MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA-GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS
Setor de Autarquias Norte
Quadra 03 Lote A
Ed. Núcleo dos Transportes
Brasília – DF – CEP 70040-902
Tel/fax: (61) 3315-4831

SETEMBRO 2020	NORMA DNIT 426/2020 - IE

Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação dos parâmetros CDI e TDI – Instrução de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo: 50607.003402/2017-61

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 14/09/2020.

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:	Nº total de páginas
Índice de densificação, CDI, TDI, compactação giratória	9

Resumo

Este documento estabelece os procedimentos de ensaio para obtenção dos parâmetros denominados índice de densificação na compactação CDI (*Compaction Densification Index*) e índice de densificação pelo tráfego TDI (*Traffic Densification Index*) durante a dosagem de uma mistura asfáltica densa pelo método de compactação giratória.

Estes parâmetros ajudam a analisar se a curva granulométrica e o teor de ligante estão adequados para o tráfego esperado no campo, de forma complementar aos aspectos volumétricos tradicionais e, também, na previsão do comportamento de campo.

Abstract

This document establishes the test procedures for obtaining the parameters Compaction Densification Index (CDI) and Traffic Densification Index (TDI) during the procedure of hot mix asphalt design by the gyratory compacting method.

These parameters help to analyze if the grain size curve and the binder content are adequate for the traffic expected in the field, in a way complementary to the traditional volumetric aspects and also in the prediction of the field behavior.

Sumário

Prefácio 1
1 Objetivo 2
2 Referências normativas 2
3 Definições 2
4 Aparelhagem e amostra 3
5 Controle da compactação 3
6 Procedimento de cálculo 3
7 Interpretação e relatório 5
Anexo A (Normativo) – Gráficos 6
Anexo B (Informativo) – Bibliografia 8
Índice geral 9

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para a determinação dos parâmetros CDI e TDI de misturas asfálticas. A criação desta norma procede dos estudos e pesquisas realizados no âmbito do Termo de Execução Descentralizada – TED nº 682/2014 firmado com a COPPE/UFRJ, para o desenvolvimento de método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO.

1 Objetivo

Esta norma estabelece os procedimentos de ensaio para obtenção dos parâmetros CDI e TDI durante a compactação giratória, que auxiliam na análise da curva granulométrica e no teor de ligante adequados para o tráfego esperado no campo.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta norma. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas):

a) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 178 – PRO: Pavimentação Asfáltica – Preparação de Corpos de Prova para Ensaios Mecânicos Usando o Compactador Giratório Superpave ou o Marshall – Procedimento.

b) _____. DNIT 427 – ME: Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa máxima medida e da massa específica máxima medida em amostras não compactadas – Método de ensaio.

c) _____. DNIT 428 – ME: Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados – Método de ensaio.

3 Definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

3.1 Compactação giratória

Procedimento de preparação de corpos de prova por energia de compactação por amassamento, realizado em equipamento próprio denominado compactador giratório (CGS). Processo de compactação por amassamento realizado segundo a norma DNIT 178 – PRO.

3.2 Energia de compactação por amassamento

Energia aplicada à amostra por meio de pressão estática, combinada com movimento giratório do molde.

3.3 Número de giros

Quantidade estabelecida de rotações do molde no compactador giratório que representa a energia necessária para atingir um determinado grau de compactação. O número de giros se correlaciona com a energia de compactação e com o volume de tráfego previsto para a via.

3.4 Nível de giros

Definem-se três níveis de giros particulares ao longo da compactação giratória: número inicial (N_{ini}); número de projeto (N_p); e número máximo (N_{max}), correlacionados a volumes de vazios específicos do corpo de prova.

3.5 Curva de densificação

Ao longo da compactação giratória faz-se a leitura da altura do corpo de prova usada para calcular a porcentagem da densidade relativa máxima medida $(\%G_{mm})$ atingida a cada giro, que é plotada em função do número de giros. A G_{mm} é obtida segundo a norma DNIT 427 – ME.

3.6 CDI

É um índice de densificação relacionado à energia necessária para compactar a mistura asfáltica em campo durante a construção, associado com a sua trabalhabilidade e capacidade de resistir à deformação permanente. Determinado na curva de densificação, por meio da área sob esta curva, delimitada por uma horizontal a partir do ponto correspondente ao giro número 8 até a vertical passando pelo ponto de 92% da G_{mm}.

