

Aplicação e controle tecnológico de pavimentos de concreto

RUBENS CURTI - TECNOLÓGISTA | ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND

RESUMO

O CONTROLE TECNOLÓGICO DA OBRA É IMPORTANTE PARA A GARANTIA DOS REQUISITOS DE DESEMPENHO DO CONCRETO, TANTO NO ESTADO FRESCO QUANTO NO ENDURECIDO. É O CONTROLE TECNOLÓGICO QUE FORNECE SUBSÍDIOS PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA OBRA E PODE INDICAR CAUSAS DE PATOLOGIAS QUE EVENTUALMENTE POSSAM OCORRER.

O CONTROLE TECNOLÓGICO É INICIADO COM A AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS, ESCOLHENDO FORNECEDORES IDÔNEOS E CAPACITADO PARA ATENDER ÀS EXIGÊNCIAS DAS OBRAS. OS MATERIAIS DEVERÃO SER ENSAIADOS EM LABORATÓRIO E PREFERENCIALMENTE ATENDER AO QUE ESPECIFICA AS NORMAS TÉCNICAS. COM A DEFINIÇÃO DOS FORNECEDORES DAS MATÉRIAS PRIMAS, AS DOSAGENS DE CONCRETOS SERÃO ENSAIADAS EM LABORATÓRIO E COMPROVADA A SUA EFICIÊNCIA EM CAMPO.

ESTE ARTIGO VAI MOSTRAR O PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS RODOVIÁRIOS E URBANOS BASEADO EM NORMAS DA ABNT E DNIT (DNER). SERÃO FIXADAS AS CONDIÇÕES GERAIS E OS MÉTODOS CONSTRUTIVOS E TECNOLÓGICOS PARA A EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO COM CIMENTO PORTLAND, TANTO DO CONCRETO COMPACTADO A ROLO - CCR COMO DO CONCRE-

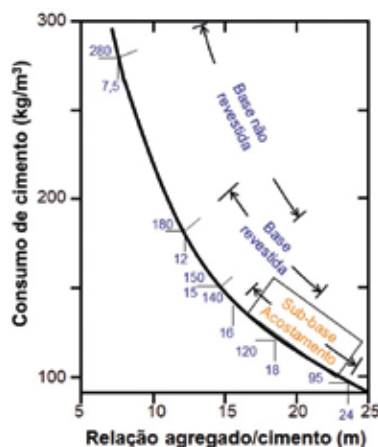


FIGURA 1
RELAÇÃO ENTRE PORÇÃO SECA E CONSUMO DE CIMENTO

TO SIMPLES - CS, POR PROCESSOS MECÂNICOS EM ESTRADAS, AERÓDROMOS, VIAS URBANAS, PÁTIOS DE ESTACIONAMENTO, ETC.

OS ENSAIOS DOS MATERIAIS PARA A ELABORAÇÃO DAS DOSAGENS DEVEM SER REALIZADOS E AMOSTRAS REPRESENTATIVAS EXTRAÍDAS DE MATERIAIS DESTINADOS AO ESTUDO DOS TRAÇOS DE CONCRETO.

NESTA FASE DEVEM SER REALIZADOS OS ENSAIOS CONSTANTES NAS NORMAS DA ABNT:

- ▶ CIMENTO PORTLAND - ABNT NBR 16697:2018;

- ▶ AGREGADOS (MIÚDOS E GRAÚDOS) - ABNT NBR 7211:2022;
- ▶ ÁGUA - ABNT NBR 15900:2009;
- ▶ ADITIVO - ABNT NBR 11768:2019.

PALAVRAS-CHAVE: PAVIMENTO DE CONCRETO; PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO; CONTROLE TECNOLÓGICO.

1. CCR - CONCRETO COMPACTADO A ROLO - SUB-BASE DE PAVIMENTO RÍGIDO

Concreto de consistência seca e trabalhabilidade que permita seu espalhamento com vibroacabadora de asfalto, distribuidora de agregados ou motoniveladora, e adensamento feito por rolos compressores. Não armado e que pode desempenhar simultaneamente as funções de base e de revestimento. A sua composição deve ser determinada por método racional, de modo a obter-se, com os materiais disponíveis, uma mistura fresca, de trabalhabilidade adequada, para ser compactada com rolo liso vibratório, resultando um produto endurecido com grau de compactação e resistência à compressão, conforme exigidos pelo projeto, proporcionando um suporte uniforme e constante quando utilizado como sub-base de pavimentos rígidos.

