



Associação
Brasileira de
Cimento Portland

Seminário
ESTRADAS DE
CONCRETO:
UMA ESCOLHA
INTELIGENTE E
SUSTENTÁVEL



Tecnologia de concreto para pavimentos

Engº Rubens Curti

PAVIMENTOS DE CONCRETO



- Definição
- Utilização
- Materiais
- Controle tecnológico
- Texturização
- Cura
- Perfilógrafo

DEFINIÇÃO

- **Concreto com consumo de cimento relativamente alto, baixa relação água/cimento e elevada resistência à tração na flexão, à compressão e à abrasão, sem armadura distribuída, estrutural ou não.**

UTILIZAÇÃO

- **Utilizado como base e revestimento do pavimento, sendo ao mesmo tempo camada estrutural e de rolamento.**

MATERIAIS

- Cimento portland
- Agregado graúdo
- Agregado miúdo
- Água
- Aditivo redutor de água (plastificante)
- Aditivo incorporador de ar
- Adições minerais ativas
- Fibras

Cimento Portland

Cimento Portland	Sigla	Classe	Clínquer + Gesso	Escória	Pozolana	Carbonato de cálcio
Comum	CP I	25 32 40	100	0		
	CP I-S	25 32 40	99 - 95	1 - 5		
Composto	CP II-E	25 32 40	94 - 56	6 - 34	0	0 - 10
	CP II-Z	25 32 40	94 - 76	0	6 - 14	0 - 10
	CP II-F	25 32 40	94 - 90	0	0	6 - 10

Cimento Portland

Cimento Portland	Sigla	Classe	Clínquer + Gesso	Escória	Pozolana	Carbonato
Alto forno	CP III	25 32 40	65 - 25	35 - 70	0	0 - 5
Pozolânico	CP IV	25 32 -	80 - 45	0	15 - 50	0 - 5
Alta resistência inicial	CP V	-	100 - 95	-	-	0 - 5

Agregados graúdos e miúdos

- Deve atender à NBR 7211:
 - Granulometria (NBR NM 248)
 - Índice de forma dos grãos (NBR 7809)
 - Torrões de argila (NBR 7218)
 - Material pulverulento (NBR NM 46)
 - Abrasão “Los Angeles” (NBR NM 51)
 - Impurezas orgânicas (NBR NM 49).

Água de amassamento

Substâncias	NBR 15900
Sólidos totais	< 50000 mg/L
pH	≥ 5,0
Sulfatos, expresso em SO_4^{2-}	< 2000 mg/L
Álcalis, equivalente alcalino	≤ 1500 mg/L
Cloretos, expresso Cl	≤ 500 mg/L
Açúcar	≤ 100 mg/L
Fosfato, expresso em P_2O_5	≤ 100mg/L
Nitrato, expresso em NO_3	≤ 100mg/L
Chumbo, expresso em Pb^{2+}	≤ 100mg/L
Zinco, expresso em Zn^{2+}	≤ 100mg/L

Aditivos redutores de água e incorporadores de Ar

- **NBR 11768 - Especificação**
- **NBR 12317 - Verificação de desempenho**
- **NBR 10908 - Ensaio de uniformidade**

Dosagem

Características da dosagem

- Consumo mínimo de cimento - 320 kg/m³;
- Relação a/c - 0,40 a 0,56;
- Agregado miúdo - D.máx. característica 4,8 mm;
- Agregado graúdo - D.máx. característica entre 1/5 e 1/4 da espessura da placa e nunca superior a 50 mm;
- Abatimento: compatível com os processos de mistura, transporte, lançamento e adensamento;
- Resistência de projeto: tração na flexão ($f_{ctM,k}$) e resistência a compressão (f_{ck}).