3.7 TDI

É um índice associado à energia do tráfego de veículos necessária para realizar a sobre-compactação da mistura asfáltica até atingir 98% da G_{mm}. Está relacionada com a capacidade do material resistir à deformação permanente resultante dos esforços provenientes do tráfego. É definido como uma área sob a curva de densificação, delimitada por uma horizontal a partir do ponto correspondente a 92% da densidade relativa máxima medida (G_{mm}) pelo Método DNIT 427 – ME até a vertical passando pelo ponto de 98% da G_{mm}.

4 Aparelhagem e amostra

Para este procedimento de ensaio necessita-se da mesma aparelhagem referente à parte de compactação de corpos de prova pelo método giratório, descrita na norma DNIT 178 – PRO.

A amostra de mistura asfáltica e os cuidados de preparação quanto à temperatura e condicionamento também estão descritos na norma DNIT 178 – PRO. Os índices CDI e TDI devem ser determinados em corpos de prova de 150 mm de diâmetro e aproximadamente 110 mm de altura. Deve ser registrada a massa da amostra utilizada para a preparação de cada corpo de prova.

5 Controle da compactação

Para a obtenção destes índices alguns requisitos necessitam ser atendidos durante a compactação:

a) Para o CDI deve-se atingir pelo menos 92% da G_{mm}. Geralmente utiliza-se a compactação com número de giros similar ao N_p, controlando-se o fim do ensaio pelo número de giros. Para o cálculo do CDI pode-se utilizar os corpos de prova usados para a dosagem ou compactar corpos de prova específicos.

b) Para o TDI deve-se atingir pelo menos 98% da G_{mm}, utilizando-se o controle de fim de ensaio por altura, compactando-se até atingir a altura mínima necessária para atingir esta condição. Se a densidade estimada neste controle de compactação atingir 98% da G_{mm}, a densidade medida, depois da moldagem, no corpo de prova na água, também atingirá. Para se determinar o TDI são necessárias moldagens de corpos de prova específicos, já que é necessário excesso de compactação além do N_p.

6 Procedimento de cálculo

Durante a preparação do corpo de prova, seguindo os procedimentos da norma DNIT 178 – PRO, o sistema de aquisição de dados do compactador giratório armazena os dados necessários para se definir os parâmetros CDI e TDI. Este procedimento de cálculo detalha os elementos necessários e complementares para a obtenção de cada um destes parâmetros.

6.1 Obtenção da curva de densificação

Durante a compactação de um corpo de prova no compactador giratório, a cada giro são registrados no sistema de aquisição automática de dados: a altura, a tensão vertical e o ângulo de giro, entre outros parâmetros do processo. O procedimento descrito a seguir é o mesmo para obter o CDI ou o TDI, mudando apenas as condições de final de compactação como definido: CDI até 92% e TDI até 98% da G_{mm}.

a) Para cada corpo de prova (CP), oriundo do CGS, existe um arquivo com o histórico do processo de compactação. O principal dado deste arquivo para o cálculo dos parâmetros CDI e TDI é a altura do corpo de prova a cada giro, medida com precisão de 0,1 mm.

b) Com a altura obtida em cada giro pode-se determinar o volume do CP, que juntamente com a massa do material, permite estimar a densidade da amostra ao longo da compactação, segundo a Equação 1:

$$G_{mb(estimada)} = \frac{W_m/V_{mx}}{\gamma_w} \quad (1)$$

Onde:

$G_{mb(estimada)}$ – densidade relativa aparente estimada durante a compactação (adimensional);

W_m – massa do CP, em gramas (g);

γ_w – massa específica da água (utilizar valor de 1 g/cm^3);

V_{mx} – volume do CP calculado a partir do diâmetro interno do molde (150 mm) e a altura medida pelo CGS em um determinado giro (cm^3).

c) O cálculo da Equação 1 assume que o CP tem uma forma cilíndrica perfeita, o que não é verdade, uma vez que as irregularidades superficiais levam a um volume levemente inferior ao considerado no cálculo, influenciando no valor da densidade relativa aparente estimada. A densidade estimada é corrigida pela relação entre a densidade medida por pesagem hidrostática do corpo de prova (DNIT 428 – ME), ao final da compactação, e a densidade estimada no número de giros correspondente ao N final necessário para definir o CDI ou o TDI. A Equação 2 a seguir é conhecida como fator de correção:

$$C = \frac{G_{mb(medida)}}{G_{mb(estimada)}} \quad (2)$$

Onde:

C – fator de correção;

$G_{mb(medida)}$ – densidade relativa aparente medida após N giros (adimensional);