As vantagens da utilização do CCR são:



FIGURA 2
RELAÇÃO ENTRE QUANTIDADE DE ÁGUA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA TRÊS FAIXAS DE CONSUMO DE CIMENTO

Abertura das peneiras (mm)	% que passa
38	100
25	92 - 82
19	84 - 74
12,5	74 - 64
9,5	68 - 58
6,3	60 - 50
4,8	55 - 45
2,4	45 - 35
1,2	37 - 27
0,6	30 - 20
0,3	25 - 15
0,15	21 - 11
0,075	18 - 8

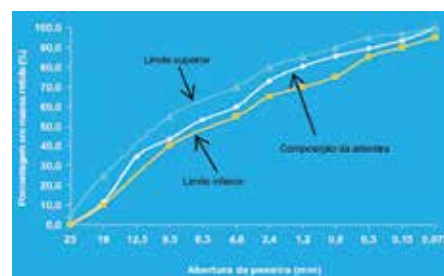


FIGURA 3
FAIXA DE REFERÊNCIA DNIT O59

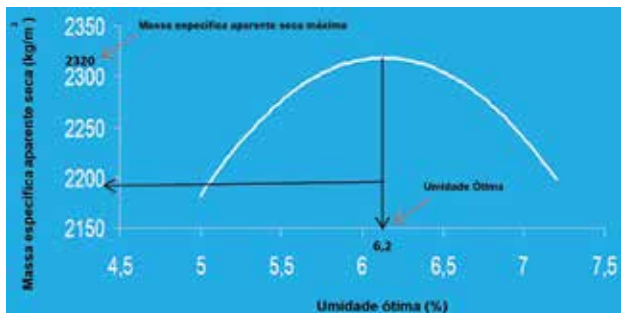


FIGURA 4
 RELAÇÃO ENTRE UMIDADE RELATIVA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA

- ▶ Não erodível;
- ▶ Deve se enquadrar na faixa de referência;
- ▶ Como sub-base, aumenta a eficiência das juntas do pavimento de concreto;
- ▶ Reduz as deformações verticais nos pavimentos asfálticos e pavimentos intertravados;
- ▶ Menor custo inicial, em função do menor consumo de cimento.

Como base de sustentação do pavimento rígido, as características do CCR devem ser:

- ▶ As proporções em massa (cimento : agregados secos) entre 1:24 a 1:12 (Fig. 1);
- ▶ O consumo de cimento Portland para a sub-base entre 85 e 130 kg/m³, a ser definido durante os estudos de dosagem (Fig. 2);
- ▶ A resistência mecânica (f_{ck} projetado) deve ser atingida aos 7 dias, normalmente;
- ▶ Composição granulométrica dos

agregados deve atender a faixa de referência da norma do DNIT (Fig. 3).

Outras faixas granulométricas poderão ser utilizadas, desde que tenham experiência prévia amplamente comprovada e consolidada.

Quantidade de água de amassamento deve ser determinada através

da massa específica aparente seca máxima e a umidade que deve variar entre 4,0% e 7,5% e é determinada através do ensaio de compactação (Fig. 4).

O consumo de cimento bem como a resistência do CCR depende da umidade ótima, do grau de compactação e da idade do concreto (DNIT - 40:2004).

O controle tecnológico do CCR - Concreto Compactado a Rolo - deve ser iniciado com a verificação dos materiais que compõe o traço de concreto e deverão ser executados, no mínimo, os seguintes ensaios, com as suas respectivas frequências:

Cimento Portland

Poderá ser de qualquer tipo desde que satisfaça as normas do DNIT e ABNT.

Agregados

- ▶ **Granulometria:** a cada 2500 m² de sub-base, no mínimo uma determinação por dia (DNER ME 083:1998 ou NBR 17054:2022;

Concreto

- ▶ **Teor de umidade:** deve-se determinar o teor de umidade toda vez que forem moldados corpos de prova para a determinação da resistência à compressão (DNIT-ME 092:1994). O controle



FIGURA 5
 PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE



FIGURA 6
 PROCEDIMENTOS DE MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA



FIGURA 7

VERIFICAÇÃO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA, ATRAVÉS DO ENSAIO DO ENSAIO DE MACHA DE AREIA DO FRASCO DE AREIA

de umidade no campo devera ser feito pela determinação do teor de umidade do CCR (Fig. 5).

- ▶ **Moldagem de corpos de prova:** a cada 2500 m² deverão ser moldados aleatoriamente e de amassadas diferentes no mínimo 6 exemplares de corpos de prova, (cada exemplar deve ser constituído de no mínimo 2 corpos de prova cilíndricos de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura - DNIT - 056:2013). A moldagem deve ser feita em 5 camadas compactadas com energia normal, recebendo cada uma delas 30 golpes do soquete de 4,5 kg, com altura de queda de 45 cm (Fig. 6).

A resistência característica estimada do concreto ($f_{ck,est}$) de cada trecho inspecionado será dada por $f_{ck,est} = f_{cj} - ks$, sendo:

$f_{ck,est}$ = valor estimado da resistência característica do concreto;

f_{cj} = resistência média a compressão axial na idade de controle (j = dias);

k = coeficiente de distribuição de Student, variável em função da quantidade de exemplares do lote;

s = desvio padrão dos resultados.