NBR 7583/1986

Controle tecnológico

- **Na usina de concreto (laboratório)**
- **Na pista**

CONTROLE TECNOLÓGICO

- **Amostragem dos materiais** (laboratório)
- **Controle de produção** (laboratório ou pista)
- **Consistência** (laboratório e pista)
- **Teor de ar incorporado** (laboratório e pista)
- **Resistência à tração na flexão** (laboratório ou pista)
- **Resistência à compressão axial** (laboratório ou pista)
- **Texturização** (pista)
- **Cura** (pista)
- **Conforto de rolamento** (pista)

Consistência

■ Amostragem:

- A cada caminhão até constância de resultados (três resultados iguais consecutivos)
- A cada 4 ou 5 caminhões ou todo caminhão amostrado para moldagem de corpos de prova

Nota: Inspeccionar visualmente todo caminhão e executar o ensaio quando necessário

■ Ensaio: (parâmetros):

- Abatimento ≥ 20 mm (Consistência pelo abatimento do tronco de cone - NBR NM 67 - slump)

Consistência

■ Critério de aceitação:

– Consistência estabelecida na dosagem deve ser adequada para o tipo de equipamento:

- CMI 3004: 30 ± 10 mm
- Wirtgen 850 20 ± 10 mm
- GP 2600: 40 ± 10 mm
- Comander III: 40 ± 10 mm
- C 450: 60 ± 10 mm
- Régua vibratória: 70 ± 10 mm

Consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump*)



Teor de ar incorporado (laboratório da usina)

- **Amostragem:**
 - No início da jornada todos os caminhões até constância de resultados (três resultados iguais consecutivos);
 - Todos os caminhões serão amostrados sempre que houver a moldagem de corpos-de-prova (moldagem na usina);
- **Ensaio de Determinação do teor de ar incorporado pelo método pressométrico: NBR NM 47;**
- **Critério de aceitação:**
 - Teor de ar estabelecido na dosagem de concreto.

Teor ar incorporado



Resistência à tração na flexão

■ Amostragem:

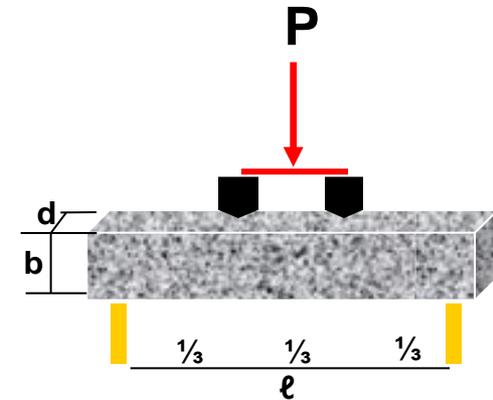
- Lote não maior que 500 m³ e nem corresponder à uma área concretada com mais de 2500 m².
- 32 exemplares de 2 corpos-de-prova prismáticos cada, por lote

■ Ensaio: **NBR 5738/08 (moldagem) e NBR 12142/10 (ensaio).**

- Molde: cilíndrico 10 x 20 cm ou 15 x 30 cm
- Molde: prismático 15 X 15 X 50 cm ou 10 X 10 X 40 cm



Ensaio de tração na flexão



$$f_{ctM} = \frac{pl}{bd^2}$$

- 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

Resistência à tração na flexão

Critério de aceitação segundo A NBR 7583/86:

▪ Aceitação automática $\Rightarrow f_{ctM,est} \geq f_{ctM,k}$

• $f_{ctM,est} = f_{ctM,j} - 0,84 s$

- $f_{ctM,k}$ = resistência característica do concreto à tração na flexão
- $f_{ctM,est}$ = resistência característica estimada do concreto à tração na flexão
- $f_{ctM,j}$ = resistência média do concreto à tração na flexão na idade de j dias
- S = desvio padrão

Resistência à Tração na Flexão

■ Rejeição:

- Extração de no mínimo 6 corpos-de-prova para cada 1000m² (corpos-de-prova prismáticos - ASTM C 42)

Nota: $n \leq 17$ - acréscimo de 10% no valor de $f_{ctM,est}$ $n \geq 18$ - acréscimo de 15% no valor de $f_{ctM,est}$

Nota: Nestes caso usar a curva de correlação entre a resistência à tração na flexão x resistência à compressão

■ Nova rejeição:

- Revisão do projeto
- Remoção e reconstrução
- Reforço

Resistência à Compressão

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

■ Amostragem:

- Lote de 1000m³
- 32 exemplares de 2 corpos-de-prova cilíndricos cada, por lote

■ Ensaio: NBR 5738 (moldagem) e NBR 5739 (ensaio)

- Molde cilíndrico de 15 x 30 cm ou 10 x 20 cm

■ Critério de aceitação:

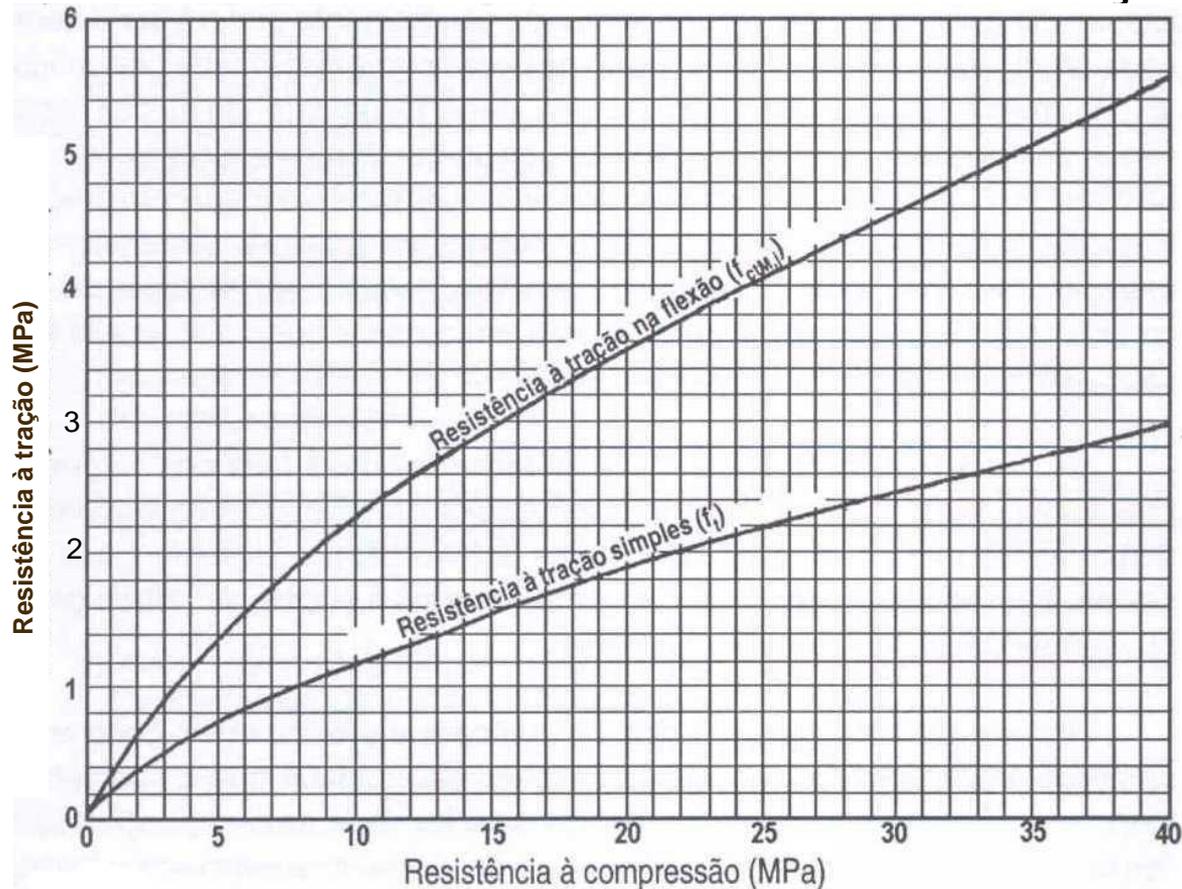
- $f_{ck,est} \geq f_{ck}$

Ensaio de compressão simples



CORRELAÇÃO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO x TRAÇÃO NA FLEXÃO E RESISTENCIA À COMPRESSÃO x TRAÇÃO SIMPLES



$$f_{cm,j} = 0,56x(f_{cj})^{0,6}$$

TEXTURIZAÇÃO

- **Consiste de prover de ranhuras a superfície do pavimento, aumentando o atrito entre ele e os pneumáticos. Serve também como uma espécie de micro drenagem, para evitar a formação de lâminas d'água capazes de produzir a aquaplanagem.**

Quando executar a texturização?



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

Processos de texturização

Processo **mecânico** ou **manual**.

- **Processo mecânico** : executada com um pente de fios duros. Trabalha com o mesmo princípio eletrônico da vibro acabadora (sensores para nivelamento) executando as ranhuras no sentido transversal à pista.
- **Processo manual** : pode ser executada com a utilização de uma vassoura, com auxílio de uma passarela de serviço.
- Admite-se a também a **texturização longitudinal**.