$G_{mb(estimada)}$ – densidade relativa aparente estimada em N giros (adimensional).

d) Esse fator de correção ao final da compactação (C) é aplicado para os outros giros, obtendo-se a densidade corrigida em qualquer momento da compactação, conforme Equação 3 a seguir:

$$G_{mb(corrigida)} = C \times G_{mb(estimada)} \quad (3)$$

Onde:

$G_{mb(corrigida)}$ – densidade relativa aparente corrigida em um giro qualquer (adimensional);

$G_{mb(estimada)}$ – densidade relativa aparente estimada em um giro qualquer (adimensional).

e) Com o valor da densidade corrigida determina-se a porcentagem da G_{mm} ($\%G_{mm}$) em qualquer giro da compactação pela relação seguinte:

$$\%G_{mm} = 100 \times \frac{G_{mb(corrigida)}}{G_{mm}} \quad (4)$$

Onde:

G_{mm} – densidade relativa máxima medida pelo Método Rice, também denominada densidade relativa máxima teórica (G_{mm}) (adimensional);

$G_{mb(corrigida)}$ – densidade relativa aparente corrigida em um giro qualquer (adimensional).

f) Após a determinação da $\%G_{mm}$, ao longo do processo de compactação deve-se plotar estas porcentagens em função do número de giros, obtendo-se a curva de densificação do CP. No Gráfico A1 do Anexo A está apresentada uma curva de densificação típica, obtida conforme descrito nesta subseção, usada para os cálculos dos parâmetros desta norma.

6.2 Determinação dos parâmetros CDI e TDI

Os índices CDI e TDI são, simplificadamente, estimados pela área sob a curva de densificação em regiões determinadas, limitada por uma horizontal e uma vertical, indicadas as suas posições na Tabela 1 desta subseção, pelos limites inicial e final da curva de densificação utilizados para o cálculo dos índices citados. O CDI é a área limitada superiormente pela curva de densificação e inferiormente pela linha horizontal que passa pela $\%G_{mm}$ no número de giros igual a 8 até o N correspondente a 92% da G_{mm}. O TDI é a área sob a curva de densificação limitada pela horizontal que passa nos N_i correspondentes a 92 e 98% da G_{mm}.

Tabela 1 – Limites da curva de densificação para o cálculo dos índices CDI e TDI

Índices	Limite Inicial	Limite Final
CDI	Giro 8 (N_8)	92% da G_{mm}
TDI	92% da G_{mm}	98% da G_{mm}

a) O cálculo dos índices CDI e TDI requer a determinação de áreas sob a curva de densificação. Para o cálculo destas áreas deve ser utilizada a técnica de retangularização a seguir:

- Divide-se a área total sob a curva em vários retângulos com um giro de largura. Para o cálculo da altura de cada retângulo N, faz-se a média entre a $\%G_{mm}$ do CP nos giros N e (N+1), descontando-se desta média a $\%G_{mm}$ do CP no Limite Inicial do cálculo ($\%G_{mm}@LI$);
- Obtém-se a área de cada retângulo N;
- Para a determinação dos parâmetros de compactação, somam-se as áreas dos N retângulos inseridos nos limites mostrados na Tabela 1;
- No Gráfico A2 do Anexo A é mostrado um esquema ilustrativo do processo de retangularização para o cálculo do CDI;
- De acordo com o Gráfico A2, a área de cada retângulo N pode ser calculada de acordo com a Equação 5:

$$A_N = \left[\left(\frac{\%G_{mm}@N + \%G_{mm}@(N+1)}{2}\right) - \%G_{mm}@LI\right] \quad (5)$$

Onde:

A_N – área de um retângulo N qualquer;

$\%G_{mm}@N$ – porcentagem da G_{mm} em um giro N;

$\%G_{mm}@(N+1)$ – porcentagem da G_{mm} em um giro (N+1);

$\%G_{mm}@LI$ – porcentagem da G_{mm} no Limite Inicial. No caso do CDI é a $\%G_{mm}@N_8$; no caso do TDI é 92%.