- ▶ **Grau de compactação:** a cada 2500 m² deverão ser feitos no mínimo 6 pontos da sub-base igualmente espaçados e ao longo do eixo, utilizando os valores obtidos para a massa específica aparente seca nesses pontos (DNER-ME 092:1994). Os valores obtidos nos ensaios deverão ser comparados com a massa específica teórica do traço de concreto aplicado no trecho. O valor característico estimado do

grau de compactação do pavimento, no trecho inspecionado, será dado por $GC_{est} = GC - ks$, sendo:

GC_{est} = valor estimado do grau de compactação característico;

GC = grau de compactação médio;

s = desvio padrão dos resultados;

k = é determinado em função do número de determinações no trecho inspecionado.

O trecho será automaticamente aceito quando o $GC_{est} \geq 98\%$ (Fig. 7).

- ▶ **Controle geométrico (DNIT 59 - ES:2004):** após a execução de cada trecho de pavimento definido para inspeção, procede-se a relocação e ao nivelamento do eixo e dos bordos, de 20 m em 20 m ao longo do eixo, para verificar se a sua largura e a espessura estão de acordo com o projeto. Para verificação da espessura, esta relocação e nivelamento deverão ser feitos nos mesmos pontos, tanto no topo da sub-base, antes da execução, bem como no topo do

pavimento já executado. O trecho do pavimento será aceito quando:

- variação na largura da placa for inferior a +/- 10% em relação ao projeto;
- espessura média do pavimento for igual ou maior que a espessura de projeto e a diferença entre o maior e o menor valor obtido seja no máximo de 1 cm.

- ▶ **Cura do Concreto Compactado a Rolo - CCR:** a superfície do concreto rolado deverá ser protegida imediatamente após o término da compactação contra a evaporação de água. Para a cura do concreto normalmente é utilizada uma emulsão asfáltica catiônica do tipo RR 2C. Durante o período de cura deverá ser interdito o tráfego ou a presença de qualquer equipamento até que o pavimento tenha resistência compatível para a solicitação de carga. Taxa de aplicação normal é de 0,8 l/m² a 1,5 l/m² (Fig. 8).



Tratamento inadequado



Tratamento correto

FIGURA 8

COMPARAÇÃO ENTRE O TRATAMENTO ADEQUADO E O INADEQUADO DE PAVIMENTOS

2. CONTROLE TECNOLÓGICO DO PAVIMENTO RÍGIDO COM FÔRMA DESLIZANTE

Define-se pavimento rígido de concreto simples como sendo o pavimento cuja camada é constituída por placas de concreto de cimento Portland, não armadas, que desempenham simultaneamente as funções de base e de revestimento. As placas de concreto devem ser assentadas sobre uma sub-base executada com material e espessura definidos no projeto (CCR) e não devem apresentar expansibilidade, assegurando às placas um suporte uniforme ao longo do tempo.

É um concreto com consumo de cimento relativamente alto, baixa relação água/cimento e elevada resistência à tração na flexão, à compressão e à abrasão, podendo ter armadura estrutural distribuídas em regiões irregulares.

O controle tecnológico, assim como no CCR, deve obedecer mesmos procedimentos. Deverão ser definidos os fornecedores das matérias primas (que tenham qualidade e capacidade para o fornecimento), os materiais influenciam na qualidade do concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido.

Os agregados bem como o cimento, água e aditivos deverão ser amostrados para cada lote de concreto produzido ou sempre que gerar alguma dúvida na inspeção visual.

Não devemos nos esquecer de que o cimento, os agregados bem como a água, deverão atender as especificações do DNIT ou da ABNT.

2.1 Cimento

Os tipos de cimento Portland considerados adequados à pavimentação do concreto simples devem atender os requisitos da NBR 16.697:2018.

Quando maior for o consumo de cimento, o traço de concreto vai apresentar uma maior plasticidade, uma melhor coesão e uma menor exsudação. Porém haverá uma liberação maior do calor de hidratação e uma variação volumétrica maior, o que pode acarretar fissuras.

2.2 Agregados

Os agregados graúdos e miú-

dos devem atender as exigências da NBR 7211:2022

2.2.1 AGREGADO MIÚDO

Quanto maior for o volume de agregado miúdo, maior será o consumo de água, o que vai provocar uma diminuição da relação água/cimento. Nesse caso será necessário aumentar o consumo de cimento para manter a relação água/cimento.

2.2.2 AGREGADO GRAÚDO

Os agregados arredondados e lisos (seixo rolado) melhoram a plasticidade do concreto. Os agregados mais utilizados são os cúbicos e rugosos. A dimensão máxima característica do agregado graúdo não deve exceder 1/3 da espessura da placa e 38 mm, obedecendo o menor valor.

2.3 Aditivos

Os aditivos devem atender o que estabelece a NBR 11768:2019.