Processo mecânico texturização



Processo manual texturização



Aparência do pavimento após a texturização



Verificação da texturização

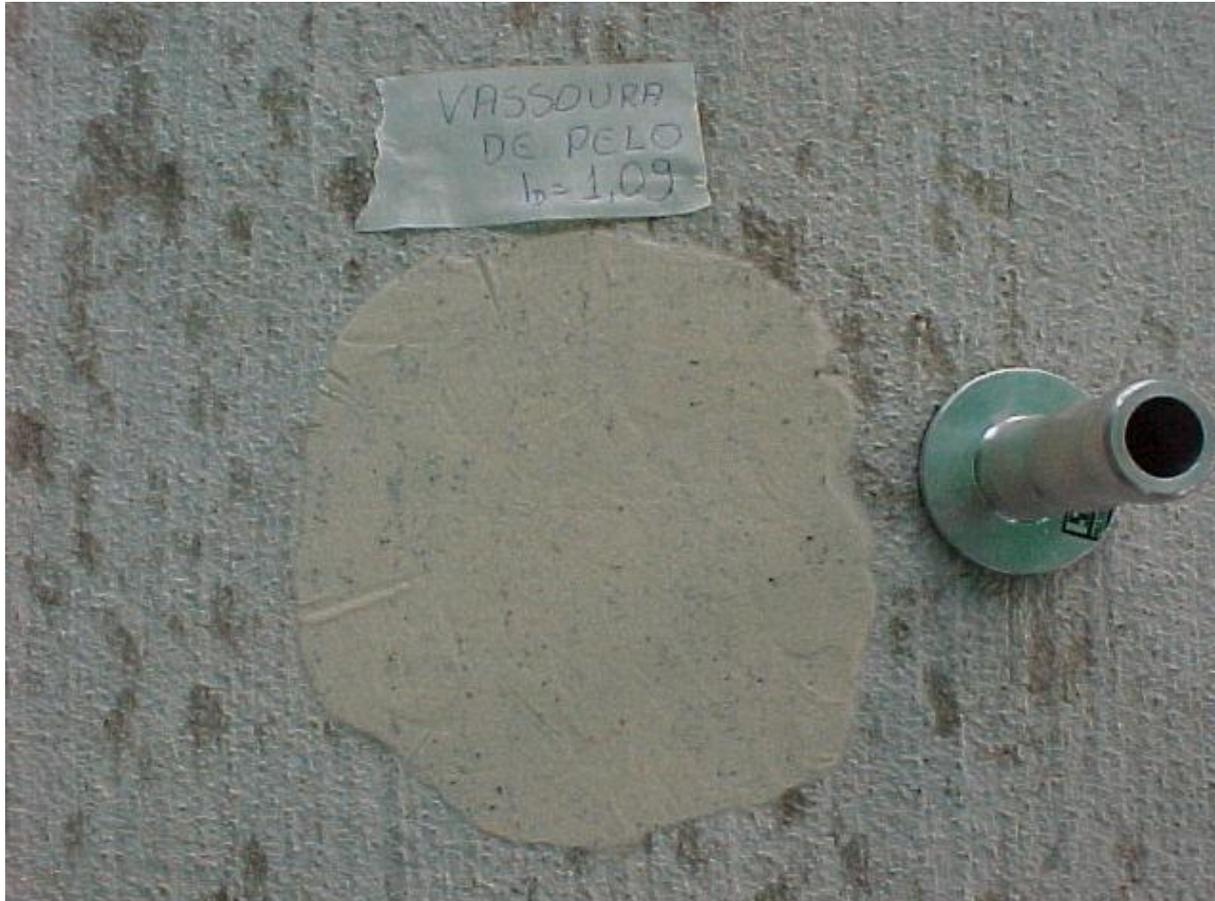
- **Verificações:**
 - Homogeneidade
 - Acabamento
- **Ensaio de mancha de areia**
 - Areia⁽¹⁾ passante na peneira de 0,25 mm e retida na peneira de 0,18 mm (ASTM E 965)
- **Limites:**
 - 0,6 mm a 1,2 mm (altura)

(1) A ASTM estabelece que o ensaio seja feito com esferas de vidro.

Ensaio de mancha de areia



Ensaio de mancha de areia



CURA DO PAVIMENTO DE CONCRETO

Definição

Cura é a 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 para o concreto.

