBR) e o coeficiente de recalque (k) do subleito.

Figura 11 - Relação entre Índice de Suporte Califórnia (CBR) e coeficiente de recalque (k) do subleito



4.3 ESTUDO DE TRAÇADO

Os estudos constantes desta tarefa têm por objetivo:

- definir as diretrizes tecnicamente possíveis da rodovia,
- determinar a viabilidade física das alternativas indicadas, como sendo adequadas pelos estudos de tráfego para a ligação rodoviária proposta,
- definir certas soluções básicas, para possibilitar a elaboração desembaraçada dos trabalhos mais detalhados nos estudos posteriores do Projeto Final,

- d) estimar os custos aproximados de construção, de manutenção e de desapropriação, para fins de avaliação econômica e financeira.

As diretrizes para este estudo estão apresentadas na IS -11 do DNER.

4.4 PROJETO DE SUB-BASE

4.4.1 OBJETIVOS

A prática atual no projeto de pavimentos rígidos tem sido a intercalação de uma sub-base entre a placa de concreto e o subleito.

Esta sub-base é uma camada delgada, com as seguintes funções:

- a) uniformizar o suporte disponível ao longo da faixa do pavimento,
- b) evitar os efeitos das mudanças excessivas de volume dos solos do subleito,
- c) eliminar a ocorrência do fenômeno de bombeamento de finos plásticos, porventura presentes no solo de fundação, quando da presença de água em excesso e cargas pesadas.

Além de não bombeáveis, as sub-bases sob as placas de concreto, não devem ser consolidáveis, recomendando-se para tanto que ela seja pouco espessa.

Neste Manual conceitua-se o papel da fundação nos pavimentos rígidos, tendo em vista o modo peculiar de trabalho deles, através da análise de dados de ensaios específicos, e descreve-se as funções que se espera que a sub-base venha a cumprir.

Sempre se baseando em resultados de ensaios e da prática, são fornecidas informações que auxiliam a escolha, por parte do projetista, de uma solução que, em termos e enfoque nacionais, possa ser a mais adequada para um determinado caso.

São indicados os requisitos exigidos para os materiais e para as demais características da sub-base, fazendo-se menção especial às sub-bases granulares e as sub-bases estabilizadas com cimento, nos seus mais diversos tipos, sugerindo-se seções transversais típicas, bem como as condições para fixar-se convenientemente estas espessuras.

A aplicação criteriosa das informações e recomendações contidas neste Manual, por parte do pessoal técnico capaz de avaliar a significância e as limitações delas, possibilitará a concepção de projetos econômicos e de eficiência técnica comprovada.

4.4.2 RECOMENDAÇÕES

a) Para evitar a ocorrência do fenômeno de bombeamento:

- adotar obrigatoriamente a intercalação de uma sub-base quando o tráfego for intenso, com mais de 300 a 400 veículos comerciais por dia, por faixa de tráfego,
- utilizar materiais que atendam aos requisitos seguintes:
 - dimensão máxima característica do agregado igual ou inferior a 1/5 da espessura da sub-base,
 - a porcentagem de material passando na peneira ABNT 0,075mm deverá ser igual ou menor do que 35% ,
 - o índice de plasticidade (IP) deve ser igual ou menor do que 6% ,
 - o limite de liquidez (LL) máximo deve ser de 25% ,
 - a granulometria do material deverá permitir que, após executada a sub-base e sob a ação do tráfego, a consolidação do pavimento seja a menor possível.

b) Para controle de subleitos expansivos:

As condições de compactação de subleitos expansivos ou moderadamente expansivos devem ser controladas.

A umidade de compactação deve estar próxima da umidade ótima, obtida no ensaio normal ou estar levemente acima desta, pelo menos nos últimos 50 a 60cm do subleito.

Em regiões úmidas, onde haja ocorrência de solos expansivos, aconselha-se a construção de uma camada de isolamento, composta de material não suscetível a variações volumétricas, com espessura de 15cm, no máximo, embora situações muito críticas exijam até 50cm de material não expansivo. Esta camada isolante deve estender-se por toda a largura da plataforma, e as características físicas do material obedecerão às exigências da especificação AASHTO M 155.

No Quadro 4, são apresentados dados para orientação de projetistas quando da análise do problema, onde estão relacionados o grau potencial de expansibilidade de um determinado solo com a porcentagem de inchamento e o índice de plasticidade.

Quadro 4 – Relação aproximada entre índice de plasticidade, porcentagem de inchamento e grau de expansibilidade

Índice de plasticidade	Porcentagem de inchamento	Grau de expansibilidade
Até 10	Até 2	Não expansivo
10 a 20	2 a 4	Moderadamente expansivo
acima de 20	acima de 4	Altamente expansivo

4.4.3 TIPOS DE SUB-BASE

Os tipos de sub-bases para pavimentos de concreto podem ser classificados conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Tipos de sub-bases para pavimentos de concreto

Sub-base para pavimentos de concreto	Sub-bases granulares	Granulometria fechada	
		Granulometria aberta	
	Sub-bases tratadas	Com cimento	Solo-cimento Solo melhorado com cimento Brita graduada tratada com cimento Concreto rolado
		Com outros aditivos	Asfalto Cal Pozolana

4.4.3.1 SUB-BASES GRANULARES

As exigências para este tipo de sub-base são, no mínimo, aquelas constantes da AASHTO M 155 e AASHTO M 147-65, cujas faixas granulométricas são reproduzidas no Quadro 6.

Quadro 6 - Faixas granulométricas recomendadas para sub-bases granulares de pavimentos de concreto

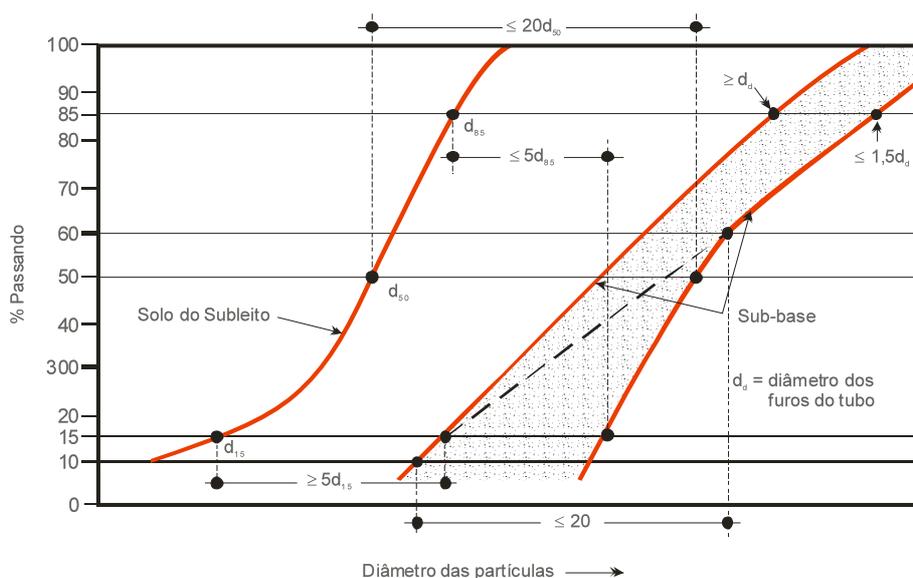
Abertura da Peneira (mm)	Porcentagem passando, em massa (%)					
	A	B	C	D	E	F
50,0	100	100	-	-	-	-
25,0	-	75-95	100	100	100	100
9,5	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-
4,75	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
2,00	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
0,425	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
0,075	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Quanto à granulometria, a sub-base granular pode ser dividida em duas espécies:

- a) sub-bases de granulometria aberta,
- b) sub-bases de granulometria fechada ou densa.

O critério a ser adotado no estabelecimento das faixas granulométricas de utilização é o preconizado pelo U.S. Army Corps of Engineers, apresentado a seguir (ver Figura 12):

Figura 12 - Critérios para fixação da faixa granulométrica adequada para sub-bases com função drenante



a) para assegurar a drenagem:

$$\frac{\text{diâmetro de 15\% do material}}{\text{diâmetro de 15\% do solo do subleito}} \geq 5$$

b) para impedir a infiltração:

$$\frac{\text{diâmetro de 15\% do material}}{\text{diâmetro de 85\% do solo do subleito}} \leq 5$$

$$\frac{\text{diâmetro de 50\% do material}}{\text{diâmetro de 50\% do solo do subleito}} \leq 25$$

$$\frac{\text{diâmetro de 60\% do material}}{\text{diâmetro de 10\% do solo do subleito}} < 20$$

c) quando a sub-base servir também como material circundante de drenos profundos:

$$\frac{\text{diâmetro de 85\% do material}}{\text{diâmetro de 10\% do solo do subleito}} \geq 1$$

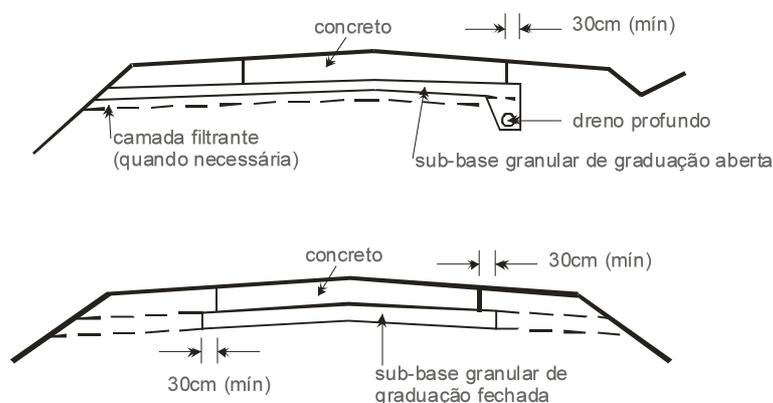
A espessura a ser adotada, tanto para um quanto para outro dos dois tipos de sub-bases não tratadas, irá depender do tráfego previsto e do tipo de pavimento.

A variação ocorre entre 15cm e 40cm (às vezes, em caso de cargas configurando tráfego de pequeno porte, o valor mínimo pode ser de 10cm).

Os valores mais altos correspondem, quase sempre, a pavimentos submetidos a cargas elevadas sobre fundações moles.

As seções transversais típicas de pavimentos de concreto dotados de sub-bases granulares são mostradas na Figura 13.

Figura 13 – Seções transversais típicas de sub-bases granulares



4.4.3.2 SUB-BASES ESTABILIZADAS COM CIMENTO PORTLAND

Estas sub-bases são compostas de misturas de solo, agregados, água e Cimento Portland.

O Quadro 7 fornece indicações sobre tipos de sub-base estabilizada com Cimento Portland, faixas granulométricas indicadas, requisitos de dosagem, espessuras recomendadas e utilização ótima de cada tipo.

Quadro 7 – Características usuais de sub-bases estabilizadas com cimento

Tipos de Estabilização	Requisitos Mínimos de Granulometria e Outros	Requisitos de Dosagem	Espessuras Usuais
Solo-cimento	Figura 14	1) Resistência mínima à compressão simples, aos 7 dias, entre 1,4 e 2,1 MPa 2) Consumo mínimo de cimento igual a 5% em massa	10cm a 20cm
Brita tratada com cimento	Figura 15	1) Resistência à compressão simples, aos 7 dias, entre 3,5 e 5,0 MPa 2) Consumo mínimo de cimento igual a 3% em massa	10cm a 20cm
Concreto pobre (ou rolado)	Figura 16	1) Resistência característica à compressão simples, aos 7 dias, entre 3,0 e 7,0 MPa. 2) Relação cimento:agregado entre 1:15 e 1:22	7,5cm a 15cm
Solo melhorado com cimento	DNER-ESP09-71	1) Índice de suporte Califórnia igual ou maior que 30% (conforme DNER-ES-P 09-71) 2) Consumo mínimo de cimento igual a 3% em massa	10cm a 20cm

Figura 14 – Faixa Granulométrica geral recomendada para solo-cimento

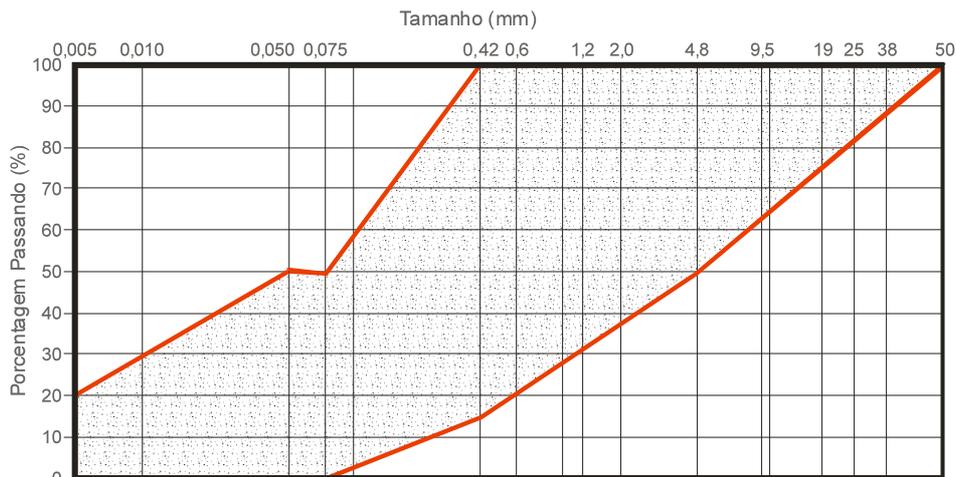


Figura 15 – Faixa granulométrica recomendada para sub-bases de brita graduada tratada com cimento

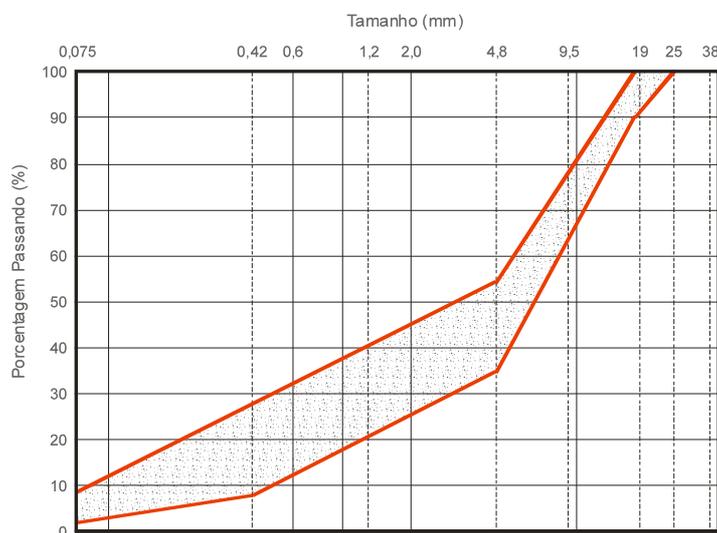
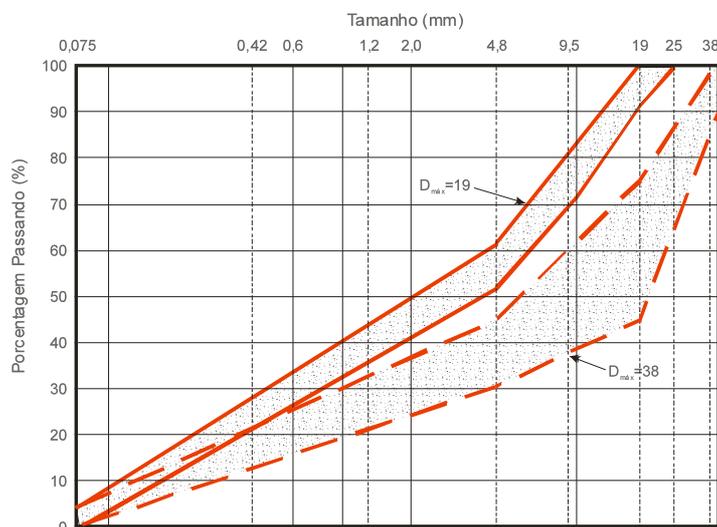
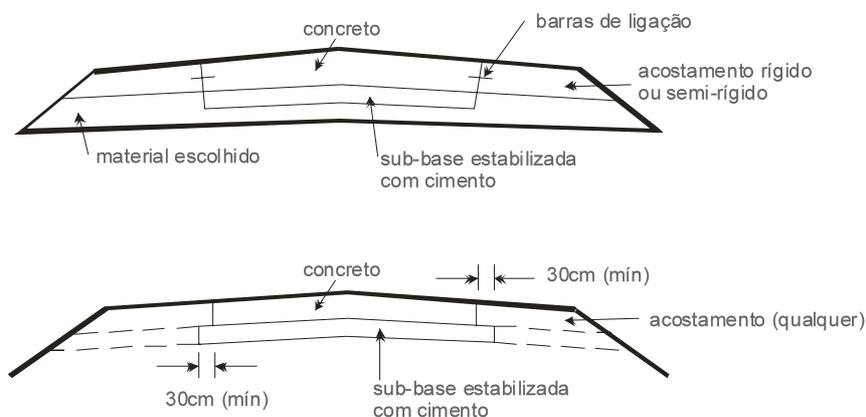


Figura 16 – Faixas granulométricas recomendadas para sub-bases de concreto rolado, com dimensão máxima de 19mm e 38mm



As seções transversais típicas de um pavimento de concreto dotado de sub-bases estabilizadas com cimento são mostradas na Figura 17.

Figura 17 – Seções transversais típicas de sub-bases estabilizadas com cimento



4.4.4 COEFICIENTE DE RECALQUE

Para avaliação preliminar do coeficiente de recalque do sistema subleito / sub-base, podem ser utilizados os ábacos apresentados nas Figuras 18, 19, 20 e 21.

A determinação do coeficiente de recalque no topo da sub-base deve, sempre que possível, ser efetuada por meio de Prova de Carga Estática conforme DNIT 055/2004-ME.

É recomendável limitar o valor máximo do coeficiente de recalque no topo da sub-base, a ser considerado no cálculo da espessura necessária de concreto, em cerca de 150 MPa/m.

Figura 18 – Aumento de k devido à presença de sub-base granular

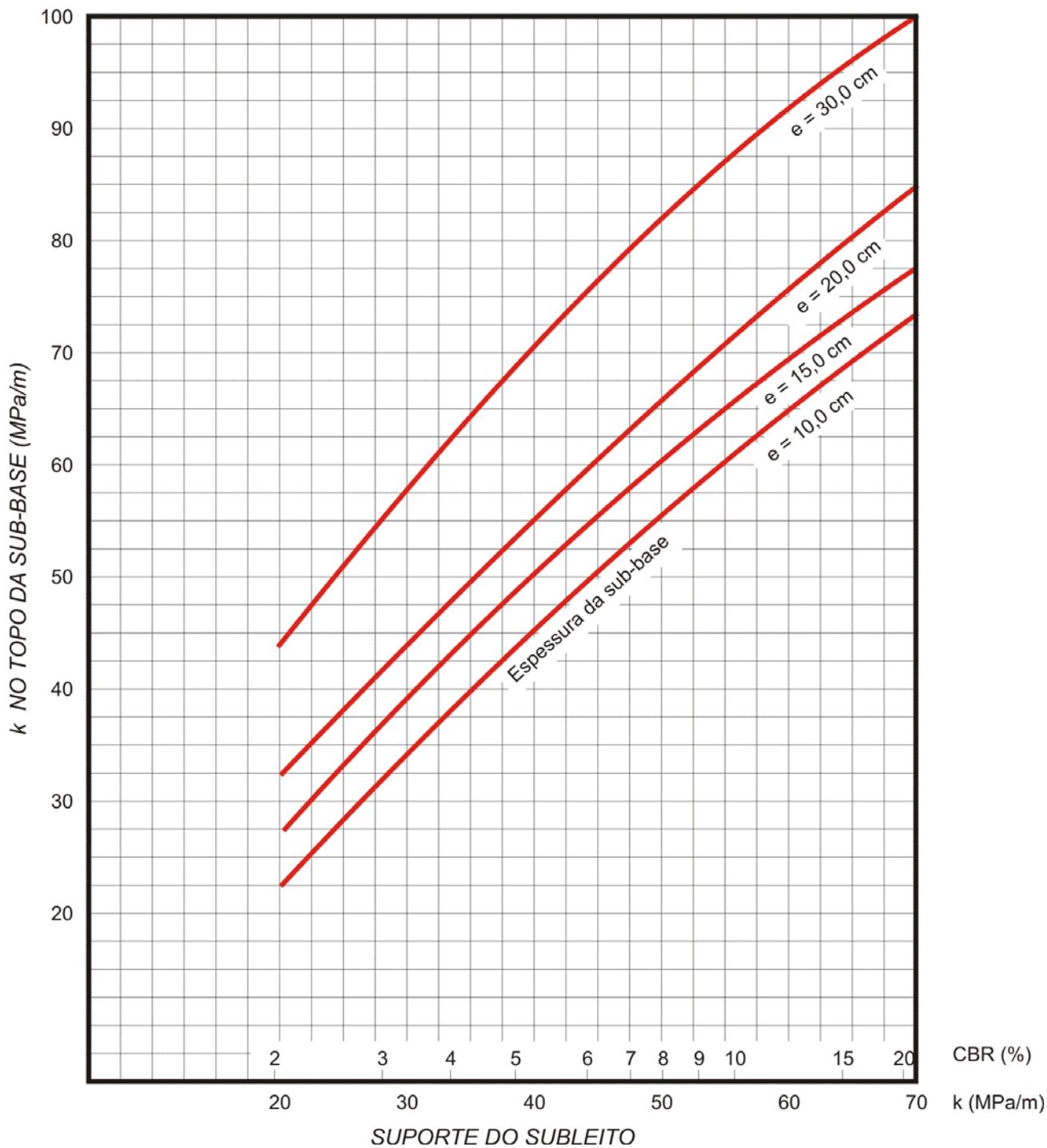


Figura 19 – Aumento de k devido à presença de sub-base de brita tratada com cimento

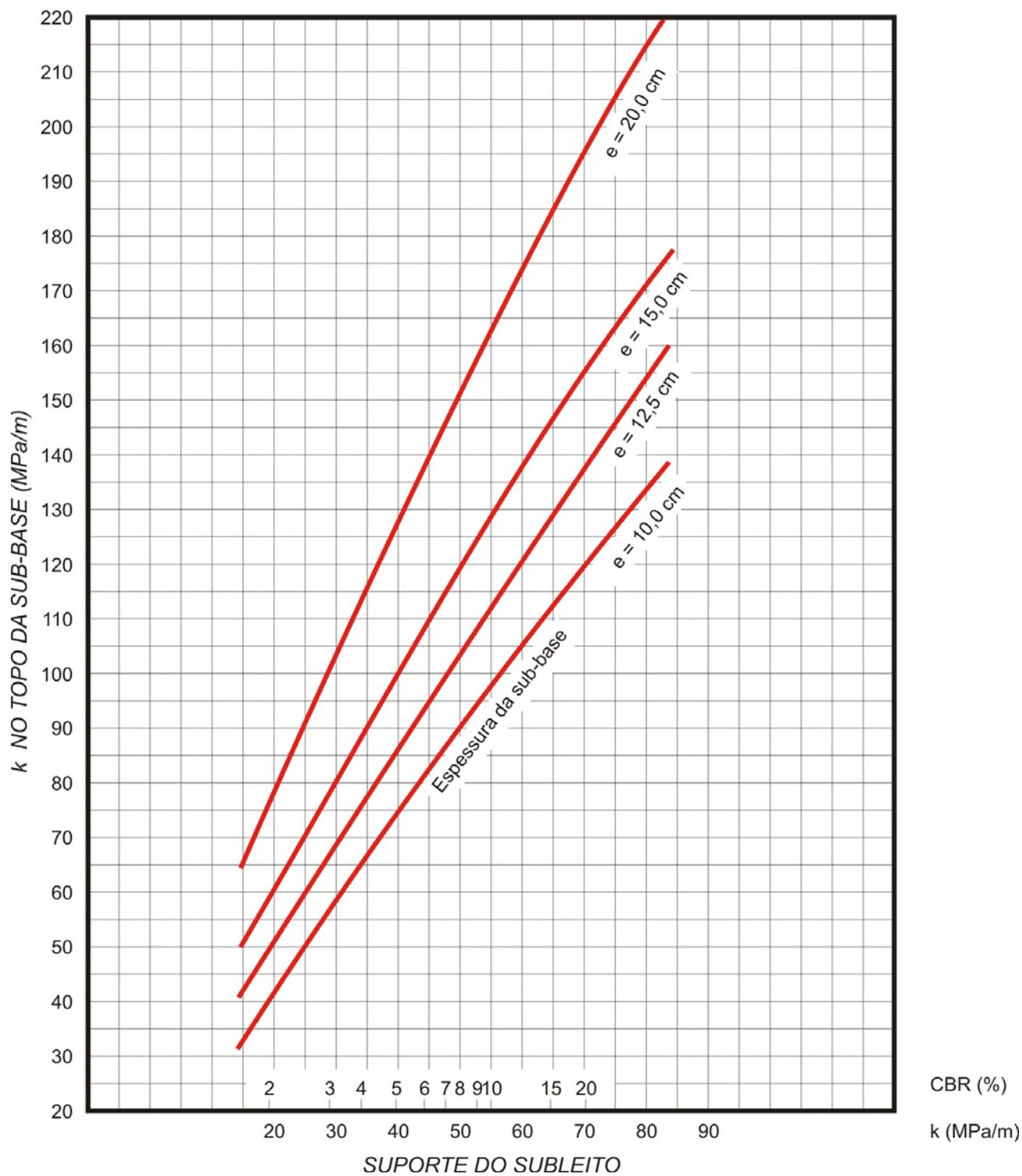


Figura 20 – Aumento de k devido à presença de sub-base de solo-cimento

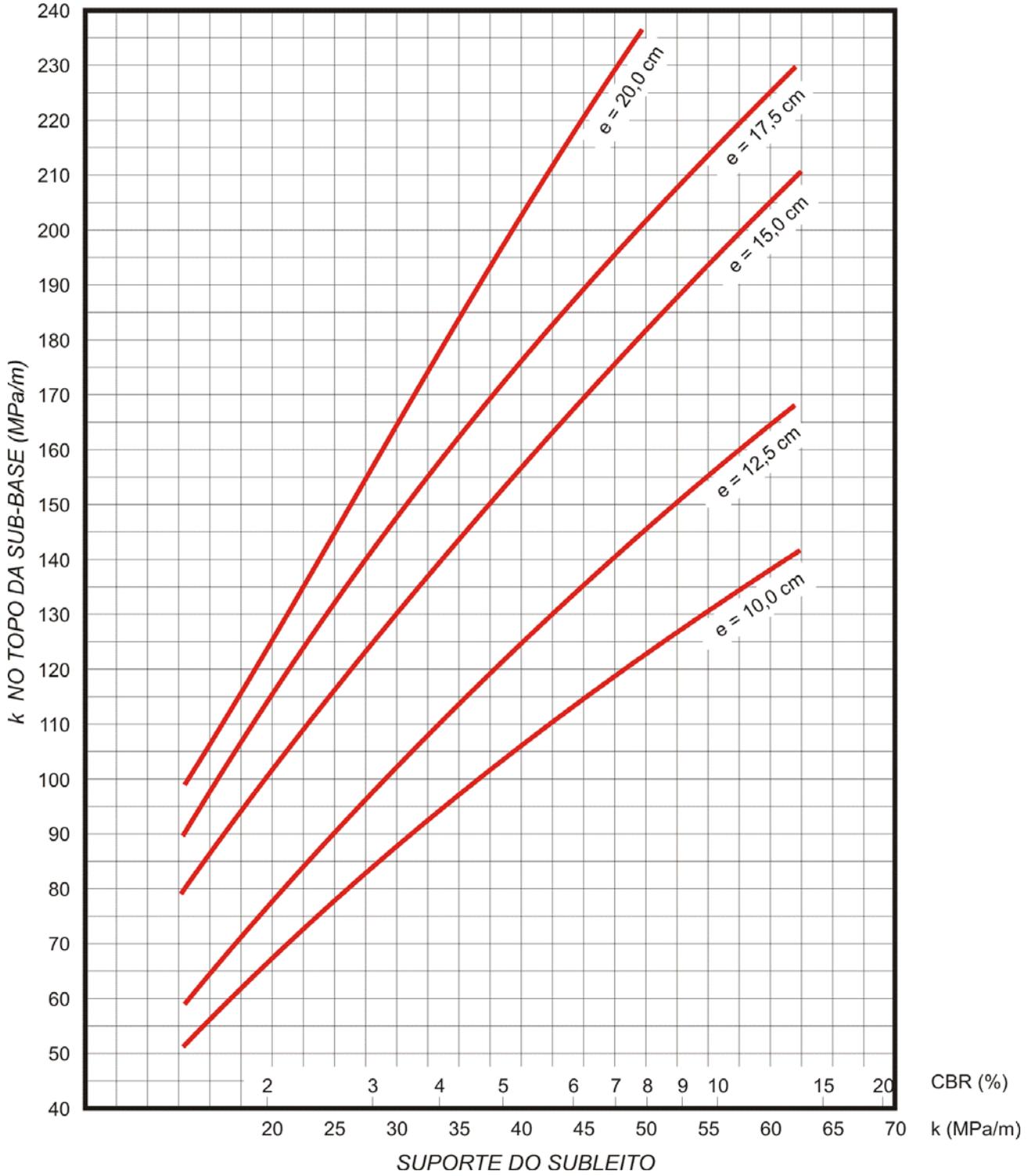
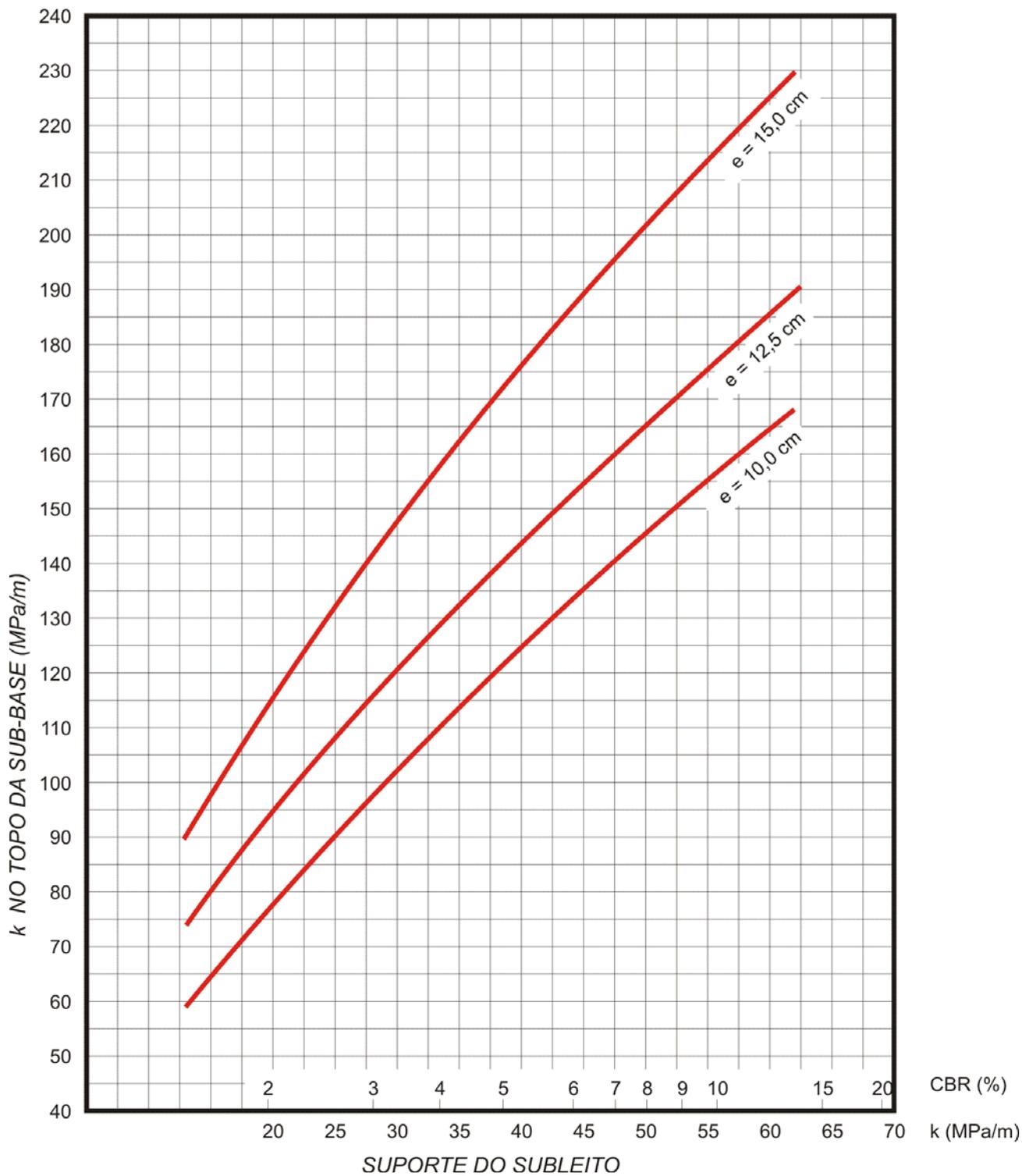


Figura 21 – Aumento de k devido à presença de sub-base de concreto rolado



4.5 PROJETO DE DRENAGEM

4.5.1 OBJETIVOS

O sistema de drenagem para pavimentos rígidos é constituído basicamente pela drenagem superficial, por bueiros e pela drenagem profunda, tal como nos projetos de pavimentos flexíveis.

Características peculiares das sub-bases, dos solos de fundação ou do nível freático, podem requerer soluções particulares, ou mesmo simplificar o sistema de drenagem, como no caso da utilização de brita graduada como sub-base com função drenante.

Os projetos de drenagem para pavimentos rígidos devem ser executados conforme as diretrizes atualmente recomendadas, tanto pela Especificação de Serviços de Drenagem e o Álbum de Projetos Tipo de Dispositivos de Drenagem (1988) do DNER, como pelas orientações das Instruções de Serviço para Projeto de Drenagem, integrante das Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários.

4.5.2 SISTEMAS DE DRENAGEM

A drenagem dos pavimentos é realizada por meio dos seguintes sistemas :

4.5.2.1 DRENAGEM SUPERFICIAL

O sistema de drenagem superficial tem por objetivo captar e interceptar as águas que se precipitam sobre o corpo estradal e conduzi-las para um local de deságüe seguro, sem que comprometa a estabilidade do maciço e não cause erosão nas áreas vizinhas.

Ele se compõe dos seguintes dispositivos :

- a) valeta de proteção de corte
- b) valeta de proteção de aterro
- c) sarjeta de corte em solo
- d) sarjeta de corte em rocha
- e) banquetta de aterro
- f) saída d'água
- g) descida d'água
- h) caixa coletora
- i) caixa de amortecimento
- j) escalonamento dos taludes

4.5.2.2 BUEIROS

O sistema de bueiros tem por objetivo permitir a passagem das águas que escoam pelo terreno natural, de um lado para o outro do corpo estradal.

Os tipos de bueiros utilizados nas rodovias são:

- a) tubulares de concreto
- b) tubulares metálicos
- c) celulares de concreto

4.5.2.3 DRENAGEM PROFUNDA

O sistema de drenagem profunda tem por objetivo interceptar e rebaixar o lençol d'água subterrâneo, de forma a impedir a deterioração progressiva do suporte das camadas dos terraplenos e pavimentos.

Os tipos de drenos profundos utilizados nas rodovias são:

- a) drenos contínuos
- b) drenos descontínuos
- c) drenos cegos
- d) drenos interceptantes
- e) colchões drenantes
- f) drenos rasos
- g) drenos transversais
- h) drenos a céu aberto (valetões)

4.5.3 DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM

Os diversos sistemas que compõem um projeto de drenagem devem ser dimensionados pelos métodos e fórmulas a seguir sugeridas ou por outras fórmulas consagradas, definidas e justificadas pela Projetista.

4.5.3.1 DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM SUPERFICIAL

O dimensionamento hidráulico da seção de vazão deverá ser feito por meio da expressão de Manning, aliada à de continuidade, de forma a estabelecer a descarga máxima admissível.

A determinação do comprimento crítico das sarjetas e valetas será feita pela fórmula de Manning aliada à de continuidade ou pela fórmula proposta por Jeuffroy e Prunières, dada pela expressão:

$$L = \lambda \sqrt[3]{ht^4} \sqrt[3]{\ell}$$

em que:

L = Comprimento crítico da sarjeta ou valeta, em metros;

h = Intensidade da chuva, em m/s;

t = Duração da chuva, em segundos;

ℓ = Largura do impluvium, em metros;

λ = Coeficiente que depende da declividade, forma e rugosidade do condutor, sendo dado pela expressão:

$$\lambda = K\sqrt{i} \cdot \left(\frac{R}{\sqrt{s}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

em que:

i = Declividade do condutor, em m/m;

R = Raio hidráulico, em m;

K = Coeficiente de rugosidade do condutor;

s = Seção, em m².

4.5.3.2 DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS D'ÁGUA

As saídas de água, sejam ao nível do terreno, como por meio de escadas ou calhas, deverão ser dimensionadas segundo cada tipo, em função dos valores da descarga que irão suportar, bem como das dimensões das estruturas de drenagem a que se ligarão, devendo-se levar em consideração que essa descarga não cause erosões no terreno natural, sendo portanto conveniente, a colocação de dissipadores de energia para cada descarga e tipo de descida d'água.

O dimensionamento das Caixas Coletoras deverá ser feito conforme as recomendações do "Manual de Implantação Básica", do DNER.

4.5.3.3 DIMENSIONAMENTO DOS BUEIROS

No dimensionamento dos bueiros deverá ser considerado que eles irão operar como canais, para um período de recorrência de 10 anos. O dimensionamento assim obtido, deverá ser verificado para a condição do bueiro como sendo um orifício, com um afogamento máximo de 1,00m e para um período de recorrência de 50 anos, considerando o resultado mais desfavorável. Neste dimensionamento deverá ser usada a expressão de Manning, aliada à de continuidade; para verificação do dimensionamento, admitindo-se a existência de carga hidráulica, deverá ser utilizada a metodologia que considere o bueiro como sendo um orifício.

4.5.3.4 DIMENSIONAMENTO DOS DRENOS PROFUNDOS

No dimensionamento dos dispositivos de drenagem profunda, deverão ser adotadas metodologias que considerem a velocidade de percolação e gradiente hidráulico.

4.5.3.5 DIMENSIONAMENTO DA SEÇÃO DE VAZÃO DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Nas Obras de Arte Especiais, o dimensionamento da seção de vazão deverá ser feito em três etapas, a saber:

- a) cálculo da seção hidráulica de vazão (Q), a partir de dados hidrológicos e topográficos, aplicando-se metodologias onde sejam consideradas:
 - alturas médias das chuvas,
 - área da bacia,
 - variação da máxima enchente,
 - coeficientes topográficos e hidráulicos
- b) cálculo da vazão possível (Q') em função das condições impostas pelo Projeto Geométrico
- c) de posse do perfil do terreno no local da travessia, será marcada a linha d'água, deixando-se um vão livre de 1,00m a partir da face inferior das vigas longitudinais e calculada a velocidade (V) pela fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{I}$$

em que:

V = velocidade, em m/s;

R = raio hidráulico, em m;

I = declividade do curso d'água, em m/m;

$\frac{1}{n}$ = coeficiente tirado da tabela 6:

Tabela 6 - Coeficiente 1/n

Nível da Água	Natureza da Superfície dos Cursos D'água	1/n
águas altas	– margens retas, leito limpo, sem poços ou depressões profundas	40,0
	– margens retas, leito com algumas pedras e vegetação	33,3
	– margens sinuosas, leito limpo, com alguns poços e baixios	28,6
águas altas	– margens sinuosas, leito limpo, com algumas pedras e vegetação	22,0
	– trechos parados, com poços muito profundos e vegetação	16,7
	– trechos muito cheios de vegetação	10,0
Águas baixas	– margens sinuosas, leito limpo, com alguns poços e baixios	25,0
	– margens sinuosas em trechos pedregosos	22,2

Determinados o valor de (V) e da seção de vazão(s) formada pelo perfil do terreno e pela altura d'água utilizada, é obtido o valor de Q'(vazão possível), por meio da fórmula:

$$Q' = sV$$

em que:

Q' = vazão em m³/seg.

s = seção de vazão em m²

V = velocidade ,em m/seg.

A comparação entre Q e Q' indicará se o vão adotado está correto ou quais as correções que deverão ser feitas.

Deverá ser verificada a compatibilidade da velocidade resultante, com o tipo de terreno, principalmente em casos de estreitamento do canal natural do rio. Para os rios de leito inconsistente, não convém que a velocidade média V ultrapasse os valores máximos do Quadro 8, a fim de evitar que se manifestem erosões nas fundações dos pilares das pontes.

Quadro 8 – Compatibilidade entre velocidade máxima do rio e tipo do terreno

Tipos de Leito de Rio	V (m/s)
Lodo ou vasa	0,50
Areia fina	0,80
Areia de consistência média	1,00
Areia compacta	1,50
Saibro	1,80
Cascalho, Rio com leito estável	2,00

4.6 DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

4.6.1 OBJETIVO

Neste capítulo são apresentados os procedimentos para o cálculo da espessura de pavimentos rodoviários de concreto simples, de concreto estruturalmente armado, além dos pavimentos especiais dos tipos “Whitetopping”, pavimentos sobre estruturas de concreto, especialmente dos tabuleiros de Obras de Arte Especiais, denominados de “sobre-laje” e pavimentos com peças pré-moldadas de concreto.

Nos pavimentos de concreto simples, são dadas orientações para o dimensionamento das armaduras de pavimentos dotados de armadura distribuída, contínua e descontínua, sem função estrutural, além das situações em que deve ser empregado este tipo de pavimento.

Inicialmente são apresentados os fundamentos de cada método e, em seguida, os roteiros para cálculo da espessura do pavimento rígido, com exemplificação completa.

4.6.2 PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLES - MÉTODO DA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION-PCA - 1984

4.6.2.1 PRELIMINARES

Para o dimensionamento de pavimentos de concreto simples, são apresentados dois métodos elaborados pela Portland Cement Association (PCA), sendo um deles mais tradicional, apresentado em 1966 e largamente adotado no Brasil e outro mais atual, de 1984, que engloba novos conceitos no dimensionamento de pavimentos rígidos e que tem sido muito usado entre nós.

O método da Portland Cement Association – PCA – versão 1984, introduz os progressos e conhecimentos obtidos nos dois últimos decênios nas áreas de cálculo de tensões, projeto geométrico, construção e gerência desse tipo de pavimento, acrescentando novos enfoques e modificando profundamente o método adotado desde 1966.

Ele se aplica tanto a pavimentos de concreto simples e com barras de transferência, como naqueles dotados de armadura distribuída, descontínua ou contínua, sem função estrutural.

Neste método emprega-se um modelo de análise estrutural de elementos finitos, ao contrário do método anterior, de 1966, que é da família dos modelos estruturais de placas com suporte contínuo.

Outros tópicos que este método leva em conta são:

- a) o tipo e o grau de transferência de carga nas juntas transversais,
- b) os efeitos da existência ou não de acostamentos de concreto,
- c) a contribuição estrutural das sub-bases de concreto pobre rolado ou convencional, ou então de sub-bases tratadas com cimento,
- d) a ação dos eixos tandem triplos,
- e) introduz um modelo de ruína por erosão da fundação do pavimento (no qual se embute um modelo de ruína por formação de "degraus" ou escalonamento "faulting" nas juntas transversais), usando-o concomitantemente com o modelo modificado de fadiga.

É possível neste método combinar facilmente diferentes fatores de projeto, o que permite a concepção de uma extensa gama de soluções alternativas e conseqüentemente a definição da solução mais econômica, em termos de custo inicial.

Por ser ainda um método relativamente novo, sem ainda o amparo da experiência, pelo uso do cotidiano extenso, é um procedimento aberto a modificações que levem em conta no futuro está experiência local ou outras inovações.

4.6.2.2 FUNDAMENTOS E CAMPOS DE APLICAÇÃO

O método PCA/84 se baseia em quatro pontos :

- a) estudos teóricos clássicos sobre o comportamento de placas de concreto (Westergaard, Pickett et alii) e modernas análises computacionais empregando elementos finitos (Tayabji e Colley);
- b) ensaios de laboratório e em modelos, sobre comportamento e influência de juntas, sub-bases e acostamentos no desempenho de pavimentos de concreto,
- c) pistas experimentais, especialmente da AASHO (hoje, AASHTO), além de estudos levados a efeito por diversos órgãos rodoviários e aeroportuários;
- d) observação metódica de pavimentos em serviço;

A conexão entre essas informações, necessária para a concepção de um procedimento de dimensionamento dito mecanístico (em contraposição aos métodos empíricos), no qual se integram os distintos parâmetros, é resolvida pela aplicação de uma análise muito

abrangente das tensões e deformações em um modelo que emprega elementos finitos e trabalha com :

- a) as propriedades do concreto,
- b) o tipo e o suporte da fundação,
- c) o carregamento, introduzindo o estudo da influência do tipo de transmissão de carga nas juntas transversais, bordas longitudinais e trincas, por entrosagem de agregados, barras de transferência ou outro dispositivo,
- d) dos acostamentos de concreto
- e) posição da carga (se no interior, canto, borda longitudinal ou junta transversal).

Com este método determina-se a espessura dos seguintes tipos de pavimento:

- a) **pavimentos de concreto simples**, que não dispõem de espécie alguma de aço, sob nenhuma forma, e tem a entrosagem de agregados como única maneira de transferência de carga entre placas e por isso mesmo, exigem placas curtas (no Brasil, comumente da ordem de 5 a 6m de comprimento);
- b) **pavimentos de concreto simples com barras de transferência**, dotados de sistema artificial de transmissão de carga, formado por barras curtas de aço liso, postada na meia-seção das juntas transversais e que podem ter comprimento de placa de até 9m a 12m, ainda que em nosso País não se utilize, normalmente, dessa última vantagem;
- c) **pavimentos de concreto com armadura distribuída descontínua**, que contam com barras de aço sob a forma de armadura distribuída, que se detém antes de cada junta transversal, nas quais é obrigatória a adoção de barras de transferência, armadura esta que não tem função estrutural, ou seja, não contribui para aumentar a resistência da placa à flexão, agindo com a exclusiva função de manter as fissuras fortemente ligadas, que por acaso se formem entre duas juntas transversais seguidas, fato comum nesse tipo de pavimento, cujas placas são de grande comprimento, de até 30m (embora 12 a 15m sejam mais adotados);
- d) **pavimentos de concreto com armadura distribuída contínua**, nos quais não há juntas transversais de retração e a armadura, bastante pesada, faz com que se tenha boa transmissão de carga nas fissuras; o comprimento das placas é igual à extensão diária construída (não há exemplos de utilização dessa forma de pavimento de concreto no Brasil).