2.4 Água

A água destinada ao amassamento do concreto deve atender as exigências da NBR 15900:2009. Nos casos dúbios, para verificar se a água é prejudicial ao concreto, devem ser feitos ensaios comparativos de tempo de pega e de resistência à compressão, realizados, respectivamente, em argamassas com a água em questão e uma água desmineralizada.

2.5 Aço

O aço que deverá ser utilizado nas barras de transferências ou de ligação deve obedecer a NBR 7480:2022. As barras de transferência devem ser obrigatoriamente lisas e retas, de aço tipo CA-25. Nas barras de ligação usa-se o aço CA-50.

3. DOSAGEM DE CONCRETO

O controle tecnológico deve ser iniciado na usina que irá produzir o concreto, com a verificação da qualidade dos agregados que deverão ser ensaiados conforme as normas pertinentes.

O estudo da dosagem de concreto pode ser feito por qualquer método, des-

TABELA 1

TIPOS DE EQUIPAMENTOS DE FÔRMAS DESLIZANTES E SEU ABATIMENTO

Equipamento	Abatimento
CMI	30 +/- 10 mm
Wirtgen	20 +/- 10 mm
GP 2600	40 +/- 10 mm
Comander III	40 +/- 10 mm
C 450	60 +/- 10 mm



de que atendam às especificações de projeto e às características do equipamento a ser utilizado na execução da pista. Os requisitos básicos para o cálculo de uma dosagem de concreto devem ser:

- ▶ Trabalhabilidade (em função do equipamento a ser utilizado na execução da obra);
- ▶ Resistência físico-mecânica (tração na flexão);
- ▶ Ensaios de durabilidade (permeabilidade/porosidade), visando a sua vida útil;
- ▶ Condição de Exposição;
- ▶ Custo.

O consumo mínimo de cimento:
 $C_{min} = 350 \text{ kg/m}^3$.

Os valores obtidos nos ensaios no concreto do pavimento devem estar em conformidade com aqueles obtidos no laboratório, quando da definição da dosagem.

Em todo caminhão deve ser determinado o abatimento pelo tronco de cone (NBR 16889:2020), de preferência retirar a amostra de concreto, no caso de caminhão basculante, antes da descarga e devem atender o que foi estabelecido no estudo de dosagem e as características do equipamento que for utilizado na execução do pavimento.

A Tabela 1 relaciona alguns equipamentos de fôrma deslizante com os seus respectivos abatimentos.



FIGURA 9

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AR INCORPORADO



FIGURA 10

MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS

O teor de ar incorporado determinado conforme a NBR 16887:2020 e deve ser inferior ou igual a 4,0%, e também deter-

minado em todos os caminhões (Fig. 9).

Os valores obtidos nos ensaios devem estar em conformidade com aqueles

obtidos no laboratório, quando da definição da dosagem.

A resistência característica à tração na flexão ($f_{ct,Mk}$) definida em projeto deve ser determinada conforme os procedimentos constantes nas normas NBR 5738:2015 e NBR 12142:2010.

A moldagem dos corpos de prova prismáticos e/ou cilíndricos deve ser moldada conforme Tabela 2 e Figuras 10 e 11.

Os lotes a serem analisados devem ter até 500m³ e não superar uma área concretada de 2500m² de concreto. É muito importante fazer o mapeamento do concreto lançado para que, em uma emergência, se possa identificar a placa concretada, com eventual problema (resistência inferior a de projeto), para a execução de ensaios complementares.

Os lotes devem ser compostos por no máximo 32 exemplares de corpos de prova prismáticos, sendo cada exemplar composto por, no mínimo, 2 corpos de prova, tomando-se como valor do exemplar o maior entre eles. Admite-se a moldagem de corpos de prova cilíndricos, para a determinação da resistência à compressão, desde que aprovados pela fiscalização e quando for feita a correlação de resistência à tração na flexão (corpos de prova prismáticos), determinada conforme NBR 12142:2010 (Fig. 12), com a resistência à compressão (corpos de prova cilíndricos), determinada conforme NBR 5739:2018, especificamente da dosagem de concreto que está sendo utilizada (Fig. 14).

A resistência à compressão deve ser determinada conforme estabelece a NBR 5739:2018 (Fig. 13).

TABELA 2

ESPECIFICAÇÕES PARA MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (mm)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	—	—
Prismático	10	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	—	—



FIGURA 11

CURA DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS E PRISMÁTICOS

Essa correlação é válida especificamente para a dosagem de concreto que originou os resultados de tração e compressão.

4. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA

A determinação da resistência característica estimada do concreto do lote inspecionado à tração na flexão deve ser determinada a partir da expressão:

$$[1] \quad f_{ctMk,est} = f_{ctM28} - ks$$

$f_{ctMk,est}$ = Valor estimado da resistência característica do concreto à tração na flexão;
 f_{ctM28} = Resistência média do concreto a tração na flexão, na idade de 28 dias;
 s = Desvio padrão dos resultados;
 k = Coeficiente de distribuição de Student, que é em função de "n";
 n = Número de exemplares.