Mais especificamente, o objetivo é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível de saturado, até que os espaços da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchido com água, tenham sido preenchidos pelos produtos de hidratação do cimento até uma condição desejável.

A cura visa minimizar

- **Retração plástica**
- **Retração autógena**
- **Retração por secagem**
- **Empenamento**
- **Desgaste superficial**

Métodos de cura

- **Cura química**
- **Cura com materiais selantes**
 - Filme plástico
 - Papel reforçado
- **Cura úmida**
 - Mantas que retém água
 - Imersão ou piscina
 - Névoa ou aspersão

Cura química (processo mecânico)



Cura química (processo manual)



Quando que o agente de cura deve ser aplicado?

- **Aplicado logo após a finalização do acabamento e imediatamente após a texturização**
 - **Após desaparecer o brilho superficial**
 - **Não tão tarde, para o agente de cura não ser absorvido pelo concreto**

Influência do equipamento na aplicação

■ Equipamento

- Velocidade de aplicação
- Pressão do reservatório
- Proteção contra o vento

■ Bico aspersor

- Tipo
- Espaçamento
- Altura
- Orientação

Aplicadora de cura química



Bico aspersor



Abas de proteção



Verificação da taxa de aspersão

- **Verificação visual**
- **Cálculo do volume utilizado em determinada área**
- **Medição da taxa em cada bico aspersor e ajuste da velocidade de aplicação**
- **Medida direta da massa**
- **Termômetro infravermelho**
- **Refletância**

Cura com material selante (*filme de Polietileno*)



Cura com material selante (*Papel de Cura*)



Cura úmida com manta umidecida



PERFILÓGRAFO CALIFÓRNIA



Equipamento que serve para medir a irregularidade longitudinal de pavimentos de concreto em fase de construção, sendo também o equipamento empregado pela maioria dos Departamentos Estaduais de Transporte (DOT) americanos.

Características



Dotado de roda sensora, localizada no meio da estrutura, livre para movimentar-se verticalmente

Características



Os movimentos da roda sensora são captados por um transdutor e um odômetro e enviados a um computador que grava os desvios do plano de referência, traçando o perfil do pavimento

Medição de irregularidade



Operação do perfilógrafo sobre cada faixa de tráfego, nas trilhas de roda externa e interna a uma velocidade máxima de operação igual a 5 km/h