4.6.2.3 PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO

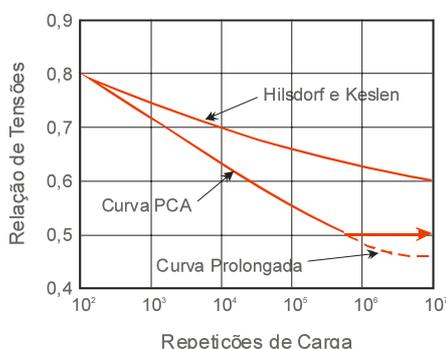
4.6.2.3.1 MODELOS DE RUINA

A seguir são apresentados os parâmetros de composição do método e a maneira como este os delimita e considera.

a) fadiga

As tensões de tração por flexão consideradas no cálculo, são as produzidas pela carga tangente à borda longitudinal; a curva de fadiga alcança valores abaixo da relação de tensões limite de 0,50, o que elimina a descontinuidade nesse ponto e afasta a possibilidade de acontecer casos irreais de dimensionamento quanto ao número admissível de solicitações. O critério de fadiga está mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Curvas de fadiga



A lei de Miner, do dano acumulado por fadiga (*) é usada no método, estando a curva de fadiga implícita nos ábacos de dimensionamento. O consumo total admissível de fadiga é de 100%. O critério de fadiga está bastante ao lado da segurança, sendo os eixos simples os de maior influência no fenômeno de fadiga.

(*) Esta lei determina que a parcela da resistência à fadiga não consumida por uma certa classe de carga, fica disponível para uso por outras cargas, sendo que o dano total é a soma final dos consumos individuais da resistência à fadiga.

b) erosão

Entende-se por erosão a perda de material da camada de suporte direto da placa de concreto, por ação combinada da água e da passagem de cargas (principalmente dos eixos múltiplos), dando-se o fato também nas laterais do pavimento.

Os efeitos da erosão manifestam-se sob a forma de deformações verticais críticas, nos cantos e nas bordas longitudinais das placas, causando escalões ou "degraus" nas juntas transversais (principalmente se elas foram desprovidas de barras de transferência), podendo ser ambas as ocorrências causadas por bombeamento, formação de vazios sob a placa e perda de suporte ou contato entre a placa e a fundação.**)

() Esse tipo de dano não pode ser previsto nem medido pelo modelo de fadiga.**

O critério de erosão depende da correlação entre os valores calculados das deformações verticais no canto das placas e das pressões verticais exercidas na interface entre a placa e a sua fundação.

Foi introduzido o conceito de fator de erosão (P), que mede o poder que uma certa carga tem para impor uma certa deformação vertical à placa, ligado ao parâmetro de erosão.

Este fator é o produto da pressão vertical na interface (p), pela deformação vertical (w), dividido pelo raio de rigidez relativa (l_c) da bacia de deformação da fundação, por unidade de área.

Para iguais valores de " pw " e velocidade da carga, as placas mais delgadas receberão ou estarão sujeitas a um P mais intenso ou rápido.

Adotando fatores de ajustamento constantes, oriundos de correlações obtidas em pistas experimentais, para um Índice de serventia final igual a 3, obteve-se uma expressão analítica para P , indiretamente proporcional ao número admissível de solicitações de carga.

Para incorporar ao modelo de erosão, os danos causados pela formação de escalões nas juntas transversais, lançou-se mão de estudos de Packard e de Brokaw, em que o índice de serventia do pavimento é função do grau de escalonamento, da intensidade do tráfego e da espessura do pavimento, incluindo fatores não considerados nos modelos que se baseiam exclusivamente na Pista Experimental da AASHO (principalmente, o maior nível de solicitações), as juntas sem barras de transferência, as sub-bases estáveis e os acostamentos de concreto.

O critério do dano causado por erosão é intimamente ligado às condições climáticas regionais e à eficiência da drenagem, não sendo esses fatores cobertos pelo método, estando portanto sob investigação (***)

(*) Entretanto estes fatores são considerados nos métodos de dimensionamento de Brokaw e de Darter, para pavimentos de "manutenção zero".**

Por isso, o critério de erosão é uma diretriz básica, que poderá ser modificada em função de dados locais, como pluviosidade e tipo e eficácia da drenagem.

Além disso, o limite recomendado para o dano total por erosão, igual a 100%, está merecendo por parte da PCA e deve merecer também dos projetistas, uma análise futura quanto à sua validade.

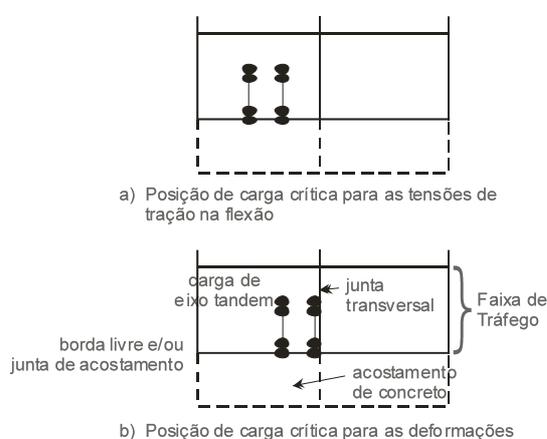
4.6.2.3.2 TIPOS DE PAVIMENTO

a) pavimentos com juntas transversais de retração

A posição crítica da carga de projeto é próxima ou tangente à borda longitudinal e a meio caminho entre duas juntas, no que se refere às tensões de tração por flexão. Para as distâncias usuais entre juntas, considera-se que elas não influem no estabelecimento do nível crítico de tensões no modelo de fadiga, o mesmo acontecendo com o sistema de transferência de carga, se é feito por entrosagem dos

agregados ou por barras de transferência. A existência de acostamento de concreto faz decrescerem as tensões na borda, desde que ele seja ligado de alguma forma ao pavimento, quer por barras de ligação, como por uma articulação do tipo de encaixe macho-fêmea, com melhor desempenho do primeiro tipo. A Fig. 23a mostra a posição crítica da carga. Na análise de erosão, a deformação crítica é aquela que se dá no canto da placa (Ver Fig. 23b), quando a carga está tangenciando, ao mesmo tempo, a borda longitudinal livre do pavimento e a junta transversal. Estudando essa situação de carregamento, fica patente que a eficácia do sistema de transferência de carga, tanto entre placas (através da junta), como entre placa e acostamento, tem um papel preponderante no comportamento do pavimento, quando é considerado como critério, o dano por erosão.

Figura 23 - Posições críticas de carga



b) pavimentos continuamente armados

O emprego deste tipo de pavimento no Brasil é desconhecido e provavelmente será raro no futuro.

Por esta razão, a sua análise não será feita de forma aprofundada neste Manual.

4.6.2.3.3 DISTRIBUIÇÃO DO TRÁFEGO

Diversos estudos demonstram que é muito pequena a parcela de caminhões que trafegam rente à borda longitudinal de um pavimento, que é a situação crítica de carregamento.

No modelo de fadiga, esta parcela foi calculada na borda e em direção ao interior da placa (afastando-se da borda), para porcentagens variáveis de caminhões solicitando a borda, resultando daí o fator de equivalência de tensões.

Este fator, multiplicado pela tensão na borda, fornece o mesmo consumo de fadiga que ocorreria com uma certa distribuição ou porcentagem de caminhões trafegando na borda longitudinal do pavimento.

No procedimento de dimensionamento, está implícita uma taxa de 6%, plenamente do lado da segurança, sendo esta mesma distribuição, considerada na análise de erosão.

Se houver acostamento de concreto, os 94% que solicitam o interior do pavimento dão a situação mais desfavorável.

A inexistência do acostamento de concreto faz com que se tornem críticos os 6% que tangenciam o canto da placa, sendo que a equação de dano por erosão aproveita estas considerações.

É levado em conta que o aumento das áreas de contato e do espaçamento entre pneumáticos, no caso de veículos pesados, não corresponde a um aumento igual das tensões produzidas pelas cargas nesses pneumáticos; daí que o método eleva ao expoente 0,94 (derivado de estudos anteriores), as cargas de projeto no modelo de fadiga, não o fazendo no caso da análise de erosão.

4.6.2.3.4 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

O método incorpora automaticamente o aumento de resistência à tração na flexão do concreto após aos 28 dias, que continua sendo a idade base para fixação da resistência característica.

A alteração foi corroborada pela simulação, em 20 anos de período de projeto, de aumentos das repetições de cargas e dos ganhos de resistência do concreto, mês a mês.

Da mesma forma estão implícitas no procedimento de dimensionamento, as variações da resistência à tração na flexão, pela adoção de um coeficiente de variação do concreto de 15%, equivalente a um controle de qualidade de regular para bom, conforme o ACI 214.

4.6.2.3.5 ACOSTAMENTOS DE CONCRETO

O efeito dos acostamentos de concreto é substancial, ainda mais no que toca à redução das deformações verticais ao longo da borda no pavimento. O modelo estrutural computa uma eficiência de junta da ordem de 65%, no caso de haver ligação entre o acostamento e o pavimento.

A adoção de um acostamento de concreto pode resultar em até cerca de 4cm na redução na espessura necessária de placa, dependendo dos demais parâmetros de projeto.

Mesmo não havendo acostamento de concreto, foram determinadas por um programa especial de computador, deformações de 98,6% e tensões de 96,7% daquelas obtidas sem consideração da ação do acostamento de concreto. O método já assimila diretamente esse fato, no caso de dimensionamento do pavimento sem acostamento de concreto.

4.6.2.3.6 SUB-BASES TRATADAS COM CIMENTO

Por proporcionar suporte de alto valor, não ser bombeáveis e virtualmente não sujeitas à erosão, a intercalação de uma sub-base com cimento, pode redundar em economia de até 3 cm na espessura do pavimento rígido, no caso de pavimentos sem barras de transferência e com tráfego pesado.

No caso de sub-bases de concreto rolado, o método considera duas condições para elas, isto é, considera que elas estejam totalmente separadas das placas (pavimento não monolítico) ou então aderidas a elas (pavimento monolítico ou de concreto composto).

Na primeira condição, a sub-base é considerada não erodível e de características estruturais superiores a qualquer tipo de sub-base, contendo o método um ábaco especial para o cálculo da espessura de concreto rolado (do qual se exige uma resistência determinada), capaz de equivaler estruturalmente a um pavimento de concreto mais espesso, sem sub-base.

Quando se trata de pavimento monolítico (2ª condição), considera-se :

- a) que é total a aderência entre as duas camadas,
- b) que a relação de tensões em cada camada não exceda a de um pavimento sem a camada inferior de concreto rolado,
- c) que o dano por erosão no concreto pobre rolado não supere o do pavimento de referência (sem sub-base).

Este processo é opcional, mas ainda não comprovado, devendo ser usados os tradicionais ábacos ou formulas que fornecem o aumento de coeficiente de recalque causado pela sub-base tratada com cimento.

4.6.2.3.7 BARRAS DE TRANSFERÊNCIA

Comparando-se pavimentos com e sem barras de transferência, verifica-se que a contribuição destas barras pode ser tão grande a ponto de trazer uma economia de até 5 cm na espessura na placa, no caso de cotejo com pavimentos sem acostamento de concreto e sem sub-base, para tráfego pesado.

4.6.2.3.8 EMPENAMENTO DO CONCRETO

A difícil questão do empenamento do concreto não é parte do método, posto que a incerteza no cálculo das tensões dele resultantes não é considerada confiável a esse ponto.

4.6.2.3.9 FATORES DE SEGURANÇA PARA AS CARGAS

No dimensionamento da espessura das placas, são considerados os fatores de segurança para as cargas (FSC) apresentados no Quadro 9:

Quadro 9 - Fatores de segurança para as cargas (FSC)

Tipo de Pavimento	FSC
– para ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego (estacionamentos, por exemplo)	1,0
– para estradas e vias com moderada frequência de caminhões	1,1
– para altos volumes de caminhões	1,2
– pavimentos que necessitem de um desempenho acima do normal	Até 1,5

4.6.2.4 ROTEIRO PARA O DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Para o dimensionamento da espessura do pavimento deve-se inicialmente calcular-se o número de eixos totais por classe de carga, que irão atuar no pavimento durante o período de projeto previsto para ele (vida útil). No Quadro 10 - exemplo de cálculo de eixos totais por classe de carga - apresenta-se um exemplo deste cálculo.

A seguir, quando adotado o método da PCA, versão 1984, deve ser utilizado o formulário-tipo do Quadro 11 e os seguintes Quadros:

Quadro 12 - tensão equivalente para eixos simples (ES) e eixos tandem duplos (ETD) (pavimento sem acostamento de concreto)

Quadro 13 - tensão equivalente para eixos triplos (ETT) (pavimento sem acostamento de concreto)

Quadro 14 - tensão equivalente ES e ETD (pavimento com acostamento de concreto)

Quadro 15 - tensão equivalente ETT (pavimento com acostamento de concreto)

Quadro 16 - fator de erosão ES e ETD (junta sem barras de transferência, pavimento sem acostamento de concreto)

Quadro 17 - fator de erosão ETT (junta sem barras de transferência, pavimento sem acostamento de concreto)

Quadro 18 - fator de erosão ES e ETD (junta sem barras de transferência, pavimento com acostamento de concreto)

Quadro 19 - fator de erosão ETT (junta sem barras de transferência, pavimento com acostamento de concreto)

Quadro 20 - fator de erosão ES e ETD (junta com barras de transferência, pavimento sem acostamento de concreto)

Quadro 21 - fator de erosão ETT (junta com barras de transferência, pavimento sem acostamento de concreto)

Quadro 22 - fator de erosão ES e ETD (junta com barras de transferência, pavimento com acostamento de concreto)

Quadro 23 - fator de erosão ETT (junta com barras de transferência, pavimento com acostamento de concreto).

São utilizadas também as seguintes figuras:

Figura 24 - análise de fadiga (pavimento com ou sem acostamento de concreto)

Figura 25 - análise por erosão (pavimento sem acostamento de concreto)

Figura 26 - análise por erosão (pavimento com acostamento de concreto).

A descrição do uso desses Quadros e Figuras encontra-se no roteiro apresentado a seguir, para maior facilidade e ordenação.

Os passos a seguir no dimensionamento de um pavimento de concreto são:

a) Definição dos parâmetros de dimensionamento:

- tipo de acostamento e adoção ou não de barras de transferência,
- resistência á tração na flexão aos 28 dias,
- coeficiente de recalque,
- fator de segurança,
- tráfego esperado para cada nível de carga e de acordo com a vida de projeto do pavimento (Quadro 10).

b) Adoção de uma espessura tentativa de concreto e preenchimento dos dados da folha-tipo de trabalho / (Quadro 11).

c) Determinar a Tensão Equivalente nos Quadros 12 e 13, ou 14 e 15, dependendo se o pavimento terá ou não acostamento de concreto, para eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, com:

- a espessura estimada da placa, H;
- o coeficiente de recalque do sistema, $k^{(*)}$.

(* Para a avaliação do coeficiente de recalque do sistema, k, podem ser utilizadas as figuras 11, 18, 19, 20 e 21)

Transportam-se os valores encontrados para os campos 8, 11 e 14 do formulário do Quadro 11, conforme os eixos sejam simples, tandem duplos ou tandem triplos.

- d) Determinam-se nos Quadros 16 e 17, 18 e 19, 20 e 21 ou 22 e 23 os Fatores de Erosão, de acordo com o tipo de junta considerada e o tipo de acostamento;
- entra-se com a espessura H e o k do sistema;
 - determinam-se os fatores de erosão para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos
 - transportam-se respectivamente estes valores para os espaços 10, 12 e 15 do formulário do Quadro 11.
- e) Calculam-se os Fatores de Fadiga dos Campos 9, 13 e 16 do formulário do Quadro 11, para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, dividindo as Tensões Equivalentes pela resistência de projeto.
- f) Com o Fator de Fadiga e as cargas por eixos simples e tandem duplos, determinam-se as Repetições Admissíveis na coluna 4, do Quadro 11, pela Figura 27 (Análise por Fadiga).

Os eixos tandem triplos são considerados para a de terminação das Repetições Admissíveis como 3 eixos simples, cada um com um terço da carga total. Esta é uma simplificação que apenas facilita o calculo; deve ser levado em conta, entretanto, que as Tensões Equivalentes que aparecem nos Quadros, correspondem a ação do conjunto formado originalmente pelos 3 eixos, ou seja, pelo próprio eixo tandem triplo.

- g) Com o Fator de Erosão e as cargas por eixo simples e tandem duplos, determinam-se as Repetições Admissíveis no ábaco da figura 28 (para o caso de um pavimento sem acostamento de concreto) ou no ábaco da figura 29 (para o caso de um pavimento com acostamento de concreto) que são lançadas na coluna 6 do Quadro 11.

No caso dos eixos tandem triplos, como foi dito no item (f), eles são considerados, na determinação das Repetições Admissíveis, como sendo 3 eixos simples, cada um com um terço da carga total; esta é uma simplificação que apenas facilita o cálculo; deve entretanto, ser levado em conta, que os fatores de erosão que aparecem nos Quadros, correspondem à ação do conjunto formado originalmente pelos 3 eixos, ou seja, pelo próprio eixo tandem triplo.

- h) Dividem-se as repetições esperadas pelas respectivas repetições admissíveis, determinadas tanto na Análise por Fadiga como na Análise por Erosão, determinando-se as porcentagens de resistência à fadiga consumida e o dano por erosão; transportam-se os valores calculados para as colunas 5 e 7, respectivamente, do Quadro 11.
- i) Soma-se a coluna 5 (porcentagem de fadiga) e a coluna 6 (porcentagem de erosão) do Quadro 9; verificar se a espessura estimada cumpre os requisitos solicitados, isto é, nenhuma das somas destas colunas, ultrapassa 100 %.

Caso a espessura tentada seja insuficiente, deve-se repetir o cálculo com uma espessura maior.

Se a porcentagem de resistência à fadiga consumida ou a porcentagem de dano por erosão ficarem próximas de zero, as condições estão satisfeitas, mas a placa estará superdimensionada, devendo-se portanto, diminuir a espessura do pavimento, para buscar obter porcentagens o mais perto possível de 100%

A seguir apresentam-se os Quadros e Ábacos necessários para o cálculo.

**QUADRO 10 - EXEMPLO DE CÁLCULO DE EIXOS
TOTAIS POR CLASSE DE CARGA (20 ANOS)**

EXEMPLO DE CÁLCULO DE EIXOS TOTAIS POR CLASSE DE CARGA (20 ANOS)							
Faixa da Carga (tf)	Ônibus (T = 723)		Caminhões de 2 eixos (T = 460)		Caminhões de mais de 2 eixos (T = 1113)		Total de Eixos Solicitantes
	Eixos por 1000 veículos	Nº de Eixos	Eixos por 1000 veículos	Nº de Eixos	Eixos por 1000 veículos	Nº de Eixos	
Eixos Simples							
< 5	1348	974.604	1452	667.920	1463	1.628.319	3.270.843
5 - 6	130	93.990	50	23.000	78	86.814	203.804
6 - 7	174	124.802	65	29.900	122	135.786	290.488
7 - 8	130	93.920	57	26.220	106	117.978	238.118
8 - 9	87	62.901	57	26.220	138	153.594	242.715
9 - 10	87	62.901	77	35.420	191	212.583	310.904
10 - 11	43	31.089	96	44.160	186	207.018	282.267
11 - 12			77	35.420	186	207.018	242.438
12 - 13			50	23.000	165	183.645	206.645
13 - 14			15	6.900	53	58.989	65.889
14 - 15			8	3.680	32	35.616	39.296
15 - 16					5	5.565	5.565
Eixos Tandem Duplos							
< 13					164	182.532	182.532
13 - 14					5	5.565	5.565
14 - 15					11	12.243	12.243
15 - 16					11	12.243	12.243
16 - 17					16	17.808	17.808
17 - 18					27	30.051	30.051
18 - 19					21	23.373	23.373
19 - 20					16	17.808	17.808
20 - 21					16	17.808	17.808
21 - 22					11	12.243	12.243
22 - 23					5	5.565	5.565
23 - 24					5	5.565	5.565
Eixos Tandem Triplos							
< 24					27	30.051	30.051
24 - 26					16	17.808	17.808
26 - 28					11	12.243	12.243
28 - 30					17	18.921	18.921

QUADRO 11 – CÁLCULO DA ESPESSURA DE PAVIMENTO DE CONCRETO

Projeto: Pesquisa IPR / Pavimentos Rígidos

Espessura-tentativa: 25 cm Juntas com BT: sim não x .

K_{sb} 100 MPa/m Acostamento de concreto: sim não x .

Resistência característica à tração na flexão 4,8 Mpa Período de projeto 20 anos

Fator de segurança de cargas, F_{sc} 1,2.

EXEMPLO DE CÁLCULO DE EIXOS TOTAIS POR CLASSE DE CARGA (20 ANOS)						
Cargas por eixo (tf)	Cargas por eixo x F_{sc} (tf)	Nº de repetições previstas	ANÁLISE DE FADIGA		ANÁLISE DE EROSIÃO	
			nº de repetições admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	nº de repetições admissíveis	Consumo de Fadiga (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Eixos Simples			(8) Tensão equivalente 1,14		(10) Fator de Erosão 2,72	
			(9) Fator da fadiga 0,238			
< 5	6,0	3.270.843	ilimitado	-	ilimitado	-
5 - 6	7,2	203.804	ilimitado	-	ilimitado	-
6 - 7	8,4	290.488	ilimitado	-	ilimitado	-
7 - 8	9,6	238.118	ilimitado	-	21.200.000	1,1
8 - 9	10,8	242.715	ilimitado	-	8.500.000	2,9
9 - 10	12,0	310.404	ilimitado	-	4.000.000	7,8
10 - 11	13,2	282.267	ilimitado	-	2.500.000	11,3
11 - 12	14,4	242.438	ilimitado	-	1.430.000	17,0
12 - 13	15,6	206.645	ilimitado	-	825.000	25,0
13 - 14	16,8	65.889	6.000.000	1,1	555.000	11,9
14 - 15	18,0	39.296	750.000	5,3	365.000	10,8
15 - 16	19,2	5.565	227.000	2,5	265.000	2,1
Eixos Tandem Duplos			(11) Tensão equivalente 0,99		(12) Fator de erosão 2,89	
			(13) Fator de fadiga 0,206			
< 13	15,6	182.532	ilimitado	-	24.500.000	0,7
13 - 14	16,8	5.565	ilimitado	-	13.000.000	-
14 - 15	18,0	12.243	ilimitado	-	7.500.000	0,2
15 - 16	19,2	12.243	ilimitado	-	5.100.000	0,2
16 - 17	20,4	17.808	ilimitado	-	3.400.000	0,5
17 - 18	21,6	30.051	ilimitado	-	2.700.000	1,1
18 - 19	22,8	23.373	ilimitado	-	1.800.000	1,3
19 - 20	24,0	17.808	ilimitado	-	1.300.000	1,4
20 - 21	25,2	17.808	ilimitado	-	970.000	1,8
21 - 22	26,4	12.243	ilimitado	-	750.000	1,6
22 - 23	27,6	5.565	ilimitado	-	700.000	0,8
23 - 24	28,8	5.565	ilimitado	-	460.000	1,2
Eixos Tandem Triplos			(14) Tensão equivalente 0,99		(15) Fator de erosão 2,89	
			(16) Fator de fadiga 0,206			
< 24	9,6	30.051	ilimitado	-	3.000.000	1,0
24 - 26	10,4	17.808	ilimitado	-	2.100.000	0,8
26 - 28	11,2	12.243	ilimitado	-	1.500.000	0,8
28 - 30	12,0	18.921	ilimitado	-	900.000	2,1
			TOTAL	8,90%	TOTAL	105,4%

QUADRO 12
Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (MPa)
PSAC (pavimento sem acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																				
	20			40			60			80			100			150			180		
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD			
12	4,30	3,56	3,78	3,01	3,51	2,81	2,68	3,31	2,97	2,40	2,30	2,91	2,43	2,74	2,35	2,08	1,85	1,67			
13	3,84	2,33	3,38	2,73	3,14	2,53	2,40	2,84	2,30	2,16	2,08	2,37	1,94	2,23	1,85	1,67	1,52	1,39			
14	3,46	2,96	3,05	2,49	2,83	2,29	2,16	2,56	2,08	1,94	1,88	2,16	1,75	2,04	1,67	1,52	1,39	1,28			
15	3,14	2,72	2,27	2,29	2,57	2,09	1,97	2,33	1,88	1,75	1,73	1,97	1,60	1,87	1,52	1,39	1,28	1,19			
16	2,87	2,52	2,53	2,12	2,35	1,93	1,81	2,13	1,73	1,60	1,60	1,81	1,47	1,72	1,39	1,28	1,19	1,11			
17	2,63	2,35	2,33	1,97	2,16	1,79	1,67	1,96	1,60	1,48	1,48	1,68	1,36	1,59	1,28	1,19	1,11	1,04			
18	2,43	2,20	2,15	1,84	1,99	1,66	1,55	1,81	1,48	1,38	1,38	1,56	1,26	1,48	1,19	1,11	1,04	0,98			
19	2,25	2,07	1,99	1,72	1,85	1,56	1,45	1,68	1,38	1,29	1,22	1,46	1,11	1,28	1,04	0,88	0,83	0,80			
20	2,10	1,95	1,85	1,62	1,72	1,46	1,36	1,56	1,29	1,22	1,15	1,28	1,05	1,20	0,98	0,92	0,88	0,80			
21	1,96	1,85	1,73	1,53	1,61	1,38	1,29	1,46	1,22	1,15	1,09	1,20	0,99	1,13	0,92	0,88	0,80	0,76			
22	1,83	1,75	1,62	1,45	1,50	1,31	1,22	1,37	1,15	1,09	1,04	1,13	0,94	1,01	0,85	0,80	0,76	0,73			
23	1,72	1,67	1,52	1,38	1,41	1,24	1,15	1,28	1,09	1,04	0,99	1,07	0,86	0,90	0,78	0,73	0,69	0,66			
24	1,62	1,59	1,43	1,31	1,33	1,18	1,10	1,21	1,04	0,99	0,94	1,01	0,85	0,95	0,81	0,76	0,73	0,69			
25	1,53	1,52	1,35	1,25	1,26	1,12	1,19	1,05	0,99	0,91	0,86	0,90	0,78	0,86	0,73	0,69	0,66	0,62			
26	1,45	1,45	1,28	1,20	1,19	1,07	1,13	1,00	0,94	0,86	0,83	0,86	0,75	0,82	0,69	0,66	0,62	0,58			
27	1,83	1,39	1,21	1,15	1,13	1,03	0,95	1,03	0,90	0,86	0,86	0,90	0,81	0,90	0,76	0,73	0,69	0,60			
28	1,31	1,34	1,15	1,10	1,07	0,99	1,02	0,91	0,86	0,83	0,83	0,86	0,75	0,82	0,69	0,66	0,62	0,58			
29	1,25	1,29	1,10	1,06	1,02	0,95	0,88	0,97	0,88	0,85	0,83	0,86	0,75	0,82	0,69	0,66	0,62	0,58			
30	1,19	1,24	1,05	1,02	0,97	0,91	0,85	0,92	0,85	0,82	0,80	0,82	0,72	0,78	0,64	0,62	0,60	0,58			
31	1,13	1,20	1,00	0,99	0,93	0,88	0,81	0,84	0,77	0,78	0,77	0,78	0,69	0,74	0,64	0,62	0,60	0,58			
32	1,09	1,16	0,96	0,95	0,89	0,85	0,78	0,80	0,74	0,75	0,71	0,72	0,64	0,68	0,60	0,58	0,58	0,58			
33	1,04	1,12	0,92	0,92	0,85	0,82	0,76	0,77	0,71	0,72	0,69	0,69	0,62	0,66	0,60	0,58	0,58	0,58			
34	1,00	1,08	0,88	0,89	0,81	0,79	0,73	0,77	0,73	0,73	0,69	0,69	0,62	0,66	0,60	0,58	0,58	0,58			

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

QUADRO 13
Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos (MPa)
PSAC (pavimento sem acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)							
	20	40	60	80	140	180	ETT	ETT
12	2,60	2,30	2,20	2,14	2,08	2,07	ETT	ETT
13	2,35	2,04	1,93	1,87	1,80	1,78	ETT	ETT
14	2,15	1,83	1,72	1,65	1,58	1,55	ETT	ETT
15	1,99	1,67	1,55	1,48	1,40	1,37	ETT	ETT
16	1,85	1,54	1,41	1,34	1,25	1,23	ETT	ETT
17	1,73	1,43	1,30	1,23	1,14	1,11	ETT	ETT
18	1,62	1,34	1,21	1,14	1,04	1,01	ETT	ETT
19	1,53	1,26	1,13	1,06	0,96	0,92	ETT	ETT
20	1,45	1,19	1,07	0,99	0,89	0,85	ETT	ETT
21	1,37	1,13	1,01	0,93	0,83	0,79	ETT	ETT
22	1,30	1,07	0,95	0,88	0,78	0,74	ETT	ETT
23	1,24	1,02	0,91	0,84	0,73	0,70	ETT	ETT
24	1,18	0,97	0,87	0,80	0,69	0,66	ETT	ETT
25	1,13	0,93	0,83	0,76	0,66	0,62	ETT	ETT
26	1,07	0,89	0,79	0,73	0,63	0,59	ETT	ETT
27	1,02	0,86	0,76	0,70	0,60	0,57	ETT	ETT
28	0,98	0,82	0,73	0,67	0,58	0,54	ETT	ETT
29	0,93	0,79	0,71	0,65	0,55	0,52	ETT	ETT
30	0,89	0,76	0,68	0,63	0,53	0,50	ETT	ETT
31	0,85	0,73	0,66	0,60	0,51	0,48	ETT	ETT
32	0,81	0,70	0,63	0,58	0,50	0,46	ETT	ETT
33	0,77	0,68	0,61	0,56	0,48	0,45	ETT	ETT
34	0,73	0,65	0,59	0,55	0,46	0,43	ETT	ETT

ETT: Eixos Tandem Triplos

QUADRO 14
Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (Mpa)
PCAC (pavimento com acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																				
	20			40			60			80			100			150			180		
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD			
12	3,36	2,82	2,95	2,46	2,74	2,31	2,60	2,22	2,49	2,16	2,31	2,08	2,31	2,08	2,19	2,04	2,19	2,04			
13	3,02	2,56	2,66	2,22	2,47	2,08	2,34	1,99	2,25	1,94	2,09	1,86	2,09	1,86	1,99	1,81	1,99	1,81			
14	2,74	2,34	2,41	2,02	2,24	1,89	2,13	1,80	2,05	1,75	1,91	1,67	1,91	1,67	1,82	1,62	1,82	1,62			
15	2,50	2,15	2,20	1,85	2,05	1,72	1,95	1,64	1,88	1,59	1,75	1,51	1,75	1,51	1,67	1,46	1,67	1,46			
16	2,29	1,99	2,02	1,71	1,88	1,58	1,80	1,51	1,73	1,46	1,61	1,38	1,61	1,38	1,55	1,33	1,55	1,33			
17	2,11	1,85	1,86	1,58	1,74	1,46	1,66	1,39	1,60	1,34	1,49	1,26	1,49	1,26	1,43	1,21	1,43	1,21			
18	1,96	1,72	1,73	1,47	1,61	1,35	1,54	1,29	1,48	1,24	1,39	1,16	1,39	1,16	1,33	1,12	1,33	1,12			
19	1,82	1,62	1,61	1,38	1,50	1,27	1,43	1,20	1,38	1,16	1,29	1,08	1,29	1,08	1,24	1,04	1,24	1,04			
20	1,70	1,52	1,50	1,29	1,40	1,19	1,34	1,13	1,29	1,08	1,21	1,01	1,21	1,01	1,16	0,97	1,16	0,97			
21	1,59	1,44	1,40	1,22	1,31	1,12	1,26	1,06	1,21	1,02	1,13	0,95	1,13	0,95	1,09	0,91	1,09	0,91			
22	1,49	1,36	1,32	1,15	1,23	1,06	1,18	1,00	1,14	0,96	1,07	0,89	1,07	0,89	1,02	0,86	1,02	0,86			
23	1,40	1,29	1,24	1,09	1,16	1,00	1,11	0,95	1,07	0,91	1,01	0,84	1,01	0,84	0,97	0,81	0,97	0,81			
24	1,32	1,23	1,17	1,04	1,10	0,95	1,05	0,90	1,01	0,86	0,95	0,80	0,95	0,80	0,91	0,76	0,91	0,76			
25	1,25	1,18	1,11	0,99	1,04	0,91	0,99	0,85	0,96	0,82	0,90	0,76	0,90	0,76	0,87	0,73	0,87	0,73			
26	1,19	1,12	1,05	0,95	0,98	0,87	0,94	0,81	0,91	0,78	0,86	0,72	0,86	0,72	0,82	0,69	0,82	0,69			
27	1,13	1,08	1,00	0,91	0,93	0,83	0,89	0,78	0,86	0,84	0,81	0,69	0,81	0,69	0,78	0,66	0,78	0,66			
28	1,07	1,03	0,95	0,87	0,89	0,79	0,85	0,74	0,82	0,71	0,78	0,66	0,78	0,66	0,75	0,63	0,75	0,63			
29	1,02	0,99	0,91	0,84	0,85	0,76	0,81	0,71	0,78	0,68	0,74	0,63	0,74	0,63	0,71	0,60	0,71	0,60			
30	0,98	0,95	0,87	0,81	0,81	0,73	0,77	0,69	0,75	0,66	0,71	0,61	0,71	0,61	0,68	0,58	0,68	0,58			
31	0,93	0,92	0,83	0,78	0,77	0,71	0,74	0,66	0,72	0,63	0,68	0,58	0,68	0,58	0,65	0,55	0,65	0,55			
32	0,90	0,89	0,79	0,75	0,74	68,00	0,71	0,64	0,69	0,61	0,65	0,56	0,65	0,56	0,62	0,53	0,62	0,53			
33	0,86	0,86	0,76	0,92	0,71	0,66	0,68	0,61	0,66	0,59	0,62	0,54	0,62	0,54	0,60	0,51	0,60	0,51			
34	0,83	0,83	0,73	0,70	0,69	0,63	0,66	0,59	0,63	0,57	0,60	0,52	0,60	0,52	0,57	0,49	0,57	0,49			

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

QUADRO 15
Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos (MPa)
PCAC (pavimento com acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)							
	20	40	60	80	140	180	ETT	ETT
12	2,60	2,00	1,93	1,89	1,85	1,85	ETT	ETT
13	1,97	1,78	1,70	1,66	1,61	1,61	ETT	ETT
14	1,78	1,59	1,52	1,48	1,43	1,42	ETT	ETT
15	1,62	1,44	1,37	1,30	1,27	1,26	ETT	ETT
16	1,49	1,32	1,24	1,20	1,15	1,13	ETT	ETT
17	1,38	1,21	1,14	1,10	1,15	1,03	ETT	ETT
18	1,28	1,12	1,05	1,01	1,04	0,94	ETT	ETT
19	1,19	1,04	0,98	0,94	0,96	0,86	ETT	ETT
20	1,12	0,98	0,91	0,87	0,88	0,80	ETT	ETT
21	1,05	0,92	0,85	0,81	0,82	0,74	ETT	ETT
22	0,99	0,86	0,80	0,76	0,76	0,69	ETT	ETT
23	0,93	0,81	0,76	0,72	0,71	0,65	ETT	ETT
24	0,88	0,77	0,71	0,68	0,67	0,61	ETT	ETT
25	0,84	0,73	0,68	0,64	0,63	0,57	ETT	ETT
26	0,79	0,70	0,64	0,61	0,59	0,54	ETT	ETT
27	0,75	0,66	0,61	0,58	0,56	0,52	ETT	ETT
28	0,72	0,63	0,59	0,56	0,53	0,49	ETT	ETT
29	0,68	0,60	0,56	0,53	0,51	0,47	ETT	ETT
30	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,45	ETT	ETT
31	0,62	0,55	0,51	0,49	0,46	0,43	ETT	ETT
32	0,59	0,53	0,49	0,47	0,44	0,41	ETT	ETT
33	0,57	0,51	0,47	0,45	0,41	0,39	ETT	ETT
34	0,54	0,49	0,46	0,43	0,39	0,38	ETT	ETT

ETT: Eixos Tandem Triplos

QUADRO 16
Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos JSP e PSAC
(Junta sem barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																				
	20			40			60			80			100			150			200		
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD			
12	2,72	3,82	3,69	3,74	3,67	3,69	3,65	3,67	3,65	3,64	3,64	3,65	3,63	3,61	3,59	3,58	3,59	3,58			
13	3,62	3,75	3,59	3,66	3,57	3,61	3,55	3,59	3,55	3,54	3,54	3,57	3,52	3,52	3,49	3,49	3,49	3,49			
14	3,53	3,68	3,50	3,59	3,48	3,53	3,46	3,51	3,46	3,45	3,45	3,49	3,43	3,44	3,40	3,41	3,40	3,41			
15	3,45	3,61	3,41	3,52	3,39	3,46	3,37	3,44	3,36	3,36	3,36	3,42	3,34	3,37	3,31	3,34	3,31	3,34			
16	3,37	3,55	3,33	3,46	3,31	3,40	3,29	3,37	3,28	3,28	3,28	3,35	3,26	3,30	3,23	3,26	3,23	3,26			
17	3,30	3,50	3,26	3,40	3,23	3,34	3,21	3,31	3,20	3,20	3,20	3,29	3,18	3,23	3,16	3,20	3,16	3,20			
18	3,23	3,44	3,18	3,34	3,16	3,28	3,14	3,25	3,13	3,13	3,13	3,23	3,11	3,17	3,09	3,13	3,09	3,13			
19	3,17	3,39	3,12	3,29	3,09	3,23	3,07	3,19	3,06	3,06	3,06	3,17	3,04	3,11	3,02	3,07	3,02	3,07			
20	3,11	3,35	3,05	3,24	3,03	3,17	3,01	3,14	3,00	3,00	3,00	3,12	2,98	3,05	2,96	3,02	2,96	3,02			
21	3,05	3,30	2,99	3,19	2,97	3,13	2,95	3,09	2,94	2,94	2,94	3,07	2,92	3,00	2,90	2,96	2,90	2,96			
22	3,00	3,26	2,94	3,15	2,91	3,08	2,89	3,04	2,88	2,88	2,88	3,02	2,86	2,85	2,84	2,91	2,84	2,91			
23	2,94	3,22	2,88	3,11	2,85	3,03	2,83	2,99	2,82	2,82	2,82	2,97	2,80	2,90	2,78	2,86	2,78	2,86			
24	2,90	3,18	2,84	3,07	2,80	2,99	2,78	2,95	2,77	2,77	2,77	2,93	2,75	2,86	2,73	2,82	2,73	2,82			
25	2,86	3,14	2,78	3,03	2,76	2,96	2,73	2,91	2,72	2,72	2,72	2,89	2,70	2,82	2,68	2,78	2,68	2,78			
26	2,81	3,11	2,75	2,99	2,71	2,92	2,69	2,88	2,68	2,68	2,68	2,86	2,65	2,71	2,63	2,74	2,63	2,74			
27	2,77	3,08	2,70	2,96	2,67	2,89	2,64	2,84	2,63	2,63	2,63	2,82	2,61	2,75	2,59	2,71	2,59	2,71			
28	2,73	3,05	2,66	2,93	2,62	2,85	2,60	2,81	2,59	2,59	2,59	2,79	2,56	2,71	2,54	2,67	2,54	2,67			
29	2,70	3,02	2,62	2,90	2,58	2,82	2,56	2,78	2,55	2,55	2,55	2,75	2,52	2,68	2,50	2,64	2,50	2,64			
30	2,66	2,99	2,59	2,86	2,54	2,79	2,51	2,75	2,50	2,50	2,50	2,72	2,48	2,64	2,46	2,60	2,46	2,60			
31	2,63	2,96	2,55	2,83	2,50	2,76	2,48	2,72	2,47	2,47	2,47	2,69	2,44	2,61	2,42	2,57	2,42	2,57			
32	2,59	2,93	2,51	2,81	2,47	2,73	2,44	2,69	2,43	2,43	2,43	2,66	2,40	2,58	2,38	2,54	2,38	2,54			
33	2,56	2,90	2,48	2,78	2,43	2,70	2,40	2,66	2,39	2,39	2,39	2,63	2,36	2,55	2,34	2,51	2,34	2,51			
34	2,53	2,88	2,45	2,75	2,40	2,67	2,37	2,63	2,36	2,36	2,36	2,60	2,32	2,52	2,30	2,48	2,30	2,48			

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

QUADRO 17
Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos JSP e PSAC
(Junta sem barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)							
	20	40	60	80	140	180	ETT	ETT
12	3,85	3,75	3,70	3,66	3,57	3,53	ETT	ETT
13	3,77	3,68	3,62	3,58	3,50	3,45	ETT	ETT
14	3,70	3,60	3,55	3,51	3,42	3,38	ETT	ETT
15	3,64	3,54	3,48	3,44	3,36	3,32	ETT	ETT
16	3,58	3,47	3,42	3,38	3,29	3,25	ETT	ETT
17	3,52	3,42	3,36	3,32	3,23	3,19	ETT	ETT
18	3,47	3,36	3,30	3,26	3,18	3,14	ETT	ETT
19	3,42	3,31	3,25	3,21	3,13	3,09	ETT	ETT
20	3,37	3,26	3,20	3,16	3,08	3,04	ETT	ETT
21	3,33	3,22	3,16	3,11	3,03	2,99	ETT	ETT
22	3,29	3,18	3,11	3,07	2,99	2,95	ETT	ETT
23	3,25	3,13	3,07	3,03	2,94	2,91	ETT	ETT
24	3,21	3,10	3,03	2,99	2,90	2,86	ETT	ETT
25	3,17	3,06	2,99	2,95	2,87	2,83	ETT	ETT
26	3,14	3,02	2,96	2,91	2,83	2,79	ETT	ETT
27	3,10	2,99	2,92	2,88	2,79	2,75	ETT	ETT
28	3,07	2,96	2,89	2,85	2,76	2,72	ETT	ETT
29	3,04	2,92	2,86	2,81	2,73	2,69	ETT	ETT
30	3,01	2,89	2,83	2,78	2,69	2,65	ETT	ETT
31	2,98	2,87	2,80	2,75	2,66	2,62	ETT	ETT
32	2,96	2,84	2,77	2,72	2,63	2,59	ETT	ETT
33	2,93	2,81	2,74	2,70	2,61	2,57	ETT	ETT
34	2,91	2,81	2,72	2,67	2,58	2,54	ETT	ETT

ETT: Eixos Tandem Triplos

ETT: Eixos Tandem Triplos

QUADRO 18
Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos JSP e PCAC
(Junta sem barras de transferência e pavimento com acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)																				
	20			40			60			80			100			150			200		
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD			
12	3,25	3,29	3,20	3,19	3,18	3,13	3,17	3,11	3,16	3,09	3,09	3,13	3,13	3,09	3,13	3,04	3,11	3,03			
13	3,16	3,23	3,11	3,12	3,09	3,06	3,08	3,04	3,06	3,02	3,02	3,03	3,03	3,02	2,95	2,97	3,01	2,95			
14	3,08	3,17	3,03	3,06	3,00	2,99	2,99	2,97	2,98	2,95	2,95	2,98	2,95	2,95	2,90	2,90	2,93	2,87			
15	3,00	3,11	2,95	3,00	2,92	2,93	2,91	2,91	2,90	2,88	2,88	2,87	2,87	2,88	2,87	2,83	2,85	2,80			
16	2,93	3,06	2,88	2,94	2,85	2,88	2,84	2,85	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,79	2,77	2,77	2,74			
17	2,87	3,01	2,81	2,89	2,78	2,82	2,77	2,79	2,75	2,77	2,77	2,75	2,75	2,77	2,72	2,71	2,70	2,68			
18	2,80	2,97	2,74	2,84	2,71	2,77	2,70	2,74	2,69	2,71	2,71	2,69	2,69	2,71	2,66	2,65	2,64	2,62			
19	2,74	2,92	2,68	2,80	2,65	2,72	2,64	2,69	2,62	2,66	2,66	2,62	2,62	2,66	2,59	2,60	2,57	2,57			
20	2,69	2,88	2,62	2,76	2,59	2,68	2,58	2,64	2,56	2,62	2,62	2,56	2,56	2,62	2,53	2,55	2,51	2,51			
21	2,63	2,84	2,57	2,71	2,53	2,64	2,52	2,60	2,51	2,57	2,57	2,51	2,51	2,57	2,48	2,50	2,46	2,47			
22	2,58	2,80	2,51	2,68	2,48	2,59	2,47	2,56	2,45	2,53	2,53	2,45	2,45	2,53	2,42	2,46	2,40	2,42			
23	2,53	2,77	2,46	2,64	2,43	2,55	2,42	2,51	2,40	2,48	2,48	2,40	2,40	2,48	2,37	2,41	2,35	2,37			
24	2,48	2,74	2,42	2,60	2,38	2,52	2,37	2,48	2,36	2,45	2,45	2,36	2,36	2,45	2,33	2,31	2,31	2,33			
25	2,44	2,71	2,37	2,57	2,34	2,49	2,33	2,45	2,31	2,42	2,42	2,31	2,31	2,42	2,28	2,34	2,26	2,29			
26	2,40	2,68	2,33	2,54	2,30	2,46	2,28	2,41	2,27	2,38	2,38	2,27	2,27	2,38	2,24	2,31	2,22	2,25			
27	2,36	2,65	2,29	2,51	2,26	2,43	2,24	2,38	2,22	2,35	2,35	2,22	2,22	2,35	2,20	2,27	2,17	2,21			
28	2,33	2,62	2,25	2,49	2,22	2,40	2,20	2,35	2,18	2,32	2,32	2,16	2,16	2,32	2,16	2,24	2,13	2,18			
29	2,29	2,60	2,22	2,46	2,18	2,37	2,16	2,33	2,14	2,30	2,30	2,14	2,14	2,30	2,12	2,21	2,09	2,14			
30	2,26	2,57	2,18	2,43	2,15	2,53	2,12	2,30	2,11	2,27	2,27	2,11	2,11	2,27	2,08	2,18	2,06	2,11			
31	2,22	2,55	2,15	2,41	2,11	2,32	2,09	2,27	2,07	2,24	2,24	2,07	2,07	2,24	2,04	2,15	2,02	2,07			
32	2,19	2,52	2,11	2,38	2,08	2,29	2,05	2,25	2,03	2,22	2,22	2,03	2,03	2,22	2,01	2,13	1,98	2,04			
33	2,16	2,50	2,08	2,36	2,04	2,27	2,02	2,22	2,00	2,19	2,19	2,00	2,00	2,19	1,99	2,10	1,95	2,01			
34	2,13	2,48	2,05	2,34	2,01	2,25	1,98	2,20	1,97	2,17	2,17	1,94	1,94	2,17	1,94	2,07	1,92	1,98			