O lote examinado será aceite quando $f_{ctMk,est} \geq f_{ctMk}$ que é o valor especificado em projeto.

Quando não for atendida a condição prescrita devem ser extraídos, no lote em questão, em pontos espaçados, corpos de prova prismáticos ou cilíndricos, desde que tenha sido feita a correlação das resistências, e de acordo com a aprovação da fiscalização. Os corpos de prova devem ser extraídos das placas que apresentarem as menores resistências no resultado do controle.

5. TEXTURIZAÇÃO

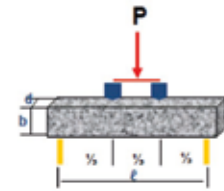
A texturização que avalia a resistência a derrapagens consiste em promover ranhuras à superfície do pavimento, aumentando o atrito entre ele e os pneumáticos. Serve também como uma espécie de microdrenagem que evite a formação de lamina de água capazes de produzirem hidroplanagem.

A texturização deverá ser executada imediatamente após a fase de acabamento final do concreto.

A texturização pode ser feita por processos mecânicos ou manuais.

5.1 Processo mecânico

É executado com pente de fios duros. Trabalha com o mesmo princípio eletrônico da vibro-acabadora (sensores de para nivelamento) executando ranhura no sentido transversal à pista (Fig. 15).



P = carga máxima aplicada, N
 l = distância entre apoios, mm
 d = largura média na seção de ruptura, mm
 b = altura média na seção de ruptura, mm

$$f_{ctm,j} = \frac{P \times l}{b \times d^2}$$

FIGURA 12

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO



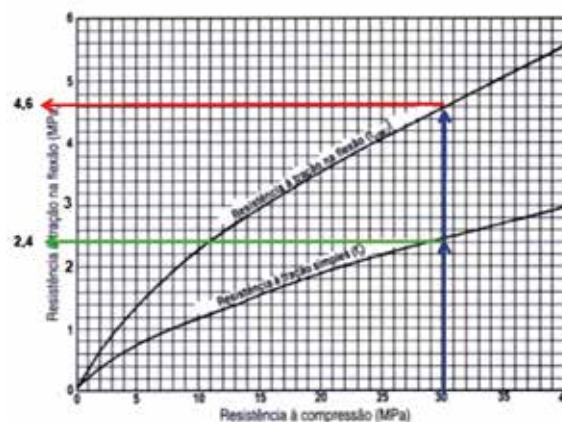
$$f_{ci} = \frac{4P}{\pi \times D^2}$$

f_{ci} = Resistência à compressão em MPa
 P = Carga máxima aplicada em N
 D = Diâmetro do corpo de prova

FIGURA 13

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

CORRELAÇÃO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO x TRAÇÃO



$$f_{ctm,j} = 0,56 \times (f_{ci})^{0,6}$$

Utilizável apenas após obtenção de correlação confiável entre $f_{ctm,j}$ e $f_{ck,j}$ e aprovação da fiscalização

FIGURA 14

CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO



FIGURA 15

PROCESSO MECÂNICO DE TEXTURIZAÇÃO TRANSVERSAL DO PAVIMENTO



FIGURA 16

PROCESSO MANUAL DE TEXTURIZAÇÃO DO PAVIMENTO

Admite-se também a texturização longitudinal.

5.2 Processo manual

Normalmente é executado com utilização de vassouras com auxílio de uma passarela de serviço. É recomendado que o serviço, sempre que possível, seja executado pelo mesmo operador (Fig. 16).

Admite-se também a texturização longitudinal (Fig. 17).

6. ENSAIO DE MANCHA DE AREIA

Para a avaliação da texturização deve ser utilizado o ensaio de mancha de areia, de acordo com o método da ASTM E 965:1996, e deve ser executado a cada 100 metros. O valor da altura da mancha de areia HS deve ser: $0,6 \text{ mm} \leq \text{HD} \leq 1,2 \text{ mm}$.

O ensaio é realizado com areia pas- sante na peneira $\varnothing = 0,25 \text{ mm}$ e retido na

peneira $\varnothing = 0,18 \text{ mm}$, conforme estabelece a norma da ASTM.

O ensaio deve ser realizado após o endurecimento do concreto (Fig. 18)

7. CURA DO CONCRETO

A cura é denominação dada aos procedimentos a que se recorre para promover a hidratação do cimento e consiste em controlar a temperatura, a saída e a entrada de umidade no concreto. Mais especificamente, o objetivo é manter o concreto saturado, até que os espaços da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchido com água, tenham sido preenchidos pelos produtos de hidratação

do cimento até a condição desejável. A cura visa minimizar as seguintes deformações no concreto:

- ▶ Retração plástica, que se manifestam através de fissuras;
- ▶ Assentamento plástico;
- ▶ Retração hidráulica ou por secagem;
- ▶ Retração autógena;
- ▶ Retração térmica.