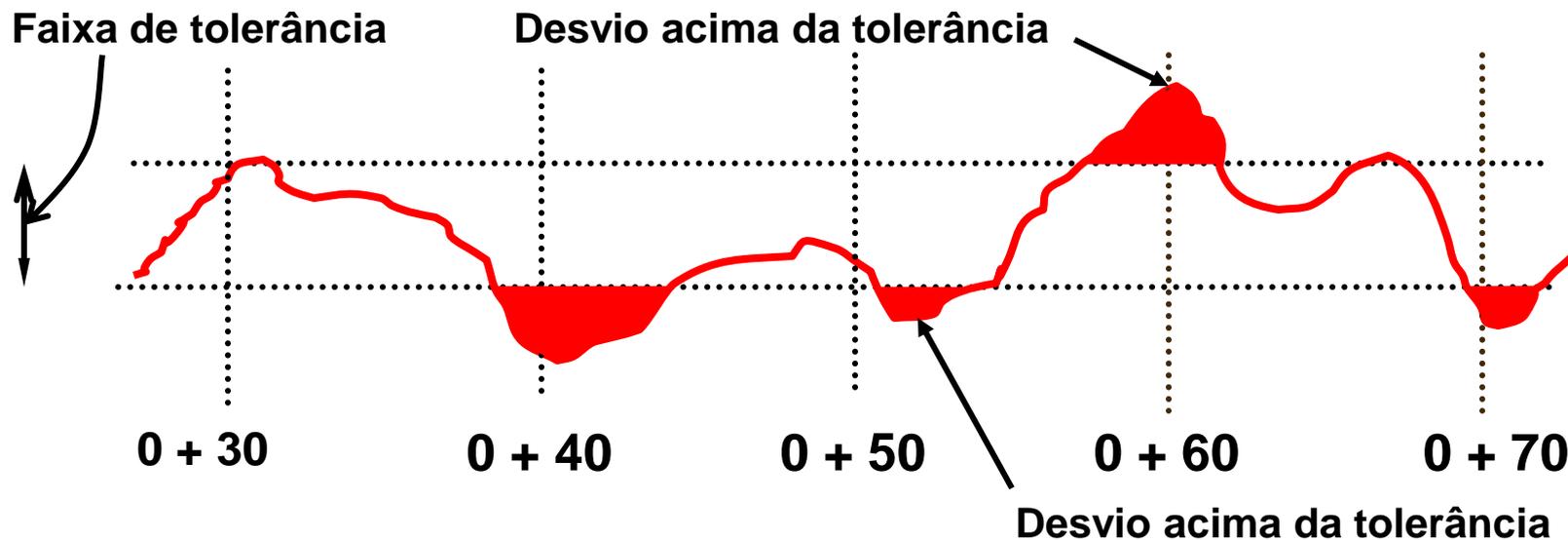
Informações geradas

- Permitem identificar com precisão áreas que necessitam de reparo
- Os perfis são processados gerando uma medida de irregularidade longitudinal: o Índice de Perfil

Índice de perfil

- É a soma dos valores absolutos dos desvios (picos e depressões) que excedem os limites de uma faixa neutra
- No Brasil tem-se estabelecido faixa neutra igual a 5 mm
- O Índice de Perfil (IP) é expresso em mm/km
- Os lotes de avaliação são compostos por trechos de 1.000 m de extensão, divididos em segmentos de 100 m

Esquema simplificado da saída do computador



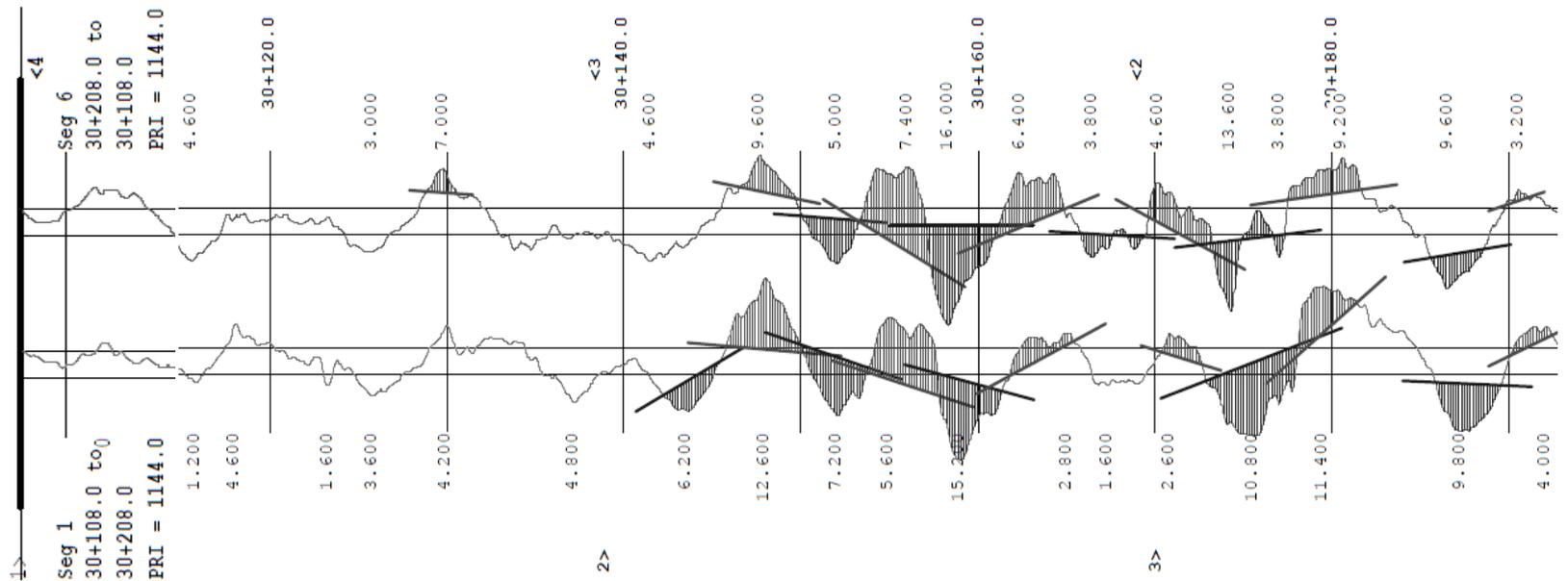
Segmentos 0+00 a 10+00

Distância medida: 1000 m

Índice de Perfil: 220 mm/km

Gráfico (Índice de perfil ruim)