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

QUADRO 19
Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos JSP e PCAC
(Junta sem barras de transferência e pavimento com acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)							
	20	40	60	80	140	180	ETT	ETT
12	3,29	3,18	3,12	3,09	3,02	2,99	ETT	ETT
13	3,23	3,11	3,05	30,10	2,94	2,91		
14	3,17	3,04	2,98	2,94	2,87	2,83		
15	3,12	2,99	2,92	2,88	2,80	2,77		
16	3,08	2,94	2,87	2,82	2,74	2,70		
17	3,03	2,89	2,82	2,77	2,69	2,65		
18	2,99	2,85	2,77	2,72	2,60	2,60		
19	2,96	2,81	2,73	2,68	2,59	2,55		
20	2,93	2,77	2,69	2,64	2,54	2,50		
21	2,89	2,74	2,65	2,60	2,50	2,46		
22	2,87	2,71	2,62	2,56	2,47	2,42		
23	2,84	2,68	2,59	2,53	2,43	2,38		
24	2,81	2,65	2,56	2,50	2,40	2,35		
25	2,79	2,62	2,53	2,47	2,37	2,29		
26	2,77	2,60	2,50	2,44	2,34	2,26		
27	2,74	2,57	2,48	2,39	2,31	2,23		
28	2,72	2,55	2,46	2,37	2,28	2,20		
29	2,70	2,53	2,43	2,35	2,26	2,20		
30	2,68	2,51	2,41	2,33	2,23	2,18		
31	2,67	2,49	2,39	2,31	2,21	2,16		
32	2,65	2,47	2,37	2,29	2,19	2,13		
33	2,63	2,45	2,35	2,27	2,17	2,11		
34	2,61	2,43	2,33	2,27	2,15	2,09		

ETT: Eixos Tandem Triplos

QUADRO 20
Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos JSP e PCAC
(Junta sem barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																	
	20		40		60		80		100		150		200					
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD				
12	3,51	3,61	3,50	3,57	3,49	3,54	3,48	3,52	3,48	3,51	3,47	3,49	3,45	3,47				
13	3,41	3,53	3,39	3,48	3,39	3,45	3,38	3,43	3,38	3,41	3,37	3,39	3,35	3,37				
14	3,32	3,45	3,30	3,39	3,29	3,36	3,28	3,34	3,28	3,33	3,27	3,30	3,25	3,28				
15	3,23	3,45	3,21	3,31	3,20	3,28	3,19	3,26	3,19	3,24	3,18	3,22	3,16	3,20				
16	3,15	3,37	3,12	3,24	3,12	3,21	3,10	3,18	3,10	3,17	3,09	3,14	3,08	3,12				
17	3,07	3,30	3,05	3,17	3,04	3,14	3,02	3,11	3,02	3,10	3,01	3,07	3,00	3,04				
18	2,99	3,24	2,97	3,11	2,96	3,07	2,95	3,05	2,94	3,03	2,93	3,00	2,92	2,97				
19	2,93	3,18	2,90	3,05	2,89	3,01	2,88	2,98	2,87	2,97	2,86	2,93	2,85	2,91				
20	2,86	3,12	2,83	3,00	2,83	2,95	2,81	2,92	2,80	2,91	2,79	2,87	2,79	2,84				
21	2,80	3,06	2,77	2,93	2,76	2,89	2,74	2,86	2,74	2,85	2,73	2,81	2,72	2,78				
22	2,74	3,01	2,71	2,88	2,70	2,84	2,68	2,81	2,68	2,80	2,67	2,76	2,66	2,73				
23	2,68	2,96	2,65	2,83	2,64	2,79	2,62	2,76	2,62	2,74	2,61	2,70	2,59	2,67				
24	2,63	2,91	2,60	2,78	2,59	2,74	2,57	2,71	2,56	2,69	2,55	2,65	2,54	2,62				
25	2,58	2,87	2,54	2,74	2,54	2,69	2,52	2,67	2,51	2,65	2,50	2,60	2,49	2,57				
26	2,53	2,83	2,50	2,70	2,49	2,65	2,47	2,62	2,46	2,61	2,45	2,56	2,44	2,53				
27	2,48	2,79	2,45	2,66	2,44	2,61	2,42	2,58	2,41	2,57	2,40	2,52	2,39	2,49				
28	2,43	2,75	2,40	2,63	2,39	2,57	2,37	2,54	2,37	2,53	2,35	2,48	2,34	2,45				
29	2,39	2,72	2,36	2,59	2,35	2,54	2,33	2,51	2,32	2,49	2,31	2,44	2,30	2,41				
30	2,43	2,69	2,31	2,56	2,30	2,50	2,28	2,47	2,28	2,45	2,26	2,41	2,25	2,37				
31	2,30	2,65	2,27	2,52	2,26	2,47	2,24	2,43	2,24	2,43	2,22	2,37	2,21	2,34				
32	2,26	2,62	2,23	2,49	2,22	2,43	2,20	2,40	2,19	2,38	2,18	2,33	2,17	2,30				
33	2,22	2,59	2,19	2,46	2,18	2,40	2,16	2,37	2,15	2,35	2,14	2,30	2,13	2,27				
34	2,18	2,56	2,15	2,43	2,14	2,37	2,12	2,33	2,12	2,32	2,10	2,27	2,09	2,24				

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

QUADRO 21
Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos JSP e PCAC
(Junta sem barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)							
	20	40	60	80	140	180	ETT	ETT
12	3,68	3,60	3,56	3,52	3,45	3,40	ETT	ETT
13	3,60	3,51	3,47	3,44	3,37	3,33		
14	3,53	3,43	3,39	3,36	3,29	3,26		
15	3,47	3,36	3,31	3,28	3,22	3,19		
16	3,41	3,30	3,25	3,21	3,15	3,12		
17	3,35	3,24	3,19	3,15	3,08	3,05		
18	3,30	3,19	3,13	3,09	3,02	2,99		
19	3,25	3,14	3,08	3,04	2,96	2,93		
20	3,21	3,09	3,03	2,99	2,91	2,88		
21	3,16	3,05	2,99	2,94	2,86	2,83		
22	3,12	3,01	2,94	2,90	2,82	2,78		
23	3,08	2,97	2,90	2,86	2,77	2,74		
24	3,05	2,93	2,86	2,82	2,73	2,69		
25	3,01	2,89	2,83	2,78	2,69	2,65		
26	2,98	2,86	2,79	2,74	2,66	2,62		
27	2,94	2,82	2,76	2,71	2,66	2,58		
28	2,91	2,79	2,72	2,68	2,59	2,55		
29	2,88	2,76	2,69	2,65	2,55	2,51		
30	2,85	2,73	2,66	2,62	2,52	2,48		
31	2,82	2,70	2,63	2,59	2,49	2,45		
32	2,80	2,68	2,61	2,56	2,46	2,42		
33	2,77	2,65	2,58	2,53	2,44	2,40		
34	2,74	2,62	2,55	2,50	2,41	2,37		

ETT: Eixos Tandem Triplos

QUADRO 22
Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos JSP e PCAC
(Junta sem barras de transferência e pavimento com acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																	
	20		40		60		80		100		150		180					
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD				
12	3,07	3,09	3,02	2,99	3,00	2,93	2,97	2,90	2,96	2,88	2,94	2,84	2,92	2,83				
13	2,97	3,02	2,92	2,92	2,90	2,86	2,87	2,83	2,86	2,80	2,84	2,76	2,82	2,74				
14	2,88	2,96	2,83	2,85	2,81	2,79	2,78	2,76	2,77	2,73	2,75	2,68	2,73	2,66				
15	2,80	2,89	2,75	2,79	2,73	2,72	2,70	2,69	2,69	2,66	2,67	2,61	2,65	2,59				
16	2,72	2,84	2,67	2,73	2,65	2,66	2,62	2,63	2,61	2,60	2,59	2,55	2,57	2,52				
17	2,64	2,78	2,60	2,68	2,58	2,60	2,55	2,57	2,54	2,54	2,52	2,48	2,49	2,45				
18	2,57	2,73	2,53	2,62	2,51	2,55	2,48	2,51	2,47	2,48	2,45	2,42	2,42	2,39				
19	2,51	2,69	2,47	2,57	2,44	2,50	2,41	2,46	2,40	2,43	2,38	2,73	2,36	2,33				
20	2,44	2,64	2,41	2,53	2,38	2,45	2,35	2,41	2,34	2,38	2,32	2,31	2,29	2,28				
21	2,38	2,60	2,35	2,48	2,32	2,40	2,29	2,36	2,28	2,33	2,26	2,26	2,23	2,22				
22	2,33	2,56	2,30	2,44	2,27	2,36	2,24	2,32	2,23	2,29	2,21	2,21	2,18	2,17				
23	2,27	2,52	2,24	2,40	2,21	2,31	2,18	2,27	2,17	2,24	2,15	2,17	2,12	2,12				
24	2,23	2,48	2,10	2,36	2,16	2,28	2,13	2,24	2,12	2,20	2,10	2,13	2,07	2,08				
25	2,18	2,43	2,14	2,33	2,11	2,24	2,09	2,20	2,08	2,17	2,05	2,09	2,02	2,03				
26	2,14	2,39	2,09	2,29	2,06	2,21	2,04	2,17	2,03	2,13	2,01	2,06	1,97	1,99				
27	2,19	2,35	2,05	2,26	2,02	2,17	2,00	2,13	1,99	2,10	1,96	2,03	1,93	1,95				
28	2,06	2,32	2,01	2,23	1,98	2,14	1,95	2,10	1,94	2,07	1,92	1,99	1,98	1,94				
29	2,03	2,28	1,97	2,19	1,94	2,11	1,91	2,07	1,90	2,04	1,88	1,93	1,85	1,87				
30	1,99	2,25	1,93	2,16	1,90	2,08	1,87	2,04	1,86	2,01	1,83	1,93	1,81	1,83				
31	1,96	2,21	1,89	2,13	1,86	2,05	1,83	2,01	1,82	1,98	1,80	1,90	1,77	1,80				
32	1,92	2,18	1,86	2,11	1,83	2,03	1,80	1,99	1,79	1,95	1,76	1,87	1,74	1,76				
33	1,89	2,15	1,82	2,08	1,79	2,00	1,76	1,96	1,75	1,92	1,72	1,85	1,70	1,73				
34	1,86	2,12	1,79	2,05	1,76	1,97	1,73	1,93	1,72	1,90	1,69	1,82	1,67	1,70				

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

QUADRO 23
Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos JSP e PCAC
(Junta sem barras de transferência e pavimento com acostamento de concreto)

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)						
	20	40	60	80	140	180	
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	3,12	2,99	2,93	2,90	2,85	2,82	
13	3,06	2,92	2,85	2,81	2,76	2,73	
14	3,00	2,86	2,78	2,74	2,67	2,64	
15	2,95	2,80	2,73	2,67	2,59	2,56	
16	2,91	2,76	2,67	2,62	2,52	2,49	
17	2,86	2,71	2,62	2,57	2,47	2,43	
18	2,82	2,67	2,58	2,52	2,41	2,37	
19	2,79	2,63	2,54	2,48	2,37	2,32	
20	2,75	2,59	2,50	2,44	2,32	2,28	
21	2,72	2,56	2,47	2,40	2,28	2,23	
22	2,68	2,53	2,43	2,37	2,25	2,20	
23	2,65	2,49	2,40	2,34	2,21	2,16	
24	2,62	2,46	2,37	2,31	2,18	2,13	
25	2,59	2,44	2,34	2,28	2,15	2,10	
26	2,57	2,41	2,32	2,25	2,12	2,07	
27	2,54	2,38	2,29	2,22	2,10	2,04	
28	2,51	2,36	2,26	2,20	2,07	2,01	
29	2,49	2,33	2,24	2,17	2,04	1,99	
30	2,47	2,31	2,22	2,15	2,02	1,96	
31	2,44	2,29	2,19	2,13	2,00	1,94	
32	2,42	2,26	2,17	2,10	1,97	1,92	
33	2,44	2,24	2,15	2,08	1,95	1,89	
34	2,38	2,22	2,13	2,06	1,93	1,87	

ETT: Eixos Tandem Triplos

Figura 27 - Análise de fadiga - número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga (com ou sem acostamento de concreto)

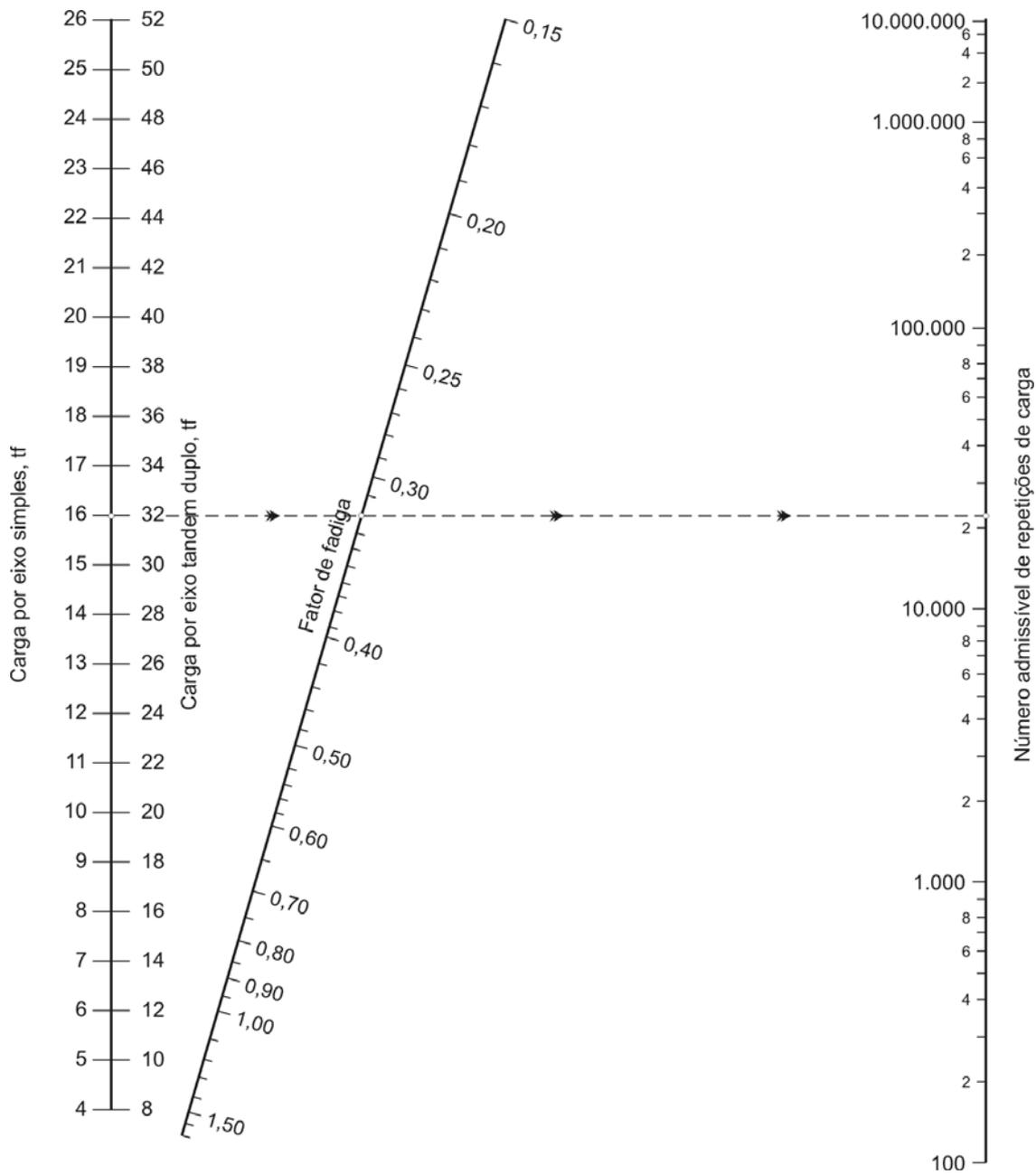


Figura 28 - Análise de erosão - número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto)

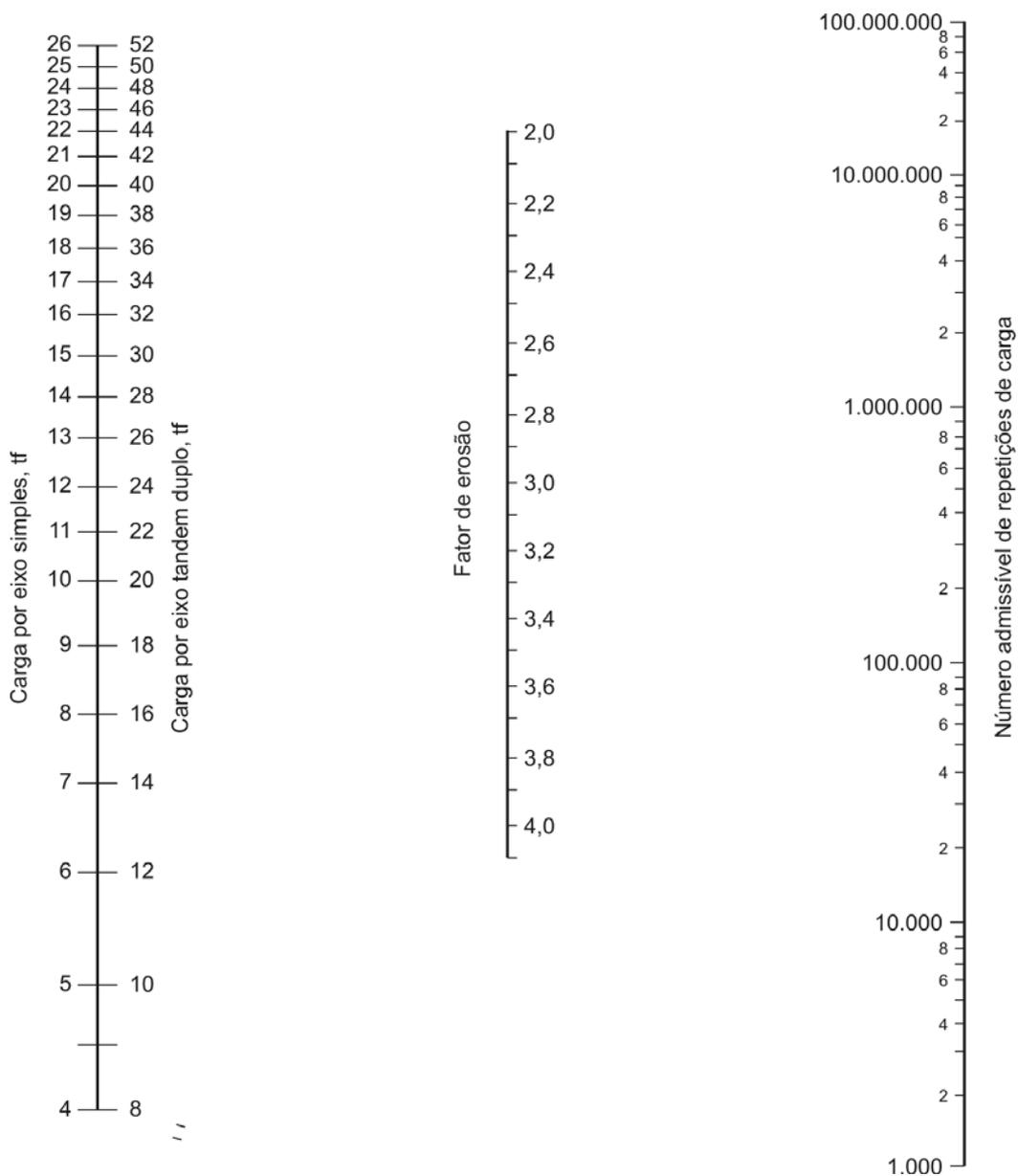
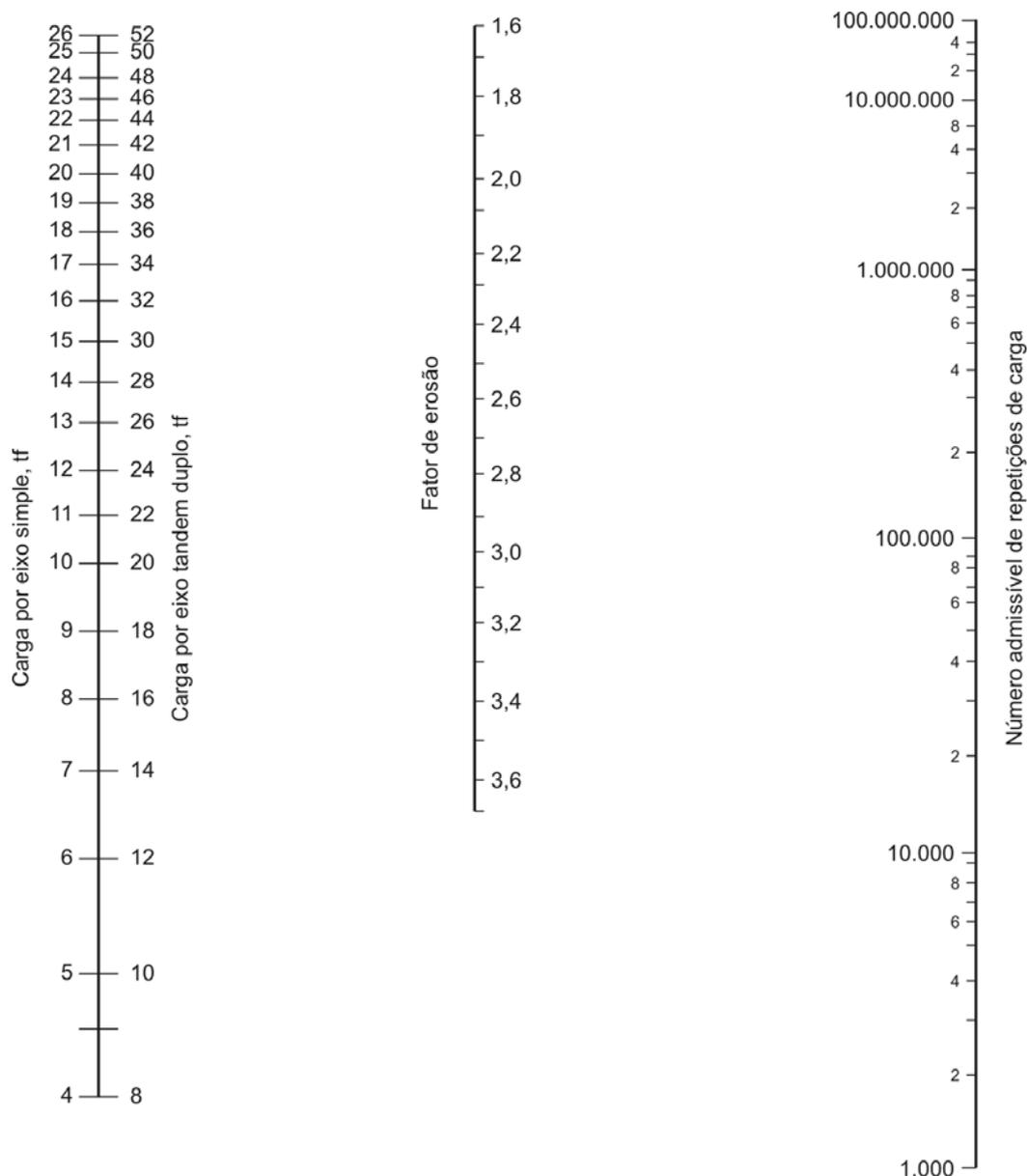


Figura 29 - Análise de erosão - número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (com acostamento de concreto)



4.6.2.5 EXEMPLO DE CÁLCULO DA ESPESSURA DE UMA PLACA DE CONCRETO PELO MÉTODO DA PCA, VERSÃO 1984

Dados :

- sub-base de brita tratada com cimento, de 12 cm de espessura;
- coeficiente de recalque do sistema: $k = 100 \text{ MPa/m}$;
- resistência característica à tração na flexão: $f_{ctk} = 4,8 \text{ MPa}$;
- fator de segurança de carga : $FSC = 1,2$;

- e) pavimento sem acostamento e junta sem barras de transferência;
- f) vida de projeto: 20 anos;
- g) tráfego: é o indicado na última coluna do Quadro 8.

O exemplo está desenvolvido no Quadro 9.

Segundo o roteiro apresentado, tem-se que:

- a) Definição dos parâmetros de dimensionamento - O.K.
- b) Espessura-Tentativa: 25 cm
- c) Tensões Equivalentes:

Por ser o pavimento sem acostamento de concreto, utilizam-se os Quadros 12 e 13, com $h = 25$ cm e $k = 100$ MPa/m .

A tensão equivalente será:

- a) Eixo simples 1,14 MPa
- b) Eixo tandem duplo 0,99 MPa
- c) Eixo tandem triplo 0,727 MPa (*)

(*) embora a variação da tensão equivalente em função do k não seja linear, pode-se aceitar que assim o seja, para fins de interpolação, pois se está do lado da segurança)

Esses valores são transportados para os números 8, 11 e 14 do Quadro 11.

A carga por eixo dos eixos tandem triplos, que se entra no Quadro 11, é igual a um terço desta carga.

- d) Fator de Erosão:

Como a junta é sem barras de transferência e o pavimento não tem acostamento de concreto, utilizam-se os Quadros 16 e 17; com $h = 25$ cm e $k = 100$ MPa/m, o que resulta em:

- Eixo Simples 2,72
- Eixo Tandem Duplo 2,89
- Eixo Tandem Triplo 2,92 (**)

()para a interpolação dos eixos triplos também supõe-se uma variação linear do k**

Transportam-se esses valores para os números 10, 12 e 15 do Quadro 11.

- e) Cálculo do fator de fadiga a partir dos valores obtidos para a tensão equivalente:
 - Eixo Simples $1,14 / 4,8 = 0,238$
 - Eixo Tandem Duplo $0,99 / 4,8 = 0,206$
 - Eixo Tandem Triplo $0,727 / 4,8 = 0,151$

Transportam-se esses valores para os números 9, 13 e 16, respectivamente, do Quadro 11.

- f) Determinação das repetições admissíveis, segundo a análise por fadiga:

Na Figura 27, com os fatores de fadiga calculados em (e) e as cargas corrigidas na coluna 2 do Quadro 11, determinam-se as repetições admissíveis da coluna 4 deste Quadro, para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, utilizando-se para estes últimos eixos, o ábaco de eixos simples.

- g) Determinação das repetições admissíveis, segundo o dano por erosão:

Como o pavimento não tem acostamento de concreto, utiliza-se a Figura 28.

Com os fatores de erosão obtidos em (d) e com as cargas corrigidas, determinam-se as repetições admissíveis da coluna 6 do Quadro 11, para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos; utilizando-se, para estes últimos, o ábaco dos eixos simples, entrando-se com a carga multiplicada pelo fator de segurança e dividindo por três.

- h) Calculam-se as porcentagens de resistência à fadiga consumida e os danos por erosão, dividindo-se as repetições esperadas pelas admissíveis, e multiplicam-se estas por 100; esses valores são colocados nas colunas 5 e 7 do Quadro 11.
- i) Ao somar-se os consumos de fadiga da coluna 5 do Quadro 11, obtêm-se a porcentagem total de fadiga consumida, que foi de 8,9 (menor que 100%); logo, a espessura estimada cumpre com a análise de fadiga.
- j) Ao somar-se os danos por erosão da coluna 7 do Quadro 11, obtêm-se um valor que ultrapassa os 100 %, não atendendo esta espessura portanto, a análise da erosão; deve-se então tentar uma espessura maior.

No Quadro 24, são apresentados os novos cálculos, considerando uma espessura de 26 cm, a qual satisfaz o projeto; nota-se que o cálculo, neste caso, é controlado pela erosão, que consome uma maior porcentagem.

Percebe-se, nos exemplos anteriores, que a erosão é mais influente, principalmente nos eixos simples.

QUADRO 24 – CÁLCULO DA ESPESSURA DE PAVIMENTO DE CONCRETO

Projeto: Pesquisa IPR / Pavimentos Rígidos

Espessura-tentativa: 26cm Juntas com BT: sim _____ não x

Ksb 100 MPa/m Acostamento de concreto: sim _____ não x

Resistência característica à tração na flexão 4,8 Mpa Período de projeto 20 anos

Fator de segurança de cargas, Fsc 1,2.

Cargas por eixo (tf)	Cargas por eixo x Fsc (tf)	Nº de repetições previstas	ANÁLISE DE FADIGA		ANÁLISE DE EROSIÃO		
			nº de repetições admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	nº de repetições admissíveis	Danos por Erosão (%)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
Eixos Simples			(8) Tensão equivalente 1,08 (9) Fator da fadiga 0,225		(10) Fator de Erosão 2,68		
< 5	6,0	3.270.843	ilimitado	-	ilimitado	-	
5 - 6	7,2	203.804	ilimitado	-	ilimitado	-	
6 - 7	8,4	290.488	ilimitado	-	ilimitado	-	
7 - 8	9,6	238.118	ilimitado	-	26.000.000	0,9	
8 - 9	10,8	242.715	ilimitado	-	10.000.000	2,4	
9 - 10	12,0	310.404	ilimitado	-	5.100.000	6,1	
10 - 11	13,2	282.267	ilimitado	-	2.750.000	10,3	
11 - 12	14,4	242.438	ilimitado	-	1.700.000	14,3	
12 - 13	15,6	206.645	ilimitado	-	1.000.000	20,7	
13 - 14	16,8	65.889	ilimitado	-	630.000	10,5	
14 - 15	18,0	39.296	ilimitado	-	420.000	9,4	
15 - 16	19,2	5.565	ilimitado	-	290.000	1,9	
Eixos Tandem Duplos			(11) Tensão Equivalente 0,94 (12) Fator de Fadiga 0,196		(13) Fator de Erosão 2,86		
< 13	15,6	182.532	ilimitado	-	30.000.000	0,6	
13 - 14	16,8	5.565	ilimitado	-	16.000.000	-	
14 - 15	18,0	12.243	ilimitado	-	9.300.000	0,1	
15 - 16	19,2	12.243	ilimitado	-	6.100.000	0,2	
16 - 17	20,4	17.808	ilimitado	-	4.000.000	0,4	
17 - 18	21,6	30.051	ilimitado	-	2.800.000	1,1	
18 - 19	22,8	23.373	ilimitado	-	2.000.000	1,2	
19 - 20	24,0	17.808	ilimitado	-	1.600.000	1,1	
20 - 21	25,2	17.808	ilimitado	-	1.200.000	1,5	
21 - 22	26,4	12.243	ilimitado	-	880.000	1,4	
22 - 23	27,6	5.565	ilimitado	-	680.000	0,8	
23 - 24	28,8	5.565	ilimitado	-	520.000	1,1	
Eixos Tandem Triplos			(14) Tensão equivalente 0,99 (16) Fator de fadiga 0,206		(15) Fator de erosão 2,89		
< 24	9,6	30.051	ilimitado	-	4.500.000	0,7	
24 - 26	10,4	17.808	ilimitado	-	2.900.000	0,6	
26 - 28	11,2	12.243	ilimitado	-	1.900.000	0,6	
28 - 30	12,0	18.921	ilimitado	-	1.400.000	1,4	
TOTAL				-	TOTAL		89,3%

4.6.3 PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLES - MÉTODO DA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION - PCA - 1966

4.6.3.1 PRELIMINARES

O método da Portland Cement Association – PCA – publicado em 1966, é a base da reformulação apresentada em 1984 e tem como premissas :

4.6.3.2 PARÂMETRO DE DIMENSIONAMENTO

4.6.3.2.1 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

Nos pavimentos de concreto, a espessura necessária para a placa está íntima e diretamente ligada as tensões de tração na flexão produzidas pelas cargas solicitantes e à relação entre estas tensões solicitantes e a resistência do concreto à tração na flexão.

A continuidade do carregamento pode romper o concreto após um certo número de repetição de cargas, mesmo que a tensão máxima produzida por estas cargas seja inferior à resistência do material a este esforço, caracterizando o fenômeno da fadiga, conceito aplicável ao caso de pavimentos de concreto sujeitos ao tráfego de veículos móveis.

A determinação da resistência à tração na flexão do concreto (f_{ctm}) é feita em corpos de prova prismáticos, moldados e rompidos conforme respectivamente as normas NBR 5738 e NBR 12142. Nesta última, o ensaio é feito pelo método dos dois cutelos, que conduz a valores de resistência mais representativos e a favor da segurança, do que os fornecidos por outros ensaios.

A resistência característica à tração na flexão ($f_{ctM,k}$), a ser empregada no dimensionamento de pavimentos rodoviários, deve corresponder à idade de 28 dias, no mínimo, ou de 90 dias, no máximo.

Isto porque neste período considerado, que vai dos 28 aos 90 dias, o número de solicitações de cargas que pode ocorrer é muito pequeno em relação ao total previsto durante o período de projeto; além disso, o concreto segue ganhando resistência ao longo do tempo, (mesmo após os 90 dias) e este aumento não é considerado no cálculo da espessura, servindo, pois, como uma reserva de segurança.

A adoção da idade de controle aos 90 dias, isto é, considerando como resistência característica o valor de $f_{ctM,90}$, poderá ser aceita, no caso de projetos cujo controle tecnológico seja de alto nível de qualidade e rigor.

Quando não houver disponibilidade de valores nessa idade, é usual adotar-se para a resistência aos 90 dias um valor correspondente a 1,10 vezes o valor indicado para a resistência aos 28 dias de idade.

É importante observar que valores muito baixos de resistência característica à tração na flexão, como por exemplo 4,0 MPa (cerca de 40kgf/cm²) ou menos, correspondem a concretos de baixa impermeabilidade, durabilidade inadequada e uma espessura necessária de placa bastante elevada, enquanto os muito altos, por exemplo 5,0 MPa (cerca de 50 kgf/cm²) ou mais, correspondem a concretos de maior impermeabilidade, durabilidade adequada e menor espessura necessária de placa, mas que em contrapartida, exigem controle tecnológico rigoroso, e quase sempre têm custo inicial mais elevado.

Aconselha-se portanto a adotar valores de resistência característica à tração na flexão, aos 28 dias, na faixa dos 4,5 MPa (cerca de 45 kgf/cm²). Caso seja especificada esta resistência para a idade de 90 dias, recomenda-se que esta resistência seja no mínimo, igual a 0,91 desta resistência (4,09 MPa) aos 28 dias.

Chamando de relação de tensões, a relação entre a tensão de tração na flexão produzida no pavimento pela passagem de uma carga qualquer e a resistência característica à tração na flexão do concreto, haverá um número limite de aplicações de uma determinada carga, acima do qual o concreto romperá por efeito do fenômeno de fadiga.

O método admite que:

- a) o número admissível de aplicações de cargas que produzam relações de tensões iguais ou inferiores a 0,50 é praticamente ilimitado,
- b) o concreto tem sua resistência à fadiga aumentada, quando ocorrem períodos de descanso entre a passagem das cargas e, também, quando da passagem de cargas que dêem origem a relações de tensões menores do que o limite de 0,50.

Toma-se o limite de resistência do concreto (relação de tensões acima da qual ocorre a ruptura por fadiga) como igual a 0,50.

Neste método, o consumo de resistência a fadiga (C_{RF}) é a relação porcentual entre o número previsto de repetições de uma dada carga e o número admissível de repetições da mesma carga.

Somando-se todos os (C_{RF}) individuais, em todas as categorias de eixo consideradas num dado projeto, obtém-se o consumo total de resistência à fadiga para uma certa espessura tentativa de concreto; para que esta espessura seja adequada, é preciso que o valor (C_{RF}) total seja, por sua vez, igual ou inferior a 100%.

4.6.3.2.2 SUPORTE DA FUNDAÇÃO

Neste método adota-se a concepção de Winkler com relação ao subleito, admitindo-se que a pressão exercida em qualquer ponto da fundação seja diretamente proporcional à deflexão da placas naquele ponto.

A constante de proporcionalidade no caso denomina-se de “coeficiente de recalque”, ou “modulo de Westergaard”, ou então “módulo de reação”, cujo símbolo é “k”.

A determinação do coeficiente de recalque é feita por meio de uma prova de carga estática, na qual é possível correlacionar as pressões verticais transmitidas ao subleito ou sub-base por meio de uma placa rígida (com 76cm de diâmetro, pelo menos) e os deslocamentos verticais correspondentes.

A faixa de variação dos valores de coeficiente de recalque, em relação aos diversos tipos de solo (classificação AASHTO-BPR), está mostrada no Quadro 3, que pode ser usada na avaliação prévia de k para cálculos preliminares de custo, por exemplo.

O método admite que na avaliação do coeficiente de recalque, sejam feitos ensaios de índice de suporte Califórnia (CBR), adotando uma curva de correlação entre este índice e o coeficiente de recalque do solo de subleito, desde que seja tomada toda a precaução necessária e consultada a experiência regional.

Quando se adota uma camada delgada de sub-base, ela terá as seguintes funções:

- a) proporcionar suporte razoável, uniforme e constante,
- b) eliminar a ocorrência do fenômeno de bombeamento dos finos do subleito, causa primordial da ruína de grande parte dos antigos pavimentos de concreto.
- c) aumentar o coeficiente de recalque de cálculo, trazendo portanto, uma certa economia na espessura da placa de concreto. Neste caso, o procedimento mais indicado será a execução de provas de carga estáticas no topo da sub-base, para fornecer valores para o dimensionamento.

O método também aceita o uso de correlações que envolvem o valor de coeficiente de recalque do subleito, o tipo de material e a espessura da sub-base, dispondo-se de ábaco apropriado para tanto.

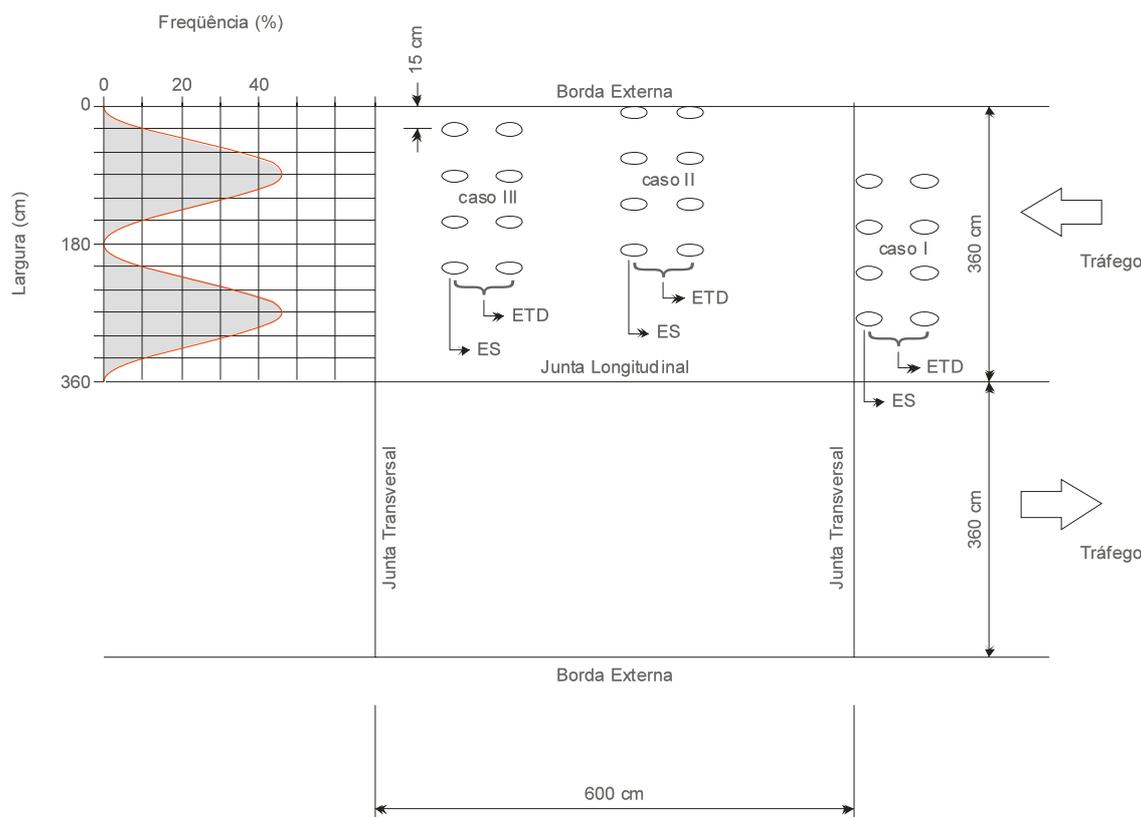
O emprego de sub-bases estabilizadas com cimento é indicado quando se trata de projetos importantes e quando se tiver tráfego pesado.

O método contém ábacos para o cálculo de k , quando a sub-base é de solo-cimento, solo melhorado com cimento, brita graduada tratada com cimento ou, ainda, de concreto pobre rolado.

4.6.3.2.3 TRÁFEGO - TENSÕES DEVIDAS ÀS CARGAS

Foram feitos estudos sobre a distribuição das cargas em relação à placa, fixando-se porcentagens de frequência para cada caso predominante de posição do veículo, o que está mostrado na Figura 30.

Figura 30 - Posições de carga e distribuição do tráfego



Três são os casos principais de solicitação, todos eles referindo-se a eixos simples e tandem duplos e a placas com 3,60m ou mais de largura, considerados no método em análise:

- caso I**, em que as cargas tangenciam a junta transversal e as tensões máximas de tração na flexão ocorrem na parte inferior da placa e paralelamente à junta,
- caso II**, em que os eixos são perpendiculares à borda longitudinal externa e as rodas tangenciam-na, ocorrendo às tensões máximas de tração na flexão na parte inferior da placa e paralelamente à borda longitudinal externa,
- caso III**, semelhante ao Caso II, estando as rodas externas dos eixos afastadas de 15cm da borda longitudinal.

As tensões de tração na flexão produzidas pela situação de carregamento prevista no caso II são maiores do que as produzidas no Caso I, enquanto o Caso III é muito mais favorável do que os dois anteriores.

A determinação das tensões é feita com o auxílio das cartas de influência desenvolvidas por PICKETT e RAY, para simplificar o emprego das fórmulas de WESTERGAARD.

Observa-se que para eixos simples, o Caso I torna-se mais desfavorável que o Caso II, quando o eixo estiver a mais que 7,5cm da borda do pavimento. Para eixos tandem, ocorre o mesmo fato quando o eixo estiver a mais que 2,5cm da borda. Desta forma,

tendo em vista a pesquisa cujos resultados constam da Figura 30, observa-se que o Caso I é o mais desfavorável para 99,8% do tráfego de eixos simples e para 99,% do tráfego de eixos tandem.

A pequena parcela de ocorrência virtual do Caso II, deixa de ter significado no dimensionamento do pavimento, não apenas pelo seu valor desprezável, como também pelos fatores de segurança e dispositivos de aumento de capacidade de carga (placas curtas, presença de sub-base, adoção de barras de transferência) tomados no projeto.

A aplicação direta das cartas de influencia de PICKETT e RAY tem sido perfeitamente substituída por ábacos de utilização simples, desenvolvidos pelos mesmos autores, existindo ábacos para eixos simples e eixos tandem duplos no seu trabalho original.

Por meio destes ábacos, determina-se a tensão de tração na flexão em uma placa, conhecidas a carga, o coeficiente de recalque e a espessura desta placa; ou então, conhecidas uma carga e um coeficiente de recalque quaisquer, determina-se a espessura de placa necessária para manter a tensão de tração na flexão dentro de um limite pré-fixado.

O método original da PCA não dispõe de ábaco para o caso de eixos tandem triplos, de significativa freqüência em nossas rodovias. Rocha Pitta apresenta um ábaco para este método de utilização idêntica aos dois anteriores descritos.

Ressalte-se que os três ábacos somente se aplicam a veículos comuns de linha, com dimensões e características geométricas dos eixos padronizados.

4.6.3.2.4 FATORES DE SEGURANÇA

Os fatores de segurança em relação às cargas, foram estabelecidos com base na análise dos resultados das observações das pistas experimentais de BATES - 1924, MARYLAND – 1952 e AASHO (hoje, AASHTO) -1962, além de milhares de quilômetros de estradas em serviço.

O método recomenda os seguintes níveis de fator de segurança de carga (FSC) apresentados no Quadro 25:

Quadro 25 - Fatores de segurança para as cargas (FSC)

Tipo de Pavimento	FSC
– estradas rurais, ruas residenciais e vias em geral, submetidas a tráfego leve de caminhões	1,0
– rodovias e vias urbanas, submetidas a tráfego de caminhões pesados	1,1
– auto-estradas, rodovias com mais de duas faixas por pista, ou em qualquer projeto para tráfego ininterrupto ou de grande volume de caminhões pesados	1,2

4.6.3.3 ROTEIRO PARA O DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Para o dimensionamento do pavimento pelo método da PCA, versão 1966, utiliza-se o formulário-tipo do Quadro 26, o Quadro 27 e os ábacos das Figuras 31, 32 e 33.

A descrição do uso desses quadros e figuras encontra-se no roteiro a seguir, para maior facilidade e ordenação.

Os passos que devem ser seguidos no dimensionamento são:

a) Definição dos parâmetros de dimensionamento:

- resistência característica à tração na flexão aos 28 dias
- coeficiente de recalque
- fator de segurança
- tráfego esperado para cada nível de carga e de acordo com a vida de projeto do pavimento.

b) Adoção de uma espessura-tentativa de concreto e preenchimento dos dados da folha – tipo de trabalho (Quadro 26).

c) Determinação das tensões na placa de concreto devidas as cargas por eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, com:

- a espessura-tentativa da placa, H ;
- o coeficiente de recalque do sistema, k (*)

(* Para a avaliação do coeficiente de recalque do sistema, k , podem ser utilizadas as figuras 11, 18, 19, 20 e 21)

Lançar os valores encontrados na coluna 3 do Quadro 26.

d) Determinação da relação de tensões e o número admissível de repetições de carga, com a utilização do Quadro 27.

Transportar os valores encontrados para as colunas 4 e 5 do formulário-tipo (Quadro 26).

e) Lançar na coluna 6 do formulário o número de repetições previstas de cargas para cada tipo de eixo, que é função do levantamento do tráfego.

f) Calcular o consumo de resistência à fadiga para cada carga, em porcentagem, dividindo-se os valores da coluna 6 pelos valores da coluna 5, e registrar os valores na coluna 7 do formulário - tipo.

g) Somar os consumos de fadiga da coluna 7 para se obter o consumo total de resistência á fadiga, verificando se a espessura-tentativa cumpre os requisitos solicitados, caso em que o consumo total de resistência á fadiga não deverá ultrapassar 100 %.

Caso a espessura-tentativa seja insuficiente, deverá ser repetido o cálculo para uma espessura maior.

Se a porcentagem de resistência á fadiga consumida for próxima de zero, as condições estarão satisfeitas, mas a placa estará superdimensionada, devendo-se portanto, diminuir a espessura do pavimento, para que sejam obtidas porcentagens o mais perto possível de 100 %.

Seguem-se os Quadros e Ábacos necessários para o cálculo.