b) No Gráfico A2 é representado um exemplo do cálculo do CDI. A área delimitada pela curva de densificação e a horizontal a partir do oitavo giro (N=8) até a vertical a partir do giro correspondente a 92% da densidade relativa máxima da mistura (G_{mm}), obtida pelo CGS, é tomada como o valor do CDI. Em tese, esta área é proporcional ao trabalho aplicado pelos rolos para as misturas atingirem a densidade requerida durante a construção;

c) O número de 8 giros foi selecionado para simular o esforço aplicado por uma vibroacabadora típica durante o processo de espalhamento do material em pista, enquanto 92% da G_{mm} se refere à densidade da mistura ao final do processo de construção, quando da abertura ao tráfego de veículos;

d) No Gráfico A3 do Anexo A é representado um exemplo do cálculo do TDI, definido como sendo a área sob a curva de densificação a partir de 92% até 98% da G_{mm}, de acordo com a representação do Gráfico. Aplicam-se os mesmos cálculos do CDI, adaptados para estes limites. Baseia-se no princípio de que o pavimento, após aberto ao tráfego, em princípio com 92% da G_{mm}, continua a se densificar em função das cargas impostas pelos veículos;

e) As equações seguintes definem o cálculo dos parâmetros CDI e TDI:

$$CDI = \sum_{N8}^{N@92\%G_{mm}} A_N \quad (6)$$

$$TDI = \sum_{N@92\%G_{mm}}^{N@98\%G_{mm}} A_N \quad (7)$$

Onde:

$N@92\%G_{mm}$ – número do giro equivalente a 92% da G_{mm};

$N@98\%G_{mm}$ – número do giro equivalente a 98% da G_{mm}.

7 Interpretação e relatório

O resultado desta instrução de ensaio correspondente aos parâmetros CDI e TDI finais de uma mistura asfáltica deve ser apresentado como a média dos resultados obtidos em três corpos de prova preparados nas mesmas condições. No relatório devem constar:

- as características da mistura asfáltica e as condições de preparação dos corpos de prova e suas medidas individuais;
- as curvas de densificação para CDI e TDI;
- a média e desvio padrão dos resultados dos três corpos de prova.

_____/Anexo A

Anexo A (Normativo) – Gráficos

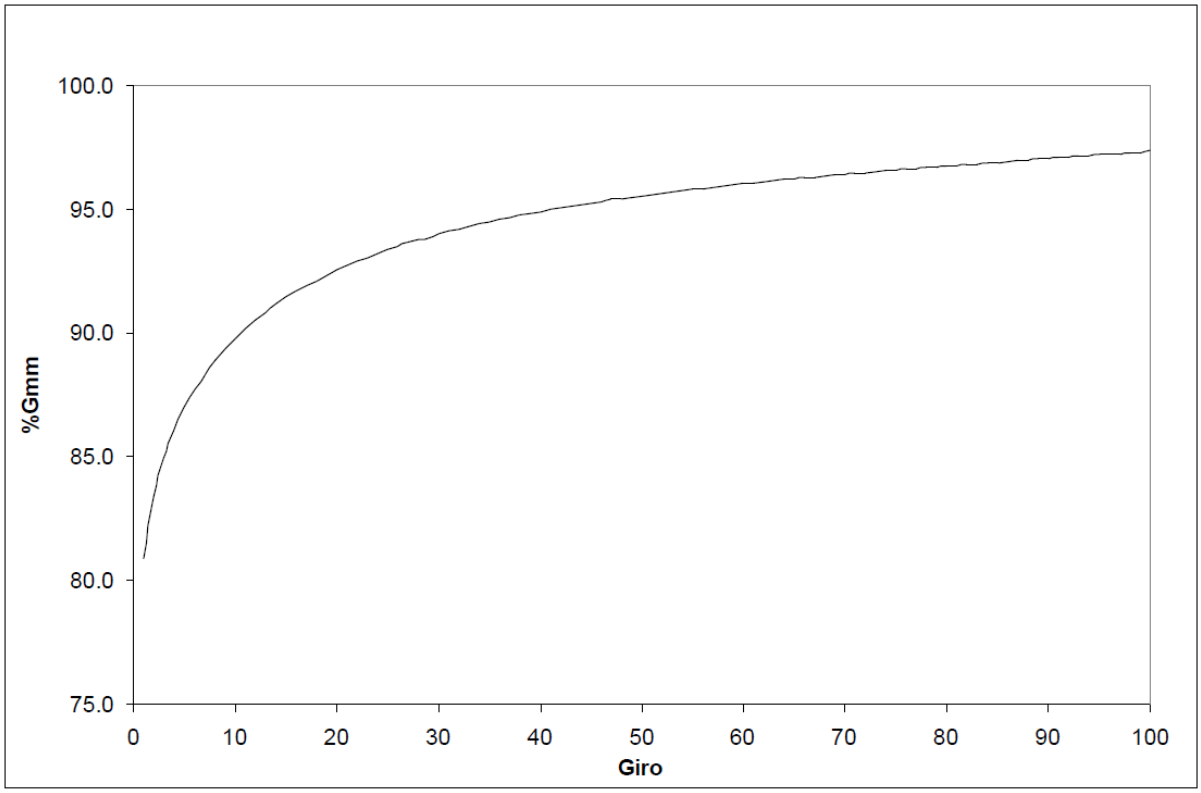

Gráfico A1 - Curva de densificação típica de um corpo de prova compactado no compactador giratório