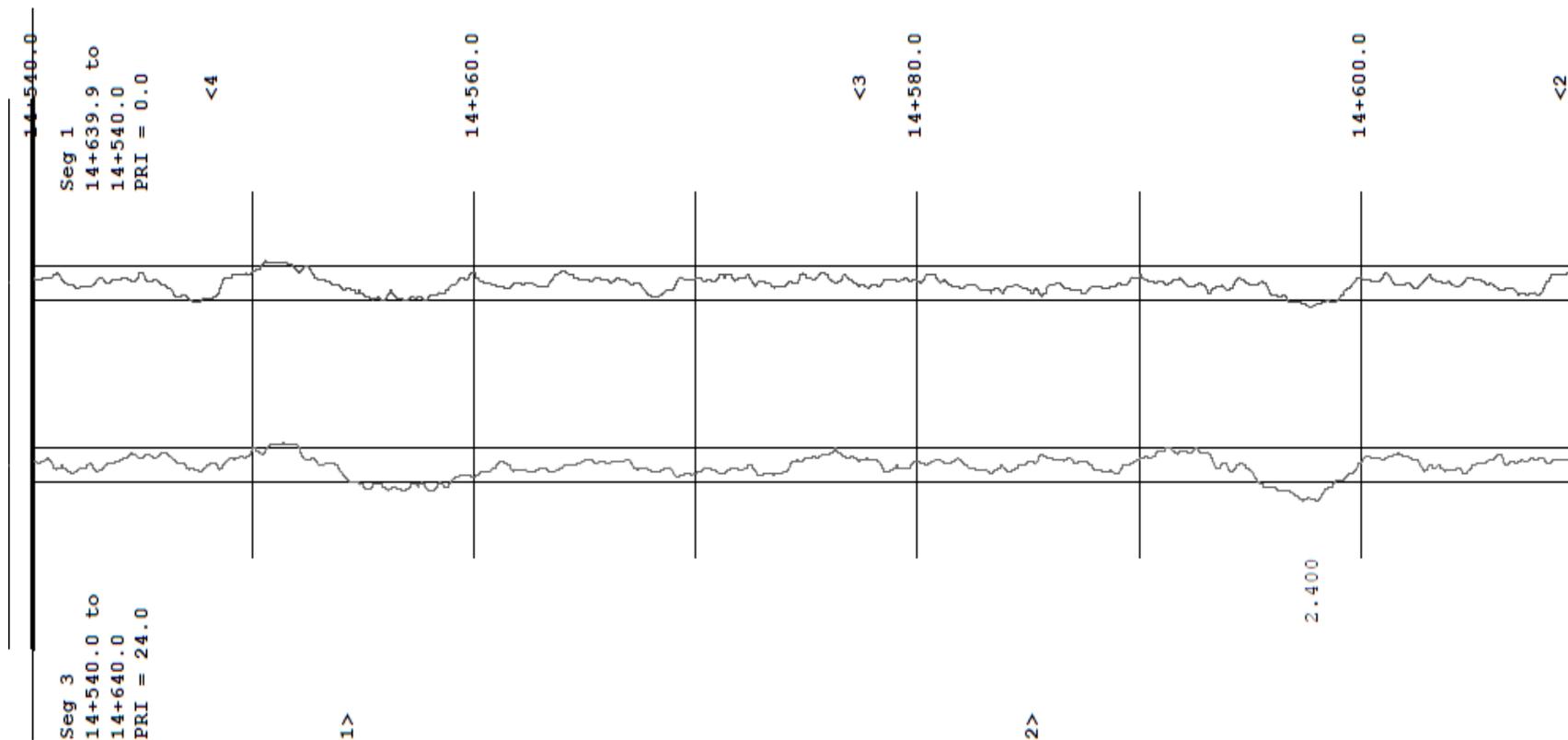
IP = 1144 mm/km



IP = 1144 mm/km

Gráfico (Índice de perfil bom)

IP = 0 mm/km



IP = 24 mm/km

Índices de perfilógrafo nos USA e CE

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

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 (USA)

Índice aceito como normal
Pelo DNIT é de até 240 mm/km
???????



Pavimento de Concreto *Feito para durar*

Uma tendência mundial

Uma Realidade Nacional