QUADRO 26 – CÁLCULO DA ESPESSURA DE PAVIMENTO DE CONCRETO

Projeto: Pesquisa IPR / Pavimentos Rígidos

Espessura-tentativa: 20cm Resistência característica à tração na flexão ($f_{ctM,k} = 4,8$ Mpa)

Ksb 100 MPa/m Período de projeto 20 anos

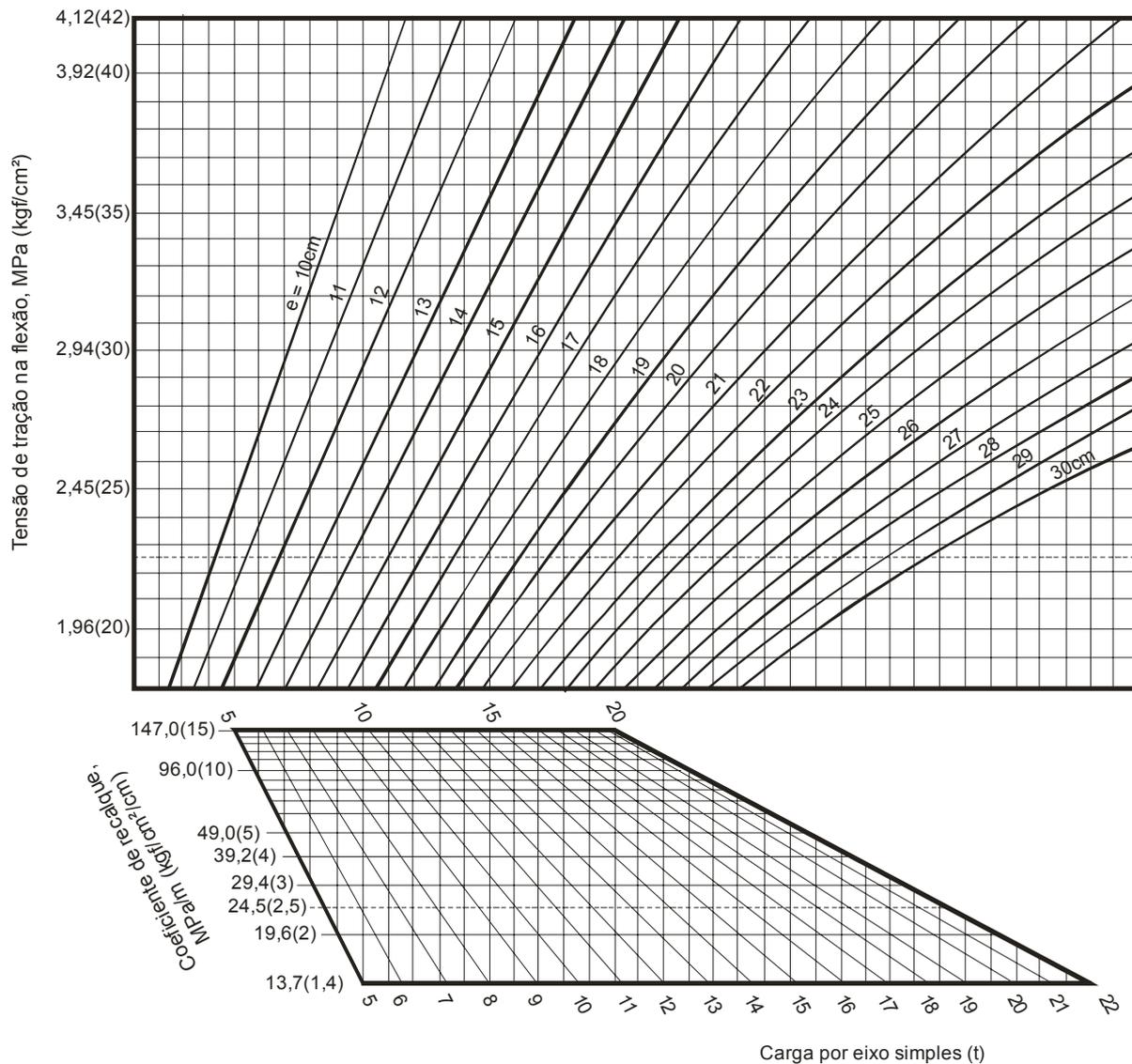
Fator de segurança de cargas, Fsc 1,2 Pavimento com ou sem acostamento de concreto.

Cargas por eixo (tf)	Cargas por eixo x Fsc (tf)	Tensão na placa (Mpa)	Relação de Tensões (col. 3: $f_{ctM,k}$)	Nº de repetições Admissíveis	Nº de repetições previstas	Consumo de resistência à Fadiga (col. 6 : col 15) x 100
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Eixos Simples						
< 5	6,0	2,4	0,50	ilimitado	30.000.000	-
5 - 6	7,2	2,4	0,50	ilimitado	26.000.000	-
6 - 7	8,4	2,4	0,50	ilimitado	26.000.000	-
7 - 8	9,6	2,4	0,50	ilimitado	26.000.000	-
8 - 9	10,8	2,4	0,50	ilimitado	10.000.000	-
9 - 10	12,0	2,4	0,50	ilimitado	5.100.000	-
10 - 11	13,2	2,4	0,50	ilimitado	2.750.000	-
11 - 12	14,4	2,4	0,50	ilimitado	1.700.000	-
12 - 13	15,6	2,4	0,50	ilimitado	1.000.000	-
13 - 14	16,8	2,4	0,50	ilimitado	630.000	-
14 - 15	18,0	2,4	0,50	300.000	420.000	13,1
15 - 16	19,2	2,4	0,50	180.000	290.000	3,1
CRFes						16,2
Eixos Tandem Duplos						
< 13	15,6	2,4	0,50	ilimitado	30.000.000	-
13 - 14	16,8	2,4	0,50	ilimitado	16.000.000	-
14 - 15	18,0	2,4	0,50	ilimitado	9.300.000	-
15 - 16	19,2	2,4	0,50	ilimitado	6.100.000	-
16 - 17	20,4	2,4	0,50	ilimitado	4.000.000	-
17 - 18	21,6	2,4	0,50	ilimitado	2.800.000	-
18 - 19	22,8	2,4	0,50	ilimitado	2.000.000	-
19 - 20	24,0	2,4	0,50	ilimitado	1.600.000	-
20 - 21	25,2	2,4	0,50	ilimitado	1.200.000	-
21 - 22	26,4	2,4	0,50	ilimitado	880.000	-
22 - 23	27,6	2,4	0,50	ilimitado	680.000	-
23 - 24	28,8	2,4	0,50	ilimitado	520.000	-
CRFetd						0
Eixos Tandem Triplos						
< 24	28,8	2,4	0,50	ilimitado	4.500.000	-
24 - 26	31,2	2,4	0,50	ilimitado	2.900.000	-
26 - 28	33,6	2,4	0,50	ilimitado	1.900.000	-
28 - 30	36,0	2,4	0,50	ilimitado	1.400.000	-
CRFett						0
CRF						'

QUADRO 27 - Relação de Tensões e Número Admissível de Repetições de Carga

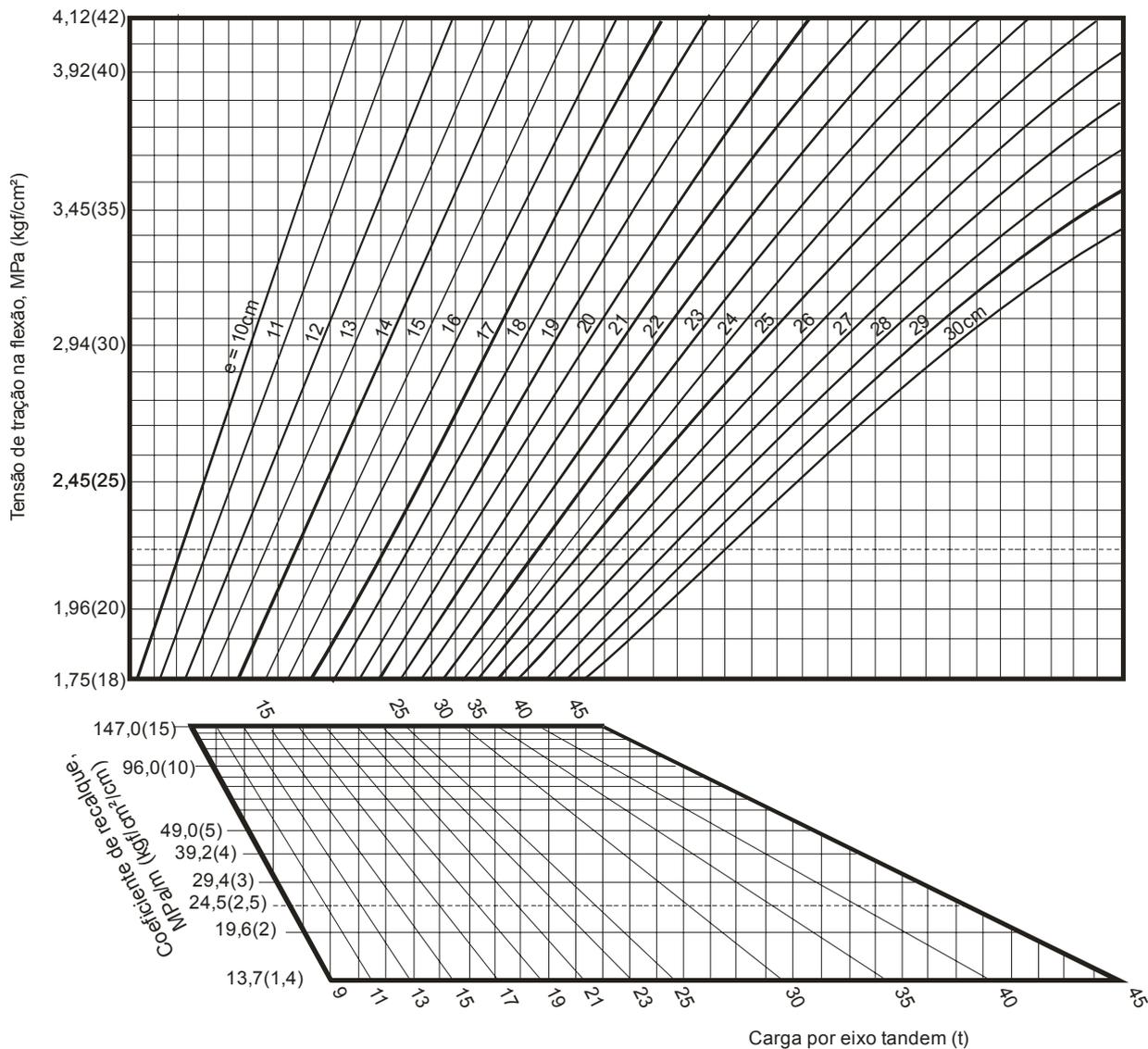
Relação de Tensões (*)	Nº Admissível de Repetições de Carga	Relação de Tensões (*)	Nº Admissível de Repetições de Carga
0,50	ilimitado	0,68	3.500
0,51	400.000	0,69	2.500
0,52	300.000	0,70	2.000
0,53	240.000	0,71	1.500
0,54	180.000	0,72	1.100
0,55	130.000	0,73	850
0,56	100.000	0,74	650
0,57	75.000	0,75	490
0,58	57.000	0,76	360
0,59	42.000	0,77	270
0,60	32.000	0,78	210
0,61	24.000	0,79	160
0,62	18.000	0,80	120
0,63	14.000	0,81	90
0,64	11.000	0,82	70
0,65	8.000	0,83	50
0,66	6.000	0,84	40
0,67	4.500	0,85	30

Figura 31 - Ábaco para dimensionamento da espessura de pavimentos rodoviários de concreto (caso de eixos simples)



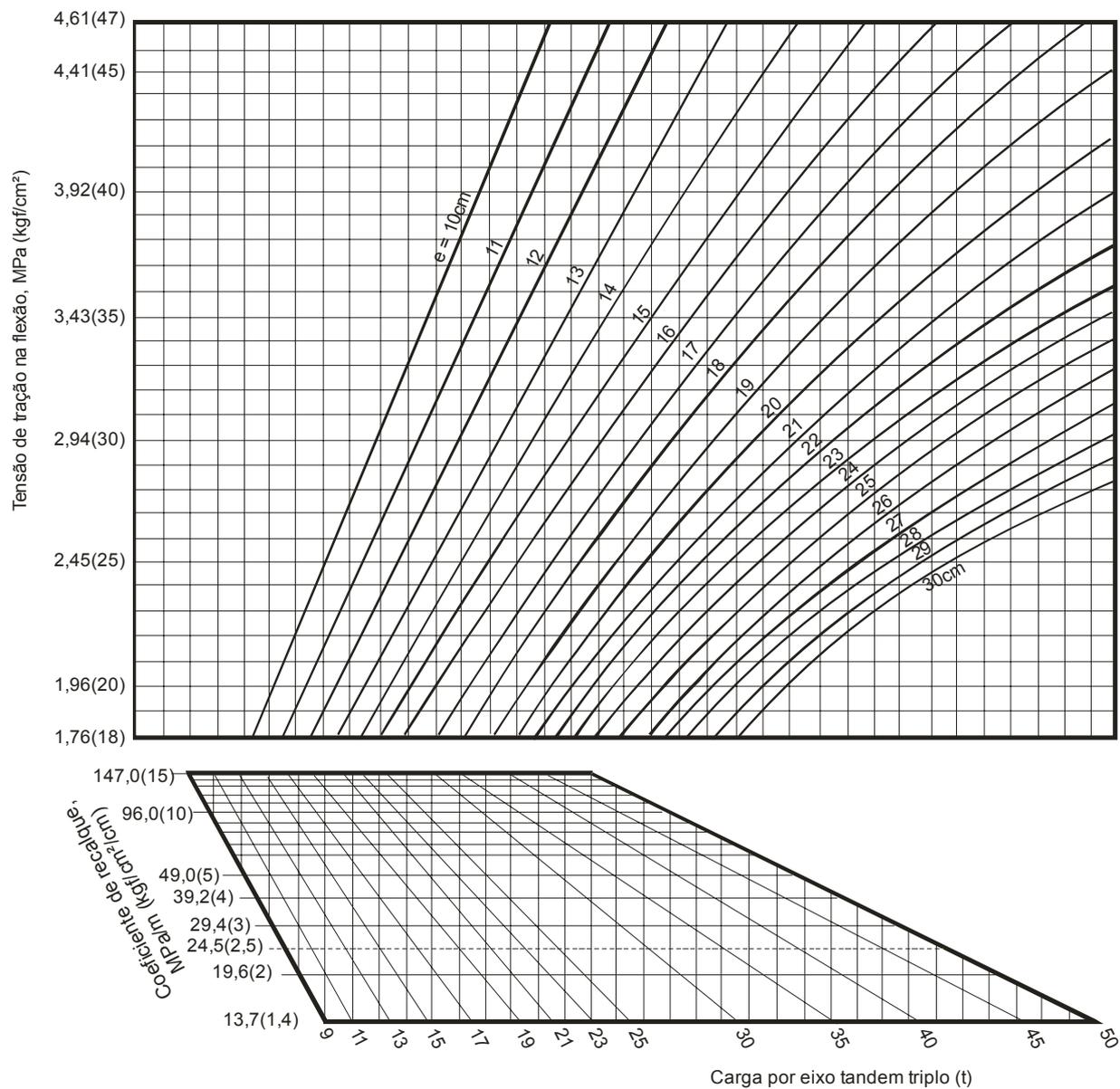
Para o caso I, "Influence Chart 6"

Figura 32 - Ábaco para dimensionamento da espessura de pavimentos rodoviários de concreto (caso de eixos tandem duplos)



Para o caso I, "Influence Chart 6"

Figura 33 - Ábaco para dimensionamento da espessura de pavimentos rodoviários de concreto (caso de eixos tandem triplos)



Para o caso I, "Influence Chart 6"

4.6.3.4 EXEMPLO DE CÁLCULO

Calcular a espessura de uma placa de concreto pelo método da PCA/66, com os mesmos dados do exemplo referente ao método PCA/84, a saber:

- sub-base de brita tratada com cimento, de 12 cm de espessura
- coeficiente de recalque do sistema: $k_{sb} = 100 \text{ MPa/m}$
- resistência característica à tração na flexão: $f_{ctM,k} = 4,8 \text{ MPa}$
- fator de segurança de cargas: $FSC = 1,2$
- vida de projeto: 20 anos
- o trafego e o indicado na última coluna do Quadro 10, referente ao método PCA/84.

O exemplo está desenvolvido no Quadro 26.

Segundo o roteiro apresentado, tem-se:

- Dados anteriores
- Espessura - Tentativa: 20 cm
- Para $k = 100 \text{ MPa/m}$ e $H = 20 \text{ cm}$, utilizando-se os abacos das Figuras 31, 32 e 33, encontram-se as tensões na placa, que são lançadas na coluna 3 do Quadro 26.
- Dividindo-se cada uma dessas tensões, pela resistência característica à tração na flexão do concreto ($f_{ctM,k} = 4,8 \text{ MPa}$), tem-se as relações de tensões da coluna 4 do Quadro 26.
- Utilizando o Quadro 27, encontram-se os valores das repetições admissíveis, que são transcritos na coluna 5 do Quadro 26, para cada solicitação de carga e tipo de eixo
- A última coluna do Quadro 10 do exemplo do método PCA/84, fornece o número de repetições previstas de cargas por tipo de eixo, cujos valores são mostrados na coluna 6 do Quadro 26.
- Conforme indicado na coluna 7 desse Quadro, o consumo de resistência à fadiga para cada carga, é obtido pela divisão dos valores da coluna 6, pelos valores da coluna 5, multiplicando-se este resultado por 100 (para ser expresso em porcentagem).

O somatório final da coluna 7 retrata o consumo total de resistência à fadiga, isto é:

$$CRF = CRF_{es} + CRF_{etd} + CRF_{ett} = 16,2 \%$$

Este valor encontrado mostra que a espessura de 20 cm é suficiente. Entretanto, não é a mais adequada, podendo ser tentada uma espessura menor, de modo a se obter um CRF o mais próximo, possível do limite máximo de 100%, tornando o dimensionamento mais econômico, dentro dos mesmos requisitos de segurança.

Um cálculo análogo, adotando-se uma espessura-tentativa igual a 19 cm, conduziu a um CRF de 54,4%.

Com a espessura de 18cm o CRF foi superior a 100 %. Portanto deve ser adotado $H = 19$ cm

4.6.4 PAVIMENTO TIPO WHITETOPPING

O pavimento Whitetopping consiste em uma camada rígida de reforço para reabilitação de pavimentos asfálticos, executada com concreto de cimento Portland.

A adoção deste tipo de pavimento passou a ser considerada após pesquisa realizada pela ABCP/IPR, a partir do qual foi elaborado o Manual de Recapeamento de Pavimentos Flexíveis com Concreto Tipo Withetopping

O pavimento antigo existente, além de ter sanado suas deficiências, passa a ter o desempenho de um pavimento rígido novo, com todas as vantagens inerentes a este tipo de pavimento, principalmente no que concerne à segurança, ao conforto de rolamento e à economia, tanto dos usuários, como dos órgãos responsáveis e da sociedade como um todo.

O uso de camada rígida superposta a um pavimento flexível, não é prática comum em projetos de reabilitação de pavimento. Existem ocasiões entretanto, que tal solução se apresenta como a estratégia mais viável. Essa alternativa de reabilitação é na maioria das vezes mais econômica, quando se depara com pavimentos flexíveis seriamente danificados ou que estejam propensos a se deteriorar mais rapidamente sob tráfego pesado ou em meio a ambiente agressivo.

Em tais circunstâncias, aplica-se uma camada asfáltica nivelante sobre o pavimento existente, para sanar as irregularidades da superfície, antes do lançamento do pavimento rígido superposto.

A análise estrutural da camada superposta é direta, já que o pavimento flexível existente é considerado como o suporte composto da fundação.

O pavimento superposto é então concebido e dimensionado como um novo pavimento rígido, no qual o pavimento flexível existente desempenhará o papel da fundação.

O dimensionamento do pavimento Whitetopping consiste simplesmente, em determinar o módulo de reação (coeficiente de recalque – k) do pavimento existente e em seguida, dimensionar a camada superposta como um novo pavimento rígido.

Este novo pavimento poderá ser de concreto simples, com ou sem armadura não estrutural (de combate à retração), podendo ou não ser dotado de barras de transferência, além de também serem do tipo estruturalmente armado.

No caso deste pavimento ser de concreto simples, o dimensionamento da sua espessura, poderá ser feito tanto pelo método da PCA, versão 1984 (ver item 4.6.2), como pelo método da PCA, versão 1966 (ver item 4.6.3)

Estes métodos são alternativos, devendo a sua escolha ser feita com base na experiência regional e em função dos dados de projeto disponíveis.

Se for adotado o pavimento Whitetopping estruturalmente armado, o dimensionamento deverá ser feito como exposto no item 4.6.6.

4.6.5 SOBRELAJE SOBRE ESTRUTURA DE CONCRETO

Este tipo de pavimento rígido é aquele executado em tabuleiros de pontes e viadutos, quando é designado como “sobre-laje”, ou então sobre uma estrutura de concreto qualquer, como lajes em geral, grandes blocos de fundação ou outra similar.

O dimensionamento deste tipo de pavimento não requer o emprego de métodos de dimensionamento.

A espessura e armação deste tipo de pavimento são definidas empiricamente a partir da experiência e observação do desempenho destes pavimentos.

A armação não é estrutural, destinando-se a combater os esforços decorrentes da retração e principalmente do empenamento restringido.

As características dimensionais deste pavimento constam na norma DNER-ES-OA.36/96 – Sobre-laje (pavimento de concreto) em tabuleiro de obras de arte (pontes e viadutos), sendo elas as seguintes:

a) espessura uniforme de no mínimo 8 cm.

(a superfície da laje do tabuleiro deverá ter as inclinações transversais consideradas no projeto, para a drenagem superficial da sobre-laje.)

b) a sobre-laje deverá estar perfeitamente aderida à laje do tabuleiro.

(para tanto, a laje do tabuleiro deverá ser preparada mediante o apicoamento, aplicação de jato de areia ou jato d' água com alta pressão “water-blast”, para eliminação de nata de cimento, grãos soltos ou outros detritos)

c) colocação de tela de armação, do tipo T-283 (a menos que haja indicação contrária no projeto), sendo colocada à meia altura da espessura da sobre-laje e distando 5 cm de qualquer bordo; esta armação será contínua em toda a sobre-laje, interrompendo-se apenas nas juntas de contração e dilatação do tabuleiro.

d) tem sido observado que as fissuras na sobre-laje decorrentes do empenamento restringido, são praticamente anuladas, quando ao invés de uma tela simples, forem colocadas duas telas, uma delas distando 1cm da superfície e a outra, distando 1 cm do fundo da sobre-laje ; ambas as telas deverão ser do tipo T-283.

e) a armação inferior deverá ser solidarizada à laje do tabuleiro por meio de chumbadores

(barras de aço \varnothing min $\frac{3}{4}$ ", cravadas na laje formando malha de 1x1m) ou pela sua amarração com fios de aço, à armadura da laje do tabuleiro, sendo conveniente a colocação de espaçadores entre as telas para manter a distância e promover uma amarração entre elas)

f) as juntas de contração da sobre-laje devem coincidir com as juntas de contração do tabuleiro e terão a mesma abertura.

g) as demais juntas de contração transversais deverão ter um espaçamento regular, em torno de 6,0m ; as juntas longitudinais deverão delimitar as faixas de tráfego.

h) quando o trecho da sobre-laje compreendido entre as juntas de contração do tabuleiro, for executado por faixa de tráfego e não for concretado de uma só vez, as juntas transversais serão do tipo "junta seca", com espaçamento igual para toda a sobre-laje.

i) este tipo de junta, também será adotada para as juntas longitudinais entre faixas de tráfego.

j) quando a concretagem da sobre-laje for contínua, as juntas transversais e longitudinais deverão ser serradas, obedecendo o mesmo espaçamento indicado em (g); a junta serrada deverá ser feita por meio de um corte no concreto no momento adequado, tendo uma abertura de 3mm a 5mm e uma profundidade de 20mm.

O concreto da sobre-laje deverá apresentar as seguintes características:

a) resistência característica à compressão (f_{ck}) na idade de 28 dias - $f_{ck} = 30$ MPa

b) consumo de cimento $C \geq 320$ kg/m³

c) abatimento (70 ± 10) mm

d) a dimensão máxima característica do agregado no concreto não deverá exceder 1/3 da espessura da sobre-laje ou 19mm, obedecido o valor menor.

e) teor de ar $\leq 5\%$

4.6.6 PAVIMENTO ESTRUTURALMENTE ARMADO

4.6.6.1 INTRODUÇÃO

O pavimento rígido de cimento Portland estruturalmente armado, é um pavimento de concreto armado, com armadura para suportar as tensões oriundas do tráfego, geralmente disposta na parte inferior da placa e uma armadura para combater os esforços de retração e empenamento, disposta na parte superior da placa.

O emprego deste tipo de pavimento é relativamente recente no Brasil, sendo geralmente aplicado em pátios, tendo-se notícias da sua aplicação também em rodovias.

A vantagem deste tipo de pavimento e a redução da espessura da placa, maior espaçamento entre as juntas, tanto as transversais como as longitudinais, o que traz menores gastos de manutenção, devido a extensão de juntas ser menor, além de ser mais durável, pois não estão sujeitos ao problema da fadiga.

O dimensionamento deste tipo de pavimento baseia-se na determinação das tensões e dos momentos fletores atuantes na placa de concreto, de acordo com o modelo proposto por Westergaard, por meio das Cartas de Influência de Pickett e Ray.

O cálculo estrutural é conduzido no Estádio III, conforme as prescrições da norma NBR 6118, considerando o emprego de telas soldadas produzidas com aço CA-60 e que atendam a norma NBR 7481.

Para o concreto, considera-se que a sua resistência seja superior a 25 MPa, para que o pavimento tenha resistência ao desgaste.

As juntas de construção e de retração deverão ser protegidas por mecanismos de transferência de carga, como as barras de transferência, encaixe tipo macho-fêmea ou entrosagem dos agregados.

Considera-se o emprego de sub-base, devendo-se dar preferência às tratadas com cimento.

Deverá ser levado em consideração o efeito de erosão da sub-base, acarretado pelo processo de expulsão dos finos por bombeamento ou por outro processo similar, adotando coeficientes redutores da capacidade de suporte final, em função do tipo de sub-base adotado.

4.6.6.2 FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO

Para a definição da capacidade de suporte do subleito e do sistema composto pelo subleito e sub-base, devem ser adotados os critérios expostos nos itens 4.2 e 4.4 desta Manual.

As sub-bases empregadas no pavimento estruturalmente armado são as mesmas utilizadas nos pavimentos de concreto simples, inclusive quanto ao incremento do coeficiente de recalque em função do seu tipo e espessura.(Ver Figuras 18, 19, 20 e 21).

A erosão da sub-base, devida à perda de material em seu topo, acarretada pela combinação de cargas pesadas e água e às movimentações verticais diferenciais do solo, deve ser considerada no dimensionamento do pavimento, como uma perda de suporte do sistema, isto é, uma redução no valor do coeficiente de recalque k , que é função do tipo da sub-base que está sendo empregada.

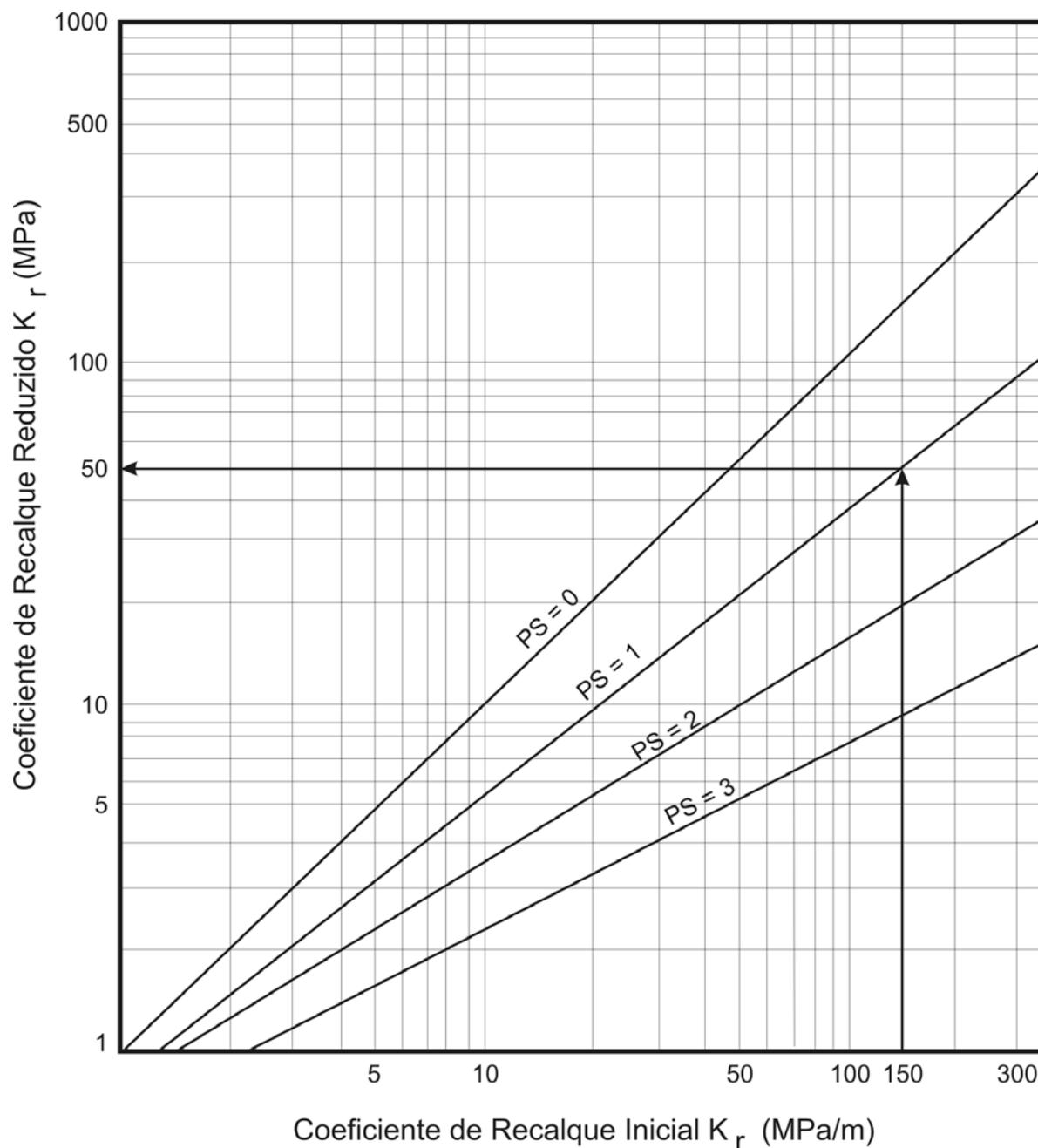
Os valores desta perda de suporte (PS) para os diversos tipos de sub-bases, estão mostrados no Quadro 28.

Quadro 28 –Perda de Suporte (PS) da Sub-Base

Tipo de Material	Perda de Suporte (PS)
Concreto compactado com rolo E = 7.000 MPa a 14.000 MPa	0 a 1
Brita graduada tratada com cimento E = 3.500 MPa a 7.000 MPa	0 a 1
Bases tratadas com asfalto E = 2.100 MPa a 2.500 MPa	0 a 1
Misturas estabilizadas com asfalto E = 280 MPa a 2.100 MPa	1 a 3
Solo-cal E = 140 MPa a 300 MPa	1 a 3
Base granulares E = 100 MPa a 300 Mpa	1 a 3
Material fino ou subleito E = 20 MPa a 280 MPa	2 a 3

O coeficiente de recalque (K) deverá ser corrigido para menos, conforme o PS da sub-base, determinando-se um novo coeficiente de recalque (K_r), por meio do ábaco da Figura 34.

Figura 34 – Correção do coeficiente de recalque inicial, em função da perda de suporte



4.6.6.3 JUNTAS

As juntas dos pavimentos de concreto estão sujeitas à ocorrência de defeitos, tanto no desempenho como na execução.

Nos pavimentos estruturalmente armados, este problema pode ser minimizado pela introdução de reforço nas juntas, caso uma análise teórica indicar esta necessidade. Essa análise pode ser feita com base na teoria da elasticidade, em função do diâmetro da barra

de transferência, espessura da placa, resistência do concreto e coeficiente de recalque (k), conforme demonstram Yoder e Witczak.

Como alternativa, pode-se arbitrar uma determinada capacidade de transferência de carga na junta, menor que a ideal, promovendo-se entretanto um reforço em uma faixa de pelo menos 50cm de largura, procedimento este recomendado principalmente para as juntas longitudinais do pavimento.

No caso de uma junta longitudinal dotada de mecanismos de transferência de carga 100% eficientes, quando a carga tangenciar a junta, 50% dos esforços serão transmitidos para a placa contígua, o que torna os esforços atuantes na junta (isto é, nos bordos), iguais aos que ocorrem no interior da placa.

Nem sempre esta situação acontece, havendo casos em que a transferência de carga não é plenamente eficiente. Quando ocorrer esta condição, deve-se arbitrar uma taxa de eficiência da junta, armando-se a placa para absorver o restante dos esforços.

Estes esforços podem ser tomados como sendo:

a) Para as juntas longitudinais:

$$M_{jL} = M_b (1 - \delta / 200)$$

b) Para as juntas transversais:

$$M_{jT} = 0,7 \times M_b (1 - \delta / 350)$$

Onde:

M_{jL} : momento na junta longitudinal

M_{jT} : momento na junta transversal

M_b : momento na borda livre da placa

δ : eficiência da junta, em %.

Quando a eficiência da junta for 100%, o momento que nela atua iguala-se ao momento no interior da placa. Na ausência de dados mais específicos, é recomendável considerar a eficiência da junta como sendo de 45%; neste caso, o momento atuante na junta longitudinal será igual a 0,775 M_b e de 0,610 M_b na junta transversal.

As barras de transferência aplicadas nas juntas transversais como mecanismo de transferência de carga, devem ter o diâmetro compatível com a espessura do pavimento, como mostrado no Quadro 29, porém nunca menor que 16mm.

Quadro 29- Diâmetro da barras de transferência

Espessura do pavimento - h (cm)	Diâmetro das barras (mm)
$h \leq 12,5$	16
$12,5 < h \leq 15,0$	20
$15,0 < h \leq 20,0$	25
$h > 20,0$	32

4.6.6.4 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

Inicia-se o dimensionamento do pavimento, pela fixação de uma espessura tentativa, para a qual, em função das cargas atuantes e da resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}), irá definir a armadura.

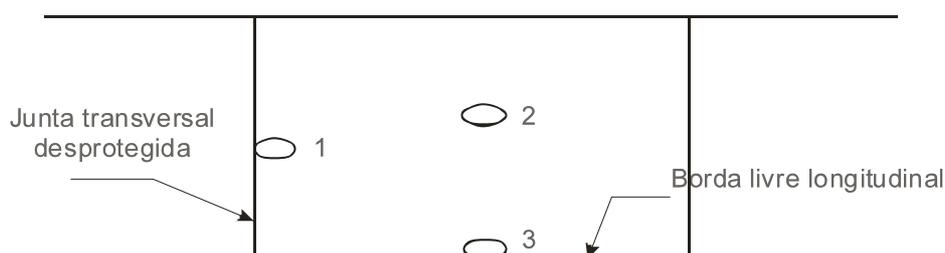
Como a seção desta armadura é função da espessura adotada para o pavimento e da resistência f_{ck} do concreto, são testadas diversas espessuras e f_{ck} 's, para definir o pavimento mais econômico.

Uma vez conhecidos os momentos atuantes, a determinação das armaduras necessárias para resisti-los, posicionadas na parte inferior da placa, passa a ser relativamente simples, seguindo os critérios usuais adotados no cálculo de estruturas de concreto armado.

Os momentos negativos, que tracionam a zona superior da placa, são considerados muito pequenos, sendo resistidos pelo próprio concreto.

Em uma placa de concreto isolada (ver Figura 35), ocorrem três situações distintas para o carregamento, podendo os momentos atuantes variar significativamente:

Figura 35 – Posição do carregamento em relação às bordas



Considera-se que a tensão máxima na borda livre longitudinal ocorre quando a roda do veículo a está tangenciando (posição 3). No momento que ela se dirige para o interior da placa, a tensão gerada na placa diminui abruptamente e quando ela já está distando 10cm da borda, ela equivale a 50% do valor inicial. Neste ponto, pode-se considerar que a tensão na placa se aproxima de valores similares aos originados quando a roda está no interior da placa (posição 2).

O carregamento na posição 3 irá produzir um momento que será cerca do dobro do verificado na posição 2.

Para a carga na borda transversal (posição 1), o momento é aproximadamente 40% maior do que o verificado no centro da placa.

O dimensionamento é feito em duas etapas, considerando inicialmente o carregamento no interior da placa e posteriormente, na borda livre do pavimento.

A determinação dos momentos atuantes é feita, com um bom grau de precisão, utilizando a Carta de influência 1 (ábacos da Figura 36), quando a carga está no interior da placa e Carta de influência 2 (ábacos da Figura 37), quando a carga está na borda longitudinal livre.

A marcha de cálculo é a seguinte:

a) Etapa 1 – Carga no interior da placa

- **Determinação do momento atuante M_i**

Determina-se inicialmente a área de contato **A** (em m²) do pneu e as suas dimensões básicas **L** (comprimento) e **W** (largura) :

$$A = \frac{P_R}{q}$$

onde:

P_R : carga atuante em um pneu, em newton (N), isto é, a carga total do eixo, dividida pelo número de rodas deste eixo.

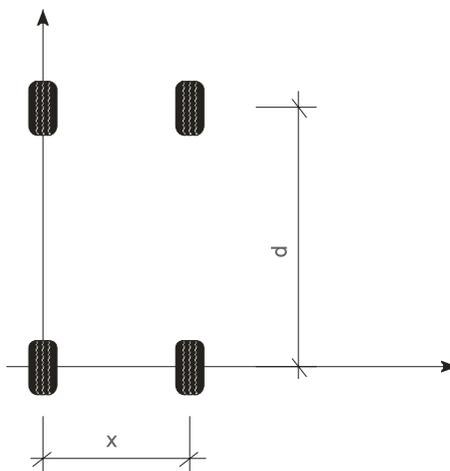
q : pressão de enchimento dos pneus, em Pa.

Determina-se o número **N** de blocos, com o auxílio da Carta de influência n° 1 (Figura 36), em função de :

raio de rigidez da placa de concreto: ℓ

distância entre as duas rodas do semi-eixo de rodagem dupla: x

distância entre os conjuntos de rodas dos semi-eixos tandem duplo ou triplo : d



O raio de rigidez da placa de concreto ℓ é calculado a partir da expressão:

$$\ell = \sqrt{\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot k_r}}$$

onde:

E = módulo de elasticidade do concreto (em MPa)

h = espessura da placa de concreto (em m)

V = coeficiente de Poisson do concreto, que geralmente é de 0,15

K_r = coeficiente de recalque da fundação corrigido (em MPa/m)

O momento M_i pode ser determinado pela expressão:

$$M_i = \frac{N \cdot q \cdot \ell^2}{10000} \text{ em } (N \cdot m / m)$$

onde:

N = número de blocos determinado pela carta de influência 1 (figura 23)

q = pressão de enchimento do pneu (em Pa)

ℓ = raio de rigidez relativo da placa (em m)

De posse destes dados, é determinado o coeficiente adimensional k₆ a partir das expressões:

$$k_6 = \frac{bh^2}{M_i}$$

onde:

M_i = momento atuante no interior da placa (em tf . cm/m)

b = largura considerada, geralmente 100 cm

h = espessura da placa, menos 3,0 cm de cobrimento

- **Determinação da seção de armadura inferior no interior da placa**

Determina-se o coeficiente adimensional k₃ no Quadro 30, a partir do coeficiente k₆ e da resistência característica à compressão do concreto da placa (f_{ck}), em MPa.

Nestes coeficientes já estão embutidos os coeficientes de segurança correspondentes à minoração da resistência dos materiais e de majoração para as ações, previstos na norma NBR 6118.

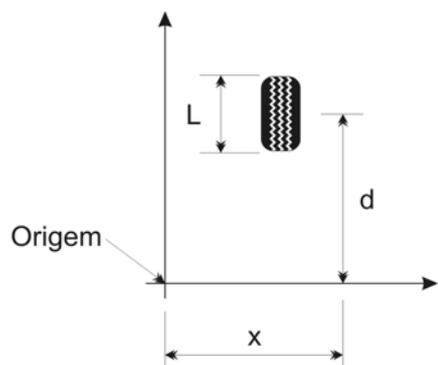
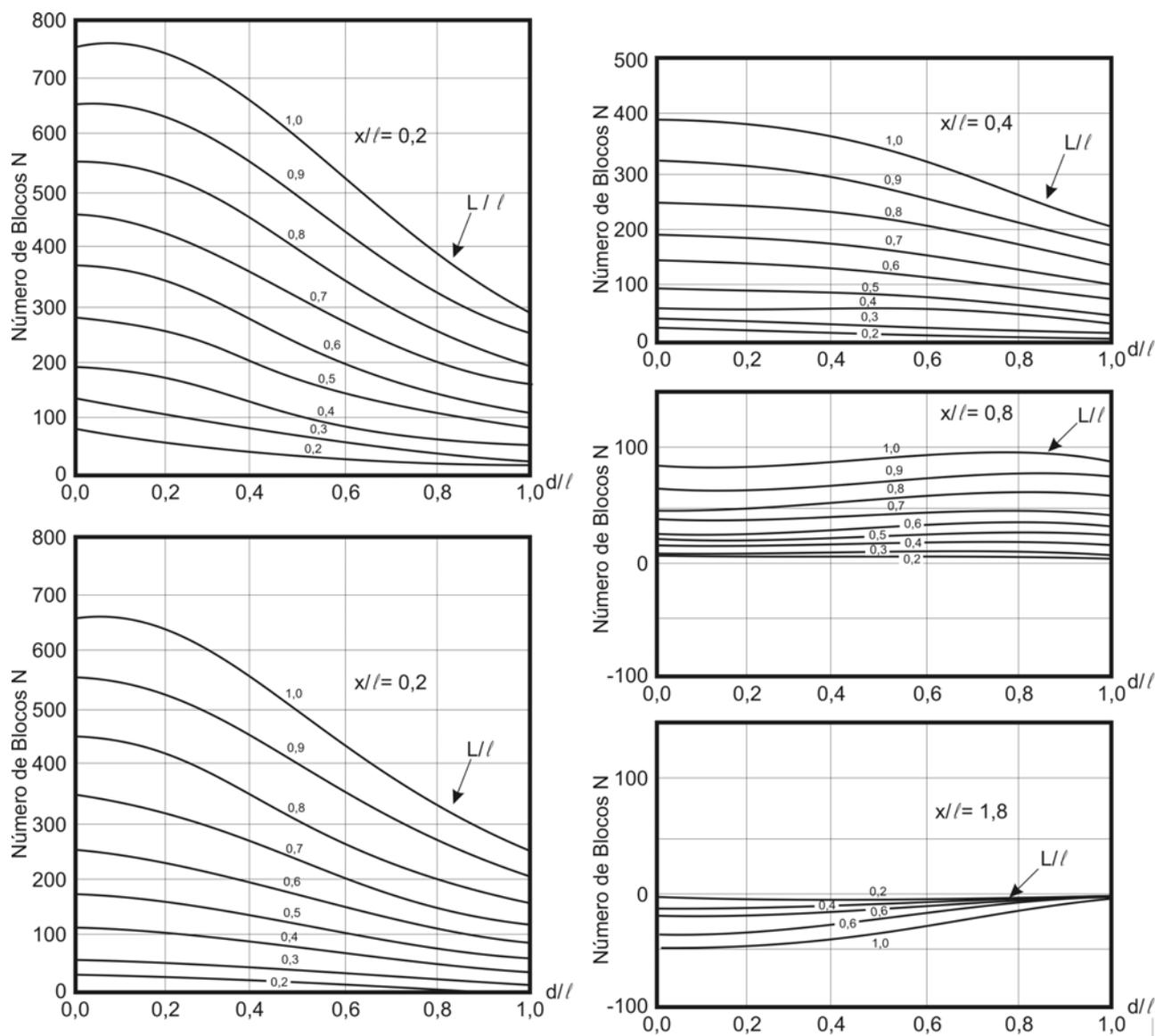
Quadro 30 - Valores de k_3

Placa normal simples seção retangular	Concreto de f_{ck} igual a:					Valores de k_3 CA-60
	25	26	27	28	30	
$\gamma_f = 1,4$	18.638,00	17.921,00	17.257,00	16.641,00	15.531,00	0,269
	4.710,00	4.529,00	4.361,00	4.206,00	3.925,00	0,270
	2.118,00	2.036,00	1.961,00	1.891,00	1.726,00	0,271
$\gamma_e = 1,4$	1.206,00	1.159,00	1.116,0	1.077,00	1.005,00	0,272
	781,70	751,70	723,80	698,00	651,40	0,273
	550,40	529,20	509,60	491,40	458,60	0,274
$\gamma_s = 1,15$	410,30	394,50	379,90	366,30	341,80	0,275
	319,00	306,70	295,40	284,80	265,80	0,276
	256,20	246,40	237,20	228,80	213,50	0,277
	211,20	203,10	195,60	188,60	176,00	0,278
	177,80	171,00	164,70	158,80	148,20	0,279
	152,40	146,60	141,10	136,10	127,00	0,280
	132,70	127,60	122,90	118,50	110,60	0,282
	117,10	112,60	108,40	104,50	97,54	0,283
	104,50	100,50	96,75	93,30	87,08	0,284
	94,30	90,67	87,31	84,19	78,58	0,285
	85,94	82,63	79,57	76,73	71,62	0,287
	79,01	75,98	73,16	70,55	65,85	0,288
	73,19	70,37	67,77	65,35	60,99	0,290
	68,22	65,60	63,17	60,91	56,85	0,291
	63,94	61,48	59,20	57,09	53,28	0,293
	60,20	57,89	55,74	53,75	50,17	0,294
	56,92	54,73	52,70	50,82	47,43	0,296
	54,01	51,93	50,01	48,23	45,01	0,298
	51,42	49,44	47,61	45,91	42,85	0,299
	49,14	47,15	45,50	43,87	40,95	0,301
	47,54	45,71	44,02	42,44	39,62	0,302
	46,06	44,28	42,64	41,12	38,38	0,304
	44,68	42,96	41,37	39,89	37,23	0,305
	43,39	41,73	40,18	38,75	36,16	0,307
	42,20	40,57	39,07	37,67	35,16	0,308
	41,07	39,49	38,03	36,67	34,23	0,309
	40,02	38,48	37,06	35,73	33,35	0,311
	39,03	37,53	36,14	34,85	32,53	0,312
	38,10	36,64	35,28	34,02	31,75	0,314
	37,22	35,79	34,47	33,24	31,02	0,316
	36,40	35,00	33,70	32,50	30,33	0,317
	35,61	34,24	32,97	31,80	29,68	0,319
	34,87	33,53	32,29	31,14	29,06	0,320
	34,17	32,86	31,64	30,51	28,47	0,322
	33,50	32,22	31,02	29,91	27,92	0,324
	32,87	31,61	30,44	29,35	27,39	0,325
		31,03	29,88	28,81	26,89	0,327

A determinação da seção de armadura inferior (A_s) é feita por meio da expressão:

$$A_s = k_3 \cdot \frac{M_i}{h} \quad \text{em } \text{cm}^2 / \text{m}$$

Figura 36 - Carta de influência nº 1 - Número de blocos N para carga no interior da placa



NOTAS

Os números das curvas indicam a relação entre L/l
 Considerando a sub-base como sendo um líquido denso
 Coeficiente de Poisson (λ) = 0,15

l

b) Etapa 2 – Carga na borda da placa

- **Determinação do momento atuante M_b**

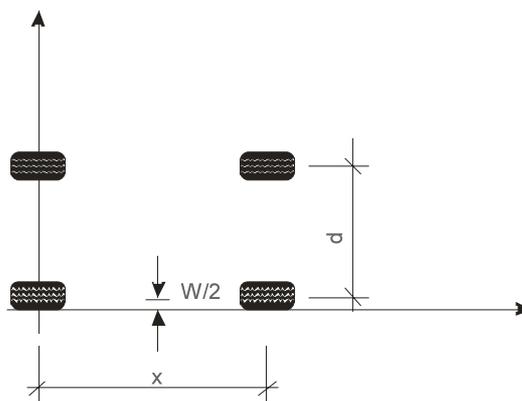
O momento atuante na borda da placa é determinado pela Carta de Influência 2 (Figura 37).