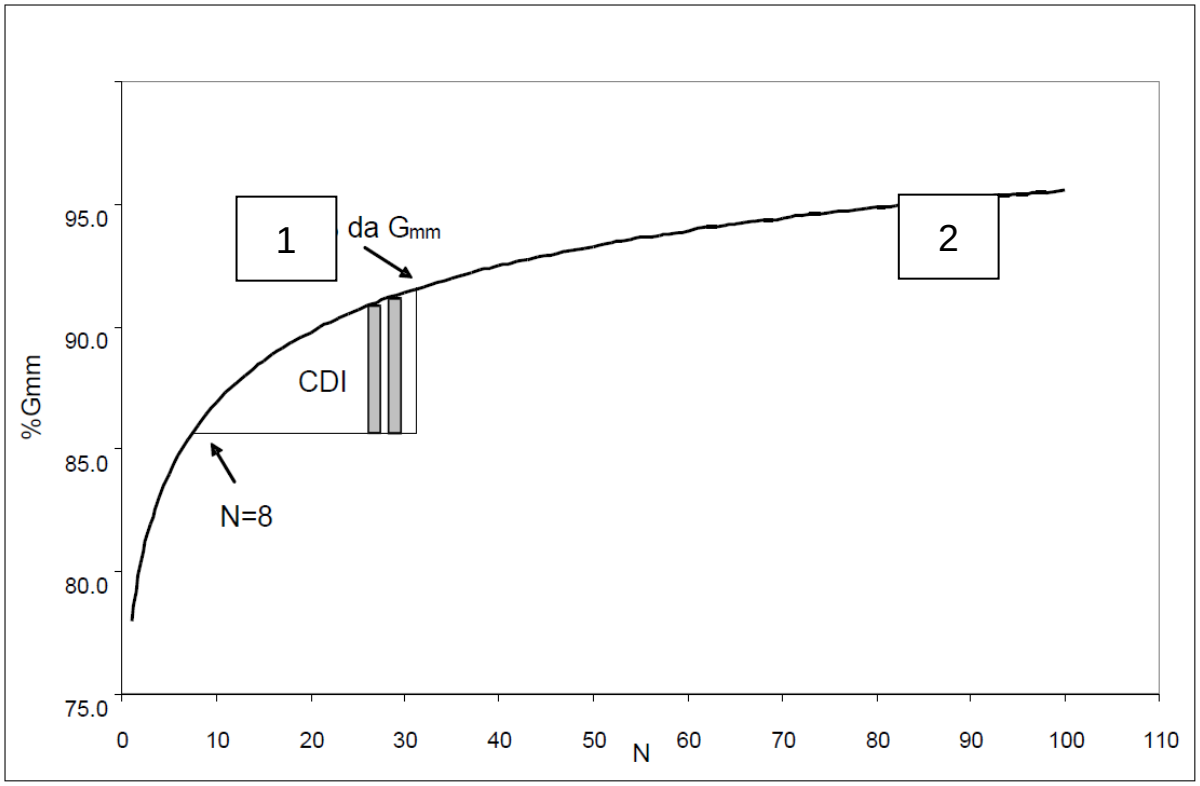

Gráfico A2 - Esquema do método de retangularização utilizado para calcular a área sob a curva de densificação para obtenção do CDI.