A cura deve ser iniciada após a finalização do acabamento superficial, após



FIGURA 17

A APARÊNCIA DA TEXTURIZAÇÃO APÓS A SUA EXECUÇÃO



FIGURA 18

EXECUÇÃO DO ENSAIO DE MANCHA DE AREIA



Cura com filme plástico



Cura com papel reforçado



Cura com agente químico



Cura com manta umedecida



Cura por aspersão de água

FIGURA 19

DIFERENTES TIPOS DE CURA DO PAVIMENTO DE CONCRETO

desaparecer o brilho e não tão tarde para o agente de cura, no caso de cura química, não ser absorvido pelo concreto.

A cura (deve) e pode ser feita de várias maneiras (Fig. 19).

Com material selante, que pode ser:

- ▶ Filme plástico;
- ▶ Papel reforçado;
- ▶ Cura química (que é a mais utilizada).

A cura impede a evaporação de água, mantém a temperatura do concreto razoavelmente próximo da tempera-

tura ambiente e permite que as reações químicas da água com o cimento ocorram normalmente. O agente de cura é um líquido que é aplicado, mecânica ou manualmente, como cobertura da superfície do concreto recém-acabado, com o objetivo de retardar a perda de água, no caso do agente de cura pigmentado, refletir o calor propiciando que o concreto desenvolva suas propriedades

em condições favoráveis de umidade e temperatura.

Os agentes de cura devem ser pigmentados (cor branca), formador de membranas (Fig. 20) e podem ser a base de água ou solventes, normalmente o mais recomendado é de base água.

A aplicação do agente de cura pode ser mecânica o manual e devem atender a taxa de aplicação que é de 0,35 a 0,50 l/m²,



FIGURA 20

FORMAÇÃO DE MEMBRANA



FIGURA 21

APLICAÇÃO MANUAL COM AUXÍLIO DE EQUIPAMENTO COSTAL

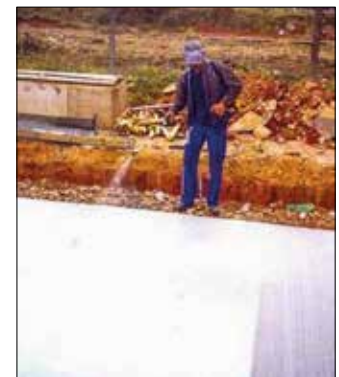




FIGURA 22

APLICAÇÃO MECÂNICA DE CURA



FIGURA 23

APLICAÇÃO E CURA



FIGURA 24

ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DE UMA POSSÍVEL REAÇÃO DELETÉRIA



FIGURA 25

CORTE DA JUNTA LONGITUDINAL

FIGURA 26

CORTE DA JUNTA TRANSVERSAL

especificada pela ASTM C 309:2019. A taxa correta deverá ser especificada pelo fabricante e aprovada pela fiscalização através de ensaios que comprovem a sua eficiência.

A aplicação, que pode ser manual ou mecânica, deve ocorrer logo após a finalização do acabamento, texturização e após desaparecer o brilho superficial, não tão tarde, para que o agente de cura não ser absorvido pelo concreto (Figs. 21 e 22).

Quando da aplicação mecânica do agente de cura alguns procedimentos deverão ser observados como:

- ▶ Velocidade do equipamento, que vai ser utilizado na aplicação;
- ▶ Pressão do reservatório onde foi armazenado o agente de cura;
- ▶ Tipo do bico aspersor;
- ▶ Espaçamento entre os bicos;
- ▶ Altura e orientação dos bicos em relação ao pavimento.

7.1 Problemas que podem ocorrer durante a aplicação

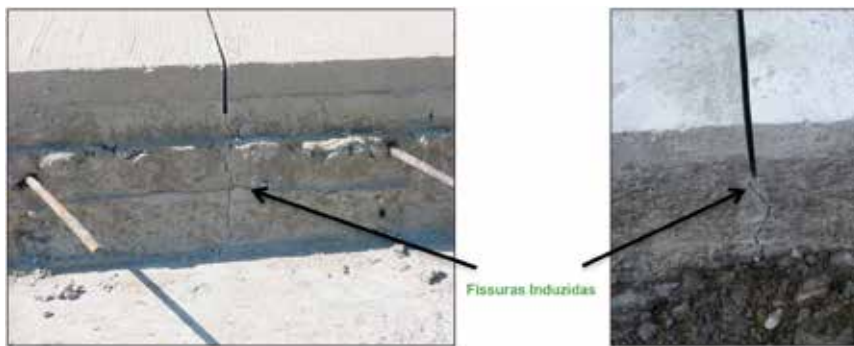
- ▶ A taxa de evaporação pode exceder a ascensão de água da exsudação, nesse caso a superfície irá apresentar um aspecto seco, mesmo que a exsudação ainda não tenha cessado.
 - A evaporação efetivamente é cessada, mas a exsudação ainda continua ocorrendo, caso o agente de cura seja aplicado nessas condições.
- ▶ É formada uma camada de água na superfície do concreto com posterior escamação da superfície:
 - A evaporação é temporariamente cessada, mas a exsudação ainda continua ocorrendo.