Simplificadamente, para as pressões usuais de contato dos pneus, o momento atuante na borda do pavimento é o dobro do momento atuante no interior da placa, isto é:

$$M_b = 2,0 \cdot M_i$$

No caso do emprego da Carta de Influência 2, o valor de **N** pode ser determinado com o auxílio da Figura 37, seguindo uma rotina bem similar à empregada no caso da carga estar no interior da placa.

Considera-se a distância “d” entre as rodas nos semi-eixos de rodagem dupla e “x” entre os conjuntos dos semi-eixos tandem simples e duplo.



- **Determinação da seção de armadura na borda da placa**

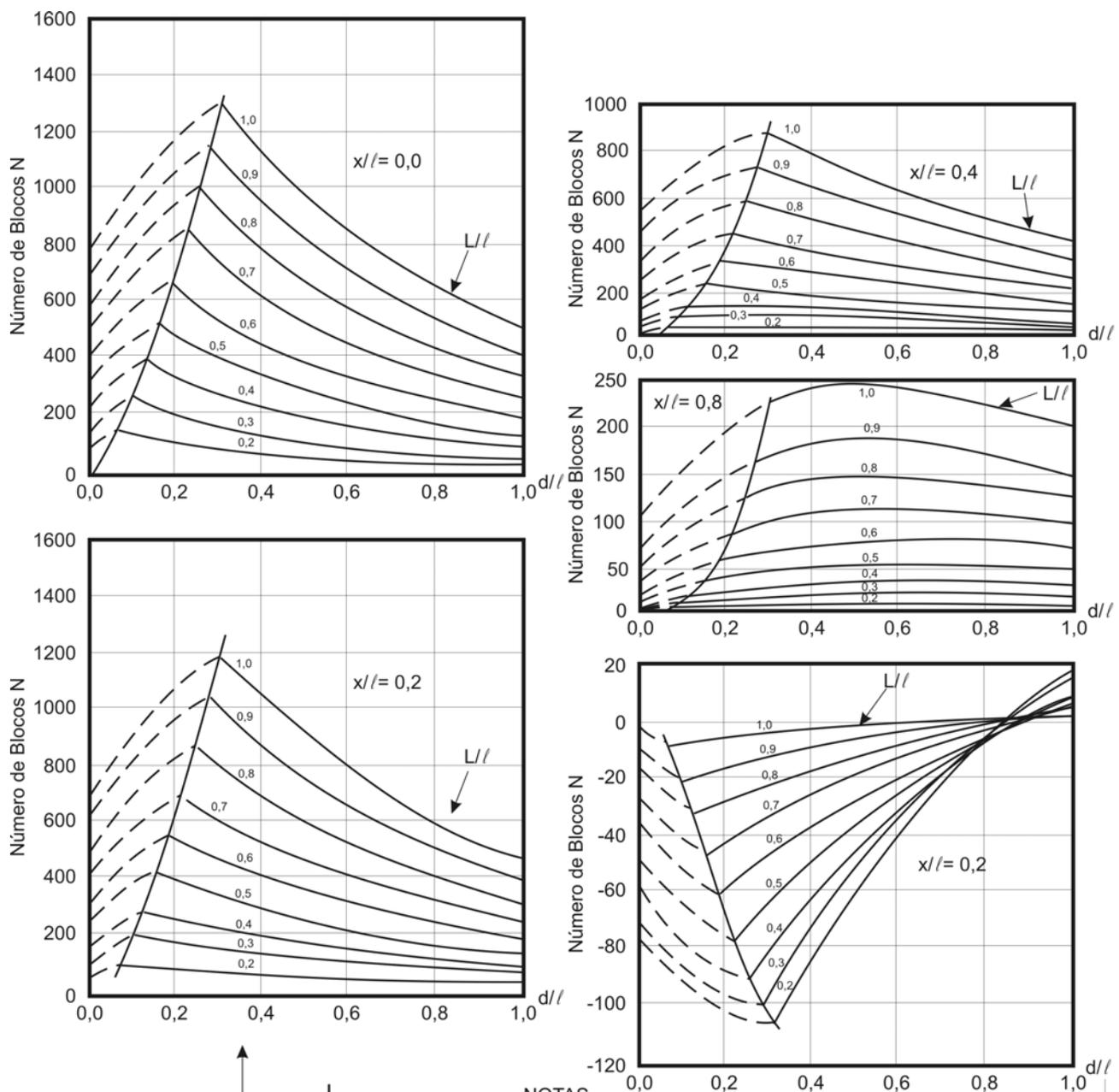
A seção de armadura na borda da placa, denominada de “armadura de borda”, é feita da mesma forma que a utilizada na determinação da seção da armadura no interior da placa, alterando apenas o momento atuante, que no caso é o M_b .

Esta armadura deve ser adotada, sempre que houver a possibilidade de carregamento em uma borda livre da placa, entendendo-se como borda livre, a borda desprotegida, sem placa adjacente com dispositivos de transferência de carga, nem acostamento de concreto.

Esta condição é observada em rodovias sem acostamento de concreto, em pavimentos urbanos junto ao meio fio e nas vizinhanças das juntas de dilatação (expansão).

A armadura de borda deve ser colocada em uma faixa com 80 cm de largura.

Figura 37 - Carta de influência nº 2 - Número de blocos N para carga na borda longitudinal da placa



NOTAS

Os números das curvas indicam a relação entre L/l
 Considerando a sub-base como sendo um líquido denso
 Coeficiente de Poisson (λ) = 0,15

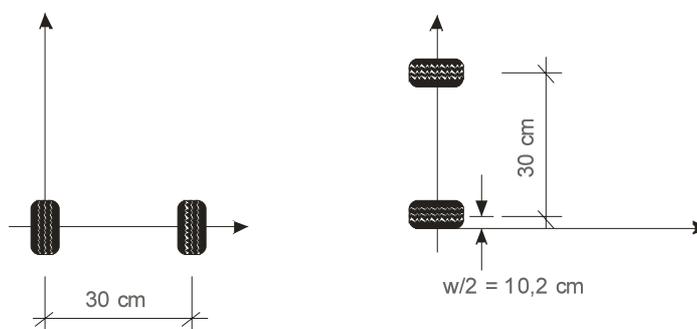


4.6.6.5 EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

a) Dados

Dimensionar um pavimento estruturalmente armado para as seguintes condições :

- CBR do subleito 4%
- Sub-base de solo melhorado com cimento, com 10 cm de espessura
- Concreto armado com aço CA-60, $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ e $E = 30.000 \text{ MPa}$.
- Comprimento da placa: 15 m
- Coeficiente de atrito placa / sub-base: 1,7
- Carga máxima em eixo simples: 170 kN
- Pressão de enchimento dos pneus: $q = 0,7 \text{ MPa}$ ($0,7 \times 10^6 \text{ Pa}$)
- Configurações do semi-eixo



b) Seqüência do dimensionamento

- determinação do k no topo do sistema, considerando uma sub-base de 10cm de espessura sobre um subleito de CBR = 4 %

$$k = 60 \text{ MPa/m}$$

O PS foi considerado igual a 0, donde $k_r = 60 \text{ MPa/m}$

- espessura tentativa $h = 16 \text{ cm}$
- raio de rigidez relativo

$$\ell = \sqrt{\frac{30.000 \times (0,16)^3}{12 \times (1 - 0,15^2) \times 60}}$$

- área de contato dos pneus $A = \frac{170.000/4}{0,7 \times 10^6} = 0,00607 \text{ m}^2$

$$W = 0,6 \times L \therefore 0,6 \times 0,341 = 0,204 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{\frac{A}{0,523}} = 0,341 \text{ m}$$

- determinação do N no centro da placa (Figura 36) , entrando com

$$L / \ell = 0,52$$

$$\text{Roda 1: } x / \ell = 0$$

$$N1 = 275$$

$$\text{Roda 2: } x / \ell = 0,30 / 0,65 = 0,46$$

$$N2 = 100$$

$$N_{\text{total}} = 375$$

- determinação do N na borda da placa (Figura 37), entrando com

$$L / \ell = 0,52$$

$$\text{Roda 1: } d / \ell = 0,102 / 0,65 = 0,16$$

$$N1 = 500$$

$$\text{Roda 2: } d / \ell = 0,402 / 0,65 = 0,62$$

$$N2 = 250$$

$$N_{\text{total}} = 750$$

- cálculo dos momentos

- no interior da placa

$$M_i = \frac{375 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,65^2}{10.000} = 11.090 \text{ N x m / m} = 111,00 \text{ tf x cm / m}$$

- na borda da placa

$$M_b = \frac{750 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,65^2}{10.000} = 22.181 \text{ N x m / m} = 222,0 \text{ tf x cm / m}$$

- determinação da armadura estrutural

- no interior da placa

$$k_6 = \frac{110 \times 16^2}{111} = 230,6$$

No Quadro 30 obtém-se $k_3 = 0,274$

$$A_s = 0,274 \times 111/13 = 2,34 \text{ cm}^2/\text{m}$$

No Quadro 31 tem-se: tela Q 246

- na borda da placa

$$k_6 = \frac{110 \times 16^2}{222} = 115,6$$

No Quadro 30 obtém-se $k_3 = 0,281$

$$A_s = 0,281 \times 222/13 = 4,8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

No Quadro 31 tem-se: tela Q 246

Nas bordas portanto, em uma faixa de 80 cm de largura, tem-se duas telas Q-246 superpostas.

- determinação da armadura de retração

A armadura de retração ficará posicionada no terço superior da placa e a não mais de 5 cm da superfície.

$$A_s = \frac{f \times L \times h}{333} = \frac{1,7 \times 15 \times 16}{333} = 1,23 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

No Quadro 31 tem-se: tela Q 138

O detalhamento deste pavimento está mostrado na Figura 38.

c) Etapa 3 – Variações volumétricas das placas

Além das cargas atuantes do tráfego, as placas estarão sujeitas a tensões internas provocadas pelas variações volumétricas do concreto, principalmente as retrações, devidas às variações da temperatura ambiente e do próprio concreto (retração térmica), perda d'água (retração hidráulica) e de outras naturezas.

Quando forem projetadas placas com comprimento acima de 5m, deve ser colocada uma armação para combater estes esforços, que ficará posicionada na parte superior da placa.

Esta armadura será de aço CA-60, sendo a sua seção determinada conforme a expressão apresentada a seguir, estabelecida para um concreto de massa específica de 24 kN/m³ :

$$A_s = \frac{F \cdot L \cdot h}{333} \text{ em cm}^2 / \text{m}$$

onde:

L: comprimento da placa (em m)

h: espessura da placa

f: coeficiente de atrito adimensional, entre a placa e a sub-base, geralmente da ordem de 1,5 a 2,0

d) Etapa 4 – Telas soldadas

As telas soldadas usuais em pavimentos estruturalmente armados estão apresentadas no Quadro 31, onde também são indicados os critérios para as emendas destas telas.

Quadro 31 - Telas soldadas tipo Q (Aço CA-60) e emendas das telas soldadas

Designação (CA-60)	Espaçamento entre fios (cm)		Diâmetro dos fios (mm)		Seção dos fios (cm ² /m)		Massa kg/m ²	Rolos *		Painéis *	
	Long. EL	Trans. ET	Long. DL	Trans. DT	Long. A _{SL}	Trans. A _{ST}		Comp. (m)	Massa kg	Comp. (m)	Massa kg
Q 47	15	15	3,0	3,0	0,47	0,47	0,75	120	222,0		
Q 61	15	15	3,4	3,4	0,61	0,61	0,97	120	285,1		
Q 75	15	15	3,8	3,8	0,75	0,75	1,21	120	356,1		
Q 92	15	15	4,2	4,2	0,92	0,92	1,48	60	217,5		
Q 113	10	10	3,8	3,8	1,13	1,13	1,80	60	264,4		
Q 138	10	10	4,2	4,2	1,38	1,38	2,20	60	323,0	6	32,3
Q 159	10	10	4,5	4,5	1,59	1,59	2,52			6	37,1
Q 196	10	10	5,0	5,0	1,96	1,96	3,11			6	48,8
Q 246	10	10	5,6	5,6	2,46	2,46	3,91			6	57,4
Q 283	10	10	6,0	6,0	2,83	2,83	4,48			6	65,9
Q 335	10	10	8,0	8,0	3,35	3,35	5,37			6	78,9
Q 396	10	10	7,1	7,1	3,96	3,96	6,28			6	92,3
Q 503	10	10	8,0	8,0	5,03	5,03	7,97			6	117,2
Q 636	10	10	9,0	9,0	6,36	6,36	10,09			6	148,3
Q 785	10	10	10,0	10,0	7,85	7,85	12,46			6	183,2

* (as telas tem largura de 2,45m)

Long = Longitudinal

Trans = Transversal

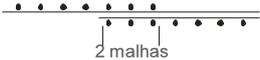
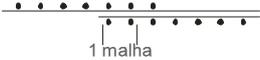
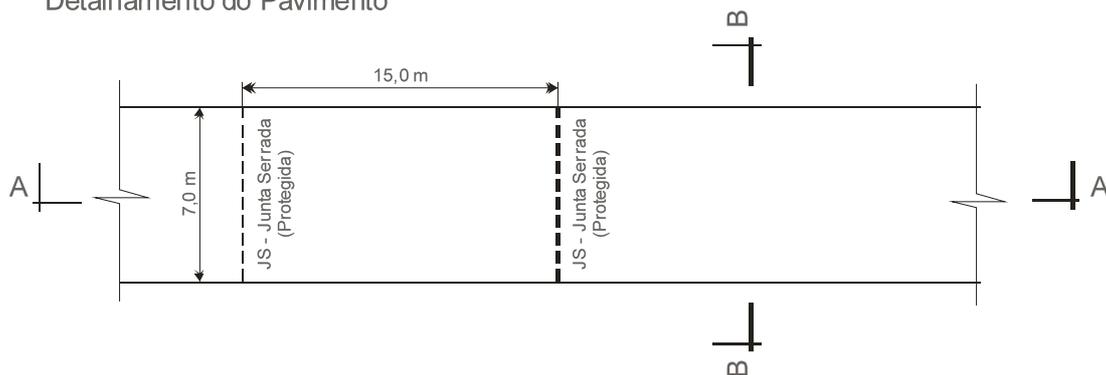
Emendas das Telas Soldadas	
Armaduras principais (Fios até 8,0 mm) 	
Armaduras principais (Fios > 8,0 mm) Expressão para Cálculo do Comprimento da Emenda Transformada para as unidades utilizadas em nosso meio técnico (Ø > 8 mm) $\ell_d = 3,219 \cdot \frac{A_w \cdot f_y}{S_w \cdot \sqrt{f_{ck}}}$ Pd = comprimento da ancoragem (cm) AW = área de um fio a ser emendado (cm ²) f _y = tensão de escoamento do aço (MPa) S _w = espaçamento do fio a ser emendado (cm) f _{ck} = resistência à compressão do concreto (MPa) 	
Armaduras de distribuição 	

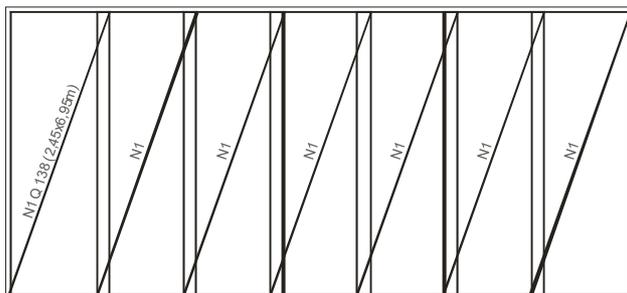
Figura 38 - Detalhamento do Pavimento

Detalhamento do Pavimento

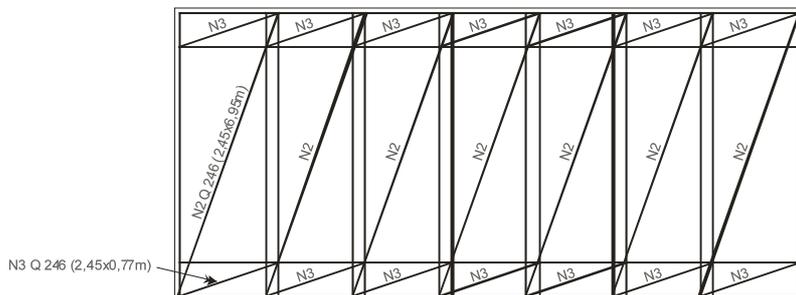


Detalhamento das Armaduras

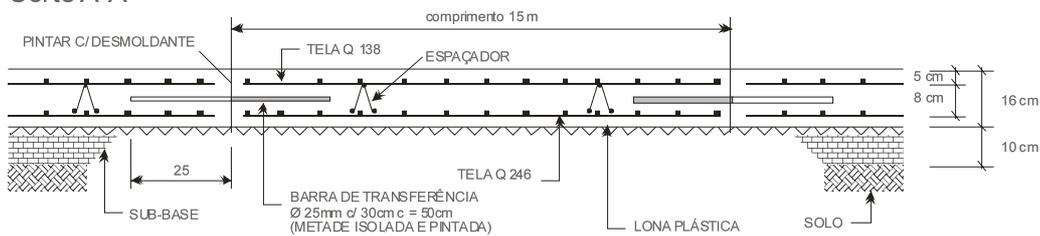
Armadura Superior



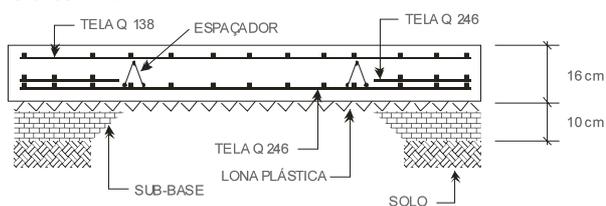
Armadura Superior



Corte A-A



Corte B-B



4.6.7 PAVIMENTO COM PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO

Este tipo de pavimento é aplicado principalmente em acostamentos, recuos, pátios e outros locais onde o tráfego, além de ser pequeno, flui com baixa velocidade.

Existem no mercado diversos tipos de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação, cujas tolerâncias dimensionais, qualidade e resistência do concreto, devem atender os requisitos estabelecidos na norma NBR 9781.

No dimensionamento da espessura deste tipo de pavimento, costuma-se empregar o método do CBR, tomando apenas 50% da carga por roda.

A espessura do pavimento é dada pela expressão:

$$e = \frac{150 + 150\sqrt{P/2}}{I_s + 5}$$

onde:

e = espessura total do pavimento, em cm

P = carga por roda, em tf

I_s = CBR do subleito, em %

De uma maneira geral, as peças de concreto do pavimento são assentadas sobre uma camada de areia ou pó de pedra, com espessura de 4 cm. Esta camada e a peça de concreto são consideradas como base e revestimento do pavimento, cuja espessura será :

$$e \text{ (base + revestimento)} = e \text{ (peça)} + 4 \text{ cm}$$

Da espessura total do pavimento, deve ser subtraída a espessura da base + revestimento, determinando-se a espessura necessária da sub-base, que será :

$$e \text{ (sub-base)} = e - e \text{ (base+revestimento)}$$

Exemplo:

Dimensionar um pavimento de peças pré-moldadas de concreto, para um tráfego de veículos com carga máxima de 6 tf, sendo de 5% o CBR do subleito e de 10cm a espessura da peça pré-moldada de concreto.

A espessura total do pavimento será :

$$e = \frac{150 + 150\sqrt{6/2}}{5 + 5} = 41,0 \text{ cm}$$

A espessura da sub-base será :

$$e \text{ (sub-base)} = 41 - 14 = 27 \text{ cm}$$

O CBR mínimo para o material da sub-base será :

$$e = \frac{150 + 150\sqrt{6/2}}{I_s + 5}$$

$$I_s \geq 10\%$$

O pavimento final será :

- a) Subleito local CBR = 5%
- b) Sub-base com CBR = 10 % e = 27 cm
- c) Base de areia ou pó de pedra e = 4 cm
- d) Revestimento de peça pré-moldada de concreto e = 10 cm

4.7 PROJETO GEOMÉTRICO DE PAVIMENTO RÍGIDO

4.7.1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos de concreto de cimento Portland estão sujeitos ao aparecimento de fissuras transversais e longitudinais, provocadas pelas variações volumétricas do concreto e pela combinação dos efeitos do empenamento restringido das placas e das solicitações do tráfego.

O controle desse fenômeno é imprescindível, pois ele influi diretamente na durabilidade do pavimento, sem falar no aspecto estético da superfície de rolamento.

A tendência natural das fissuras, sob a ação dos fatores externos, tais como o tráfego e as condições ambientais, é de aumentar de tamanho (abertura e profundidade), com a paulatina deterioração de suas bordas, refletindo-se na qualidade da superfície de rolamento e na capacidade estrutural do concreto.

Além disso, permitem a infiltração indesejável de água e materiais incompressíveis, prejudicando a necessária uniformidade de suporte, por meio do bombeamento das partículas finas porventura existentes no material da fundação, produzindo danosas concentrações de tensões de compressão ao longo da borda transversal.

A conseqüência prejudicial destas fissuras seria portanto, o aumento das despesas de conservação e o decréscimo da vida útil do pavimento.

Existem dois dispositivos de controle das fissuras nos pavimentos de concreto:

- a) emprego de armadura distribuída, sem função estrutural, unicamente para manter fortemente ligadas as faces das fissuras, impedindo sua separação, caracterizando o pavimento de concreto denominado de “continuamente armado”.

- b) adoção de seções artificialmente enfraquecidas, de preferência uniformemente espaçadas ao longo do comprimento do pavimento, de modo a forçar a ocorrência das fissuras em locais previamente determinados, caracterizando o pavimento de concreto com juntas ou pavimento de concreto simples.

Neste item trata-se desse último tipo de pavimento, sendo indicadas às diretrizes para o projeto completo de juntas, o que envolve o espaçamento entre elas e os tipos de juntas empregados, além dos materiais selantes e de enchimento recomendados.

As bases para a fixação destas normas de projeto de juntas são de natureza tanto teórica quanto experimental. Foram de grande valia, entre outros trabalhos, os publicados pela Portland Cement Association (PCA), pelo Highway Research Board (HRB), pelo American Concrete Institute (ACI) e pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

4.7.2 CARACTERÍSTICAS DAS JUNTAS EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS DE CONCRETO (TIPOS E FUNÇÕES)

4.7.2.1 JUNTAS TRANSVERSAIS

As juntas transversais são construídas no sentido da largura da placa de concreto, sendo os tipos principais, quanto à sua serventia, os seguintes :

- de retração (ou contração);
- de retração com barras de transferência;
- de construção;
- de expansão (ou dilatação).

a) Juntas Transversais de Retração (ou contração)

Sua função é controlar as fissuras devidas à contração volumétrica do concreto.

A junta é formada pela criação de uma seção enfraquecida na placa de concreto, por meio de um corte ou ranhura na superfície do pavimento, até uma profundidade adequada.

Esta ranhura pode ser feita enquanto o concreto se apresentar plástico (pela inserção de um perfil metálico ou de plástico rígido), ou após o seu endurecimento inicial, com o emprego de uma serra circular dotada de disco diamantado.

A profundidade da ranhura deve ficar entre $1/4$ e $1/6$ da espessura da placa, obedecendo-se a um mínimo de 4 cm, tanto para a junta moldada quanto para a serrada.

Deve-se levar em conta que as placas de grande espessura exigem limite superior de profundidade da ranhura.

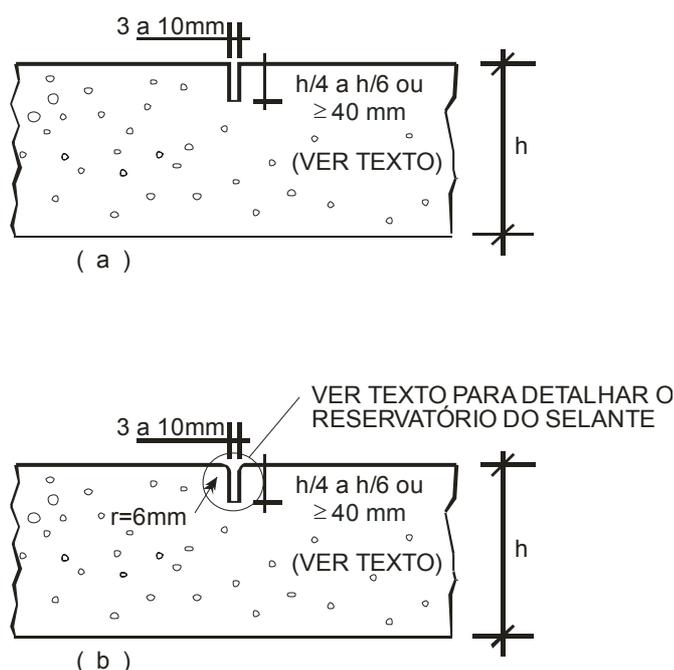
Quando serrada, deve-se ainda observar uma profundidade mínima igual ao diâmetro máximo do agregado.

A abertura da ranhura pode variar entre 3 mm (mínimo, quando serrada) a 10mm (máximo, quando aberta no concreto fresco); um valor muito usual é de 6 mm de abertura.

Recomenda-se o arredondamento das bordas da junta, quando moldada, com o auxílio de uma ferramenta apropriada (desempenadeira de bordo).

As figuras 39a e 39b exemplificam os tipos adotados para as juntas transversais de contração.

**Figura 39 - Juntas transversais de retração
(a) serrada e (b) aberta no concreto fresco**



O espaçamento entre as juntas de retração deve atender às necessidades de controle, não só das fissuras devidas à variação inicial do volume de concreto, como das fissuras adicionais, devidas ao empenamento da placa.

O cálculo das tensões devido ao empenamento restringido é profundamente teórico e simplificado, não levando em conta, por exemplo, a influência da deformação lenta do concreto no fenômeno.

Portanto, a fixação das diretrizes dos projetos de juntas que combatessem os efeitos transversais do empenamento foi baseada em estudos experimentais e na observação de pavimentos em serviço, sob tráfego misto, sendo estreitamente dependente do padrão adotado de juntas transversais de retração, cuja função, dessa forma, é dupla.

O espaçamento necessário entre juntas transversais de retração deve ser fixado levando em conta quatro variáveis:

- o tipo de agregado graúdo empregado na confecção do concreto;
- as condições ambientais;
- o atrito entre a placa e a camada subjacente;

- o tipo de tráfego.

As regiões cujo clima apresenta grandes variações de temperatura ou de umidade, são as que exigem menores distâncias entre as juntas.

Por outro lado, a experiência mostra que o emprego de seixo rolado (ou cascalhos) como agregado graúdo, impede a adoção de distâncias maiores entre as juntas, o que não acontece quando o agregado graúdo é britado; nesse particular deve ser observado, também, que a composição mineralógica do agregado, por seu maior ou menor coeficiente de expansão térmica, é de grande importância na fixação do espaçamento.

Já o atrito entre a placa de concreto e a camada subjacente a ela, é inversamente proporcional ao espaçamento adequado entre as juntas transversais de retração.

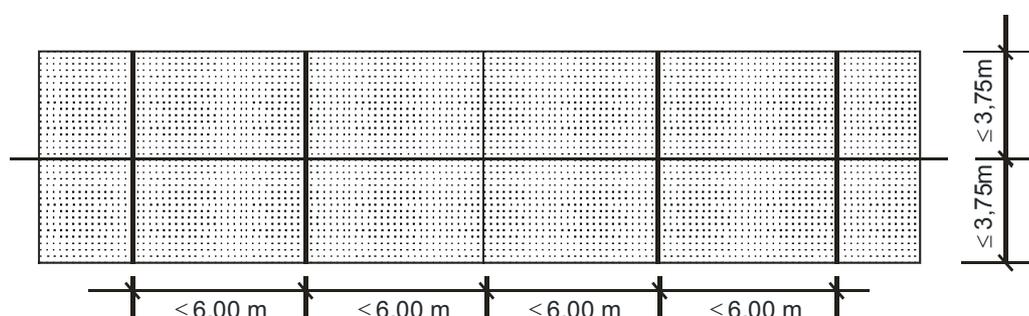
Uma indicação valiosa é fornecida no Quadro 32, que condiciona a distância ou espaçamento entre as juntas transversais de retração, ao tipo de agregado graúdo usado no concreto.

Quadro 32 - Espaçamento recomendado entre as juntas transversais

Tipo de Agregado Graúdo	Espaçamento Recomendado entre Juntas Transversais (m)
Pedra britada granítica	até 7,5
Pedra britada calcária, sílico-calcária ou pedregulho de calcário	até 6,0
Seixo rolado, cascalho ou escória com dimensão máxima menor que 19 mm.	até 4,5

A experiência brasileira tem demonstrado que uma distância máxima de 6 m entre as juntas transversais é perfeitamente adequada às nossas condições gerais (ver figura 40).

Figura 40 - Largura e comprimento recomendados para placas de pavimento rodoviário de concreto



b) Juntas Transversais de Retração com Barras de Transferência (ou passadores)

Estas juntas são também transversais, mas apresentam uma função suplementar, pois além de controlarem as fissuras de retração do concreto, elas devem proporcionar uma certa transferência de carga de uma placa para a outra.

A decisão de se adotar ou não uma junta transversal de retração com barras de transferência, irá depender:

- do tráfego de projeto,
- da magnitude das cargas,
- do tipo de fundação do pavimento.

Uma junta transversal que não disponha desse mecanismo artificial de transferência de carga será capaz de suprir essa necessidade, quer pela entrosagem pura e simples dos agregados, dispostos nas faces irregulares da fissura que se forma sob a junta, ou então, pelo incremento de suporte auferido através da adoção de uma sub-base adequada.

No entanto, a ação do tráfego pesado, somada a uma eventual falta de uniformidade de suporte da fundação da placa, pode provocar a ocorrência de um deslocamento vertical diferencial entre as placas contíguas, caracterizando uma situação inicial de desconforto para o usuário e a ruína da superfície de rolamento na região da junta.

A diminuição artificial da carga é possibilitada pela colocação de barras lisas de aço, em plano horizontal paralelo à superfície da placa de concreto, sendo cada barra locada na interseção desse plano horizontal com um plano vertical paralelo ao eixo longitudinal da pista.

A função das barras de aço é transferir para a placa adjacente, uma certa porcentagem da carga atuante em um dos lados da junta transversal, diminuindo a solicitação e, em conseqüência, evitando ou diminuindo de muito um possível deslocamento vertical de uma das placas, ou das duas, na região da junta.

A redução artificial da carga solicitante conduz a tensões menores do que as que se tomam no dimensionamento da espessura, atuando como um coeficiente adicional de segurança no projeto do pavimento.

A adoção de sub-bases delgadas não bombeáveis e de suporte homogêneo - prática internacional consagrada e indispensável nos projetos modernos - diminui ou elimina a necessidade de colocação do dispositivo de transferência de carga.

O dimensionamento das barras de transferência obedece a estudos teóricos e pesquisas específicas do seu comportamento sob a ação de cargas repetidas.

O Quadro 33 fornece, sob forma simplificada, o diâmetro, o comprimento e o espaçamento requeridos para barras de transferência, em função da espessura da placa.

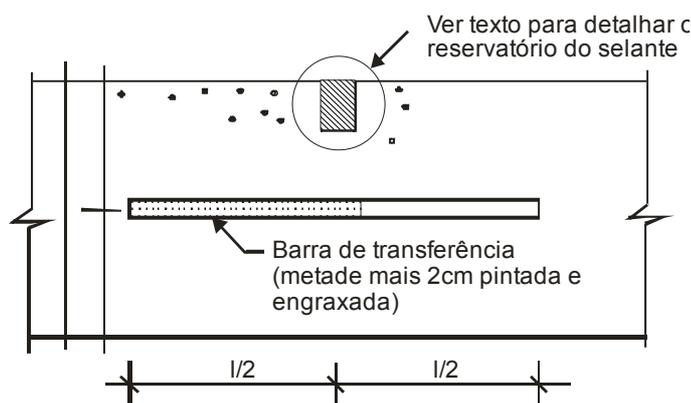
Quadro 33 - Diâmetro, comprimento e espaçamento de barras de transferência (Barras lisas - Aço CA-25)

Espessura da Placa (cm)	Diâmetro (cm)	Comprimento (mm)	Espaçamento (mm)
Até 17,0	20	460	300
17,5 – 22,0	25	460	300
22,5 – 30,0	32	460	300
> 30,0	40	460	300

A Figura 41 mostra as características típicas de uma junta transversal de retração com barras de transferência.

Deve-se observar que as barras têm uma das metades pintada e engraxada, de forma a serem insensíveis à oxidação e à aderência com o concreto em um dos lados da junta, permitindo a livre movimentação da junta quando da contração ou expansão da placa.

Figura 41 - Junta transversal de retração com barras de transferência



c) Juntas Transversais de Retração Inclinadas (ou oblíquas)

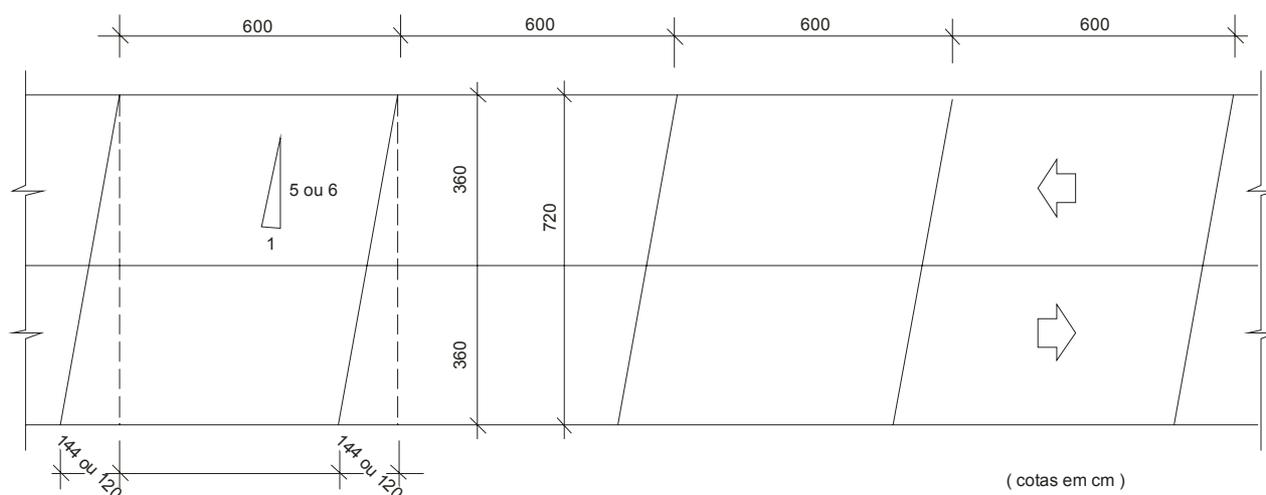
Na maioria dos projetos, as juntas transversais são perpendiculares ao eixo longitudinal da placa de concreto.

A adoção de uma leve inclinação na direção da junta, de forma que os veículos, ao cruzarem a junta, tenham somente um dos pneus de cada roda dupla tangenciando a sua borda transversal, traz uma sensível melhora na intensidade da resposta do veículo ao impacto da sua passagem na junta, tornando o rolamento mais confortável.

Com o fato do carregamento processar-se parcialmente - enquanto nas condições normais de dimensionamento, consideram-se as cargas das rodas de um eixo tangenciando a junta ao mesmo tempo - reduzem-se as tensões e deformações reais na região, introduzindo um novo coeficiente de segurança, o que se reflete no aumento da vida útil do pavimento.

A Figura 42 esquematiza um pavimento com juntas transversais inclinadas.

Figura 42 - Pavimento de concreto com juntas transversais inclinadas, placas com 6,0 m de comprimento e 3,6 m de largura



A relação entre o afastamento da extremidade da junta de sua posição original e o comprimento total da junta deve estar compreendida entre 1:5 e 1:6.

A prática mostra que devem ser tomados três cuidados quando optar-se por esse tipo de junta:

- a profundidade mínima da ranhura deve ser um pouco maior do que a recomendada para as juntas perpendiculares ao eixo da placa (cerca de 1 cm a mais);
- o ângulo obtuso entre a junta e a borda longitudinal livre do pavimento deve ser formado à frente do sentido de tráfego, de maneira a minimizar as tensões no canto da placa;
- a marcação da posição da junta deve ser muito rigorosa, principalmente quando ela contiver barras de transferência.

4.7.2.2 JUNTAS LONGITUDINAIS

a) Juntas Longitudinais de Articulação

As juntas desse tipo são empregadas para o controle das fissuras longitudinais, devidas ao empenamento da placa de concreto, podendo servir ao mesmo tempo, como juntas de construção, conforme descrito mais adiante.

O espaçamento das juntas longitudinais de articulação irá depender da grandeza das tensões devidas ao empenamento.

Conforme já dito anteriormente, a quantificação dessas tensões é problemática e imprecisa ; por isso, busca-se na prática, a fixação entre estas juntas, de distâncias recomendadas como admissíveis ou adequadas.

A observação de pavimentos de concreto executados com juntas longitudinais, evidenciou o aparecimento de uma ou mais fissuras longitudinais toda vez que a

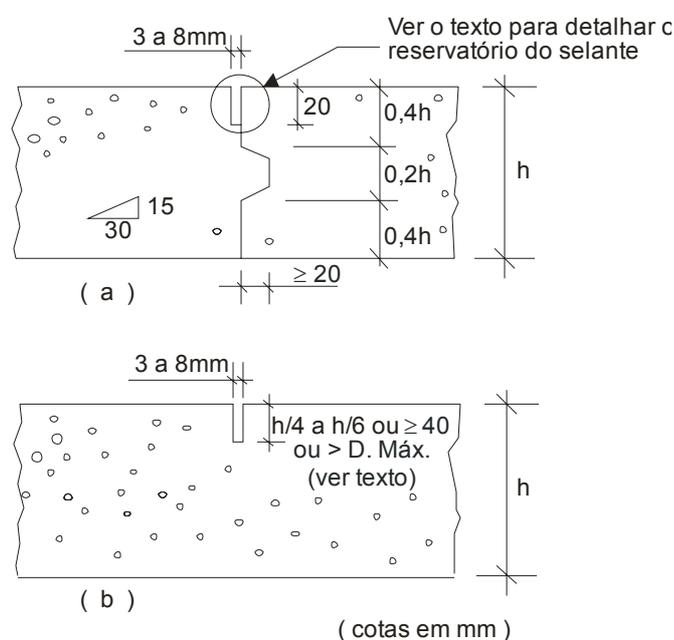
largura da placa atingia um valor igual ou superior entre 3,65 m e 4,90 m, o que leva à recomendação de uma distância entre juntas longitudinais de 3,75 m, no máximo (ver Figura 40).

Deve-se levar em conta que espaçamentos muito menores do que os indicados (por exemplo, uma distância de 3,00 m entre as juntas longitudinais) não permitem o uso das fórmulas de cálculo que consideram a carga de projeto na borda da junta transversal, sem que seja verificada a influência da diminuição desta largura nas tensões de tração na flexão.

Um espaçamento absolutamente adequado para pavimentos rodoviários é de 3,5 m a 3,6 m.

O esquema de juntas longitudinais de articulação típicas está mostrado na Figura 43.

Figura 43 - Junta longitudinal de articulação encaixe (a) e seção enfraquecida (b)



b) Juntas Longitudinais de Articulação com Barras de Ligação (ou ligadores)

Esse tipo de junta é empregado nas mesmas funções da junta longitudinal de articulação, sendo justificada a colocação do dispositivo de ligação quando houver necessidade de se manter as faixas de tráfego livres de possíveis movimentos laterais, assegurando desta forma, que unidas, possibilitem a transferência de carga pela entrosagem dos agregados ou pelo encaixe tipo “macho-e-fêmea”.

As considerações que regem o espaçamento desse tipo de junta longitudinal são as mesmas desenvolvidas para o caso das juntas transversais.

O dispositivo de ligação é calculado para resistir à força de atrito entre a junta considerada e a junta ou borda livre mais próxima dela.

A fórmula usada é:

$$A_s = \frac{b \cdot f \cdot \gamma_c \cdot h}{100 \cdot S}$$

onde:

A_s = seção de barras de aço necessária, por metro de comprimento da junta considerada, em cm^2/m ;

b = distância entre a junta considerada e a junta ou borda livre mais próxima dela, em m;

f = coeficiente de atrito entre a placa e o subleito ou sub-base, que pode variar de 1,5 a 2,0 , sendo geralmente tomado como 1,5;

γ_c = massa específica do concreto, igual a 24000 N/m^2 ;

h = espessura da placa, em m;

S = tensão admissível no aço, em geral $2/3$ da tensão de escoamento, em MPa.

O comprimento da barra de ligação, necessário para assegurar sua aderência ao concreto, considerando uma tensão máxima de aderência aço-concreto de 2,5 MPa, é dado pela expressão :

$$\ell = \frac{S \cdot d}{t_b} + 7,5$$

onde:

ℓ = comprimento de uma barra de ligação, em cm;

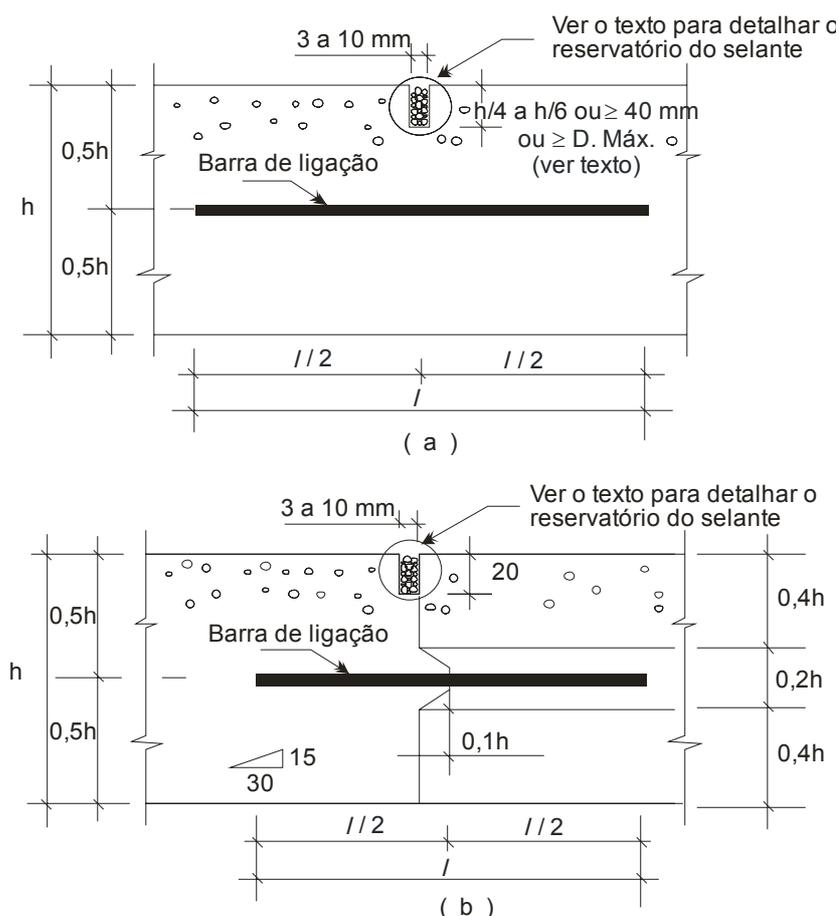
d = diâmetro da barra de ligação, em cm;

t_b = tensão de aderência entre o aço e o concreto, em geral tomada igual a 2,45 MPa;

7,5 = margem de segurança, prevendo-se uma possível descentralização da barra, em cm.

Um exemplo de junta longitudinal de articulação com barras de ligação está mostrado na figura 44.

Figura 44 - Junta longitudinal de articulação com barras de ligação e seção enfraquecida (a) e encaixe (b)



4.7.2.3 JUNTAS ESPECIAIS

a) Juntas de Construção

- **Juntas longitudinais de construção**

As juntas longitudinais de construção coincidem, em tipo e espaçamento, com as juntas longitudinais de articulação.