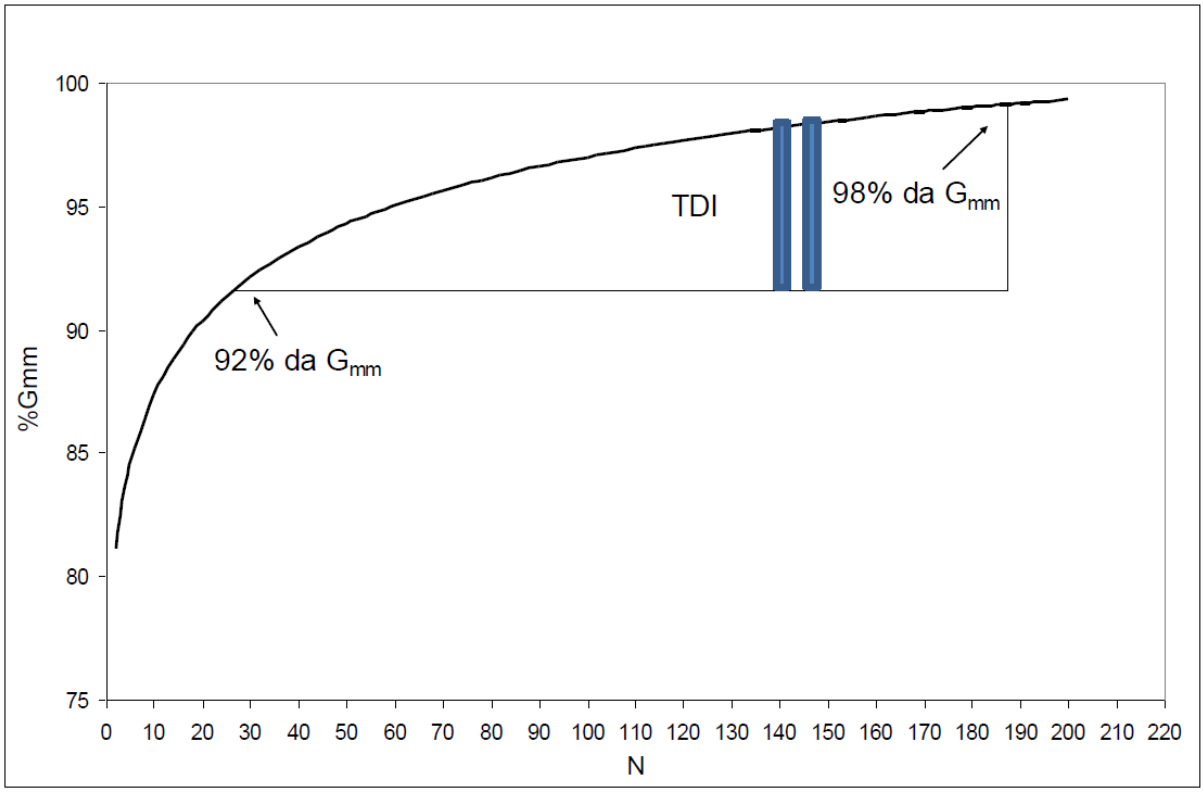

Gráfico A3 - Esquema do método de retangularização utilizado para calcular a área sob a curva de densificação para obtenção do TDI.

_____/Anexo B

Anexo B (Informativo) – Bibliografia

a) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15573: Misturas asfálticas – Determinação da densidade aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados. Rio de Janeiro, 2012.

b) _____. NBR 15619: Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas. Rio de Janeiro, 2016.

c) MAHMOUD, A. F. F.; BAHIA, H. Using the gyratory compactor to measure mechanical stability of asphalt mixtures. Madison: Wisconsin Department of Transportation, 2004. (Wisconsin highway research program 0092-01-02). Disponível em: <https://minds.wisconsin.edu/handle/1793/6907>. Acesso em: 04 jul. 2018.

d) NASCIMENTO, L. A. H. Nova abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso do compactador giratório e foco na deformação permanente. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/, 2008. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/LuisAlbertoHerrmannDoNascimento.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2018.

e) PETROBRAS. REDE DE TECNOLOGIA EM ASFALTOS (Rede Temática de Asfalto). Manual de Execução de Trechos Monitorados. Rio de Janeiro, 2011.

_____/índice Geral

Índice geral

Abstract 1
Anexo A (Normativo) – Gráficos 6
Anexo B (Informativo) – Bibliografia 8
Aparelhagem e amostra 4 3
CDI 3.6 2
Compactação giratória 3.1 2
Controle da compactação 5 3
Curva de densificação 3.5 2
Definições 3 2
Determinação dos parâm. CDI e TDI 6.2 4
Energia de comp. por amassamento 3.2 2
Índice geral 9
Interpretação e relatório 7 5
Nível de giros 3.4 2
Número de giros 3.3 2
Objetivo 1 2
Obtenção da curva de densificação 6.1 3
Prefácio 1
Procedimento de cálculo 6 3
Referências normativas 2 2
Resumo 1
Sumário 1
Tabela 1 – Limites da curva de densificação 4
TDI 3.7 2