Isso causará a fissuração mapeada da membrana de cura, com conseqüente diminuição de sua capacidade de retenção de água.

O agente de cura deve atender a normalização específica e ser ensaiado a cada lote adquirido. Os métodos de ensaios especificados pelas normas da ASTM C 309:2019 - Especificação e ASTM C 156:2020 - Método de ensaio.

A ASTM C 156:2020 estabelece que o ensaio seja feito baseando-se nos seguintes requisitos:

- ▶ Perda de massa $\leq 0,55\text{kg/m}^2$ num período de 72 horas que os copos de prova (placas) são mantidos em uma estufa ventilada com temperatura de $37,8 \pm 1,1\text{ }^\circ\text{C}$ e uma umidade de $32 \pm 2\%$. São moldadas 4 placas sendo 3 com a aplicação do agente de cura e uma sem a aplicação (Fig. 23).
- ▶ Outro ensaio que é verificado no laboratório, é uma possível reação deletéria ao concreto (Fig.24).



7.2 Manutenção da integridade da membrana de cura

Danos causados na membrana de cura durante as operações de construção devem ser reparados, caso ocorram no período de até 7 dias. Se nesse período houver alguma danificação devido a chuvas, a região deve ser reabilitada.

8. JUNTAS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS

8.1 Juntas longitudinais

Devem ser serradas, obrigatoriamente, no concreto semi-endurecido num prazo máximo de 24 h, após o término do acabamento superficial (Fig. 25).

8.2 Juntas transversais

É o processo obrigatório para a abertura das juntas, o qual deve ser iniciado com o concreto semi-endurecido com a idade do concreto entre 6 e 12 h, que deve ser verificado experimentalmente, após o término do acabamento superficial, é uma operação que normalmente ocorre no período noturno. As juntas são construídas para induzir fissuras de retração de origem química que ocorrem no concreto (Fig. 26).

As juntas transversais são o resultado de processo obrigatório para a abertura das juntas, o qual deve ser iniciado com o concreto semi-endurecido, com a idade do concreto entre 6 e 12 h, que deve ser verificado experimentalmente, após o término do acabamento superficial, é uma operação que normalmente ocorre no período noturno.

Os cortes das juntas devem ter a profundidade de $1/3$ da espessura

FIGURA 27
FISSURAS INDUZIDAS



FIGURA 28
LIMPEZA E ALARGAMENTO DE JUNTAS



FIGURA 29
COLOCAÇÃO DE JUNTAS PRÉ-FABRICADAS



FIGURA 30

EXECUÇÃO DAS JUNTAS MOLDADAS “*IN LOCO*”



FIGURA 31

PERFILÓGRAFO CALIFÓRNIA



FIGURA 32

RODA SENSORA E COMPUTADOR QUE CAPTURA OS DADOS

da placa com uma abertura de 3 mm, as juntas são construídas para induzir fissuras de retração de origem química que ocorrem no concreto (Fig. 27).

Antes da selagem, as juntas deverão

ser limpas e alargadas (Fig. 28).

Após a limpeza, os corte das juntas deverão ser alargados para 6 mm com uma profundidade de 25mm, para serem colocados os corpos de apoios (isopor), para posterior selagem (Figs. 29 e 30).

A selagem pode ser feita com juntas pré-fabricadas ou moldadas “*in loco*”.

9. CONFORTO DE ROLAMENTO

O conforto de rolamento é determinado pelo Perfilógrafo Califórnia, que serve para medir a irregularidade longitudinal de pavimentos de concreto em fase de construção, sendo também um equipamento empregado pela maioria dos Departamentos Estaduais de Transporte (DOT) americano e também no Brasil pelo DNIT (Fig. 31).