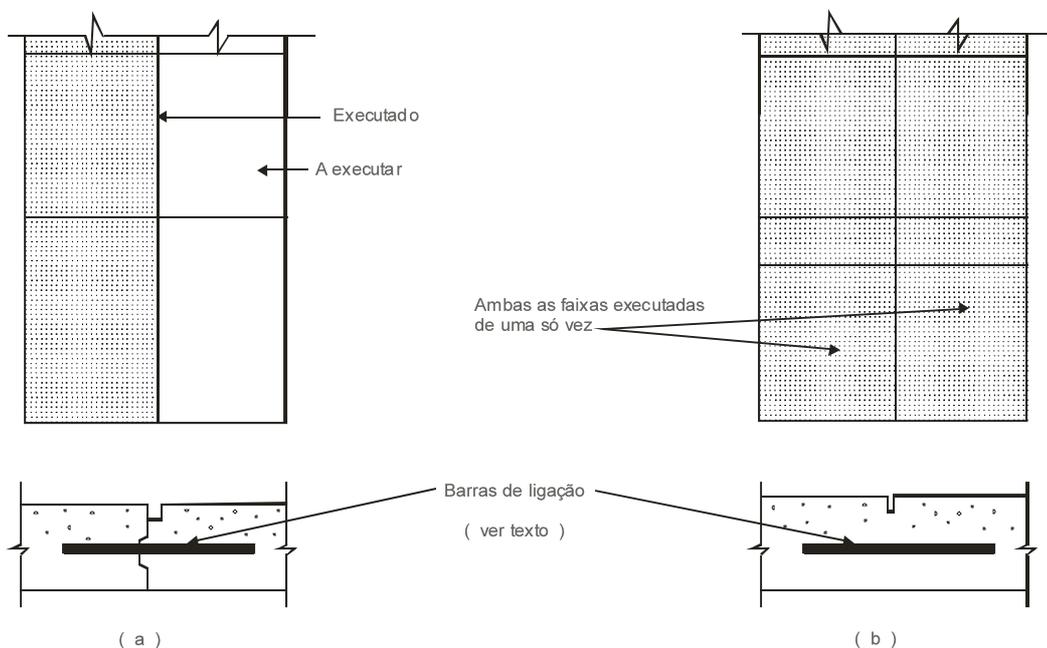
Quando o equipamento e as condições gerais da obra permitirem a execução de duas ou mais faixas de tráfego por vez, a junta longitudinal de construção é a própria junta longitudinal de articulação com barras de ligação, mostrada na Figura 32b, ou seja, uma junta de seção enfraquecida, aberta após as operações de acabamento do concreto, por inserção de perfil metálico ou aplicação de serra de disco.

Quando for viável apenas a execução de uma só faixa de tráfego de cada vez, a junta longitudinal de construção coincide com a junta longitudinal de articulação mostrada na Figura 45a, quer dizer, é uma junta de encaixe, tipo macho-e-fêmea, também dotada de dispositivo que assegure a ligação entre faixas contíguas.

Quando o confinamento lateral é flagrante, tal como ocorre em vias urbanas, estacionamentos, pátios de aeroportos, as juntas longitudinais de construção

podem dispensar as barras de ligação, em ambas as hipóteses de processo executivo, recaindo no caso das juntas longitudinais de articulação, sem dispositivo de ligação.

Figura 45 - Junta longitudinal de construção, execução faixa por faixa (a) e execução na largura total (b)



- ***Juntas transversais de construção***

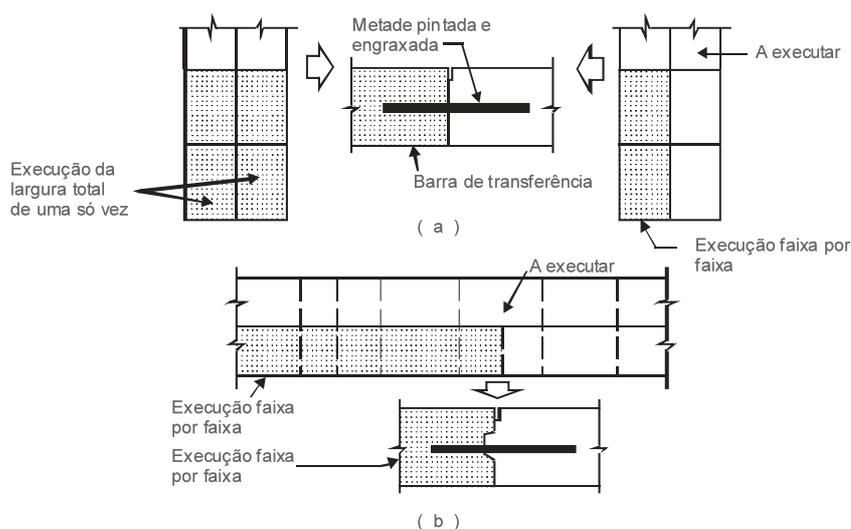
As juntas transversais de construção são necessárias em duas situações :

- quando o ciclo de trabalho - ou seja, de pavimentação efetiva - terminar exatamente onde, de acordo com o projeto, ocorreria uma junta transversal de retração;
- quando imprevistos, tais como chuva forte, quebra do equipamento ou atraso no lançamento do concreto provocarem a paralisação da concretagem da placa antes de ser atingida a junta transversal projetada.

No primeiro caso, a junta transversal a ser executada é a junta transversal de construção planejada, também chamada de junta de topo; é uma junta que deve dispor de adequada transferência de carga, através de barras de transferência.

A Figura 46a ilustra o tipo descrito.

Figura 46 - Junta transversal de construção planejada (a) e de emergência (b)



No segundo caso, exige-se a execução de uma junta transversal de construção de emergência, que é uma junta de encaixe, dotada de barras de ligação.

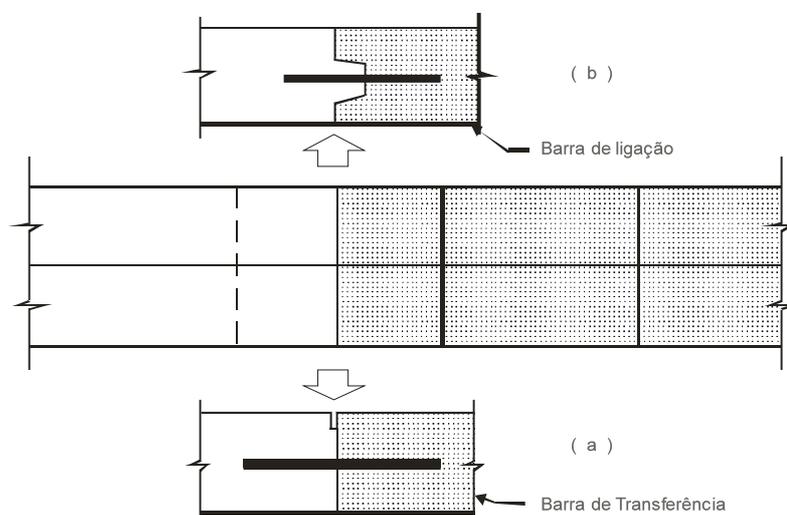
A presença do dispositivo de ligação é necessária para impedir que, no caso da execução do pavimento ser faixa por faixa, haja transmissão da fissura ao painel adjacente, bem como assegurar a transferência de carga (figura 46b).

No caso em que for executada a largura total do pavimento, pode-se optar pela junta de encaixe com ligadores ou pela junta de topo, com passadores, sendo este último, em geral, de maior custo.

A Figura 47 mostra as duas opções.

As características dos dispositivos de transferência de carga e de ligação são idênticas aos tipos anteriormente descritos.

Figura 47 - Junta transversal de construção de emergência de topo (a) e de encaixe (b), execução na largura total



A infiltração de água através da junta traz conseqüências danosas à durabilidade do pavimento, principalmente por a ser causa principal do bombeamento, que consiste na paulatina deteriorização da camada de fundação, pela expulsão dos finos que a compõem; dessa maneira, o suporte disponível decresce acentuadamente, ficando a placa descalçada e sujeita a uma rápida ruína. Mesmo nos projetos modernos, em que é obrigatória a adoção de uma sub-base de material apropriado, quer dizer, não bombeável, é comum observar-se em certos casos um desnivelamento entre a pista e o acostamento, ou bombeamento na borda longitudinal da pista, ambos causados pela infiltração de água através da junta não vedada; a água pode caminhar entre a placa e a sub-base e atingir o acostamento.

A concentração de materiais sólidos em região limitada da junta produz, quando da expansão do concreto, tensões de compressão bastante elevadas, ao impedir que a junta “feche” normalmente. Dependendo da magnitude dessas tensões, a junta pode degenerar-se e precipitar o colapso das placas afetadas.

Além disso, uma infiltração maciça na ocasião em que a temperatura atinge seu ponto mais baixo – ocasião em que a junta abre ao máximo – pode levar ao alçamento das placas contíguas à junta, quando estas se dilatam sob a ação de uma temperatura elevada.

Pelas conseqüências altamente prejudiciais à durabilidade da rodovia, como visto, e pelo aumento indesejável das despesas de manutenção da superfície de rolamento, o projetista dos pavimentos rodoviários de concreto deve analisar, cuidadosamente, a maneira mais conveniente de impedir as infiltrações através da junta.

4.7.3.2 TIPOS DE MATERIAIS

Um material selante adequado deve possuir propriedades bem definidas, como fluidez, período de cura, viscosidade, adesividade, dureza, resistência à oxidação, compressibilidade, elasticidade, resistência à fissuração e coesão interna.

A opção por um determinado tipo deve obedecer à avaliação de suas características próprias, pela realização de ensaios que possibilitem o conhecimento das propriedades mencionadas.

Deve ser levada em consideração, paralelamente, a maior ou menor facilidade da execução das operações de aplicação de cada um dos tipos propostos e as condições de solicitação da junta, tanto ambientais (temperaturas e pluviosidade), quanto mecânicas (volume de tráfego e magnitude das cargas solicitantes).

Os materiais selantes podem ser vazados no local, a frio ou a quente, ou pré-moldados, devendo atender às exigências da norma DNIT – 046/2004-ES – Pavimento Rígido – Selantes de Juntas – Especificação de Material.

4.7.3.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DO SELANTE

a) Fator de Forma

Além da escolha correta do tipo de material a utilizar na selagem das juntas, faz-se necessário que a quantidade aplicada na junta, obedeça a limites referidos à largura da ranhura.

Para melhor comportamento do selante, é de grande influência a relação entre a profundidade de aplicação e a abertura da junta, chamando-se a essa relação de “fator de forma”.

Para placas de comprimento não excedentes aos limites aqui preconizados, a formação do reservatório pode ser feita pela inserção de um cordão (sisal, náilon, etc) na ranhura. O fator de forma (profundidade dividida pela largura de selante) é variável com o tipo de material selante. Em geral, pode-se seguir as indicações dos fabricantes a esse respeito.

Os Quadros 34 e 35 fornecem valores recomendados pela prática, para juntas preenchidas com selante a frio ou a quente para materiais pré-moldados e a figura 49 ilustra o assunto.

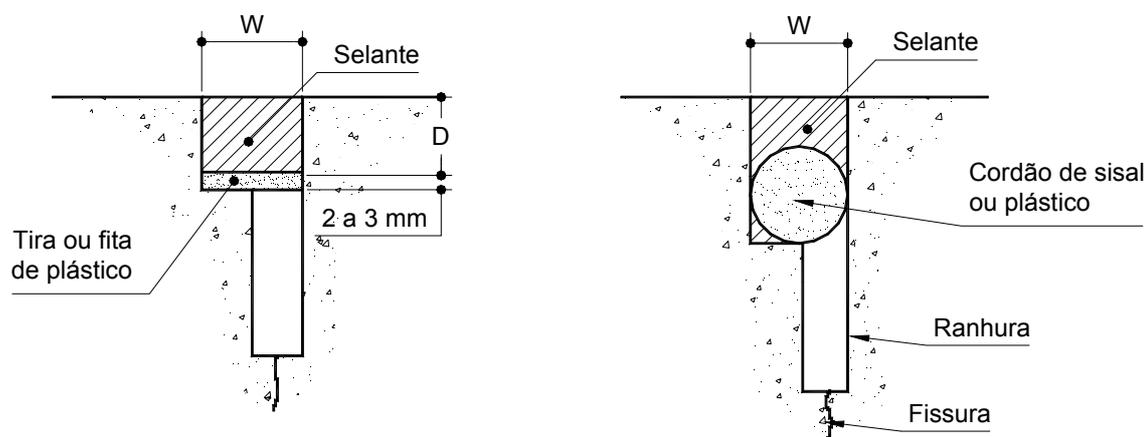
Quadro 34 – Fatores de forma recomendados para selante vasado no local

Espaçamento entre Juntas Transversais (m)	Forma do Reservatório do Selante	
	Largura (mm)	Profundidade mínima (mm)
4,5	3,0	12,7
6,0	6,0	12,7
7,5	10,0	12,7
12,0	12,7	12,7

Quadro 35 – Abertura de junta e largura recomendadas para selantes pré-moldados

Espaçamento entre Juntas Transversais (m)	Abertura de Juntas (mm)	Largura do Selante (mm)
7,5 ou menor	6,0	14,3
9,0	10,0	20,7
12,0	12,7	25,4

Figura 49 - Reservatório do selante, fator de forma e materiais para evitar aderência entre o selante e o fundo do reservatório



4.8 PROJETO DE ACOSTAMENTOS

4.8.1 ESPESSURA

Os parâmetros considerados na fixação da espessura dos acostamentos, são normalmente aqueles usados no dimensionamento do pavimento de concreto, com ênfase no tráfego, na carga, no suporte do subleito e na drenagem.

Recomenda-se tomar no projeto 1% do tráfego previsto na faixa de tráfego adjacente.

Estudos recentes sobre o uso do acostamento pelos caminhões pesados, determinaram que 15 cm de espessura seriam adequados para o caso de vias interestaduais e auto-estradas principais.

A maioria dos projetos até hoje tem adotado nesses casos, no mínimo 15 cm, embora em projeto experimental já se tenha usado com sucesso 12,5 cm.

É evidente a adequação estrutural de 15 cm de espessura uniforme de acostamento e também se constata que não há razões estruturais para ser aumentada a espessura da sua borda interna.

Diversos órgãos têm usado um processo de construção, em que se iguala a espessura do acostamento à do pavimento, reduzindo-a até 15 cm na borda externa do acostamento.

Outros organismos determinam que a espessura do pavimento seja considerada em toda a largura do acostamento, prática esta que é antieconômica e injustificável tecnicamente.

4.8.2 GEOMETRIA

Normalmente os acostamentos construídos com outros materiais que não o concreto, têm superfície inclinada na direção perpendicular à faixa de tráfego.

A partir da borda do pavimento, a inclinação varia de 1,0cm a 1,5 cm por 50,0 cm, sendo que Inclinações menores, da ordem de 0,3 cm a 0,5 cm por 50 cm podem ser usadas, desde que se garanta uma superfície plana sem depressões ou saliências que venham prejudicar a drenagem.

Quando o acostamento é projetado com a borda externa delgada, pode-se permitir uma redução na espessura, fazendo a declividade do acostamento ser maior do que a inclinação prevista, sem alterar a inclinação transversal da camada subjacente.

4.8.3 SUBLEITO

Caso haja uma junta longitudinal que garanta ligação adequada entre o pavimento e o acostamento, a penetração de água superficial através da junta diminui, não sendo necessários cuidados especiais para evitar o bombeamento e, conseqüentemente, o carreamento de materiais finos da camada subjacente.

Os demais cuidados quanto à compactação, por exemplo, são os mesmos a tomar no caso da pista principal.

4.8.4 PROJETO DE JUNTAS

A fissuração do concreto do acostamento é controlada pela construção de juntas de retração pouco espaçadas, em geral a cada 6m.

Esta prática tem sido comprovada até mesmo quando os acostamentos estão adjacentes a pavimento de concreto continuamente armado, submetidos a tráfego pesado, com espaçamento médio de 12 m entre as juntas transversais.

A adoção de juntas desviadas da normal, ou com espaçamentos irregulares, depende do projeto de juntas da faixa de tráfego adjacente.

É uma vantagem para o construtor fazer as juntas do acostamento do mesmo tipo daquelas da faixa adjacente do pavimento.

As juntas de retração devem ter a profundidade de, no mínimo, um quarto da espessura máxima do concreto do acostamento (se ele tiver espessura variável).

Quando as juntas do acostamento forem o prolongamento das juntas do pavimento e estas últimas tiverem um espaçamento superior à 9m, deve-se adotar juntas intermediárias no acostamento.

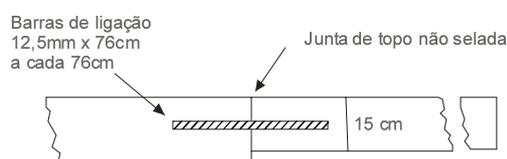
É muito vantajoso ligar o concreto do acostamento ao da faixa adjacente a ele, como se demonstra a seguir:

- a) eliminada a separação entre o acostamento e o pavimento, evita-se tanto a abertura excessiva da junta como o deslocamento vertical relativo, que poderiam comprometer a segurança do usuário;
- b) a drenagem superficial do pavimento e do acostamento é contínua e a entrada de água pela junta entre eles é muito pequena;
- c) a resselagem e a limpeza das juntas, que implicam custos de manutenção, são eliminadas;
- d) dá maior suporte estrutural ao pavimento propriamente dito, aumentando a rigidez e a continuidade transversal da estrutura total do pavimento, diminuindo as tensões críticas na borda e os deslocamentos verticais na mesma região.

Usam-se barras de ligação para manter a junta longitudinal firmemente fechada, evitando a infiltração de água e dando continuidade ao sistema acostamento-faixas de rolamento.

No projeto de barras de ligação, tem sido mais freqüente o uso de barras de aço corrugado, com bitola de 12,5 mm e comprimento de 76,0 cm, a cada 76,0 cm (Ver Figura 45); maiores informações sobre o cálculo de barras de ligação, estão apresentadas no item 4.7 deste Manual (Ver Figura 50).

Figura 50 - Projeto adequado de acostamento



O projeto de barras de ligação em acostamento de concreto, com largura e espessura menores do que as das placas da pista, resulta em menor taxa de aço do que a necessária para a junta longitudinal entre as placas de concreto do pavimento.

Por exemplo, para a espessura uniforme de 15,0 cm de acostamento, dimensões de barras e espaçamentos são as seguintes:

- a) acostamento de 5 m de largura:

Ø 10 mm x 38,0 cm a cada 76,0 cm ou

Ø 12 mm x 51,0 cm a cada 132,0 cm

- b) acostamentos de 1,20 m de largura:

Ø 10 mm x 38,0 cm a cada 152,0 cm, ou

Ø 12 mm x 51,0 cm a cada 335,0 cm

Quando a junta entre um acostamento relativamente delgado e as placas de concreto da pista é do tipo “entrosagem de agregados” ou “encaixe”, ocorre maior economia no projeto das barras de ligação.

Entretanto, quando for adotada uma junta “de topo” como no caso de acostamentos construídos depois de feita a pista, será necessária maior taxa de aço, maior bitola e menor espaçamento, para que haja a devida transferência de carga.

A junta longitudinal de encaixe entre o acostamento e a pista, não melhora significativamente o desempenho do acostamento.

Entretanto, a máxima eficiência da junta longitudinal é obtida, quando é usado o tipo “encaixe” na construção da junta ou quando há “entrosagem de agregados” (no caso de junta serrada ou moldada).

Conseqüentemente, recomenda-se como procedimento de construção, quando exeqüível, a moldagem direta do encaixe, ou que se execute a pista e o acostamento de uma só vez; neste último caso, a junta será serrada ou moldada.

Estudos sobre a transferência de carga em diversos tipos de juntas com barras de ligação e com encaixe, mostram que entre acostamento e placas de concreto de 20 cm de espessura, a junta mais eficaz é aquela com “entrosagem de agregados” e barras de ligação, seguida, na ordem decrescente por:

- a) junta elástica formada por um encaixe de meia seção circular com barras de ligação,
- b) junta com encaixe trapezoidal com barras de ligação,
- c) junta com barras de transferência,
- d) juntas de topo com barras de ligação.

Mostram ainda que as juntas sem ligação, são as menos eficazes, independentemente de suas seções.

4.8.5 CONTINUIDADE ENTRE A PISTA E O ACOSTAMENTO

Uma vantagem especial das juntas entre a pista e o acostamento, é que o suporte estrutural que o acostamento pode dar ao pavimento, contribuindo para reduzir as deflexões das placas, mantém a serventia do pavimento e prolonga a sua vida de serviço.

A análise das causas da formação de degraus em juntas de pavimentos, mostra claramente os benefícios da adoção de acostamentos de concreto ligados ao pavimento.

A degradação da serventia de pavimentos de concreto, está ligada geralmente não à deficiência estrutural, mas à formação de degraus e ao esborcinamento das juntas.

As pesquisas têm mostrado que o escalonamento nas juntas resulta do bombeamento, da consolidação da sub-base ou do depósito de material sob a placa, no lado em que o

tráfego se aproxima da junta; todas estas causas têm origem na excessiva movimentação da água sob a placa, causada pela flexão do pavimento quando do tráfego de cargas pesadas.

A movimentação da água e o conseqüente depósito de sólidos, são maiores perto da borda externa do pavimento, onde as deflexões são elevadas e os cantos das placas podem ter perdido o contato com a fundação, caracterizando um suporte parcial.

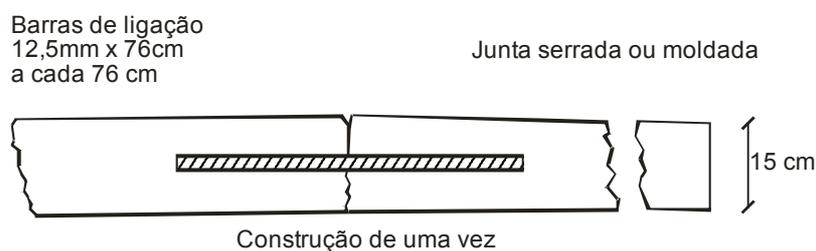
O projeto adequado de juntas entre o acostamento e a pista aumenta a rigidez do sistema.

Ao garantir dessa forma, a continuidade entre a pista e o acostamento, consegue-se atuar em conjunto e desta forma, opor-se às deflexões, quando ocorrer a falta de apoio, reduzindo o trabalho da pressão hidráulica sob o pavimento na região da junta.

A adoção de acostamentos de concreto ligados à pista, pode reduzir de um terço a magnitude da deflexão da borda externa do pavimento.

A Figura 51 mostra a melhoria do suporte do pavimento, em função do uso de acostamento de concreto.

Figura 51 - Projeto de acostamento para máxima eficiência da junta e contribuição ao suporte da pista



4.8.6 SELAGEM DE JUNTAS

A necessidade da selagem das juntas de contração do acostamento não está taxativamente estabelecida.

Quando o acostamento e a pista são construídos de uma só vez, por conveniência da execução, podem-se adotar os mesmos métodos de execução da junta e de selagem no acostamento e na pista.

Quando o acostamento é construído depois da execução da pista, produtos de baixo custo como asfalto com borracha, parecem ser suficientemente eficazes contra a entrada de materiais incompressíveis e água.

O material selante de plástico pré-moldado, também é uma alternativa aceitável para selagem das juntas do acostamento, ainda que de custo muitíssimo mais alto.

Por causa da pequena movimentação da junta longitudinal entre a pista e o acostamento, pode-se usar na selagem destas juntas, produtos de baixo custo e de baixa capacidade de deformação linear.

Recomenda-se para o reservatório do selante, que suas dimensões não sejam maiores do que 1 cm de largura por 2 cm de profundidade (fator de forma máximo D/w , igual a 2).

Quando o acostamento e a pista são construídos de uma só vez, a junta pode ser serrada e selada, ou então moldada pela inserção de um perfil plástico que, deixado na ranhura, eliminará a necessidade de selagem.

4.8.7 CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO

O projeto do acostamento deve especificar uma superfície de rolamento com textura ou aspecto diferentes da pista, de modo que o motorista reconheça instantaneamente os limites da faixa de tráfego.

A diferença pode ser obtida por mudança de textura ou cor ou então, por modificações físicas na superfície do acostamento, que produzam impacto pelo som e pela vibração do veículo; a forma mais eficaz de se conseguir este efeito é a construção de uma série de ondulações transversais ou a inserção de dispositivos no concreto ainda plástico, de maneira a formar protuberâncias.

Esses elementos dão uma certa sensação de desconforto físico e auditivo e impressionam visualmente o motorista, chamando a sua atenção e mostrando-lhe haver saído da pista.

A largura e o espaçamento das seções corrugadas devem estar correlacionados com a velocidade diretriz do projeto, sendo apropriado o espaçamento de 18 m a 30 m entre elas, para velocidades entre 80 e 110 km/h.

O espaçamento deve ser reduzido para velocidades mais baixas e pode ser desejável que a corrugação seja contínua quando em rampas, interseções ou áreas nas quais se queira impedir o tráfego no acostamento; a largura dessas seções deve ser de 1,20 m a 1,80 m, com a profundidade de cada sulco da ordem de 1,5 cm.

4.8.8 ACOSTAMENTOS DE SOLOS ESTABILIZADOS

Quando são construídos acostamentos com solos expansivos — e especialmente se esses solos são compactados sem o devido zelo — abrem-se largas fissuras de retração, longitudinalmente, entre o acostamento e a borda do pavimento.

A quantidade de água que passa através dessas fissuras está além da capacidade drenante efetiva das sub-bases, mesmo daquelas de graduação mais aberta.

Conseqüentemente, a passagem freqüente de eixos pesados em dias chuvosos, causa um fluxo intermitente de água entre o acostamento e a borda da pista, produzindo erosão do acostamento e, em casos extremos, da sub-base.

Independentemente de largura, profundidade ou tipo de sub-base, é fundamental usar solos de baixa variação de volume, que devem ser colocados com umidade ótima e compactados de modo a alcançar pelo menos 95% de grau máximo de compactação, ao lado e ao longo da borda do pavimento.

Quando isso é feito, o acostamento permanece em contato com a borda do pavimento, permitindo melhor escoamento da água da superfície do pavimento e preservando a integridade da fundação.

Quando não há solos adequados na região, pode-se adicionar cimento ou cal ao solo, para estabilizá-lo quimicamente.

Acostamentos bem compactados, construídos com solos pouco expansivos ou solos modificados com cimento ou cal, proporcionam economia e controle eficaz da ação danosa da água entre o acostamento e a borda da pista; estas são as considerações mínimas necessárias a um projeto de acostamento, para se obter um comportamento e um desempenho satisfatório para todos os tipos de sub-base.

Em estradas de grande volume de tráfego, costuma ser especificado um acostamento mais amplo, o que proporciona maior segurança aos usuários.

Acostamentos que são usados por todas as classes de veículos em qualquer situação e clima, devem estar à direita do tráfego, recomendando-se além disso, uma largura de acostamento de 5,0 m, exceto em terreno montanhoso, onde a largura pode ser reduzida para 1,8 m, diminuindo os custos de construção.

Alguns projetos de acostamento especificam tratamento superficial com asfalto, proporcionando contraste de cor e textura com a pista.

Há dois métodos para projetar acostamentos para qualquer clima.

Em um deles, a sub-base e a base granular estendem-se sob todo o acostamento; a superfície pode ser a própria base granular estabilizada com um aglomerante, ou então, um capeamento asfáltico.

No outro, os acostamentos são construídos de solo-cimento ou concreto rolado.

Usando-se um ou outro método, a sub-base pode ou não se estender sob todo o acostamento, dependendo do tipo de sub-base.

Quando a sub-base abrange toda a plataforma, o acostamento pode ter a mesma espessura que as placas de concreto do pavimento. Entretanto, os acostamentos de solo-cimento e concreto rolado de 15,0 cm de espessura têm sido de excelente comportamento.

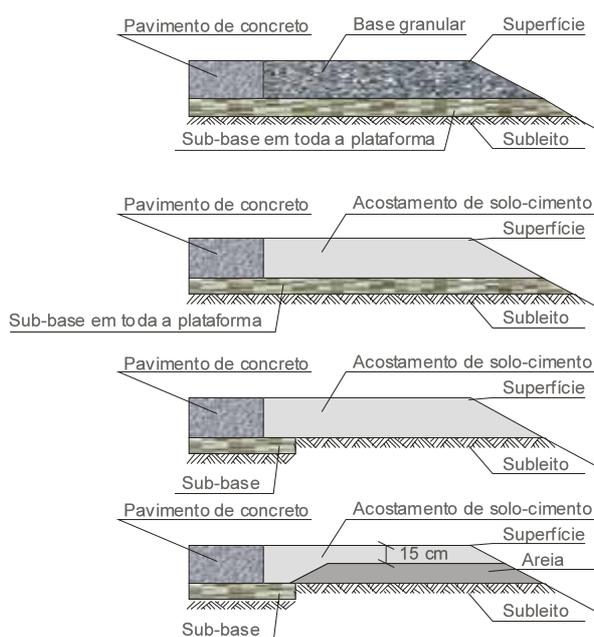
Quando a espessura for de 15,0 cm, o acostamento de solo-cimento deve ser espessado junto à borda do pavimento, para evitar a entrada de partículas granulares pela junta situada entre o acostamento e a pista.

Além de evitar a entrada de materiais na junta, o acostamento tratado com cimento tem as seguintes vantagens adicionais:

- não ocorre a abertura da junta longitudinal — fator importante para a segurança, quando da entrada e saída de veículos que usam o acostamento;
- nem a chuva forte nem o fluxo rápido de água na superfície fazem amolecer a parede vertical da borda do acostamento, de tal forma que os caminhões pesados podem estacionar bem fora das faixas de tráfego, sem danificar o acostamento ou atolar as rodas externas dos caminhões;
- aumenta a vida útil do acostamento e tem menor custo de manutenção;

Seções típicas de acostamentos com materiais granulares e tratados com cimento são mostradas na Figura 52.

Figura 52 - seções típicas de acostamentos granulares e tratados com cimento



**5 - EXECUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO
DE PAVIMENTOS RÍGIDOS**

5 EXECUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

5.1 EXECUÇÃO DE SUB-BASE

É prática internacionalmente consagrada, no campo da pavimentação rígida, a introdução de uma camada delgada de sub-base, com as funções precípuas de:

- a) Proporcionar suporte razoavelmente uniforme e constante;
- b) Eliminar a ocorrência do fenômeno de bombeamento dos finos do subleito, causa primordial da ruína de grande parte dos antigos pavimentos de concreto.

Têm sido usadas sub-bases estabilizadas granulometricamente ou com adições cimentícias, de granulometria aberta ou fechada. Como regra geral, hoje em dia as sub-bases, sejam granulares ou estabilizadas com adições, são utilizadas quando ocorrem condições que possam propiciar o bombeamento ou a erosão do subleito.

Modernamente, são comuns as sub-bases de concreto rolado (ou concreto compactado com rolo), concreto magro adensado por vibração, que não atendam, obrigatoriamente, às especificações correntes de um concreto para pavimentos: são adensados com equipamentos comuns de compactação, sendo o concreto confeccionado em usinas normais, dentro ou fora do canteiro de obras, dispensando ainda juntas de retração ou de dilatação.

Neste Manual enfoca-se as sub-bases estabilizadas com cimento usualmente empregadas no Brasil, quais sejam: concreto rolado, concreto magro adensado por vibração, brita graduada tratada com cimento, solo-cimento e solo melhorado com cimento; merece citação, ainda, a sub-base de brita graduada.

O emprego de uma ou outra, dependerá das condições de projeto, lembrando que as sub-bases estabilizadas com cimento são recomendáveis quando se trata de projetos importantes e no caso de tráfegos pesados. As Normas citadas a seguir fornecem dados completos sobre os detalhes executivos para cada tipo, além dos critérios para o controle de qualidade.

- a) **DNIT 066/2004-ES** – Pavimento Rígido – Sub-base de concreto de cimento Portland compactada com rolo – Especificação de Serviço;
- b) **NBR 11803** – Materiais para sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento;
- c) **DNIT 058/2004-ES** – Pavimento Rígido – Execução de sub-base de solo-cimento – Especificação de Serviço;
- d) **DNIT 057/2004-ES** – Pavimento Rígido – Execução de sub-base de solo melhorado com cimento – Especificação de Serviço;
- e) **DNIT 065/2004-ES** – Pavimento Rígido – Sub-base de concreto de cimento Portland adensado por vibração – Especificação de Serviço;

f) **NBR 11806** – Materiais para sub-base ou base de brita graduada.

5.2 EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

5.2.1 CONCRETO SIMPLES

Este item do Manual trata de Práticas Recomendadas para a Execução de Pavimento de Concreto simples de Cimento Portland. Para esta execução dispõem-se de Normas que indicam a maneira mais adequada e conveniente de cumprir esta operação. Na elaboração destas Normas buscou-se compilar as diferentes técnicas, procedimentos e experiências sobre o assunto, de modo a conseguir, com segurança, definir qual o melhor caminho para a obtenção de um produto final acabado de característicos ótimos – seja do ponto de vista da obediência ao projeto e às especificações, seja sob o enfoque da economia de custos, da racionalização do trabalho ou da melhor prestação de serviços ao usuário durante o período de vida da obra a que se refere.

Como se trata de um assunto de domínio público, como é a construção de pavimentos de concreto, na elaboração dessas Normas teve-se o cuidado de fundar-se no levantamento de conhecimentos originários de diferentes fontes, procurando os que melhor se enquadrassem nas condições gerais brasileiras, em termos de tecnologia de construção, equipamentos efetivamente disponíveis, mão de obra, situação econômica e outros fatores.

Este tipo de pavimento, como é definido na Norma NBR 7583 – Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): “é o pavimento de concreto de cimento portland no qual as tensões solicitantes são combatidas tão somente pelo próprio concreto e que não contém nenhum tipo de armadura distribuída, não se considerando como tal, eventuais sistemas de ligação ou de transferência de carga entre as placas formadas pelas juntas longitudinais e transversais, nem armaduras de retração, também eventualmente exigidas pelo projeto e aplicadas em poucas placas isoladas de forma, tamanho ou função inusuais”.

A mencionada Norma Brasileira foi a principal base consultada, posto ser atual e ligada, de fato, às necessidades reais do meio técnico de pavimentação no Brasil; entretanto, as novas Normas apresentadas a seguir são mais abrangentes e detalhadas:

- a) **DNIT 047/2004-ES** – Pavimento Rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte – Especificação de Serviço.
- b) **DNIT 048/2004-ES** – Pavimento Rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma-trilho – Especificação de Serviço.
- c) **DNIT 049/2004-ES** – Pavimento Rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma-deslizante – Especificação de Serviço.

5.2.2 PAVIMENTO TIPO WHITETOPPING

O pavimento de concreto tipo Whitetopping é um pavimento de concreto simples destinado ao recapeamento de pavimento flexíveis.

Pode-se afirmar que o Whitetopping constitui técnica alternativa que vem se juntar às soluções já disponíveis, possibilitando ampliar a vida de serviço de qualquer tipo de pavimento asfáltico, independentemente da condição funcional e estrutural em que este se encontre. Durabilidade, tecnologia do produto, técnicas modernas e simplificadas de construção e desempenho de longo prazo dão ao Whitetopping competitividade, não somente no ciclo de vida, mas no próprio custo inicial de construção.

O Quadro 36 é uma amostra de pavimento desse tipo, construídos nos Estados Unidos de 1966 até 1990, resultando comportamento típico muito bom, o que se comprova pelos altos valores determinados para o “Present Serviceability Rating (PRS)”.

QUADRO 36 – Desempenho de Alguns WT nos EUA

Estado	Cidade	Via	Construção	Tipo de WT	Espessura	PRS	Desempenho (1989/1990)
CA	Los Angeles	US-101	1966	Simple	17,8	4,1	Excelente
CA	Orange Co.	CA-11	1966	Simple	20,3	3,8	Bom
OR	Salem e Portland	I-5	1970	PCCA	20,3	3,8	Bom
			1972	PCCA	20,3	4,1	Excelente
			1973	PCCA	20,3	4,3	Excelente
	Correctionville		1975	PCCA	20,3	4,1	Excelente
IA	Lasalle	Co.L-36	1971	Simple	15,2	3,0	Regular
IL		Plank Rd.	1974	Simple	12,7	3,7	Bom
IA	Ohlmsled Co.	I-80	1981	Simple	25,4	3,9	Bom
MN	Stromsburg	Co. 10	1982	Simple	15,2	4,0	Excelente
NE	RoyceCity	US-81	1982	Simple	22,9	4,0	Excelente
TX		I-30	1986	Simple	27,9	4,3	Excelente
NV	Las Vegas	I-15	1990	c/BT Simple	26,7	4,8	Excelente

Fonte: American Concrete Pavement Association

Legenda: PCCA – Pavimento de Concreto Continuamente Armado
BT – Barras de Transferência
PSR – Present Serviceability Rating

Há três métodos distintos de construção de um Whitetopping:

a) Colocação direta, precedida de umedecimento da superfície

Neste método não é exigida qualquer preparação prévia do pavimento construído, sendo recomendada sua adoção quando as trilhas-de-roda porventura existentes no revestimento asfáltico são inferiores a 50 mm de profundidade.

As deformações superficiais, trincas e outras ocorrências semelhantes serão preenchidas pelo próprio concreto do Whitetopping.

b) Fresagem

Usa-se a fresagem quando as trilhas-de-roda são de profundidade maior que 50 mm, ou se ocorrem ondulações muito acentuadas (do tipo “costela de vaca”). A profundidade típica de fresagem vai de 25 a 75 mm. É comum o emprego combinado dessa solução com a colocação direta, o que pode, em trechos de grandes extensões, “otimizar” o custo de construção. Uma alternativa interessante, quando há restrições quanto a uma eventual elevação do greide, é fresar uma maior espessura do pavimento existente e construir um Whitetopping encaixado (inlay), de forma que as restrições de cota sejam obedecidas.

c) Construção de uma Camada de Nivelamento

A aplicação de uma camada de nivelamento, geralmente uma mistura betuminosa usinada a quente com 25 a 50mm de espessura, é uma opção nos casos em que as distorções superficiais sejam de, pelo menos, 50mm. É pacífico que esse método de preparação prévia à colocação do Whitetopping seja o de mais elevado custo inicial dentre os três procedimentos disponíveis, além de exigir maior diversidade de equipamentos, materiais diferentes e maior tempo de execução. Comparando o custo de construção da camada de nivelamento com o da opção de fresagem, este também resulta inferior – cerca de um terço do valor daquele.

No quadro 37 apresenta-se um resumo das exigências para as preparações prévias requeridas no pavimento asfáltico existente.

QUADRO 37 – Intervenções Prévias Requeridas no Pavimento Asfáltico existente, em função do tipo de Defeito

Tipo de Defeito	Preparo Prévio Requerido
Trilha de roda \geq 50 mm	Fresagem ou nivelamento
Trilha de roda < 50 mm	Nenhum
“Painelas”	Enchimento
Falha de subleito	Remoção / Reparação
Trincas em geral	Nenhum
Exsudação	Nenhum
Desagregação superficial	Limpeza

Em qualquer um destes processos de execução do Whitetopping, recomenda-se o arrefecimento da temperatura superficial do pavimento asfáltico existente, de modo a evitar a transmissão do calor à camada de concreto a ser colocada e, assim, impedir a evaporação rápida da água de mistura e as conseqüentes fissuras de retração térmica. É usual a aspersão de água sobre o asfalto, sempre que seja desconfortável pelo calor, a aposição da mão sobre este.

Quando se tratar da construção de uma camada de nivelamento, pode ser necessária a aplicação de uma pintura de coloração branca sobre a nova superfície de asfalto que receberá o Whitetopping, com a mesma função da aspersão de água no caso anterior e, adicionalmente, ajudar a refletir, e não absorver, os raios solares, além de

servir como camada de separação entre o asfalto e o concreto. A pintura é geralmente feita com um produto químico capaz de formar película plástica – o mesmo usado na cura de concreto – ou uma aguada de cal hidratada. A temperatura indicadora da necessidade de uso da pintura é de 45 graus Celsius na superfície asfáltica.

A produção, o transporte, o lançamento, o adensamento, a terminação superficial, a cura e a selagem de juntas do concreto do Whitetopping são idênticos às operações da mesma natureza executadas na construção dos pavimentos tradicionais de concreto. O uso de concreto pré-misturado é quase obrigatório nas pavimentações urbanas, em regiões em que esse recurso estiver disponível, dadas às facilidades que traz e à qualidade do concreto fornecido.

É muito importante que as juntas sejam serradas o mais precocemente possível, de maneira que se garanta o alívio rápido das tensões de retração nas idades iniciais do concreto e, assim, impeça-se a aparição de fissuração danosa, a médio e longo prazo, à durabilidade do Whitetopping. A profundidade mínima de corte deverá ser de um terço da espessura nominal do concreto; sendo que, na ocorrência de distorções maiores do que 50 mm na superfície do pavimento existente, o projetista deve considerar um aumento dessa profundidade de corte.

A execução e o controle do pavimento de concreto tipo Whitetopping deve obedecer à Norma:

- **DNIT 068/2004-PRO – Pavimento Rígido** – Execução de camada superposta de concreto do tipo Whitetopping por meio mecânico – Procedimento.

5.2.3 PAVIMENTO ESTRUTURALMENTE ARMADO

Os cuidados na execução deste tipo de pavimento e os critérios para o controle de qualidade, são os mesmos indicados para o pavimento de concreto simples.

A diferença está apenas na colocação das armaduras, que devem ser perfeitamente posicionadas, para que o pavimento tenha o desempenho esperado.

Os cuidados que devem ser tomados na colocação das armaduras são os seguintes:

a) Cuidados de Ordem Geral

O posicionamento correto das armaduras reveste-se de especial importância no desempenho e durabilidade do pavimento, notadamente quando elas têm função única de combater as fissuras causadas pela retração do concreto, devendo ficar a no máximo 50 mm da superfície do concreto, ou a um terço da espessura da placa.

São freqüentes algumas práticas condenáveis para o posicionamento da armadura, como lançar o concreto até uma determinada altura, colocando-se então a tela sobre o concreto já compactado, para então concretar o restante da placa; o problema é que não se tem nenhum controle da posição final da armadura, que, com a vibração da camada final, pode descer abaixo dos valores permitidos.

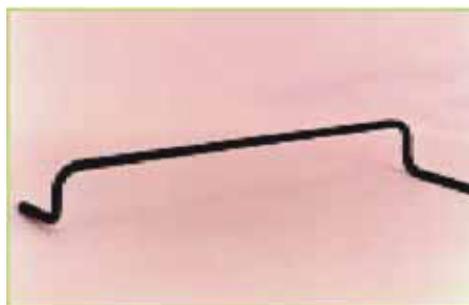
Outras práticas igualmente condenáveis consistem em colocar a tela após a concretagem, fazendo-a descer por ação da vibração, ou posicioná-la na base da placa, içando-a posteriormente, também após a concretagem.

Nesses procedimentos, a altura da armadura fica sujeita, única e exclusivamente, à perícia, destreza e até mesmo à boa vontade do operário, sem que haja procedimentos simples e eficazes para verificar o serviço.

b) Posicionamento da Armadura Principal

A armadura principal, denominada simplesmente tela, deve ser posicionada adequadamente com o auxílio de espaçadores apropriados, comumente denominados caranguejos, que consistem em um segmento de barra de aço de armadura, de bitola geralmente de 8,0 ou 10 mm, dobrado em cinco partes, de modo a que três delas formem um “u”, cuja altura coincide com aquela que se deseja para a tela no piso e as outras duas sejam ortogonais ao seu plano, dando sustentação vertical (Ver Figura 53).

Figura 53 - Espaçador Tipo Caranguejo

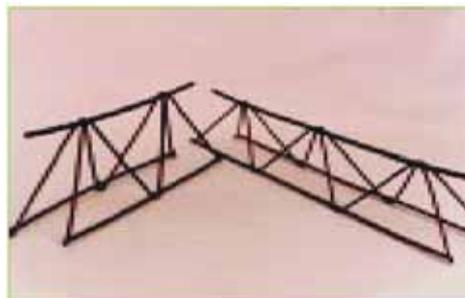


Deve-se evitar o emprego de pedaços de concreto, tijolos ou madeiras, que, por seu tamanho exagerado, acabam por reduzir a seção da placa. Uma boa alternativa é o emprego de espaçadores soldados, em forma de treliça, que tem apresentado bons resultados práticos e econômicos (Ver Figura 54).

As treliças soldadas que normalmente são empregadas na fabricação de lajes, podem ser facilmente encontradas nas alturas de 8, 12, 20 e 25 cm, havendo ainda a possibilidade de produção com outras alturas. São geralmente posicionadas em linhas paralelas distanciadas de aproximadamente 1,20m.

Os caranguejos devem ser utilizados abundantemente, à razão de 5 unidades por metro quadrado de piso, e fortes o suficiente para suportar o peso dos operários, no caso de não se dispor de métodos de lançamento que permitam o trabalho pelos lados externos da faixa em execução.

Nas bordas da placa, a tela pode ser fixada com auxílio das barras de transferência ou de ligação, ou mesmo de dispositivos na fôrma especialmente desenvolvidos para esse fim.

Figura 54 - Espaçador Tipo Soldado**c) Emendas**

A armadura distribuída deve ter suas emendas feitas pela superposição de pelo menos uma malha, por atuarem na absorção dos esforços oriundos da retração do concreto.

No caso dos pisos estruturalmente armados, a emenda deve ser feita pela transposição de pelo menos duas malhas, quando o diâmetro do fio principal for inferior a 8 mm. Para fios maiores, recomenda-se que ela seja superior a:

$$1,5 \times \ell_d \geq 25 \text{ cm}$$

onde: $\ell_d = 3,219 \times \frac{A_w \times f_Y}{S_w \times \sqrt{f_{ck}}}$, sendo:

ℓ_d = comprimento de ancoragem (cm)

A_w = área do fio a ser emendado (cm²)

f_Y = tensão de escoamento do aço (MPa)

S_w = espaçamento do fio a ser emendado (cm)

f_{ck} = resistência à compressão do concreto (MPa)

Ainda não se dispõe de uma Norma específica para a execução e controle deste tipo de pavimento.

Na falta desta Norma, deverão ser adotadas as normas indicadas no item 5.2.1, conforme o tipo de equipamento adotado na execução do pavimento.

5.2.4 CONCRETO ROLADO

O concreto rolado – também conhecido como concreto pobre rolado e concreto compactado com rolo – é um material cujo uso em pavimentação data de 1893 (a Court Avenue, em Bellefontaine, Ohio, EUA), desde então estendida e desenvolvida a prática na Grã-Bretanha (anos 40), Brasil (pavimentos urbanos, a partir dos anos 50), Estados Unidos (rodovias, desde 1952) e alguns outros países. É um concreto seco, de consistência rija e trabalhabilidade tal que lhe permite ser compactado por rolos compressores, vibratórios ou não, em lugar de ser adensado por vibradores de imersão ou equipamento semelhante normalmente empregado nos concretos tradicionais de

pavimentação; na maioria das vezes, o conteúdo de cimento do concreto rolado é muito menor do que o usual no concreto de pavimentação – 85 a 220kg/m³ no primeiro contra 320kg/m³, no mínimo, no segundo. Outro característico notável é que não há exigências rigorosas nem quanto à granulometria, nem quanto aos índices de qualidade do agregado graúdo – o que, apesar de limitar o seu emprego aos casos menos críticos de solicitações, possibilita, por outro lado, aproveitar materiais que seriam descartados para uso nos concretos comuns de pavimentos.

A potencialidade do concreto rolado na pavimentação, e o rápido e consistente aperfeiçoamento hoje verificado no mundo inteiro, recomendam que os órgãos rodoviários municiem-se de conhecimentos para aprimoramentos das Normas ou Instruções de Serviço para execução deste tipo de pavimento rígido. A Norma atualmente existente para um pavimento de concreto rolado que funcione ao mesmo tempo como camada de base e de revestimento é a seguinte:

- **DNIT 059/2004-ES** – Pavimento Rígido – Pavimento de concreto de cimento Portland, compactado com rolo – Especificação de Serviço.