O Perfilógrafo é dotado de uma roda sensora, que fica localizada no meio da estrutura, livre para movimentar-se verticalmente. Os movimentos da roda sensora são captados por um transdutor e um odômetro, que são enviados a um computador, acoplado a estrutura do Perfilógrafo, que grava os desvios do plano de referência,



FIGURA 33

FORÇA MOTRIZ MANUAL



FIGURA 34

FORÇA MOTRIZ MOTORIZADA

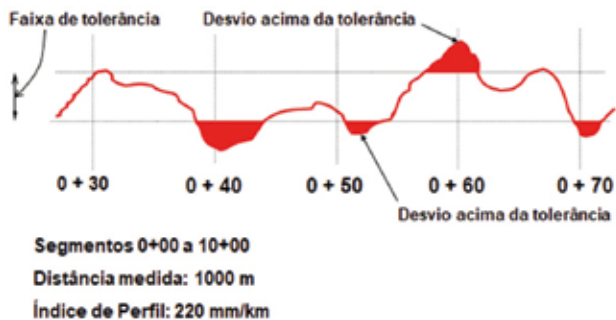


FIGURA 35

ESQUEMA SIMPLIFICADO DOS DADOS DE SAÍDA

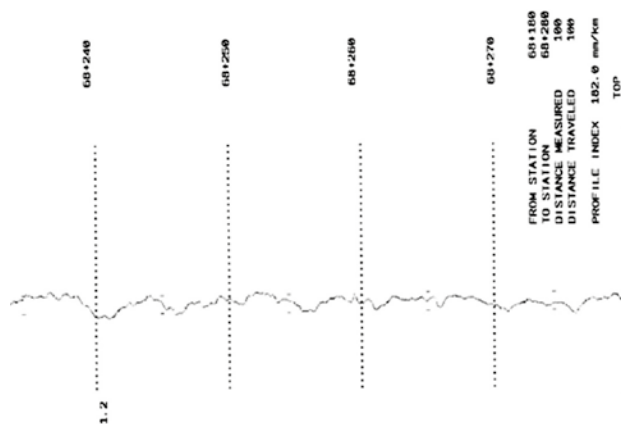


FIGURA 36

GRÁFICO DE UM TRECHO

traçando o perfil do pavimento (Fig. 32).

A força motriz pode ser manual ou por unidade propulsora acoplada ao conjunto (Figs. 33 e 34). As irregularidades longitudinais da superfície têm influência direta na segurança, no conforto de rolamento, no custo operacional de veículos e vida útil de serviço do pavimento.

A medição da irregularidade é feita sobre cada faixa de tráfego, com movimentação longitudinal, nas trilhas de roda externa e interna. A velocidade não deve ser superior a 5 km/h.

Permite identificar com precisão áreas que necessitam de reparos. Os perfis são processados gerando uma medida de irregularidade longitudinal: o Índice de Perfil (IP).

O Índice de Perfil (IP), expresso em mm/km, que é determinado utilizando-se o perfilógrafo do tipo “Califórnia”, é

a soma dos valores absolutos dos desvios (picos e depressões) que excedam os limites de uma faixa neutra, que é de 5 mm, no Brasil.

Os lotes avaliados são compostos por trechos de 1000 m de extensão, divididos em segmentos de 100 m (Fig. 35).

Os desvios que ultrapassam as faixas de tolerância deverão ser corrigidos, conforme contratado. Nos segmentos onde foram feitas as correções, o pavimento deve ser reavaliado, para verificar se essas correções produziram um IP médio de 240 mm/km, no Brasil (Fig. 36).

Nos EUA o IP internacional para rodovias de Alto tráfego recebem o seguinte tratamento da Tabela 3.

10. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo apresentar a metodologia para execução e controle tecnológico do concreto na aplicação de pavimentos rígidos como alternativa para os pavimentos flexíveis, principalmente em rodovias de tráfego pesado.

A pavimentação de concreto gera economia no longo prazo, em virtude de sua durabilidade e segurança, além de um menor impacto ambiental. Estudos feitos apontam que a primeira manutenção nesse tipo de pavimentação é realizada após 20 anos de sua construção. Os pavimentos de concreto têm a capacidade de suportar tráfego intenso, pesado e repetitivo. Sob este aspecto o pavimento de concreto desponta como a alternativa mais adequada para melhorar a qualidade das estradas, de forma a garantir a segurança dos usuários, a produtividade e competitividade do setor logístico e da própria economia do país. Além disso, o pavimento de concreto promove a economia de 1% a 6% no consumo de combustível, quando comparado com a via em pavimento flexível, no entanto, no Brasil, apenas 4% das estradas adotam essa alternativa. Estudos recentes compararam as vantagens e características da construção e manutenção de pavimentos rígidos (concreto) e flexíveis (asfalto), com o objetivo de entender qual é a melhor opção para o Brasil. ☺

TABELA 3

TABELA COM VALORES REFERÊNCIA DO ÍNDICE DE PERFIL

VALORES mm/km	% DE PAGAMENTO	
	AASHTO	ACPA
<47	105	110
47 - 63	104	108
63 - 79	103	106
79 - 95	102	104
95 - 110	101	102
110 - 158	100	100
158 - 174	98	98
174 - 190	96	96
190 - 205	94	94
205 - 221	92	92
221 - 237	90	90
>237	Correção	Correção

No Brasil →

Tabela que normalmente faz parte dos contratos de obras nos Estados Unidos e alguns países da Europa.

Índice aceito como normal a empresa simplesmente cumpriu o contrato (EUA).