5.2.5 PAVIMENTO COM PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO

5.2.5.1 GENERALIDADES

A execução de pavimentos com peças pré-moldadas de concreto, consiste inicialmente no preparo do subleito e na execução da sub-base, como já descrito neste Manual.

5.2.5.2 EXECUÇÃO

Na execução da base de areia ou pó-de-pedra, este material deverá ser esparramado regularmente pela sub-base em quantidade tal que, após o seu assentamento e compressão, se tenha uma espessura de cerca de 4 cm.

A colocação das peças de revestimento deverá seguir o seguinte procedimento.

a) Colocação das Peças Pré-Moldadas de Concreto

As peças pré-moldadas de concreto são colocadas lado a lado perpendicularmente ao eixo da pista, de forma que sempre tenham uma bissetriz paralela a esse eixo. Isso implica em que os vértices dos ângulos das peças, estejam sempre voltados para a frente do conjunto em execução. Em se tratando de cruzamentos ou entroncamentos, em uma das pistas que cruza ou entronca, não é possível manter-se essa disposição, uma vez que o próprio encaixe entre os blocos faz com que a face voltada para a frente do assentamento, não seja aquela em vértice.

O assentamento deve seguir o projeto, de forma a dar à pista o abaulamento previsto, que é dado por duas rampas opostas no sentido transversal de, no mínimo, 2%.

As juntas longitudinais das peças de cada fileira, deverão ser alternadas com relação às duas fileiras vizinhas.

b) Distribuição das Peças

As peças, ao serem transportadas para a pista, devem ser empilhadas de preferência à margem dessa pista. O número de peças de cada pilha deve ser tal, que dê cobertura à faixa que lhe fica em frente, mais o espaçamento entre as pilhas.

Não sendo possível utilizar-se as áreas laterais para depósitos, pode-se empilhar as peças na própria pista, tendo-se o cuidado, de deixar livre as faixas destinadas à colocação das linhas de referência para o assentamento.

c) Colocação das Linhas de Referência

Cravam-se ponteiros de aço, ao longo do eixo da pista, afastados entre si não mais de 10 metros. Em seguida cravam-se ponteiros ao longo de duas ou mais linhas paralelas ao eixo da pista, a uma distância desse eixo, igual a um número inteiro (5 a 6) de vezes a distância entre dois lados paralelos das peças, acrescida das juntas intermediárias.

Marca-se com giz nestes ponteiros, com o auxílio de régua e nível de pedreiro, uma cota tal que, referida ao nível da guia, dê à seção transversal correspondente o abaulamento estabelecido pelo projeto.

Distende-se fortemente um cordel pelas marcas de giz, de ponteiro a ponteiro, segundo a direção do eixo da pista, de modo que as linhas fiquem paralelas e niveladas.

d) Assentamento das Peças em Trechos Retos

Terminada a colocação dos cordéis, inicia-se o assentamento da primeira fileira, normal ao eixo.

Quando as peças forem quadradas, faz-se a colocação da primeira peça com a aresta coincidindo com o eixo da pista. As peças deverão ser colocadas sobre a camada de areia, acertada no ato do assentamento de cada peça, de modo que sua face superior fique pouco acima do cordel. Para tanto, o calceteiro deve pressionar a peça contra a areia, ao mesmo tempo que acerta a sua posição. Assentada a primeira peça, a segunda será encaixada na primeira, pelas articulações, e assentada da mesma forma que a primeira. Depois de assentadas, as peças são batidas com o soquete ou outro dispositivo.

No caso de peças sextavadas, faz-se o assentamento da primeira peça com uma aresta coincidindo com o eixo da pista, restando assim o vértice de um ângulo encostado à linha de origem do assentamento. Os triângulos deixados vazios são preenchidos com frações de peças previamente fabricadas.

A fileira, para qualquer tipo de peças, deverá progredir do eixo da pista para os bordos, nos dois sentidos, terminando uma peça inteira na chegada.

A segunda fileira não apresenta mais dificuldades de colocação, uma vez que os encaixes das articulações definem as posições das peças. Inicia-se encaixando a primeira peça, de modo a ficar a junta no centro da peça da primeira fileira que se encontra em frente. No caso das peças sextavadas, os ângulos deixados no assentamento da primeira fileira, já definem a posição das peças da segunda, assim como estas definem a terceira e assim por diante.

Imediatamente após o assentamento da peça, processa-se o acerto das juntas com o auxílio de uma alavanca de ferro apropriada, igualando-se a distância entre elas. Essa operação deve ser feita antes da distribuição do pedrisco para o rejuntamento, pois o acomodamento deste nas juntas prejudicará o acerto. Para evitar que a areia da base também possa prejudicar o acerto, certos tipos de peças possuem chanfro nas arestas da face inferior.

Na colocação das peças, o calceteiro deverá de preferência trabalhar de frente para a fileira que está assentando, ou seja, de frente para a área já pavimentada.

Para as quinas são fabricados segmentos de peças de $\frac{3}{4}$ de peça.

O controle das fileiras é feito por meio de esquadros de madeira (catetos de 1,50 a 2,0 m), colocando-se um cateto paralelo ao cordel, de forma que o outro cateto defina o alinhamento transversal da fileira em execução.

O nivelamento é controlado por meio de uma régua de madeira, de comprimento pouco maior que a distância entre os cordéis, acertando-se o nível dos blocos entre os cordéis, nivelando-se as extremidades da régua a esses cordéis.

O controle do alinhamento é feito acertando a face das peças que encostam nos cordéis, de forma que as juntas definam uma reta sob o cordel.

e) Assentamentos de Peças em Cruzamentos e Entroncamentos Retos

O assentamento na via principal deve seguir normalmente, na passagem do cruzamento ou entroncamento, inclusive acompanhando o alinhamento das guias. Na via secundária que entronca ou cruza, o assentamento deve prosseguir inclusive pela faixa fronteira ao arco da concordância da quina, até encontrar o alinhamento da via principal. No encontro, se não for possível o assentamento de peças inteiras, deve-se distribuir a diferença pelas fileiras anteriores. Em geral, utiliza-se amarrações de 10 em 10 metros, para permitir a distribuição da diferença a ser corrigida por toda a extensão da quadra em pavimentação.

f) Assentamento das Peças em Cruzamentos e Entroncamento Esconsos

O assentamento da via principal segue normalmente. Na via secundária, a superfície final a ser assentada, formará um triângulo. O preenchimento desse triângulo é feito da forma normal, providenciando-se peças de forma e dimensões exigidas para a conclusão de cada linha.

g) Rejuntamento

O rejuntamento das peças será feito com pedrisco seguido de derrame de asfalto. Distribui-se o pedrisco pelas juntas e depois, com a vassoura, procura-se forçá-lo a penetrar nessas juntas, de forma que cerca de $\frac{3}{4}$ de sua altura fiquem preenchidos. Depois, com regador, derrama-se o asfalto previamente aquecido nas juntas, até que ele aflore na superfície do pavimento.

Entre o esparrame do pedrisco e o derrame do asfalto, deverá ser procedida a compressão. Esta é feita passando-se o rolo compressor, iniciando-se por passadas nas bordas da pista e progredindo daí para o centro, nos trechos retos, e até o bordo externo, nos trechos em curva.

5.2.5.3 CONTROLE

O controle de qualidade da pavimentação com peças pré-moldadas de concreto, consiste na verificação da resistência da peça, que deve estar de acordo com a Norma NBR-9781 - "Peças de Concreto para Pavimentação".

A qualidade do pavimento será obtida pelo controle das diversas etapas da sua execução, que deverá estar de acordo com os procedimentos descritos neste Manual.

6 - CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

6 CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

6.1 INTRODUÇÃO

Neste Manual são abordadas as medidas necessárias para garantia do bom funcionamento da rodovia, no que se refere às características estruturais do pavimento, não sendo contemplados os aspectos relacionados à engenharia de trânsito, tal como a capacidade de escoamento de tráfego, sinalização e outros procedimentos que visam sua segurança, independente do tipo de pavimento, e que constam da publicação DNER/IPR – Projeto e Práticas Operacionais Rodoviárias Relativas à Segurança do Tráfego Rodoviário (1974).

Os defeitos mais comuns nos pavimentos rígidos estão normalmente associados ao emprego de técnicas executivas e materiais inadequados, aliados à ausência de uma manutenção rotineira requerida por esse tipo de estrutura; podem ocorrer com diferentes freqüências e graus de severidade, que tendem a se agravar com o decorrer do tempo.

Com a avaliação criteriosa desses fatores, pode-se estabelecer índices de serventia ou designativos das condições de uso dos pavimentos, que se constituem em parâmetros importantes no estabelecimento de propriedades, em um programa global de gerenciamento.

Esses índices são atualmente utilizados pelas autoridades responsáveis pela conservação dos pavimentos, para estimativa da sua vida útil e definição das épocas e locais para execução de reparos, reforços ou reconstrução, em função do acompanhamento e previsão da evolução dos danos.

Nos pavimentos rígidos é bem mais freqüente a ocorrência de defeitos localizados, associados a causas específicas, como a degradação uniforme em todo trecho construído, decorrentes de deficiências de projeto ou de processo de fadiga do concreto, nas proximidades do final da vida útil do pavimento.

O estabelecimento de modelos de avaliação de desempenho desse tipo de pavimento requer, portanto, procedimentos particulares, sendo de grande importância, para fins de serviços de engenharia, a elaboração de um cadastro detalhado da ocorrência de defeitos.

Neste Capítulo são apresentados os procedimentos para inspeção visual dos defeitos em pavimentos rígidos e determinação de um Índice de Condição do Pavimento (ICP), baseados em metodologia bastante simples e eficiente, desenvolvida pelo U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory (C.E.R.L.).

É apresentada, ainda uma proposição para terminologia dos defeitos mais comuns observados em pavimentos rígidos, uma metodologia para avaliação objetiva da sua condição de uso e modelo para cadastramento das principais informações históricas sobre a rodovia.

A reabilitação de um pavimento, quando efetuada na época em que se detecta um defeito e de acordo com procedimentos adequados, influirá de maneira significativa no aumento da vida útil da estrutura, além de mantê-lo permanentemente em condições de tráfego confortável e seguro.

Para que os órgãos rodoviários e demais entidades responsáveis pela manutenção de pavimentos de concreto disponham de procedimentos eficazes para todas as atividades relacionadas à reabilitação desses pavimentos, foi elaborado este Manual, no qual tais procedimentos são apresentados.

6.2 INSPEÇÃO DE PAVIMENTO RÍGIDO

A inspeção do pavimento rígido, para levantamento dos defeitos que nele ocorrem e para a avaliação do grau de severidade de cada um destes defeitos, será feita de acordo com o procedimento apresentado na Norma DNIT 060/2004-PRO – Pavimento Rígido – Inspeção de Pavimentos Rígidos – Procedimento.

6.3 CRITÉRIOS DE SEVERIDADE

Os graus de severidade para cada tipo de defeito que ocorre em um pavimento de concreto estão apresentados no Anexo E, da Norma DNIT 060/2004 – PRO – Pavimento Rígido – Inspeção de Pavimentos Rígidos – Procedimento.

6.4 TIPOLOGIA DOS DEFEITOS

Os tipos de defeitos mais comuns que ocorrem em um pavimento de concreto estão apresentados na Norma DNIT 061/2004-TER – Pavimento Rígido – Defeitos nos Pavimentos Rígidos – Terminologia.

6.5 PROCEDIMENTO PARA CÁLCULO DO ICP – (ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO)

O índice de condição do pavimento – ICP – é um número que indica o estado de conservação em que se apresenta um pavimento. Com base neste índice são definidas pelos órgãos rodoviários e concessionárias de rodovias, as estratégias para os serviços de recuperação deste pavimento.

Geralmente os pavimentos ou trechos de pavimento que apresentam ICP igual ou maior que 70 não necessitam de um programa de recuperação, ao passo que aqueles com ICP menor que 40 são considerados deficientes ou praticamente destruídos.

O procedimento para a determinação do ICP de um pavimento de concreto está apresentado nos Anexos A e B da Norma DNIT 062/2004 – PRO – Pavimento Rígido – Avaliação objetiva de pavimentos rígidos – Procedimento.

6.6 DIRETRIZES PARA A OPERAÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS E PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO

6.6.1 DIRETRIZES PARA A OPERAÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

6.6.1.1 CONDIÇÕES GERAIS

O dimensionamento de pavimento de concreto de cimento Portland pressupõe a avaliação das solicitações (cargas, distribuição de tráfego etc.) e das características da fundação (coeficiente de recalque do sistema subleito/sub-base, erodibilidade etc), culminando com a determinação da espessura necessária de concreto, consideradas, ainda, as condições especiais do projeto (tipo de acostamento, mecanismo de transferência de carga, tipo e disposição das juntas).

Durante a operação de uma rodovia com pavimento de concreto devem ser desenvolvidos procedimentos que permitam verificar o cumprimento ou não das previsões feitas no projeto, especialmente quanto às cargas e à distribuição de tráfego.

Deve ser garantida, dentro do possível, a condição estrutural pré-fixada no projeto, por meio da adequada conservação dos elementos estruturais e complementares, tais como juntas, barras de transferência, acostamentos, drenos, etc.

Deve ser garantida, dentro do possível, a condição estrutural pré-fixada no projeto, por meio da adequada conservação dos elementos estruturais e complementares, tais como juntas, barras de transferência, acostamentos, drenos, etc.

6.6.1.2 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

a) Solicitações

- **Cargas Máximas**

As diretrizes para projeto e dimensionamento de pavimentos rígidos, Capítulo 4 deste Manual, prevêem a consideração das cargas máximas legais do DNIT para veículos da frota comercial brasileira, multiplicadas por um fator de segurança de carga, recomendado como igual a 1,2 para auto-estradas, rodovias com mais de duas faixas por pista, tráfego ininterrupto, ou de volume grande de caminhões pesados.

As cargas máximas admissíveis seriam, então:

- por eixo simples: $10,0\text{tf} \times 1,2 = 12,0 \text{tf}$
- por eixo tandem duplo: $17,0\text{tf} \times 1,2 = 20,4\text{tf}$
- por eixo tandem triplo: $25,5\text{tf} \times 1,2 = 30,6\text{tf}$

Entretanto, devido a muitas vezes ocorrer excessos de carga por eixo atuando no pavimento, configurando o subdimensionamento artificial da espessura do pavimento, é que se observa uma redução na vida útil deste pavimento.

Os Postos de Pesagem de Veículos devem portanto serem aliados fundamentais nesta Fiscalização, fornecendo dados seguros sobre tais excessos e sobre a distribuição do tráfego, que deverão ser considerados numa eventual revisão do projeto.

Nos casos em que houver tráfego de veículos especiais, com sistemas não usuais de eixos, tais como caminhão fora-de-estrada, carretas com sistemas múltiplos de eixos para transportar peças de reatores e que não tenham sido previstos no dimensionamento da espessura do pavimento, deverá ser analisada a influência de tais solicitações em função do tempo de duração delas e suas conseqüências sobre a vida útil do pavimento.

Para rodovias recém-executadas e prestes a entrar em operação, o ideal é que os postos de pesagem sejam dotados de áreas ou galpões para estocagem das cargas em excesso. A retenção desses excessos seria a medida ideal do ponto de vista da integridade estrutural do pavimento.

- **Tráfego**

Quando não existirem postos de pesagem, o levantamento do tráfego poderá ser feito por equipe técnica trabalhando diariamente na rodovia, durante um período mínimo de 1 mês, escolhido criteriosamente como mais representativo dentre os de maior atividade comercial ou picos de tráfego correspondentes ao escoamento de determinada safra da região.

Deverão ser anotados os dados completos, a saber:

- composição percentual dos tipos de veículos solicitantes;
- distribuição das cargas por eixo e por categoria de veículo;
- volume inicial diário médio;
- estimativa da taxa anual de crescimento de tráfego.

- **Ataques químicos**

Nos pavimentos rígidos são normalmente empregados concretos com baixa relação água/cimento e técnicas executivas rigorosas, com o objetivo de conferir a eles uma baixa permeabilidade e elevada resistência mecânica.

Estas condições tornam o concreto do pavimento bastante resistente à ação de substâncias agressivas que venham a ter contato com sua superfície.

Por ocasião de acidentes, com envolvimento de veículos transportadores de produtos prejudiciais ao concreto, tais como ácidos (sulfúrico, nítrico, muriático etc), algumas soluções de sais e álcalis (cloreto de amônia, cloreto de ferro, cloreto de cobre, sulfatos em geral etc.) e outras substâncias (soluções de açúcar,

azeite, formol-solução aquosa de aldeído formico, glicose, glicerina, vinagre etc.), o trecho da ocorrência deverá ser imediatamente interditado e a superfície do pavimento receber a limpeza e o tratamento adequados, evitando a deterioração do concreto das placas atingidas.

O derramamento de derivados de petróleo (óleos e graxas), além de comprometer a segurança de rolamento, pode agredir os materiais selantes das juntas, dependendo do seu tipo, comprometendo, assim, a integridade do pavimento.

b) Revisão do projeto

Constatada a ocorrência de excesso de carga e conhecida a distribuição estatística do tráfego na rodovia, deverá ser revisto o projeto do pavimento, para verificar se a espessura atual da placa de concreto atende às atuais solicitações do tráfego.

Para isto, podem ser utilizados os métodos PCA/66, PCA/84 ou AASHTO/86, conforme Capítulo 4 deste Manual, dependendo da conveniência de cada um deles para o caso particular em estudo.

Na hipótese de não se dispor dos dados estatísticos sobre o tráfego, uma avaliação preliminar da espessura necessária do pavimento de concreto para suportar os excessos detectados, pode ser feita pelo processo de "carga máxima" para cada tipo de eixo, utilizando-se os ábacos simplificados do método PCA/66, transcritos nas figuras 1 e 2 e o desenvolvido pela ABCP para eixos tandem triplos, figura 3.

A avaliação preliminar pode ser feita pelos próprios técnicos responsáveis pela Operação, desde que sejam conhecidas as seguintes informações:

- o coeficiente de recalque previsto para o sistema subleito/sub-base (k);
- as máximas cargas detectadas para cada tipo de eixo (eixos simples, tandem duplos e tandem triplos);
- a resistência característica a tração na flexão do concreto do pavimento ($f_{ctM,k}$).

As espessuras para cada tipo de eixo são determinadas em função das cargas máximas e do coeficiente de recalque, para uma tensão admissível de tração na placa de concreto correspondente a $(0,5 \times f_{ctM,k})$, o que pressupõe a permissão de um número ilimitado de repetições da carga máxima considerada sobre o pavimento, sem que ele rompa por fadiga (teoria de Miner).

Este procedimento, bastante simplificado, conduz a um superdimensionamento da espessura (cerca de 3 cm), sendo somente conclusivo quando for para confirmar a adequação da espessura do pavimento, no caso da espessura necessária encontrada for igual ou menor que a espessura original; quando a espessura necessária obtida pelo método de carga máxima for superior à espessura original do pavimento, configura-se a conveniência de uma revisão profunda do projeto, com a consideração precisa dos dados de entrada, que deverão ser obtidos no levantamento do tráfego, conforme item 4.1.2.

c) Planejamento da conservação

Com a avaliação criteriosa dos fatores que promovam a degradação dos pavimentos rígidos, pode-se estabelecer índices de serventia ou designativos das condições de uso destes pavimentos, que se constituem em parâmetros importantes no estabelecimento de prioridades, em um programa global de gerenciamento.

Esses índices são atualmente utilizados pelas autoridades responsáveis pela conservação dos pavimentos, para estimativa da sua vida útil e definição das épocas e locais para execução de reparos, reforços ou reconstruções, em função do acompanhamento e previsão da evolução dos danos.

O estabelecimento de modelos de avaliação de desempenho desse tipo de pavimento requer, portanto, procedimentos particulares, sendo de grande importância, para fins de serviços de engenharia, a elaboração de um cadastro detalhado da ocorrência de defeitos.

No planejamento da conservação devem ser considerados os procedimentos de inspeção visual dos defeitos, determinação do índice de Condição do Pavimento (ICP), baseados em metodologias simples e eficientes.

d) Defeitos

Os procedimentos para a inspeção visual dos defeitos em pavimentos rígidos e determinação do Índice de Condição do Pavimento (ICP), são baseadas em metodologias simples e eficientes desenvolvidas pelo CERL - U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory.

São apresentadas na Norma DNIT 061/2003 - TER uma terminologia para os defeitos mais comuns observados em pavimentos rígidos; na Norma DNIT 062/2003 - PRO uma metodologia para avaliação objetiva da sua condição de uso e finalmente, no Apêndice 1 deste Capítulo do Manual, um modelo para o cadastramento das principais informações históricas sobre a rodovia, que são fundamentais para a análise das causas dos defeitos observados e para os projetos de recuperação.

6.6.1.3 CONDIÇÃO ESTRUTURAL

Para garantir o funcionamento satisfatório do pavimento é imprescindível:

- a) o controle das ocorrências de danos;
- b) o acompanhamento da sua evolução com o decorrer do tempo;
- c) a execução de serviços corriqueiros que visem a manutenção da condição estrutural do pavimento.

A inspeção visual que está descrita com detalhes na norma DNIT 048/2004 - PRO, pode ser realizada periodicamente, sem a necessidade de equipamentos complexos ou de grande porte, fornecendo informações sobre a localização de defeitos de maior gravidade e do agravamento do processo de degradação do pavimento.

As informações permitirão definir os serviços imediatos de recuperação e a relação de prioridades na elaboração de um plano de conservação em função das verbas disponíveis.

A ocorrência de alguns defeitos com alto grau de severidade tendem a comprometer a segurança do tráfego, provocando interrupções ou gerando trechos com altos índices de acidentes - os "pontos críticos".

Entre os defeitos mais comuns em pavimentos de concreto, destacam-se como críticos em relação à segurança de tráfego, os seguintes:

- a) alçamento de placas;
- b) desníveis entre o pavimento e o acostamento ou junta transversal;
- c) ocorrência de buracos de grande tamanho.

As técnicas recomendáveis para identificação e reparo dos trechos defeituosos das rodovias são descritas na Norma DNIT 061/2003 - TER - Defeitos nos Pavimentos Rígidos - Terminologia.

6.6.1.4 SISTEMA DE DRENAGEM E ENCOSTAS ADJACENTES

Outros fatores, que não sejam os defeitos visíveis no pavimento, podem provocar a sua degradação, comprometendo a operação da rodovia.

Entre estes fatores estão:

- a) a deficiência do sistema de drenagem;
- b) os problemas geotécnicos em áreas adjacentes.

Os dispositivos de drenagem do pavimento devem receber inspeção e manutenção periódicas, de modo a evitar o acúmulo de águas pluviais na superfície de rolamento e a infiltração nas camadas subjacentes ao concreto, com o escoamento desordenado.

A manutenção da selagem das juntas assume importância decisiva para a estanqueidade do pavimento, já que estas regiões são caminhos preferenciais de infiltrações.

O sistema de drenagem da área que envolve a rodovia também é um dos condicionantes do seu funcionamento. O processo erosivo nas encostas e o carreamento de materiais na direção do pavimento ou do sistema de drenagem, podem causar sérios transtornos ao seu funcionamento, além de contribuir para o progresso do processo de desestabilização daquelas áreas.

A ocorrência de escorregamentos de terra ou de materiais rochosos em direção à rodovia pode provocar interrupções de tráfego ou mesmo sérios acidentes, podendo inclusive comprometer a integridade estrutural do pavimento.

O gerenciamento das verbas para serviços de drenagem e estabilização de taludes deve envolver portanto, a análise probabilística de ocorrência destes escorregamentos, de suas conseqüências, além do estudo de soluções de engenharia técnica e economicamente viáveis.

6.6.2 PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

6.6.2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Chamando de práticas de conservação de um pavimento rígido àquelas de manutenção rotineira, passa-se aqui a descrevê-las e a pormenorizá-las.

A manutenção de um pavimento rígido pode ser preventiva, através de procedimentos que preservem a sua condição estrutural, retardando o processo de deterioração - a selagem de juntas e fissuras situam-se nesta categoria - ou pode consistir de reparações localizadas, capazes de restaurar a condição estrutural do pavimento.

Serão considerados reparos localizados, para efeitos de conservação:

- a) reparação de juntas ou cantos esborcinados;
- b) reparos parciais (abrangendo ou não toda a espessura da placa), substituição de placa, de forma que não ultrapassem 3,5% da área total pavimentada.

Os equipamentos básicos utilizados nos serviços de conservação são os seguintes:

- a) ferramentas manuais para limpeza de juntas - cinzel, formão, ponteira;
- b) jato de ar comprimido - para limpeza de juntas e áreas de reparos;
- c) jato d'água e ar - para limpeza e preparação da superfície de reparos;
- d) vassouras ou escovas - para limpeza e aplicação de endurecedores superficiais e argamassas de ligação;
- e) serra de disco diamantado - para corte de juntas e áreas de reparos;
- f) equipamento para injeção de resinas epóxicas;
- g) equipamento para aplicação de materiais selantes;
- h) marteleto pneumático - para remoção de concreto;
- i) equipamento para compactação em pequenas áreas - "sapos", compactadores vibratórios;
- j) equipamento de pequeno porte para execução de pavimento - (vibradores, régua vibratórias, acabadores da superfície);
- k) régua de 3,00m para controle de nivelamento.

6.6.2.2 SERVIÇOS DE RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO

a) Resselagem de Juntas

Inicia-se com a limpeza da junta, removendo-se materiais selantes ou incompressíveis porventura existentes, com auxílio de ferramentas manuais ou mecânicas (formão, ponteira, serra de disco etc).

Caso as juntas apresentem-se esborcinadas, estas deverão ser reparadas de acordo com a metodologia apropriada.

Completa-se a limpeza das paredes e fundo da junta com a utilização de jato de ar comprimido.

Antes da aplicação do selante, garante-se o fator de forma do reservatório, se necessário, pela colocação de fitas plásticas ou cordão de sisal, numa profundidade conveniente.

Faz-se, então, a selagem das juntas com materiais apropriados, podendo ser vazados no local (a quente ou a frio) ou pré-moldados.

b) Selagem de Fissuras

No caso de fissuras lineares (transversais, longitudinais ou diagonais) com abertura máxima de 1,5 mm e que não se apresentem desniveladas, admite-se sua selagem, de acordo com o seguinte procedimento:

- corta-se com uma serra de disco diamantada cada lado da fissura, numa profundidade de 25mm, de modo que à distância entre os cortes seja de, no máximo, 30mm;
- removem-se as partes soltas de concreto entre os cortes, com vassouras ou outras ferramentas manuais (cinzel, formão etc.), promovendo-se uma limpeza com jato de ar comprimido na ranhura formada;
- depois de completamente limpa a ranhura, aplica-se o material selante apropriado, podendo ser vazado no local (a quente ou a frio) ou pré-moldado.

Quando a fissura for muito irregular, impossibilitando o corte com serra de disco, recomenda-se o apicoamento de suas bordas, ao longo de toda a sua extensão, numa seção retangular, com profundidade máxima de 30mm e largura máxima de 30mm; completa-se a limpeza da ranhura com ferramentas manuais e jato de ar comprimido.

Aplica-se, então, o material selante apropriado, que deverá ser vazado no local (a quente ou a frio) ou pré-moldado.

No caso de fissuras de retração plástica, as soluções recomendadas são a injeção e selagem com produtos à base de resina epóxica, ou a aplicação de endurecedores superficiais, do tipo fluorsilicato de zinco ou de magnésio, ou silicato de sódio; estes últimos apresentam maior facilidade de aplicação - vassouramento, sobre a superfície fissurada, de solução com 20% a 30° de concentração.

c) Recuperação de Juntas Esborcinadas

- Corta-se o concreto com serra de disco diamantado, até uma profundidade de 1,5 a 2cm, segundo uma linha paralela à junta, dela distando de aproximadamente 15cm.
- Em seguida, com marteleto pneumático de ar comprimido (ou processo equivalente), remove-se o concreto entre a junta e o corte até a profundidade necessária, que deve ter 5,0cm, no mínimo.
- Removem-se as partes de concreto afetadas ou em mau estado e nivela-se, a grosso modo, o fundo da abertura feita na placa, procedendo-se, então, a uma limpeza com jato de ar comprimido.
- Alternativamente pode-se fazer a limpeza das paredes e do fundo do reparo utilizando jato de água e ar, de modo a remover as partes soltas ou fracamente aderidas ao concreto, tratando-se, posteriormente, de limpar a área de reparo das partículas de areia nele eventualmente deixadas.
- Certificando-se de que estão limpas e secas as paredes e o fundo do reparo, aplica-se uma pintura de ligação com pasta à base de resina epóxica numa espessura de 1 a 2mm (exceto na parede formada pela placa adjacente, onde será colocada uma talisca de madeira, plástico ou isopor para recompor a junta).
- Logo em seguida lança-se o concreto, que deve ter as seguintes características básicas:
 - resistência característica à compressão de 35 MPa
 - consumo de cimento mínimo de 350 kg/m³; e
 - dimensão máxima do agregado igual ou inferior a 1/3 da espessura da reparação.
 - relação água/cimento máxima de 0,45.
- A superfície do concreto deve ser acabada conforme o tipo de textura do resto do pavimento.
- O concreto deverá ser curado inicialmente com produtos de cura química e, posteriormente, com panos ou sacos de estopa ou de aniagem mantidos permanentemente úmidos durante pelo menos 7 dias.

d) Recuperação de Desgaste Superficial e Escamação (não abrangendo toda a espessura da placa)

- Corta-se o concreto com uma serra de disco diamantado numa profundidade de 1,5 a 2cm, de modo a abranger toda a área danificada. Em seguida, com marteleto pneumático ou equipamento equivalente, remove-se o concreto até a profundidade necessária, que deve ser de, no mínimo, 5,0cm. As paredes do reparo devem ser as mais verticais possíveis.

- Removem-se todas as partes deterioradas de concreto e nivela-se, sem grande preocupação de precisão, o fundo do reparo. Procede-se, então, a uma limpeza com jato de ar comprimido.
- Conforme o caso, essa limpeza pode ser feita com jato de ar e água sob pressão, devido a sua maior capacidade de remoção das partes soltas ou fracamente aderidas ao concreto, aplicando-se, posteriormente, o jato de ar comprimido, para a limpeza final da superfície.
- Para assegurar a aderência do concreto novo ao antigo deve ser aplicada como camada de ligação, uma argamassa de cimento, areia e água, apresentando uma consistência cremosa.

As proporções da mistura podem ser baseadas nos dados fornecidos pelo Quadro I.

QUADRO I - Dosagem experimental do concreto e requisitos mínimos para argamassa de ligação.

Camada de ligação (argamassa)	Camada de reparo (concreto)
Traço - 1:1em massa	Traço - 1:4,5 em massa
Espessura 1,5 a 3mm Cimento 50kg Areia 50kg - Tamanho máximo do agregado 2mm Água total 25 l	Espessura 5cm Fator água/cimento máximo 0,45 Água total 22,5 l Agregado miúdo 100 kg Agregado graúdo 125 kg - Tamanho máximo do agregado 19mm Consumo de cimento 390 kg/m ³ Abatimento - tempo quente e seco 7 a 10cm - tempo frio e úmido 2 a 5cm

Antes do lançamento da argamassa de ligação é preciso assegurar o umedecimento da superfície pelo maior período de tempo possível (recomenda-se 24 horas), sem no entanto, permitir a formação de poças.

A aplicação de argamassa será feita através de vassouras adequadas e, em hipótese nenhuma, será permitida a secagem desta antes do lançamento do concreto (caracterizada pelo embranquecimento da camada).

- Lança-se o concreto, o qual deverá cumprir algumas exigências fundamentais:
 - dimensão máxima do agregado igual ou menor que 1/3 da espessura do reparo; e,
 - baixa relação água/cimento (igual ou menor que 0,45).

A título de exemplo apresenta-se, no Quadro I, uma mistura experimental que pode ser tomada como ponto de partida e comparação, para uma espessura de 5cm de concreto.

- Depois de lançado, o concreto deverá ser adensado e acabado de acordo com a textura do restante do pavimento.

- A cura deve ser iniciada imediatamente após o acabamento da camada. Inicialmente pode ser promovida pela aspersão de um produto de cura química, durante um período de 24 a 48 horas, cobrindo-se a superfície, posteriormente, com sacos de estopa ou de aniagem, mantidos permanentemente umedecidos, até que o tráfego possa ser liberado em função dos resultados de resistência mecânica.

e) Reparos que Afetam a Espessura da Placa

Quando as placas apresentam fissuras transversais muito abertas, onde não se processa a transferência de carga por entrosagem de agregados; ou muito esborcinadas, no caso de fissuras provocadas por deficiência estrutural do concreto ou da/ fundação, com abertura superior a 1,5mm; se houver buracos ou outros tipos de defeitos que comprometem a capacidade de carga do pavimento, há necessidade de remoção parcial ou total da placa, em toda a sua espessura.

- Fissuras transversais de abertura superior a 1,5mm, ou seriamente esborcinadas

Este caso particular de reparo se aplica quando não há perda de suporte da fundação, pois, caso isso ocorra, devido à necessidade de maiores áreas de remoção de concreto para uma recuperação adequada da fundação, serão empregados os métodos de recuperação parcial ou total da placa.

- Fissura transversal no interior da placa

Metodologia "A"

- Corta-se o concreto ao longo de duas linhas paralelas, perpendiculares ao eixo longitudinal da pista, abrangendo a região fissurada e distante entre si de aproximadamente 100cm. Os cortes serão feitos inicialmente com uma serra de disco (com aproximadamente 3cm de profundidade) e, a seguir, serão utilizados um martelo pneumático ou outro equipamento qualquer para remoção do concreto, de modo que as paredes do reparo fiquem rugosas o mais vertical possível. Podem ser eliminadas as barras de ligação da junta longitudinal, caso componha alguma das paredes do reparo.
- A sub-base deverá ser examinada e reparada, se necessário.
- As paredes do reparo deverão ser limpas com jato de ar ou de areia, de modo a remover as partes soltas ou fracamente aderidas ao concreto.
- No caso da existência de armadura distribuída, não se deve retirá-la totalmente, deixando-se cerca de 25cm de armadura exposta, o que servirá para aumentar a ligação entre o concreto novo e o antigo.
- Coloca-se um filme plástico de polietileno ou papel betumado (tipo kraft) sobre a sub-base preparada. Assenta-se, então, na meia seção transversal do pavimento, um dispositivo artificial de transferência de carga, composto de barras de aço lisas, tendo uma de suas metades pintadas e engraxadas (Ver Figura 1).

- As paredes do reparo, depois de limpas e secas, serão pintadas com material à base de resina epóxica, que servirá como elemento colante entre o concreto novo e o antigo. Alternativamente pode-se utilizar uma argamassa de cimento e areia como camada de ligação. No caso de se adotar o último expediente, os seguintes cuidados devem ser tomados:

NOTA 1: as paredes do reparo devem ser umedecidas antes da colocação da argamassa de ligação;

NOTA 2: o concreto de reparo deverá ser lançado imediatamente após a sua aplicação, pois não se pode deixar, em hipótese nenhuma, que a argamassa de ligação seque antes da operação de lançamento do concreto novo.

- Depois de lançada a camada ligante, coloca-se o concreto do reparo, que deverá ter:
 - baixa relação água/cimento;
 - resistência mecânica conforme as condições de projeto e, no mínimo, igual à do concreto existente.

Aconselha-se usar cimento de alta resistência, tipo CP-40, sendo adequado o emprego do cimento ARI ou de aditivo acelerador de resistência, sempre que houver necessidade de abertura rápida ao tráfego.

- Devem ser tomadas medidas que minimizem os efeitos da retração plástica e hidráulica nas primeiras idades do concreto, tais como:
 - uso de concretos de consistência seca;
 - uso de aditivo plastificante, pois em geral produzem certa diminuição no consumo de cimento;
 - cuidados na execução para que se evite a segregação do concreto, posto que a influência da argamassa na superfície aumenta a possibilidade de fissuração, quando do estado plástico do concreto;
 - cuidado com a cura do concreto.
- O concreto deverá ser adensado e acabado de modo que a textura superficial seja semelhante a do pavimento existente.
- Deverá ser executada uma junta transversal de retração, moldada no concreto fresco ou serrada no concreto semi-endurecido, passando no plano vertical que divide ao meio o comprimento das barras de transferência. A junta deverá ser selada com material adequado.
- As operações de cura deverão ser iniciadas logo que terminem aquelas de acabamento superficial e deverão ser as mais rigorosas possíveis. Iniciam-se com a aplicação de um produto de cura química e, assim que o concreto adquira uma resistência tal que garanta a sanidade do acabamento superficial,

deverá ser coberto com sacos de estopa ou de aniagem, mantidos permanentemente úmidos durante 7 dias.

Metodologia "B"

Essa metodologia difere da anteriormente citada pelo fato de que não adota, quando da execução do reparo, a junta transversal com dispositivo de transferência de carga. Neste caso, será adotada uma armadura distribuída de retração, de modo a absorver as tensões de retração hidráulica e térmica, principalmente, possibilitando a supressão da junta transversal (Ver Figura 2).

Recomenda-se, também, que as juntas transversais que compõem a placa existente sejam aprofundadas de 1 a 2cm e, posteriormente, seladas.

Os demais procedimentos são iguais aos citados na metodologia A.

NOTA 1: A Metodologia B é a mais indicada quando o reparo não abrange toda a largura da pista. Isto se deve aos próprios princípios de execução ordinária de pavimentos de concreto, quando se observa que uma junta transversal de retração pode induzir a placa contígua a fissuração, pela movimentação da própria junta.

NOTA 2: Deve-se observar, ainda, em ambos os métodos aqui descritos, a desnecessidade de garantir a aderência do concreto novo às paredes do reparo, formadas pelas juntas longitudinais das placas adjacentes, através de colagem.

- Fissura transversal próxima à junta transversal

Devido à necessidade de reconstrução da junta transversal, recomenda-se adotar a Metodologia A.

- Métodos de reconstituição parcial da placa

Aplicam-se na recuperação de defeitos, onde não há necessidade de remover totalmente a placa de concreto.

- Reparo no interior da placa (Figura 3)

Utilizado na eliminação de defeitos localizados - como buracos, por exemplo - esse tipo de conserto deve ser executado conforme algumas considerações especiais.

- A maior dimensão do reparo (L) deve estar orientada no sentido longitudinal da placa e a relação entre o comprimento (L) e a largura (B) do reparo deve ser de, aproximadamente, 1,5 a 2.

Recomenda-se que todos os lados do remendo distem, no mínimo, 120cm de qualquer junta ou borda.

É o seguinte o Método de Execução do Reparo

- Corta-se o concreto com serra de disco até uma profundidade de 3cm, de modo a atingir toda a área a ser reparada. Com o martetele de ar comprimido ou equipamento similar, remove-se o concreto em toda a espessura da placa. A amplitude da área substituída deve ser tal que alcance toda a parte de concreto e fundação em estado precário.
 - Garantem-se as condições de suporte da sub-base por meio de recompactação, ou mesmo substituição de material - retirada parcial de material da sub-base ou subleito, recompactação e recomposição, com os mesmos materiais das camadas removidas.
 - No caso de existência de armadura distribuída, esta não será totalmente removida do local do reparo, deixando-se expostos 25cm das extremidades dos ferros.
 - As extremidades serão parcialmente dobradas posteriormente, assegurando a união entre o concreto novo e antigo.
O concreto do reparo deverá ser armado conforme o pavimento existente.
 - As paredes do reparo deverão ser limpas com jatos de ar ou de areia.
 - Coloca-se um filme plástico de polietileno ou papel betumado (tipo kraft) sobre a sub-base preparada.
 - Apresenta-se a seguir as recomendações citadas nas alíneas f), g), h), i) e k), da metodologia “A” de recuperação de fissuras transversais com abertura superior a 1,5mm, ou esborcinadas.
- Reparo tangente às bordas da placa, que não ocupa toda a largura (Figuras 4, 5, 6).

Também nestes casos a maior dimensão do reparo (L) deve estar orientada na direção longitudinal da placa. A relação entre o comprimento (L) e a largura (B) do reparo deve ficar entre 1,5 e 2, exceto naquele que atinge todo o comprimento da placa (ver Figura 6).

Recomenda-se que, quando o reparo tangenciar uma junta transversal, o valor mínimo da largura (B) seja de 0,5m.

É o seguinte o Método de Execução do Reparo:

- Remove-se toda a zona avariada, da mesma maneira mencionada na metodologia anterior.
- Garantem-se as condições de suporte da sub-base por meio de recompactação, ou mesmo substituição de material - retirada parcial de material da sub-base ou subleito, recompactação e recomposição, com os mesmos materiais das camadas removidas.
- As paredes do reparo deverão ser mantidas verticais e ásperas.

- As barras de transferência e de ligação poderão ser mantidas (caso não estejam oxidadas); as barras de transferência deverão ter suas extremidades expostas, alinhadas, pintadas e engraxadas. Não será necessário garantir a aderência do concreto novo às paredes do reparo formadas pelas placas adjacentes.
- No caso de presença de armadura distribuída, esta não será totalmente removida do local do reparo, deixando-se 25cm das extremidades dos ferros expostos, que serão dobrados posteriormente, assegurando a união entre o concreto novo e o antigo. O concreto de reparo deverá ser armado conforme o pavimento existente.
- As recomendações seguintes são as mesmas citadas a partir da alínea d) do método de execução de reparo no interior da placa, com a ressalva de que a camada de ligação será aplicada somente nas paredes da placa que contém o reparo.
- As juntas do pavimento deverão ser refeitas e seladas.
- Quando o reparo atinge o comprimento da placa (ver Figura 6), e a sua largura é maior que $2/3$ da largura da placa, recomenda-se que esta seja totalmente removida e reconstituída.
- Quando o reparo atinge todo o comprimento da placa, recomenda-se a adoção de uma armadura de retração, colocada próxima à face superior do concreto (ver Figura 6).
- Reparo que abrange toda a largura da placa (ver Figuras 7 e 8)

Este tipo de reparo é caracterizado pelo fato de que sua largura (B) coincide com a largura total da placa.

O Método de Execução do Reparo é o seguinte:

- Remove-se a zona avariada numa amplitude tal que assegure as boas condições do restante da placa e da sub-base. A área não deve ser inferior a $1/3$, nem superior a $2/3$ da área da placa.
- As condições de suporte deverão ser garantidas pela substituição parcial do material existente sob a placa e colocação de uma camada de concreto pobre com 10cm de espessura.
- As barras de transferência e de ligação poderão ser mantidas (caso não estejam oxidadas); as barras de transferência deverão ter suas extremidades expostas, alinhadas, pintadas e engraxadas. As paredes do reparo deverão ser mantidas verticais e ásperas.
- No caso de existência de armadura distribuída, esta deverá ser totalmente removida do local do reparo. Posteriormente será colocada uma nova armadura com a mesma taxa de aço daquela retirada.

- Não é preciso produzir aderência entre o concreto novo e o antigo.
 - As recomendações seguintes são as mesmas citadas no método de execução de reparo no interior da placa, com a ressalva de que a limpeza das paredes do reparo podem ser feitas apenas com jato de ar comprimido, devido a não ser necessário garantir a aderência entre o concreto novo e o antigo.
 - As juntas do pavimento deverão ser refeitas e seladas, construindo-se uma ou duas novas juntas, conforme o caso (ver Figuras 7 e 8).
 - Caso garanta-se a presença das barras de transferência nas juntas transversais - na existente e nas novas juntas formadas - por inserção de novas barras, torna-se desnecessária a adoção de sub-base de concreto pobre, conforme descrito nesta metodologia.
- Método de Reconstituição Total da Placa

Sempre que o reparo atingir área superior a 2/3 da área da placa, esta deverá ser totalmente removida e refeita. O processo executivo obedece algumas condições particulares:

- Para que não haja recalques diferentes da nova placa em relação às aquelas existentes, recomenda-se a execução de uma camada de concreto pobre com 10cm de espessura, aumentando assim a capacidade de suporte da fundação na região do reparo. No entanto, esta recomendação é dispensável quando a sub-base é semi-rígida (solo-cimento, concreto pobre, brita graduada tratada com cimento) e se encontra em perfeito estado.
- As barras de transferência e de ligação poderão ser mantidas (caso não estejam oxidadas). As barras de transferência deverão ter suas extremidades expostas, alinhadas, pintadas e engraxadas.
- As paredes do reparo deverão ser limpas com jato de ar, não havendo necessidade de aplicação da camada de ligação.
- Os cuidados com a produção, lançamento, acabamento e cura do concreto são os mesmos mencionados nas metodologias de reparos parciais.
- As juntas deverão ser refeitas e seladas.
- As mesmas recomendações para garantia da presença de barras de transferência nas juntas transversais.

Figura 1 - Detalhe da Metodologia “A” de reparo de fissuras transversais

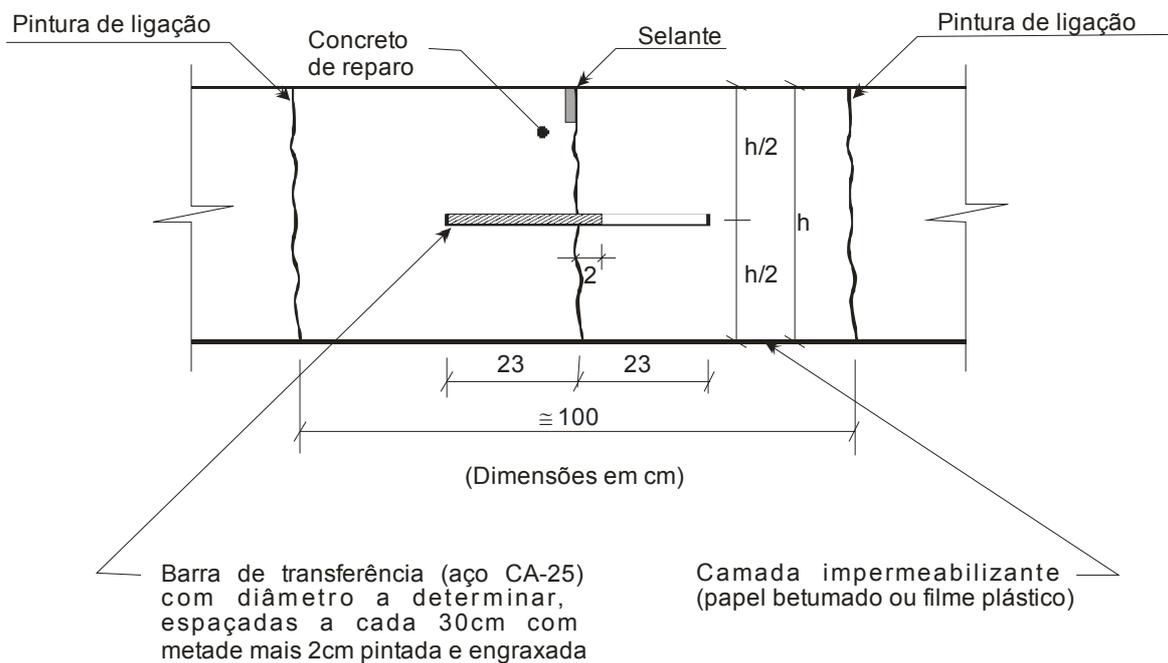


Figura 2 - Detalhe da Metodologia “B” de reparo de fissuras transversais

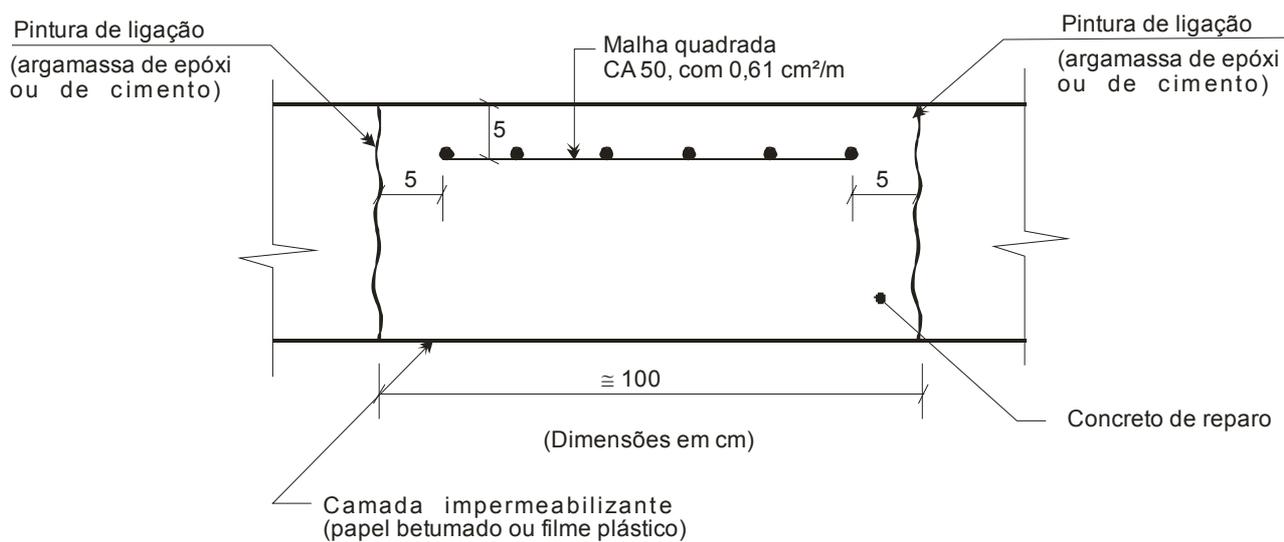


Figura 3 - Reparo no interior da placa

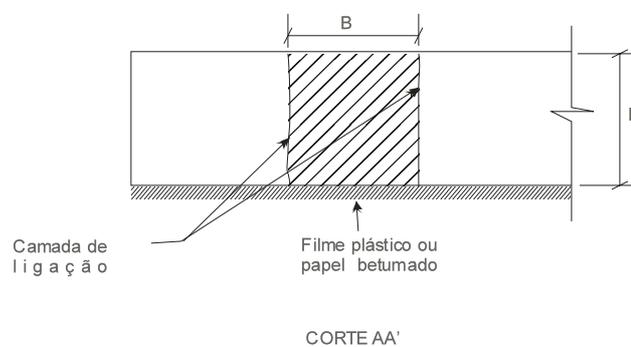
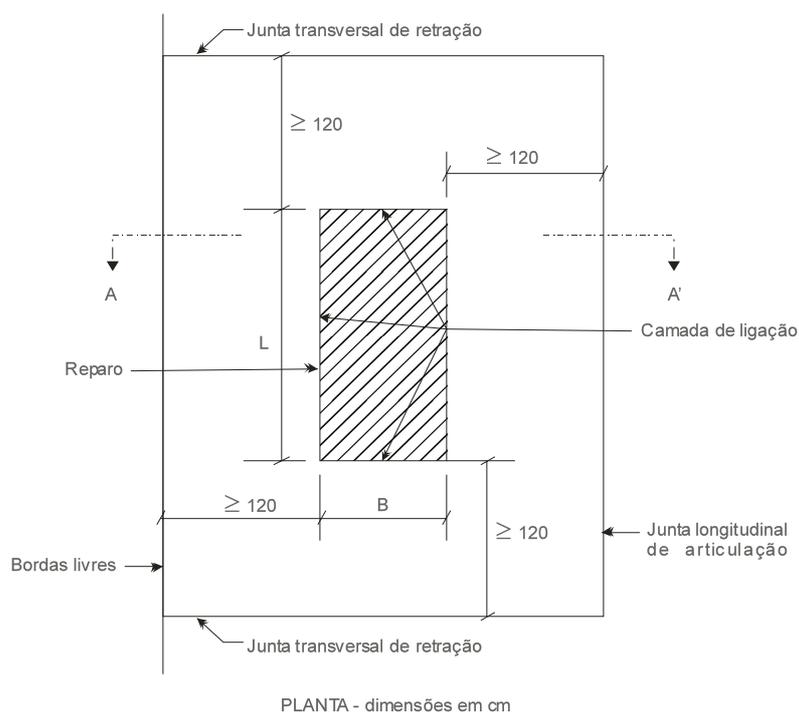


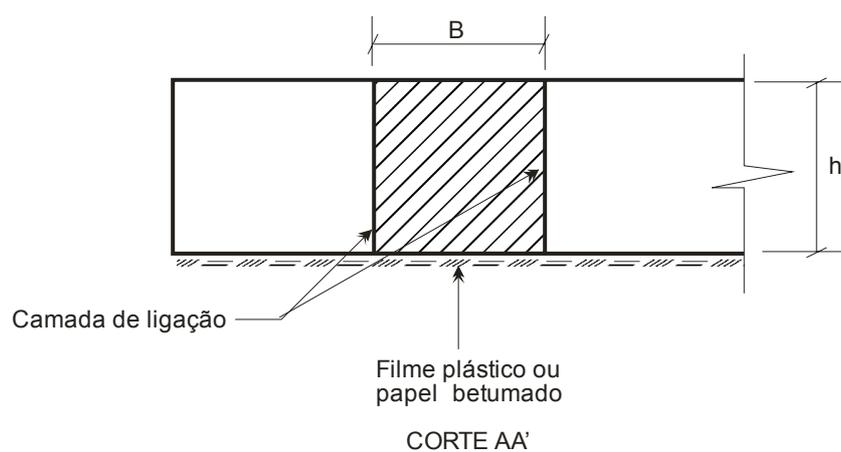
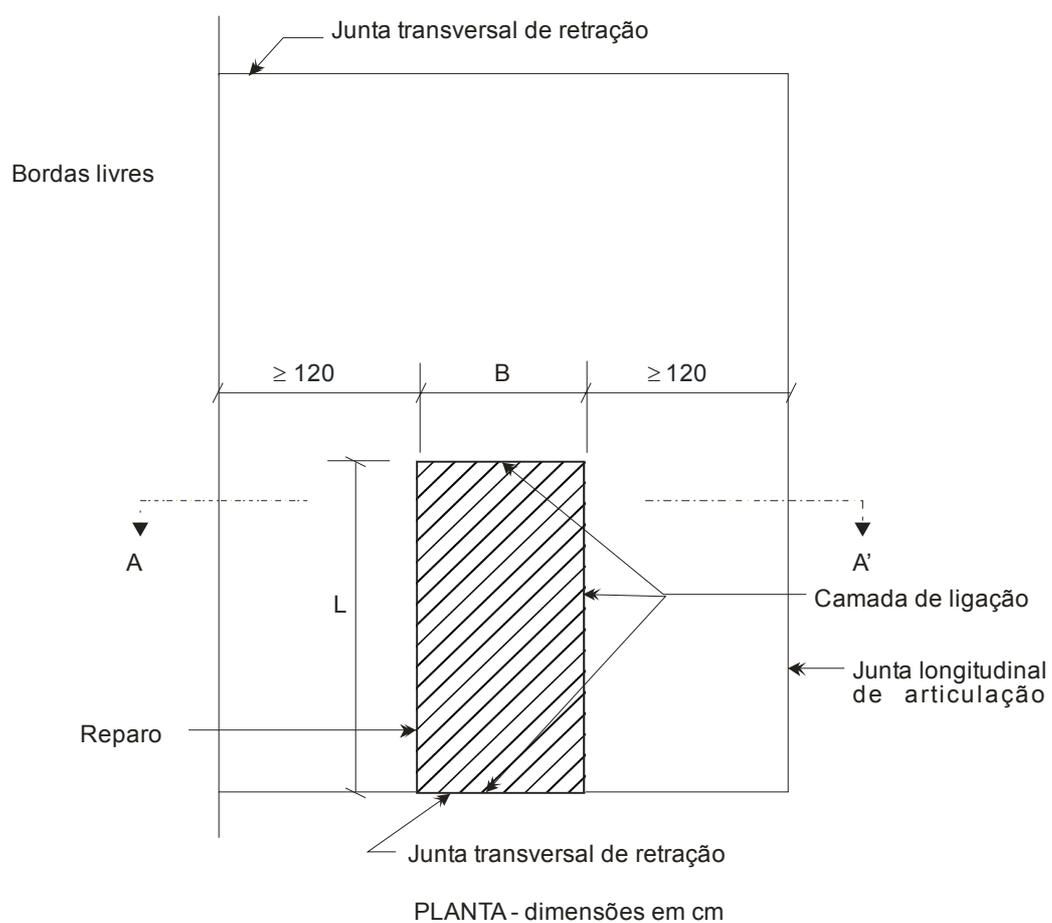
Figura 4 - Reparo tangenciando o bordo transversal da placa

Figura 5 - Reparo tangenciando o bordo transversal e o bordo longitudinal da placa

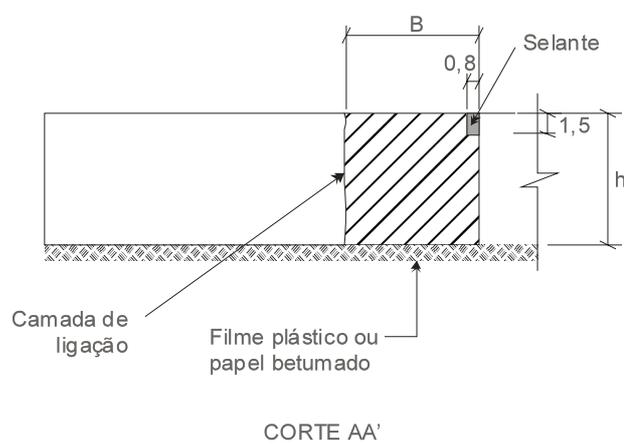
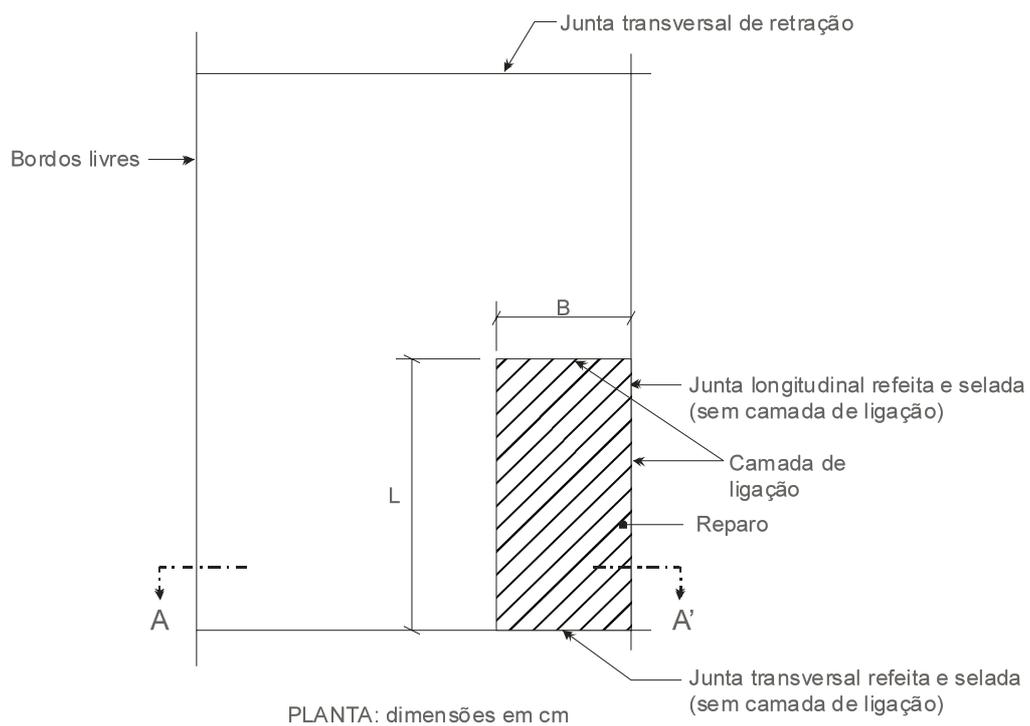
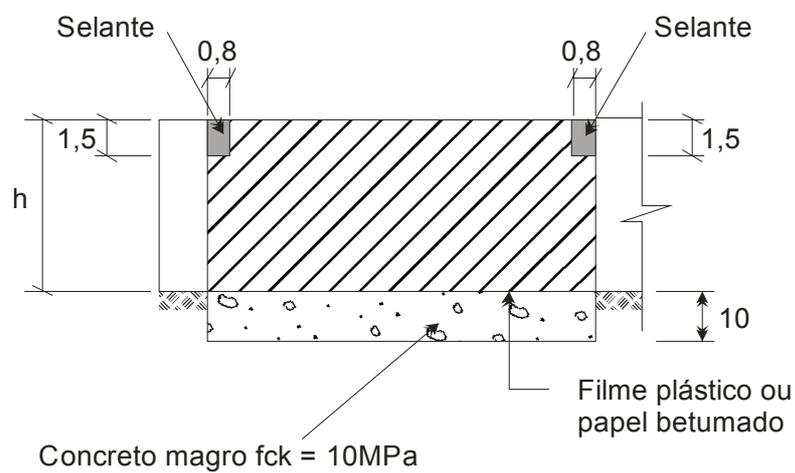
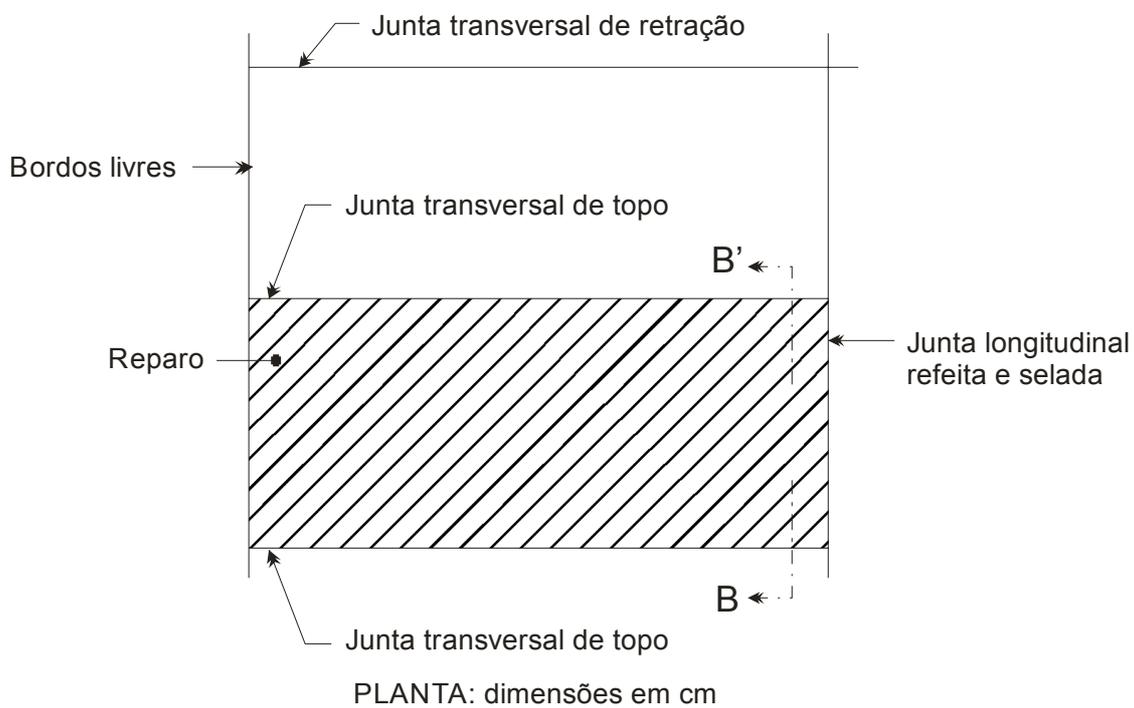
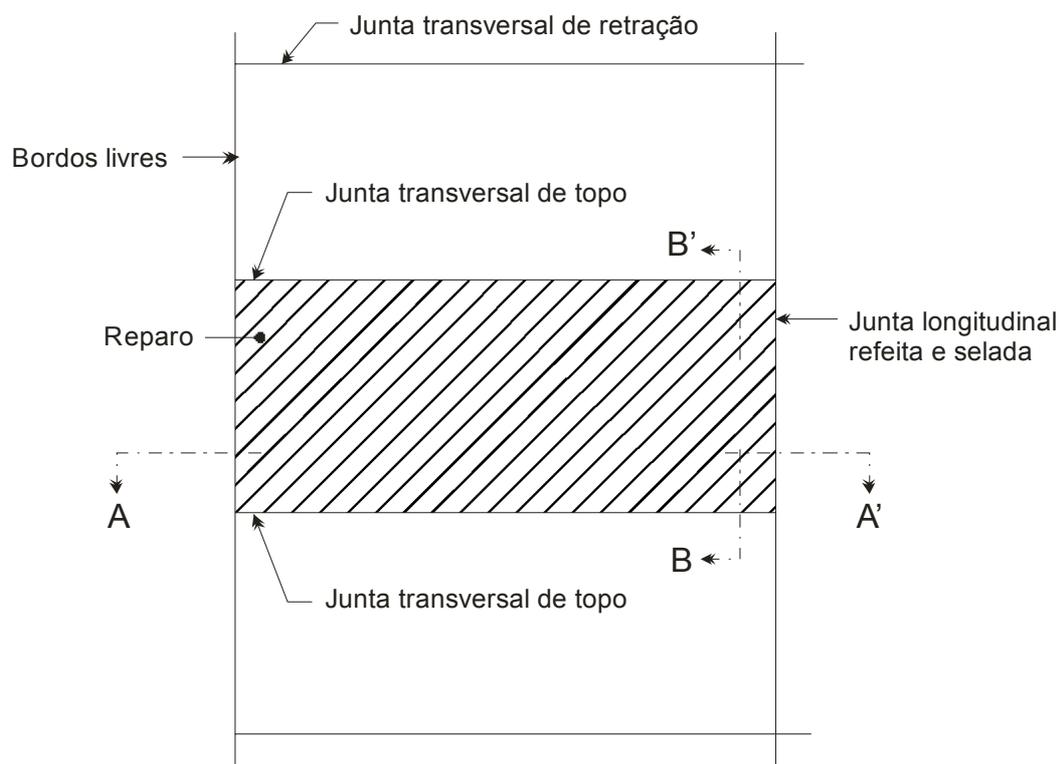


Figura 7 - Reparo que abrange toda a largura da placa, tangenciando o bordo transversal

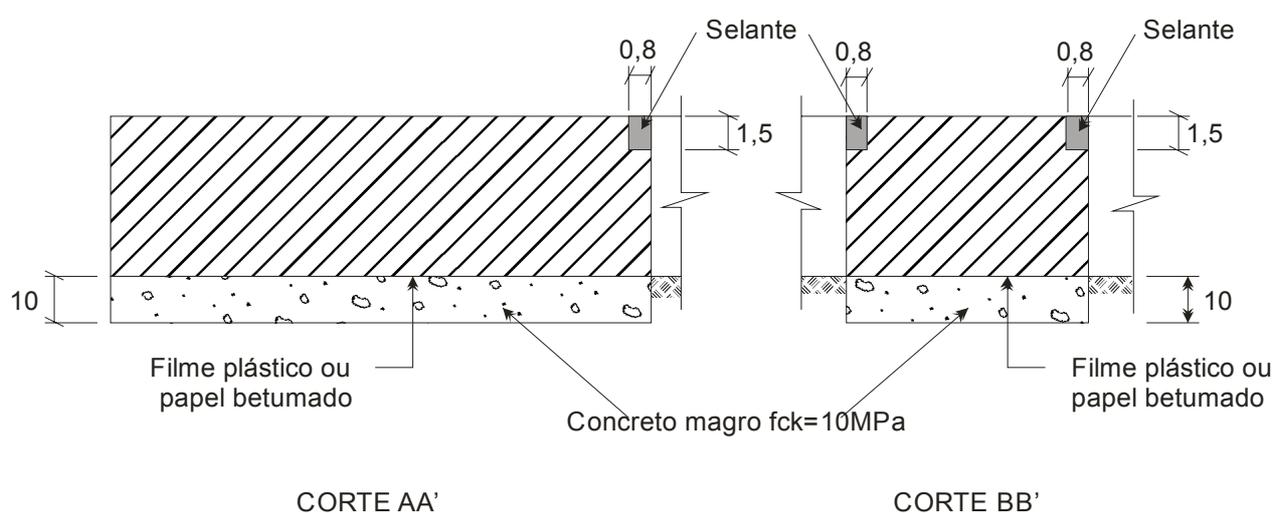


CORTE BB'

Figura 8 - Reparo localizado no interior da placa, abrangendo toda a sua largura



PLANTA: dimensões em cm



6.7 REABILITAÇÃO DOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

A reabilitação dos pavimentos rígidos deve ser feita após uma criteriosa avaliação das suas condições atuais, especialmente do seu ICP, conforme as diretrizes das Normas DNIT 062/2004-PRO – Pavimento Rígido – Avaliação Objetiva de Pavimentos Rígidos – Procedimento e DNIT 063/2004 – PRO – Pavimento Rígido – Avaliação Subjetiva de Pavimentos Rígidos – Procedimento.

Para definição dos serviços de reabilitação de um pavimento rígido devem ser adotados os seguintes critérios:

6.7.1 DIRETRIZES GERAIS PARA A AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DO PAVIMENTO A SER REABILITADO

A avaliação das condições estruturais de um pavimento rígido deve ser feita por meio de levantamentos de dados sobre o projeto e a execução deste pavimento, pela determinação ou avaliação do estado em que se encontra a sua superfície de rolamento, pelo levantamento dos defeitos estruturais que apresentam e, finalmente, pelos resultados dos ensaios realizados tanto nos materiais como na própria estrutura, quer da fundação como do pavimento ou do conjunto fundação-pavimento.

Com esta avaliação deverá ser definido o tipo de reabilitação a ser adotado.

Os procedimentos a serem adotados na avaliação das condições estruturais do pavimento e de sua fundação são descritos a seguir.

6.7.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS DO PAVIMENTO EXISTENTE

Compreende o levantamento de dados e de todas as informações possíveis sobre o pavimento, incluindo a sua avaliação.

Nesta fase identificam-se as restrições existentes na escolha de cada procedimento de reabilitação.

6.7.2.1 DADOS A SEREM LEVANTADOS

- a) condição global (estrutural e funcional) do pavimento e do acostamento;
- b) informações sobre o projeto e a construção do pavimento;
- c) materiais componentes da estrutura;
- d) tráfego solicitante, com a distribuição e a frequência das cargas por eixo;
- e) condições climáticas;
- f) condições do sistema de drenagem do pavimento;
- g) condições de segurança;

h) outros julgados necessários.

6.7.2.2 ETAPAS DO LEVANTAMENTO E AVALIAÇÃO DOS DADOS

No processo de levantamento e avaliação dos dados, recomenda-se que sejam adotadas as seguintes etapas:

- a) Coleta de dados de escritório - se possível, deverão ser obtidas informações referentes a projeto, construção e manutenção pesada, materiais utilizados, tráfego solicitante, condições climáticas e dados de desempenho do pavimento.
- b) Levantamento preliminar dos dados de campo - compreende o levantamento de defeitos, condições de drenagem, levantamento subjetivo da regularidade superficial, alternativas de controle de tráfego e condições de segurança da rodovia.
- c) Avaliação preliminar dos dados levantados e definição da necessidade de coleta de dados adicionais - por meio dessa avaliação serão selecionadas as alternativas possíveis de reabilitação e definida a necessidade de coleta de dados adicionais.
- d) Levantamento complementar dos dados de campo - compreende um levantamento mais detalhado dos dados obtidos inicialmente e a realização de trabalhos específicos, tais como extração de corpos-de-prova, medição da regularidade superficial e da resistência à derrapagem, de deslocamentos verticais, verificação da eficiência do sistema de drenagem etc.
- e) Ensaio de laboratório - são realizados a seguir os ensaios de amostras extraídas do pavimento e da fundação, tais como resistência mecânica, granulometria, massa específica etc.
- f) Avaliação final dos dados - compreende a avaliação estrutural e funcional do pavimento; para tanto, se for necessário, outros dados deverão ser levantados.
- g) Compilação final dos dados de campo e de laboratório, preparação e elaboração do relatório final.

6.7.2.3 MODELO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento dos dados e a avaliação destes deverão ser feitos de acordo com a sistemática modelo do Apêndice I. A quantidade de dados e de ensaios irá depender da extensão e importância da rodovia e dos recursos disponíveis para esses estudos.

6.7.2.4 ANÁLISE DOS FATORES TÉCNICOS E ECONÔMICOS DISPONÍVEIS QUE INFLUEM NA ESCOLHA DA ALTERNATIVA DE REABILITAÇÃO

Nessa fase do estudo é necessária uma análise de fatores técnicos e econômicos que poderão influir na escolha da alternativa de reabilitação.

Os fatores mais comuns que podem influir na escolha da alternativa de reabilitação são:

- a) Custo/benefício;
- b) controle e operação do tráfego (possibilidade de fechamento da pista);
- c) vida útil mínima prevista para o pavimento reabilitado;
- d) materiais disponíveis na região;
- e) geometria das pistas;
- f) disponibilidade de equipamento e mão-de-obra;
- g) política global de prioridades da malha rodoviária.

6.7.3 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO GLOBAL DO PAVIMENTO EXISTENTE

6.7.3.1 LEVANTAMENTO DE DEFEITOS

O levantamento dos defeitos existentes no pavimento rígido é atividade fundamental na avaliação de sua condição global (estrutural e funcional).

Os tipos de defeitos e suas causas prováveis influem na escolha da técnica mais adequada de reabilitação.

Para que se possa proceder à avaliação das condições globais do pavimento, o levantamento dos defeitos deverá possibilitar:

- a) a identificação e quantificação dos diversos tipos de defeitos e seus respectivos graus de severidade;
- b) determinar as técnicas de reabilitação recomendáveis;
- c) definir os ensaios complementares para a elaboração do projeto de reabilitação.

6.7.3.2 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

A avaliação estrutural irá definir se o pavimento existente será capaz de suportar o tráfego futuro, num determinado período de projeto, sem a melhoria da sua estrutura por meio de reforço. Para esta avaliação pode-se utilizar o Falling Weight Deflectometer ou Dynaflect.

Para tanto, as características do pavimento existente deverão ser determinadas por meio de ensaios destrutivos e não-destrutivos, que sejam capazes de estimar a vida estrutural - remanescente do pavimento.

6.7.3.3 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO

A condição funcional do pavimento expressa a sua capacidade de satisfazer ao usuário, devendo ser avaliada por meio dos seguintes parâmetros:

- a) regularidade superficial e conforto de rolamento;
- b) resistência à derrapagem quando seco e quando molhado;
- c) aparência;
- d) segurança do tráfego.

A avaliação do estado funcional é feita pelas medidas da regularidade superficial e da resistência à derrapagem do pavimento ao longo do trecho inspecionado. As áreas consideradas quanto a esses quesitos merecerão atenção especial no projeto de reabilitação.

A medição poderá ser feita pelo aparelho integrador IPR/USP - Maysmeter, mencionado no item 7 deste Manual, ou pela avaliação do conforto do pavimento ao tráfego feita por uma comissão de especialistas.

6.7.4 ANÁLISE DAS SOLUÇÕES POTENCIAIS PARA A REABILITAÇÃO

Terminada a fase de avaliação das condições globais do pavimento existente, inicia-se o estudo das alternativas cabíveis de reabilitação, que deverão levar em consideração as causas que deram origem aos defeitos e serem projetadas de modo a evitar sua reincidência.

As alternativas cabíveis deverão ser quantificadas quanto ao volume de trabalho necessário e respectivos custos.

Os procedimentos de reabilitação com finalidade única de solução imediata do problema, sem atacar eficientemente suas causas, são paliativas, de pequena durabilidade e redundam em desperdício de dinheiro.

Depois de definidas as alternativas viáveis, selecionam-se aquelas consideradas mais factíveis, levando em consideração os fatores técnicos e econômicos indicados no item 6.7.2.4.

Define-se como alternativa factível de reabilitação aquela que ataca as causas dos defeitos, que é efetiva na reparação destes defeitos evitando a reincidência do problema, atendendo, simultaneamente, as falhas técnicas e econômicas indicadas no item 6.6.2.2.

As alternativas factíveis poderão abranger uma ou mais técnicas de reabilitação, dependendo do tipo e do grau de severidade dos defeitos.

Para cada uma delas será elaborado um anteprojeto de reabilitação e estimado o seu custo.

O Quadro 1 relaciona as alternativas viáveis de reabilitação, no que se refere a técnicas de reparação e de prevenção de defeitos. A alternativa escolhida pelo órgão ou empresa encarregada do estudo deverá ser aquela de menor custo total.

6.7.5 ESCOLHA DA ALTERNATIVA DE REABILITAÇÃO MAIS ADEQUADA

A escolha da alternativa mais adequada deverá ser feita em função do custo e de outros fatores não econômicos.

O custo da alternativa (custo inicial, custo de manutenção, custo anual e custo final) é fator preponderante na escolha da alternativa.

Na análise do custo da reabilitação ao longo do tempo de serviço podem ser utilizados parâmetros cuja avaliação contém certo grau de incerteza, uma vez que a vida útil da alternativa está sujeita a variáveis como a qualidade dos materiais empregados, as condições climáticas regionais, o tráfego solicitante etc.

Para reduzir ao mínimo as incertezas da tomada de decisão deve ser levantado o maior número de informações possível, preferencialmente em bancos de dados de gerência de pavimentos, sobre trabalhos de reabilitação já executados.

Quanto aos fatores não econômicos, são considerados a vida útil da alternativa escolhida, a duração prevista da obra, o controle e a operação do tráfego, a confiabilidade (aplicação bem-sucedida na região), a facilidade de execução e de manutenção.

Quadro 1 - Técnicas de Reparação e de Prevenção de Alguns Tipos de Defeitos em Pavimentos Rígidos

Tipo de defeito	Técnica de reparação	Técnica de prevenção
Bombeamento	<ul style="list-style-type: none"> • nivelamento por meio de injeção 	<ul style="list-style-type: none"> • resselagem de juntas; • restauração da capacidade de transferência de carga; • recomposição da drenagem; • recomposição do acostamento.
Escalonamento de juntas (degraus)	<ul style="list-style-type: none"> • fresagem ou escarificação • alçamento de placa por meio de injeção • reforço do pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> • nivelamento por meio de injeção; • resselagem de juntas; • restauração da capacidade de transferência de carga; • recomposição da drenagem; • recomposição do acostamento.
Fissuras lineares	<ul style="list-style-type: none"> • reparos que abrangem toda a espessura 	<ul style="list-style-type: none"> • nivelamento por meio de injeção; • restauração da capacidade de transferência de

Tipo de defeito	Técnica de reparação	Técnica de prevenção
Placas divididas	<ul style="list-style-type: none"> • reconstrução da placa 	<ul style="list-style-type: none"> • carga; • reforço do pavimento
Esborcinamento de juntas	<ul style="list-style-type: none"> • reparos que não abrangem toda a espessura da placa 	<ul style="list-style-type: none"> • resselagem de juntas;
Alçamento de placas	<ul style="list-style-type: none"> • reparos que abrangem toda a espessura da placa 	<ul style="list-style-type: none"> • abertura de juntas de alívio; • resselagem de juntas e fissuras.
Quebras localizadas	<ul style="list-style-type: none"> • reparos que abrangem toda a espessura da placa 	<ul style="list-style-type: none"> • nivelamento de placa por meio de injeção; • construção de acostamento rígido; • restauração da capacidade de transferência de carga.

O mais importante desses fatores é a vida útil da reabilitação, principalmente no caso de rodovias submetidas a tráfego intenso, em que o fechamento de trechos ou faixas de tráfego causa grandes transtornos.

Definida a alternativa mais adequada, deverá ser detalhado o projeto de reabilitação (projeto geométrico, memórias de cálculo, ensaios, especificações etc.). Se os custos globais do projeto diferirem sensivelmente daqueles previamente orçados no anteprojeto, o assunto deverá ser reexaminado para confirmar se a alternativa analisada é a mais adequada.

6.7.6 TIPOS DE REABILITAÇÃO

Os procedimentos de reabilitação dividem-se em duas categorias:

- a) reabilitação por meio de reforço do pavimento;
- b) reabilitação por meio de outros procedimentos, que não impliquem reforço do pavimento.

6.7.6.1 REFORÇO DA ESTRUTURA

Os pavimentos rígidos podem ser reforçados por pavimentação superposta, que poderá ser rígida ou flexível, em função dos custos, da vida útil prevista, da disponibilidade de equipamentos e materiais, dos serviços preliminares necessários etc.

6.7.6.2 OUTROS PROCEDIMENTOS

Os métodos de reabilitação de pavimentos rígidos que não empregam o reforço da estrutura podem ser assim divididos:

a) Reparos que não afetam toda a espessura da placa

- Recuperação de juntas (esborcinamento, resselagem);
- Tratamento de fissuras superficiais (fissuras superficiais lineares, fissuras do tipo rendilhado).
- Recuperação de desgaste superficial e escamação.

b) Reparos que afetam toda a espessura da placa

- Fissuras transversais de abertura superior a 1,5 mm ou seriamente esborcinadas (fissura transversal no interior da placa, fissura transversal próxima à junta transversal).
- Reconstituição parcial da placa (reparo no interior da placa, reparo tangente às bordas da placa que não abrange toda a largura, reparo que abrange toda a largura da placa).
- Reconstituição total da placa.

c) Reparos de fundação

O Capítulo 5 deste manual cita as práticas recomendadas para os métodos de reabilitação descritos acima.

São apresentados a seguir os Modelos para o Levantamento de Dados e Avaliação de Pavimentos Rígidos.

APÊNDICE I

APÊNDICE I -**Modelo para Levantamento de Dados e Avaliação de Pavimentos Rígidos, Tendo em Vista a Escolha de Procedimentos de Reabilitação da Rodovia**

1) Avaliação Estrutural

• Defeitos Existentes

- nenhum defeito ou poucos defeitos associados à capacidade de carga do pavimento (defeitos estruturais)
- incidência moderada de defeitos associados à capacidade de carga do pavimento (defeitos estruturais)
- grande incidência de defeitos associados à capacidade de carga do pavimento (defeitos estruturais)

• Deficiência estrutural do pavimento (perda da capacidade de suportar as cargas solicitantes)

- Sim Não

2) Avaliação Funcional

• Regularidade superficial

- Muito boa Regular Muito ruim
 Boa Ruim

• Índice de Serventia atual (PSI)/taxa de serventia atual (PSR)

- valor _____
- conceito _____

• Resistência à derrapagem

- Adequada Questionável Insatisfatória

3) Variação Observada nas Avaliações Efetuadas

• Ocorre variação sistemática ao longo da rodovia

- Sim Não

• Ocorre variação localizada ao longo da rodovia

- Sim Não

4) Avaliação das Condições Climáticas da Região

- Pluviosidade: regime, intensidade, etc
- Temperatura: máxima, mínima, etc

5) Avaliação das Condições de Drenagem

- Superficial
- Subsuperficial
- Profunda

6) Avaliação dos Materiais Componentes do Pavimento

- Concreto simples
- Sub-base

7) Avaliação do Subleito

- Capacidade de Suporte
- Expansibilidade
- Umidade

8) Avaliação dos Serviços de Manutenção já Efetuados

Nenhuma manutenção Pouca manutenção Muita manutenção

- A inexistência ou inadequação dos serviços de manutenção contribuiu para a deterioração do pavimento?

Sim Não

9) Avaliação da Velocidade de Deterioração do Pavimento

- Curto Prazo

Alta Média Baixa

- Longo Prazo

Alta Média Baixa

10) Controle do Tráfego em Período de Obra

- A rodovia poderá ser fechada?
 Sim Não
- Existem desvios?
 Sim Não
- A execução poderá ser feita por faixa?
 Sim Não
- A construção poderá ser feita fora das horas de pico?
 Sim Não

11) Avaliação da Geometria e da Segurança da Rodovia

- Capacidade atual de escoamento de tráfego
 Adequada Inadequada
- Capacidade futura de escoamento de tráfego
 Adequada Inadequada
- É necessário alargamento imediato da rodovia?
 Sim Não
- Localizar os pontos críticos da rodovia
- Outros problemas
- Discriminar problemas com obras-de-arte em geral

12) Análise de Tráfego

- Tráfego médio diário
- Tráfego médio diário de veículos comerciais
- Levantamento de frequência e distribuição das cargas por eixo

13) Avaliação do Acostamento (se existente)

- Capacidade atual de escoamento de tráfego
- Boas condições?
 Sim Não

- Áreas deterioradas localizadas?

Sim Não

- Tipo de defeito (descrever)

14) metodologia de reparos

Os reparos nos pavimentos de concreto deverão ser realizados conforme as metodologias apresentadas na Norma DNIT 067/2004 – ES – Pavimento Rígido – Reabilitação – Especificação de Serviço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- a) ABRAMS, Duff A. Tests of impure waters for mixing concrete. *Proceedings / American Concrete Institute*, Detroit, n. 20, p. 442-486, feb. 1924.
- b) _____. Water for making concrete. *Proceedings / American Concrete Institute*, Detroit, v. 44, n. 1, p. 414-416, jan. 1948.
- c) ALLEN, Harold. Final report of committee on maintenance of concrete pavements as related to the pumping action of slabs. *Proceedings of Highway Research Board*, Washington, v. 28, p. 281-310, 1948.
- d) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO-M155-63: standard specification for granular material to control pumping under concrete pavement. In: _____. *Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing*. 14. ed. Washington, 1986. v. 1, p. 239.
- e) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *Controle estatístico de concreto*; ACI 214-77. Tradução de Eduardo Santos Basílio. 5. ed. rev. atual. São Paulo: ABCP, 1990. Título original: Recommended practice for evaluation of strength test results of concrete.
- f) _____. Guide for use of admixtures in concrete. In: _____. *Manual of concrete practice*. Detroit, 1978. v. 1.
- g) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C 173-78: standard test method for air content of freshly mixed concrete by volumetric method. In: _____. *1978 annual book of ASTM standards*. Philadelphia, 1978. v. 14, p. 126-128.
- h) _____. C 260-77: standard specification for air-entraining admixtures for concrete. In: _____. _____. Philadelphia, 1978. v. 14, p. 185-188.
- i) _____. C 494-77a: standard specifications for chemical admixtures for concrete. In: _____. _____. Philadelphia, 1978. v. 14, p. 306-315.
- j) _____. D 98-77a: standard specification for calcium chloride. In: _____. _____. Philadelphia, 1978. v. 14, p. 570-573.
- k) _____. D 1196: standard method for nonrepetitive static plate load tests of soils and flexible pavement components, for use in evaluation and design of airport and highway pavements. In: _____. _____. Philadelphia, 1978. v. 19, p. 209-211.
- l) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Curso de solo-cimento*. São Paulo, [19--].
- m) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
- n) _____. *NBR 9781: peças de concreto para pavimentação*. Rio de Janeiro, 1987.
- o) _____. *NBR 9833: concreto fresco - determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico: método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1987.

- p) _____. *NBR 10908*: aditivos para argamassa e concretos - ensaios de uniformidade. Rio de Janeiro, 1990.
- q) _____. *NBR 11768*: aditivos para concreto de cimento Portland: especificação. Rio de Janeiro, 1992.
- r) _____. *NBR 12317*: verificação do desempenho de aditivos para concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- s) _____. *NBRNM 47*: concreto fresco - determinação do teor de ar em concreto fresco – método pressiométrico. Rio de Janeiro, 2002.
- t) BAUER, Luiz Falcão; NORONHA, Maria Azevedo. *Uso de aditivo no preparo do concreto*. São Paulo, [s.n., 19--].
- u) BLOEM, D. L. *Preliminary tests of effect of sugar on strength of mortar*. Silver Spring: National Ready Mixed Concrete Association, 1959.
- v) BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. *Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários* (escopos básicos/instruções de serviço). Rio de Janeiro, 1999. (IPR. Publ., 707).
- w) _____. *Manual de implantação básica*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1996. (IPR. Publ., 696).
- x) _____. *Manual de Whitetopping*. Rio de Janeiro, 1999. CR-ROM.
- y) _____. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. *DNIT 046/2004 - EM*: pavimento rígido - selante de juntas: especificação de material. Rio de Janeiro, 2004.
- z) _____. *DNIT 055/2004 - ME*: pavimento rígido - prova de carga estática para determinação do coeficiente de recalque de subleito e sub-base em projeto e avaliação de pavimentos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2004.
- aa) BROCARD, Jacques M. *Accélération de la prise et du durcissement des liants hydrauliques par la chaleur*. Paris: CERILH, 1948.
- bb) BURCHARTZ, H.; WROCHEM, V. Experiments on the influence of sugar and similar substances on the setting and hardening of cement and cement mortars. *Zement*, Berlim, n. 13, p. 11-13, 1924.
- cc) CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION. *Admixtures for concrete*. London, 1968.
- dd) _____. *Superplasticizing admixtures in concrete*. London, 1976.
- ee) CHILDS, L.D.; KAPERINICK, J. W. Tests of concrete pavements on gravel subbases. *Journal of the Highway Division*, New York, v. 84, n. HW 3, p. 1-31, oct. 1958.
- ff) COOK, John P.; LEWIS, Russell M. Evaluation of pavement joint and crack sealing materials and practices. *National Cooperative Highway Research Program Report*, Washington, n. 38, 1967.

- gg) COUTINHO, A. de Sousa. *Fabrico e propriedades do betão*. Lisboa: LNEC, 1973. v. 1.
- hh) DAUTREBAND, Jules. Effect of sugar on cement mortar. *Concrete*, London, v. 22, n. 4, p. 161, apr. 1923.
- ii) DREHER, Donald. A structural approach to sealing joints in concrete. *Highway Research Record*, Washington, n. 80, p. 57-73, 1965.
- jj) ESTADOS UNIDOS. Department of the Interior. Bureau of Reclamation. Concrete and concrete materials: effects of various factors on the properties of concrete. In: _____. *Concrete manual: a manual for the control of concrete construction*. 7.ed. Denver, 1966. p. 74-82.
- kk) _____. Highway Research Board. Final report on road test one-MD; effect of controlled truck axle loadings on concrete pavements. *Special report*, Washington, n. 4, 1952.
- ll) _____. The AASHTO road test: pavement research. *Special Report*, Washington, n. 61E, 1962.
- mm) FLETCHER, K. E. *Admixtures for concrete*. London: Building Research Station, 1974.
- nn) INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. Divisão de Pesquisas. *Manual de pavimentos rígidos*. Rio de Janeiro, 1989. v. 1.
- oo) McCOY, W. J. Water for mixing and curing concrete. In: American Society for Testing and Materials. *Significance of tests and properties of concrete and concrete aggregates*. Philadelphia, 1956. p. 355-360.
- pp) MATHER, Bryant. *Factors affecting durability of concrete in coastal structures*. Vicksburg: U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1957.
- qq) NARVER, D. Lee. Good concrete made with coral and sea water. *Civil Engineering*, New York, v. 24, n. 10, p. 40-44, oct. 1954.
- rr) OLDER, C. Highway research in Illinois. *Proceedings American Society of Civil Engineers*, New York, n. 50 p. 175-217, feb. 1924.
- ss) ORCHARD, D. F. *Concrete technology*. 3.ed. London: Applied Science Pub., 1973. v. 1.
- tt) PACKARD, Robert G. *Design of concrete airport pavement*. Skokie: PCA, 1973.
- uu) PITTA, Marcio Rocha. *Projeto de juntas em pavimentos rodoviários de concreto*. 6. ed. São Paulo: ABCP, 1998.
- vv) _____. CARVALHO, Marcos Dutra de. *Dimensionamento de pavimentos rodoviários de concreto para o caso de eixos tandem triplos*. 3. ed. rev. São Paulo: ABCP, 1986.
- ww) _____. _____. RODRIGUES, Públio Penna Firme. *Materiais para pavimentos de concreto simples*. 5. ed. São Paulo: ABCP, 1999.

- xx) PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. *Design and control of concrete mixtures*. 11.ed. Skokie, 1968.
- yy) _____. *Joint design for concrete highway and street pavements*. Skokie, 1975.
- zz) _____. *Joint design for concrete pavements*. Skokie, 1961.
- aaa) _____. *Thickness design for concrete highway and street pavements*. Skokie, 1984.
- bbb) _____. *Thickness design for concrete pavements*. Chicago, 1966.
- ccc) RIXOM, M. R. *Chemical admixtures for concrete*. London: J. Wiley, 1978.
- ddd) RODRIGUES, Publio Penna Forte; PITTA, Márcio Rocha. *Dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados*. São Paulo: ABCP: IBTS, 1997.
- eee) SCHUTZ, Raymond J. Shape factor in joint design. *Civil Engineering*, New York, v. 32, n. 10, p. 32-36, oct. 1962.
- fff) SENÇO, Wlastermiller de. *Pavimentos de paralelepípedos, de alvenaria poliédrica e de blocos de concreto pré-moldados*. Rio de Janeiro: IPR, 1964.
- ggg) TONS, Egons. A theoretical approach to design of a road joint seal. *Bulletin of Highway Research Board*, Washington, n. 229, 1959.
- hhh) _____. Factors in joint seal design. *Highway Research Record*, Washington, n. 80, p. 49-56, 1965.
- iii) TUTHILL, Lewis H.; ADAMS, Robert F.; HEMME, John M. Observations in testing and use of water: reducing retarders: In: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Symposium on effect of water-reducing admixtures and set-retarding admixtures on properties of concrete*. Philadelphia, 1960. p. 97-117.
- jjj) VAICUM, Lídia. Action of sucrose on the properties of cement pastes and suspensions. *Buletinul Institutului Politehnic Bucuresti*, Bucuresti, v. 19, n. 1/2, p. 151-159, 1957.
- kkk) VENUAT, Michel. *Adjuvantes et traitements des mortiers et bétons*. Paris: [s.n.], 1971.